

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA



**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA**

**DISEÑO DE MINICENTRAL TERMOELÉCTRICA DE 22 kW
USANDO CASCARILLA DE ARROZ COMO COMBUSTIBLE
EN NEGOCIACIONES PADILLA S.A.C.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO ELECTRICISTA.**

AUTORES: BACH. JAVIER ROBINSON MAYANGA GARCÍA

BACH. YAMER ESTEBAN CARRASCO CAMPOS

ASESOR: DR. ING. MARIO FÉLIX OLIVERA ALDANA

CO-ASESOR: DR. ING. RICARDO ÁNGEL SHIMABUKU YSA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ENERGÍAS ALTERNATIVAS

JAEN-PERÚ

2026

Yamer E. Carrasco Campos Y Javier R. Mayanga Ga...

DISEÑO DE MINICENTRAL TERMOELÉCTRICA DE 22 kW USANDO CASCARILLA DE ARROZ COMO COMBUSTIBLE EN N...

 Quick Submit Quick Submit Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3622610603

192 páginas

Fecha de entrega

4 ago 2026, 1:34 p.m. GMT-5

31.359 palabras

Fecha de descarga

4 ago 2026, 1:45 p.m. GMT-5

161.723 caracteres

Nombre del archivo

A_Y_ESTEBAN_CARRASCO_CAMPOS_-_JAVIER_ROBINSON_MAYANGA_GARC_A.pdf

Tamaño del archivo

4.3 MB



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

1% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 1%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 1%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión



Caracteres reemplazados

49 caracteres sospechosos en N.º de páginas

Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN



Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería



FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día miércoles 22 de julio de 2026, siendo las 18:30 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Dr. WALTER LINDER CABRERA TORRES
Secretario : Mg. JUAN ANTONIO LABRÍN ROMERO
Vocal : Mg. FRANS FUENTES MAZA

para evaluar la Sustentación del Informe Final:

- () Trabajo de Investigación
(☒) Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "DISEÑO DE MINICENTRAL TERMOELÉCTRICA DE 22 kW USANDO CASCARILLA DE ARROZ COMO COMBUSTIBLE EN NEGOCIACIONES PADILLA S.A.C.", presentado por los Bachilleres JAVIER ROBINSON MAYANGA GARCÍA Y YAMER ESTEBAN CARRASCO CAMPOS, de la Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(☒) Aprobar () Desaprobar (☒) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (16) |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 19:00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.


Dr. Walter Linder Cabrera Torres
Presidente


Mg. Juan Antonio Labrín Romero
Secretario


Mg. Frans Fuentes Maza
Vocal

“Año de la esperanza y el fortalecimiento de la democracia”

ANEXO N°06:

**DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO
DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)**

Nosotros, Javier Robinson Mayanga García y Yamer Esteban Carrasco Campos, egresados de la carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificados con DNI 48052971 y DNI 76751750.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“DISEÑO DE MINICENTRAL TERMOELÉCTRICA DE 22 kW USANDO CASCARILLA DE ARROZ COMO COMBUSTIBLE EN NEGOCIACIONES PADILLA S.A.C.”.

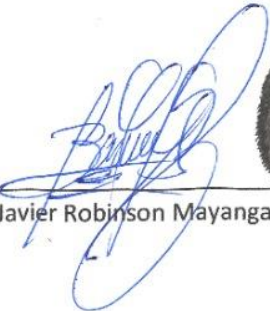
Asesorado por el Dr. Mario Félix Olivera Aldana y Co-Asesor el Dr. Ricardo Ángel Shimabuku Ysa.

El mismo que presento bajo la modalidad de tesis para optar; el Título Profesional/Grado Académico de Ingeniero Mecánico Electricista.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 03 de septiembre del 2026



Javier Robinson Mayanga García



Yamer Esteban Carrasco Campos

INDICE

RESUMEN	
12	
ABSTRACT.....	13
I. INTRODUCCION:	14
1.1. Descripción de la realidad problemática	14
1.2. Justificación:.....	16
1.2.1. Justificación técnica científica	16
1.2.2. Justificación económica	17
1.2.3. Justificación práctica.....	17
1.2.4. Justificación metodología	18
1.2.5. Justificación ambiental.....	18
1.3. Hipótesis:.....	18
1.4. Objetivos:	18
1.4.1. Objetivo General:.....	18
1.4.2. Objetivos Específicos:	19
1.5. Antecedentes de la investigación:	19
II. MATERIALES Y METODOS	23
2.1. Descripción de la mini central termoeléctrica.....	23
2.2. Descripción Geográfica.....	23
2.3. Población y muestra:	24
2.4. Métodos.....	24
2.5. Análisis de datos.....	25
2.6. Procedimiento.....	26
2.6.1. Realizar un diagnóstico actual del consumo energético de la empresa Negociaciones Padilla S.A.C., ubicada en Jaén – Cajamarca.	26

2.6.2.	Determinar el valor energético de la producción de la cascarilla de arroz. ..	28
2.6.3.	Realizar el dimensionamiento de una minicentral termoeléctrica considerando los subsistemas de recepción, almacenamiento y dosificación, reactor de conversión, enfriamiento y limpieza de gas.....	29
2.6.4.	Seleccionar los componentes del equipamiento de la minicentral termoeléctrica para los subsistemas de recepción, almacenamiento, dosificación, reactor de conversión, enfriamiento y limpieza de gas.	31
2.6.5.	Evaluar la viabilidad económica de la minicentral termoeléctrica en la empresa Negociaciones Padilla S.A.C. ubicada en Jaén – Cajamarca	32
III.	RESULTADOS	33
3.1.	Consumo energético actual de la empresa Negociaciones Padilla S.A.C.....	33
3.1.1.	Consumo energético.....	34
3.1.2.	Consumo energético del periodo 2024-2025.....	35
3.1.3.	Energía activa en horas puntas del periodo 2024-2025	36
3.1.4.	Energía activa en horas fuera de punta del periodo 2024-2025.....	37
3.1.5.	Máxima demanda en hora punta del periodo 2024-2025.....	38
3.1.6.	Máxima demanda en horas fuera de punta del periodo 2024-2025.....	39
3.1.7.	Energía reactiva del periodo 2024-2025	40
3.1.8.	Promedio del consumo energético del periodo 2024-2025.....	41
3.2.	Determinar el valor energético de la producción de la cascarilla de arroz.	42
3.2.1.	Producción de cascarilla de arroz del periodo 2025	42
3.2.2.	Producción de cascarilla de arroz del periodo 2025 del 15%	42
3.2.3.	Convertir a unidades eléctricas (kWh):.....	45
3.2.4.	Aplicar eficiencia de conversión a electricidad:	46
3.2.5.	Comparar con la demanda de la empresa:	46
3.2.6.	Verificar suficiencia energética:	46

3.3.	Dimensionamiento de una minicentral termoeléctrica considerando los subsistemas de recepción, almacenamiento y dosificación, reactor de conversión, enfriamiento y limpieza de gas.	48
3.3.1.	Subsistemas de recepción	48
3.3.2.	Subsistemas almacenamiento.....	71
3.3.3.	Subsistemas dosificación	87
3.3.4.	Subsistemas reactor de conversión	100
3.3.5.	Subsistemas enfriamiento	124
3.3.6.	Subsistemas limpieza de gas	138
3.4.	Selección de los componentes del equipamiento recepción, almacenamiento, dosificación, reactor de conversión, enfriamiento y limpieza de gas.....	145
3.4.1.	Componentes del subsistema de recepción.....	145
3.4.2.	Componentes del subsistema de almacenamiento	147
3.4.3.	Componentes del subsistema de dosificación.....	149
3.4.4.	Componentes del subsistema de reactor de conversión.....	152
3.4.5.	Componentes del subsistema de enfriamiento.....	154
3.4.6.	Componentes del subsistema de limpieza de gas	157
3.5.	Evaluación económica.....	160
3.5.1.	Presupuesto de los sistemas	160
3.5.2.	Valor Actual Neto (VAN).....	167
3.5.3.	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	169
3.5.4.	Relación Beneficio/Costo	170
IV.	DISCUSIÓN:	171
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	173
VI.	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS	176
	AGRADECIMIENTO	182

DEDICATORIA.....	183
VII. ANEXOS.....	185

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Suministro eléctrico	34
Tabla 2. Consumo energético periodo 2024-2025	35
Tabla 3. Promedio consumo energético	41
Tabla 4. Producción de cascarilla	42
Tabla 5. 15% de producción 2025	42
Tabla 6. Diámetro del tornillo.....	53
Tabla 7. Selección de paso.....	53
Tabla 8. Longitud del tornillo	57
Tabla 9. Factor y eficiencia del tornillo	57
Tabla 10. Velocidad de captación	58
Tabla 11. Velocidad de filtración.....	59
Tabla 12. Eficiencia de ventilación.....	60
Tabla 13. Tipo de filtro	61
Tabla 14 Factor de fricción acero	63
Tabla 15 Caída de presión.....	64
Tabla 16 Caída de presión en campana.....	64
Tabla 17 Potencia instalada.....	66
Tabla 18 Factor de utilización.....	66
Tabla 19 Características de acero.....	76
Tabla 20 características de Silos	77
Tabla 21 Pérdida de presión en el filtro	79
Tabla 22 Propiedades de cascarilla de arroz	101
Tabla 23 Parámetros de operación del reactor	101

Tabla 24 Altura total del reactor	108
Tabla 25 Composición del aire seco	109
Tabla 26 Composición del aire	109
Tabla 27 Densidades de la composición del aire	110
Tabla 28 Poder calorífico del gas.....	113
Tabla 29 Propiedades del gas.....	125
Tabla 30 Propiedades del agua.....	126

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del proyecto.....	23
Figura 2. Energía activa en hora punta (EAHP)	36
Figura 3. Energía activa en horas fuera de punta.....	37
Figura 4. Máxima demanda en hora punta.	38
Figura 5. Máxima demanda en horas fuera de punta.	39
Figura 6. Energía reactiva.....	40
Figura 7. Subsistema de recepción	71
Figura 8 Subsistema de almacenamiento.....	87
Figura 9. subsistema de dosificación	100
Figura 10. Subsistema de conversión.	123
Figura 11. Subsistema de enfriamiento.....	137
Figura 12. Subsistema de limpieza de gas.	144

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo diseñar una minicentral termoeléctrica de 22 kW utilizando cascarilla de arroz como combustible para la empresa Negociaciones Padilla S.A.C., ubicada en Jaén, Cajamarca, con la finalidad de aprovechar un residuo agroindustrial y reducir la dependencia del sistema eléctrico convencional hasta el 21% de la demanda energética de la empresa. La investigación fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo, nivel descriptivo-propositivo y diseño no experimental. La metodología incluyó el diagnóstico del consumo energético, la determinación del poder calorífico de la biomasa y el dimensionamiento de los subsistemas de recepción, almacenamiento, dosificación, gasificación, enfriamiento y limpieza de gas, así como la selección de equipos y la evaluación técnico-económica del proyecto.

Como resultados, se determinó que la cascarilla de arroz posee un poder calorífico inferior (PCI) de 14.5 MJ/kg, adecuado para el desarrollo del proyecto, y una disponibilidad energética estimada de 2 945 548.125 kWh/año. Asimismo, la evaluación técnica y económica determinó que el proyecto requiere una inversión de S/ 433,300, obteniéndose un Valor Actual Neto (VAN) de S/ 8,823.506, una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 10.3 % y una relación beneficio/costo (B/C) de 1.01.

Se concluye que el diseño de la minicentral termoeléctrica es técnica y económicamente viable, constituyendo una alternativa sostenible que optimiza el aprovechamiento de la biomasa, reduce costos energéticos y contribuye al desarrollo energético y ambiental de la empresa.

Palabras clave: minicentral termoeléctrica, residuo agroindustrial, biomasa, poder calorífico, energía térmica

ABSTRACT

The research aimed to design a 22 kW mini-thermal power plant using rice husks as fuel for the company Negociaciones Padilla S.A.C., located in Jaén, Cajamarca, in order to utilize an agro-industrial waste product and reduce dependence on the conventional electrical grid up to 21% of the company's energy demand. The research was applied, with a quantitative approach, a descriptive-propositive level, and a non-experimental design. The methodology included diagnosing energy consumption, determining the calorific value of the biomass, and sizing the subsystems for receiving, storing, dosing, gasifying, cooling, and cleaning the gas, as well as selecting equipment and conducting a techno-economic evaluation of the project. The results determined that rice husks have a lower heating value (LHV) of 14.5 MJ/kg, suitable for the project, and an estimated energy availability of 2,945,548.125 kWh/year. Furthermore, the technical and economic evaluation indicated that the project requires an investment of S/ 433,300, yielding a Net Present Value (NPV) of S/ 8,823.506, an Internal Rate of Return (IRR) of 10.3%, and a benefit-cost ratio (B/C) of 1.01. It is concluded that the design of the mini-thermal power plant is technically and economically viable, constituting a sustainable alternative that optimizes the use of biomass, reduces energy costs, and contributes to the company's energy and environmental development.

Keywords: mini-thermal power plant, agro-industrial waste, biomass, calorific value, thermal energy

INTRODUCCION:

1.1. Descripción de la realidad problemática

A nivel mundial, la energía es un recurso vital para la sociedad, y su disponibilidad está directamente relacionada con el bienestar social al suministrar el servicio eléctrico y la calidad de este, unas de las alternativas son las termoeléctricas son importantes para los países en desarrollo. En el Ecuador aporta a la red nacional 138 kW teniendo una capacidad total del país de 132.5 MW. (Quiñónez, et al., 2022). Por otro lado, las termoeléctricas tiene los problemas de bajo rendimiento energético, el uso intensivo de combustibles contaminantes, altos costos de operación, la humedad relativa y la temperatura del ambiente y la ausencia de modelos de control avanzados. (Singaña, Reinoso, Tamayo, & Monge, 2022).

A nivel nacional, la energía renovable está creciendo desde el 2016 con un 3.4% hasta un 5.5% en el 2022, también las termoeléctricas tienen un papel importante en los sectores: económico, social y ambiental representando un 50% hasta un 55% de la generación de todo el país. (Colina, 2024). También, las causas que enfrenta las termoeléctricas son: el ingreso de la energía renovable al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), la alta competencia en el mercado eléctrico, el alto costo de generación, rendimiento bajo de la planta, operación anual baja, inestabilidad en la red transmisión e inversionista poco rentables (García, 2021).

El Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) muestra una demanda en aumento y una matriz donde la generación térmica continúa siendo un pilar para cubrir picos y respaldo. En 2024, la cobertura de la máxima demanda incluyó una participación relevante de generación con gas natural (36,5% en marzo), reflejando que la oferta térmica sigue siendo crítica para la confiabilidad del sistema aun con la expansión renovable variable (Organismo Supervisor de la Inversión de Energía y Minería [OSINERGMIN], 2024). A nivel de calidad del suministro, el

regulador ejecuta supervisiones continuas por interrupciones (SAIDI/SAIFI) y reporta que diversos sistemas superan límites de control en distintos periodos, lo que evidencia que la continuidad del servicio es un riesgo operativo para usuarios productivos fuera de grandes polos urbanos (OSINERGMIN, 2024).

La cascarilla de arroz es un residuo agrícola abundante en el país, en donde la producción nacional de arroz cáscara registró volúmenes mensuales de 300–520 mil t durante 2024, según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), por lo que existe un flujo continuo de subproducto energético en regiones arroceras (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2024). Desde el punto de vista termofísico, la cascarilla de arroz presenta poder calorífico inferior típico de 13–16 MJ/kg y alta fracción de cenizas ricas en sílice, con densidad aparente baja ($\sim 100\text{--}140\text{ kg/m}^3$) que complica su logística si no se valoriza in situ (Ramón, Cárdenas, & Rojas, 2018).

Por otro lado, existen brechas aun para el límite de acceso a la red eléctrica: brecha urbano-rurales, pobreza energética estructural, falta de empoderamiento ciudadano, gastos elevados que afectan el ingreso de la familia, baja competitividad regional (Falconí & Delgado, 2023). La cascarilla de arroz puede emplearse como combustible por las siguientes características: poder calorífico inferior alto, es económico y abundante, humedad baja y lo más importante es su ceniza puede utilizarse como adición en cemento en construcciones. (Áraque, Sierra, & Álvarez, 2020).

A nivel local, en la región de Cajamarca, específicamente en el distrito de Jaén, su principal actividad agroindustrial, en el cultivo y procesamiento de arroz que es una de las fuentes económicas, generando grandes cantidades de cascarilla de arroz siendo incinerado al aire libre teniendo como consecuencias la contaminación ambiental y desaprovechando su calor

calorífico inferior. Simultáneamente, la red eléctrica enfrenta interrupciones constantes y sus altos costos energéticos. Por otro lado, las causas son el desaprovechamiento energético de la materia, dependencia de la red eléctrica nacional y la falta de implementación de energías sostenibles. En NEGOCIACIONES PADILLA S.A.C. se genera diariamente un volumen considerable de cascarilla que no se valoriza ni se gestiona con enfoque energético. Según los registros proporcionados por la propia empresa, la cascarilla no aprovechada alcanza 580 a 653 sacos/día, 15 000 y 17 000 sacos/mes y 180 000 a 210 000 sacos/año. Esta acumulación implica costos de manejo, amplio espacio de almacenamiento, riesgos ambientales y comunitarios.

la empresa no cuenta con una evaluación técnica y económica que determine la factibilidad de autogenerar energía eléctrica a partir de su propio residuo, ni con un diseño que asegure cumplimiento ambiental (LMP para generación termoeléctrica) y alineación operativa con su perfil de carga (Ministerio del Ambiente, 2021).

Es por ello que nos planteamos la siguiente interrogante ¿Cómo diseñar una minicentral termoeléctrica utilizando cascarilla de arroz como combustible en la empresa Negociaciones Padilla S.A.C.?

1.2. Justificación:

1.2.1. Justificación técnica científica

El proyecto se sustenta en la idoneidad termoquímica de la cascarilla de arroz como biocombustible, cuyo poder calorífico inferior típico se sitúa en 12 a 16 MJ/kg, rango suficientemente elevado para generación distribuida si se realiza pretratamiento y control de humedad (Natarajan, Nordin, & Rao, 1998). En la escala de 10–100 kW, la gasificación acoplada a motor de combustión interna es una ruta probada, con consumos específicos de 1,8–3,6 kg/kWh para cascarilla de arroz y capacidad de operación continua, lo que la hace

congruente con la potencia objetivo de 22 kW en sitio industrial (Energypedia, 2024). Desde el punto de vista de ingeniería, el estudio se justifica por la necesidad de dimensionar, depurar y validar un tren de proceso (procesado – gasificados–enfriamiento/limpieza–motor–generador) que asegure límites de alquitrán compatibles con el motor y estabilidad eléctrica bajo perfiles reales de carga; la literatura específica sobre gasificadores Downdraft de cascarilla subraya el control de “alquitrán” como condición crítica de desempeño, aspecto que la presente investigación aborda con criterios de diseño y pruebas.

1.2.2. Justificación económica

La empresa enfrenta costos eléctricos que afectan su margen operativo mientras dispone in situ de un residuo energético hoy no valorizado; transformar la cascarilla de arroz en electricidad permite desacoplarse parcialmente de tarifas y congestiones, y capturar ahorros sostenidos vía autogeneración. Estudios de factibilidad para cascarilla de arroz reportan costos nivelados de energía (LCOE) del orden de 0,097–0,12 USD/kWh, sensibles al costo del residuo y al factor de planta, lo que en contextos con biomasa disponible y logística corta puede resultar competitivo frente a la compra de energía (Raza, et al., 2021). Adicionalmente, el proyecto prevé cogeneración térmica (calor de camisas/escape) para secado o agua de proceso, y la valorización de cenizas como insumo puzolánico, generando ingresos/ahorros colaterales que mejoran el flujo de caja y la recuperación de la inversión.

1.2.3. Justificación práctica

La cascarilla de arroz es un residuo agrícola, disponible en Jaén y Cajamarca, que actualmente no se aprovecha y que genera problemas ambientales. El objetivo es ofrecer una solución sostenible, que transforme este residuo en energía eléctrica para la empresa,

mejorando su autosuficiencia energética, e impacte positivamente en la situación energética local.

1.2.4. Justificación metodología

Indica que es necesario evaluar la viabilidad técnica y económica, mediante un análisis energético y un estudio de factibilidad técnico-económica, considerando las características de la cascarilla. El objetivo es diseñar una minicentral termoeléctrica eficiente, aplicando normas térmicas, mecánicas y eléctricas, que garanticen su operatividad, rentabilidad y sostenibilidad.

1.2.5. Justificación ambiental

La quema tradicional de cascarilla, y el uso de combustibles fósiles, generan contaminación y emisiones de gases de efecto invernadero. El objetivo es transformar este residuo en energía limpia, reducir la contaminación, y promover la economía circular para contribuir al desarrollo sostenible de la región. Finalmente, la ceniza de cascarilla rica en sílice reactiva podrá valorizarse como material puzolánico en matrices cementicios, reduciendo pasivos y sustituyendo insumos vírgenes en la industria de la construcción.

1.3. Hipótesis:

Mediante el diseño de una minicentral termoeléctrica de 22 kW permitirá cubrir el 21% de la necesidad energética de la empresa NEGOCIACIONES PADILLA S.A.C. JAEN – 2025.

1.4. Objetivos:

1.4.1. Objetivo General:

Diseñar una minicentral termoeléctrica de 22 kW usando cascarilla de arroz como combustible en Negociaciones Padilla S.A.C., Jaén 2025.

1.4.2. Objetivos Específicos:

- Realizar un diagnóstico actual del consumo energético de la empresa Negociaciones Padilla S.A.C., ubicada en Jaén – Cajamarca.
- Determinar el valor energético de la producción de la cascarilla de arroz.
- Realizar el dimensionamiento de una minicentral termoeléctrica considerando los subsistemas de recepción, almacenamiento y dosificación, reactor de conversión, enfriamiento y limpieza de gas.
- Seleccionar los componentes del equipamiento de la minicentral termoeléctrica para los subsistemas de recepción, almacenamiento, dosificación, reactor de conversión, enfriamiento y limpieza de gas.
- Evaluar la viabilidad económica de la minicentral termoeléctrica en la empresa Negociaciones Padilla S.A.C. ubicada en Jaén – Cajamarca

1.5. Antecedentes de la investigación:

Nguyen et al. (2021) en su artículo “Desarrollo de centrales eléctricas de cáscara de arroz basadas en el Mecanismo de Desarrollo Limpio: Un estudio de caso en el delta del río Mekong, Vietnam” El objetivo general planificar y estimar el desarrollo del proyecto de energía piloto el mecanismo de desarrollo limpio para las actividades plantas grupales, evaluado el potencial de las plantas de energía. Se utilizó una metodología es de tipo aplicada, nivel descriptivo-evaluativo, enfoque mixto y diseño no experimental. Los resultados son cinco plantas de 11 MW, con una reducción de emisiones 26 700 toneladas de dióxido de carbono por año, las cinco plantas tienen una reducción de emisiones 133 500 toneladas de dióxido de carbono por año, los créditos de carbono 9-15 USD/tonCO₂e, los ingresos anuales se estiman entre 1.2 a 2 millones de USD y por esto se concluyó, que el desarrollo de un grupo de plantas de energía de cascarilla de arroz es una solución técnica, ambiental y económicamente viable para el delta del Mekong teniendo de dos factores: la implementación del mecanismo de desarrollo limpio

y el establecimiento de una tarifa de alimentación, resolvió un grave problema de contaminación ambiental en la región.

El autor Ramos (2023) en su investigación “Desarrollo de una herramienta de modelamiento para la evaluación de alternativas de aprovechamiento energético de biomasa en Colombia”. El objetivo principal es identificar las configuraciones óptimas para maximizar la utilidad económica bajo diferentes escenarios. Se utilizó una metodología es aplicada, descriptiva, cuantitativo y experimental. Los resultados el potencial del país 363.201 TJ/año se divide en: agrícola 245.487TJ/año y pecuario 117.714 TJ/año, teniendo como principales usos de la biomasa es bagazo de caña, café, estiércol y cascarilla de arroz, la combustión y gasificación tiene una mayor producción de electricidad y calor, los costos operativos seria \$ 12–25/ton biomasa y el costo de inversión es \$ 100 millones, se combinó la biomasa, tecnologías y energéticos con un utilidad de \$ 400 millones, Concluyó que se gestiona adecuadamente representaría una alternativa muy viable para la matriz energética en el país y aportaría una sostenibilidad energía y ambiental.

Por último, el autor Serna (2022) en su investigación “Identificación de etapas a optimizar en la gasificación de biomasa para producción de energía sostenible mediante la aplicación del análisis energético de ciclo de vida (ELCA)”. El objetivo principal es identificar los procesos de energía renovables de biomasa haciendo uso de análisis energético. Se utilizó una metodología explicativo, cuantitativo y experimental. Se aplicó el programa Aspen Plus® V11 simulo las siguientes etapas: secado, pirolisis, combustión y reducción, se utilizó syngas con un PCI 6 119 kJ/Nm³ , se aplico el LCA y se aplico en las siguientes etapas: germinación, cultivo, cosecha zaqueo, transporte, astillado, gasificación y generación eléctrica. Etapa con mejor eficiencia energética con un 21.404%y la etapa con gasificador + motor con 196,37

MJeq. Se concluyó que mejorando la generación y el transporte de energía eléctrica se mejoraría el potencial de residuos de biomasa de las regiones.

En los antecedentes nacionales tenemos:

Núñez (2024) en su tesis “Propuesta de producción de electricidad a partir de cascarilla de arroz en un molino para reducir sus costos energéticos”. El objetivo general proponer la producción de electricidad en un molino para reducir los costos energéticos mediante un sistema de combustión. Se utilizó una metodología es de tipo aplicada, nivel transversal, enfoque cuantitativo y diseño no experimental. Los resultados nos dicen que el consumo eléctrico es de 176,18 kW y el costo S/ 1,76 kWh, producción promedio de la cascarilla 716 598,37 kg/año, su eficiencia es de 70%, generación eléctrica para 2027: 454 921,40 kWh/año, ahorro anual de S/ 417 247,42, VAN S/ 164 749,24, TIR 57,2%, B/C 1,13, evaluados con matriz de Leopold de -678 a -561 y por esto se concluyó, es técnica, económica y ambiental viable permitiendo cubrir el 100% de la demanda energética del molino reduciendo y aprovechando el residuo actualmente que no se utiliza.

Según el autor Díaz (2023) en su investigación “Evaluación de la gasificación de cascarilla de arroz para optimizar la eficiencia energética de un molino de arroz”. El objetivo principal es optimizar la eficiencia energética. Se utilizó una metodología aplicativa y no experimental. Los resultados con un caudal de 0.28 kg/s, producción anual de 6 307.2 toneladas, PCI de 12.54 MJ/kg, una potencia térmica de 3.51 MW, potencia eléctrica de 0.579 MW, gasificador seleccionado Downdraft y las capacidades evaluadas fueron de 30kW , 300kW y 3000 kW, poder calorífico del gas síntesis 2.69 MJ/kg, volumen del gas 1.74 N m³ / kg de biomasa y 1.93 MW, se tiene que agregar estos activos y son: gasificador, sistema de generación, acumuladores, un sistema de interconexión y potencia del molino 3 355 kWh/día, trabajando

los 7 días de la semana, las 24 horas del día, demanda energética del molino es de 0.58 M ,con una inversión inicial de \$ 826 944, VAN \$96 795.10 y TIR de 13%. Concluyó es viable y rentable teniendo una oportunidad para la sostenibilidad energética.

Por otro lado, el autor Cadenillas (2022) en su investigación “Diseño de sistema de autogeneración con ciclo combinado utilizando la cascarilla de arroz para energizar la molinera Sudamérica S.A.C. - Lambayeque”. El objetivo principal es elaborar un esquema de ciclo combinado utilizando cascarilla de arroz para mejorar su producción eléctrica y sea autónoma. Se utilizó una metodología es descriptivo-experimental y aplicado. Los resultados teniendo el gasificador con un flujo masico de 4.75 kg/s, las temperaturas de los activos son: 538°C para un sobrecalentador, 498.52°C para un evaporador y 351.74°C para un economizador, teniendo una potencia neta de 2.34MW y costo de proyecto es de \$509 882.24, VAN \$9 464 663,37, costo-beneficio 13.93 y TIR 25%. Concluyó que es viable técnica y económica con alta rentabilidad teniendo energía sostenible por un ciclo combinado.

Por último, el autor Alcántara (2020) en su investigación “Diseño de una central termoeléctrica utilizando cascarilla de arroz para reducir costos de consumo de energía eléctrica en los molinos de arroz de la provincia de Jaén”. El objetivo principal busca reducir costos del consumo de energía eléctrica. Se utilizó una metodología es descriptiva. Los resultados teniendo una producción mensual entre 500 toneladas - 1500 toneladas, su consumo energético fluctúa entre 15 223,64 kWh/mes - 97548,24 kWh/mes y la cascarilla de arroz es entre 8605 toneladas al año - 16086 toneladas al año, potencia generada 300 kW, caudal de 1500 kg/h, potencia térmica 116 BHP, tensión 22.9 kV, longitud de la línea 2 km y la sección de $1 \times 35 \text{ mm}^2$, una inversión de S/. 579 169.76 y VAN S/. 87 574.55, TIR: 12% y un PRI de 3.4 años. Concluyó reduce costos energéticos y genera energía sostenible.

MATERIALES Y METODOS

2.1. Descripción de la mini central termoelectrica.

Es una instalación de pequeña escala diseñada para la generación de energía eléctrica a partir de biomasa, específicamente cascarilla de arroz como fuente de energía renovable. El sistema opera mediante un proceso termoquímico de gasificación, en el cual la biomasa es sometida a altas temperaturas con suministro controlado de aire, produciendo un gas combustible denominado gas de síntesis o *syngas*.

2.2. Descripción Geográfica.

La presente investigación se llevó a cabo en la empresa Negociaciones Padilla S.A.C. RUC 20487501175, carretera Jaén – San Ignacio km 25 provincia de Jaén, Departamento de Cajamarca. Coordenadas: latitud: -5.664938° , longitud: -78.764994°

Figura 1. Ubicación del proyecto



Fuente: Elaboración propia.

2.3. Población y muestra:

2.3.1. Población:

La población de interés para este estudio estuvo conformada por las empresas procesadoras de arroz que generan cascarilla como residuo agroindustrial en la provincia de Jaén. Según Ramírez et al (2023) señalan que la población es el conjunto de todos los individuos, objetos y elementos que comparten características comunes.

2.3.2. Muestra:

La muestra estuvo conformada únicamente por la empresa Negociaciones Padilla S.A.C que se dedica a la negociación y pilado de arroz generando como subproducto biomasa de cascarilla de arroz. Según los autores Ramírez et al (2023) nos dice que la muestra es un subconjunto de la población con el fin de interés características de la población total.

2.3.3. Muestreo:

En este caso es sola la empresa Negociaciones Padilla S.A.C Según los autores Ramírez et al (2023) nos dice que es muestreo por conveniencia es la muestra de personas que están fácilmente disponibles para el investigador.

2.4. Métodos.

2.4.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada porque busca resolver un problema mediante la implementación de un sistema de generación eléctrica a partir de un residuo aplicando los conocimientos teóricos adquiridos. Según los autores Ramírez et al (2023) es aplicada porque busca el conocimiento para resolver problemas específicos o mejorar situaciones concretas en el mundo real resolver un problema mediante la implementación de un sistema de generación eléctrica a partir de un residuo.

2.4.2. Enfoque:

El enfoque de esta investigación es cuantitativo porque se basa en datos numéricos y mediciones técnicas como los cálculos energéticos, eficiencia y el consumo de combustible entre otros. Según los autores Ramírez et al (2023) es cuantitativa porque buscando medir, cuantificar datos de forma numérica aplicando métodos matemáticos para analizar los patrones.

2.4.3. Nivel:

El nivel de esta investigación es descriptivo –propositivo porque se describe el sistema actual y luego se propone un diseño termoeléctrico. Según los autores Ramírez et al (2023) es descriptivo-propositivo buscando primero la descripción de la situación actual y luego se propone mejoras.

2.4.4. Diseño:

La investigación presenta un diseño no experimental, debido a que no se manipulan variables de manera directa, sino que se analizan y desarrollan cálculos teóricos, energéticos, térmicos y mecánicos para el dimensionamiento de los subsistemas del gasificador downdraft. Según los autores Ramírez et al (2023) es no experimental es la observación y la descripción de fenómenos tal y como ocurren en su contexto, sin manipulación de las variables.

2.5. Análisis de datos

El análisis de datos se realizó con un diagnóstico actual, utilizando la información recopilada del consumo eléctrico de la empresa Negociaciones Padilla S.A.C. y de la producción de cascarilla de arroz disponible como biomasa energética. Mediante la evaluación de poder calorífico conforme a normas internacionales como la ISO 18125 y ASTM D5865 se calcula la energía disponible para la generación eléctrica. Se aplicaron normas técnicas de

dimensionamiento y especificaciones de fabricantes de equipos térmicos y manejo de sólidos permitiendo establecer las dimensiones y capacidades adecuadas de cada componente.

2.6. Procedimiento

2.6.1. Realizar un diagnóstico actual del consumo energético de la empresa Negociaciones Padilla S.A.C., ubicada en Jaén – Cajamarca.

2.6.1.1. Revisión bibliográfica

Como etapa inicial se desarrolló la recopilación y análisis de información técnica y científica relacionada con el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz, sistemas de gasificación, generación termoeléctrica y transporte de biomasa. Asimismo, se consultaron tesis, artículos científicos, manuales técnicos, catálogos de fabricantes y normas nacionales e internacionales con la finalidad de sustentar técnicamente el diseño de la minicentral termoeléctrica. El criterio técnico aplicado estuvo basado en parámetros de diseño energético, mecánico, eléctrico y económico, considerando aspectos como el consumo eléctrico de la empresa, disponibilidad de biomasa, poder calorífico de la cascarilla de arroz, eficiencia del sistema gasificador–motor–generador, capacidad de almacenamiento, transporte de biomasa y sistemas de ventilación y filtración industrial. Asimismo, para el desarrollo de la investigación se aplicaron normativas técnicas como el Código Nacional de Electricidad, normas IEC, ISO 50001, ISO 7119:1981, DIN 15262, CEMA Standard 350, ASHRAE, AMCA Standard 205, ISO 16890 y ASTM D5865, las cuales permitieron establecer criterios adecuados de dimensionamiento.

2.6.1.2. Diagnóstico energético de la empresa

Se analizó el comportamiento del consumo eléctrico correspondiente al periodo mayo 2024 – abril 2025, utilizando la información proporcionada por los recibos eléctricos emitidos por Electro Oriente S.A. Asimismo, se aplicaron criterios establecidos en el Código Nacional de Electricidad – Utilización y la norma International Organization for Standardization ISO 50001 relacionados con gestión energética. Inicialmente, se recopiló información técnica del suministro eléctrico de la empresa, identificándose una tarifa MT2, sistema trifásico aéreo, nivel de tensión de 22.9 kV y modalidad de potencia variable.

Posteriormente, se evaluó el consumo de energía activa en horas punta (EAHP) y fuera de punta (EAFP). El análisis determinó un promedio mensual de **3,523.83 kWh** en horas punta y **47,668.25 kWh** en horas fuera de punta, representando este último el 93.1 % del consumo total de energía de la empresa.

Asimismo, se determinó el consumo energético mensual promedio mediante:

$$E_{prom} = EAHP + EAFPE$$

Obteniéndose:

$$E_{prom} = 3,523.83 + 47,668.25 = 51,192.08 \text{ kWh.}$$

Finalmente, se analizó el costo de energía reactiva, registrándose un promedio mensual de S/ 27,818.42, lo que permitió evaluar el comportamiento del factor de potencia y la eficiencia operativa del sistema eléctrico de la empresa.

Con los resultados obtenidos, se determinó la demanda energética requerida para el diseño de la minicentral termoeléctrica basada en cascarilla de arroz.

2.6.2. Determinar el valor energético de la producción de la cascarilla de arroz.

Para determinar el valor energético de la cascarilla de arroz generada por NEGOCIACIONES PADILLA S.A.C., se consideró la producción anual de la empresa, la cual oscila entre 180 000 y 210 000 sacos de cascarilla de arroz. Sin embargo, para el desarrollo de la investigación únicamente se consideró el 15 % de la producción total, debido a que no toda la biomasa generada será destinada al sistema termoeléctrico, reservándose el porcentaje restante para otras actividades operativas y comerciales de la empresa. Asimismo, tomando como referencia una producción promedio anual de 195 000 sacos, el 15 % destinado al sistema energético corresponde a:

$$195000 \times 0.15 = 29250 \text{ sacos/año}$$

Posteriormente, considerando un peso promedio de 25 kg por saco, se determinó la masa anual de biomasa disponible:

$$29250 \times 25 = 731250 \text{ kg/año}$$

Para determinar el potencial energético de la biomasa, se utilizó un Poder Calorífico Inferior (PCI) promedio de 14.5 MJ/kg para la cascarilla de arroz, valor reportado en normas ASTM D5865, International Organization for Standardization ISO 18125 y estudios técnicos de la Food and Agriculture Organization, donde se establecen valores entre 13 MJ/kg y 16 MJ/kg para cascarilla de arroz seca.

La energía térmica disponible se calculó mediante:

$$E_{\text{termica}} = \text{Masa anual} \times P$$

$$E_{\text{termica}} = 731250 \times 14.5 = 10603125 \text{ MJ/año}$$

Luego, la energía térmica fue convertida a energía eléctrica utilizando la equivalencia:

$$1 \text{ MJ} = 0.2778 \text{ kWh}$$

Obteniéndose:

$$10603125 \times 0.2778 = 2945548.125 \text{ kWh/año}$$

Finalmente, considerando una eficiencia global del sistema gasificador–motor–generador del 21 %, la energía eléctrica útil generada fue:

$$2945548.125 \times 0.22 = 662748.3281 \text{ kWh/año}$$

Con ello, se verificó que la cascarilla de arroz disponible posee suficiente potencial energético para contribuir al abastecimiento eléctrico de la minicentral termoeléctrica propuesta.

2.6.3. Realizar el dimensionamiento de una minicentral termoeléctrica considerando los subsistemas de recepción, almacenamiento y dosificación, reactor de conversión, enfriamiento y limpieza de gas.

Para el dimensionamiento de la minicentral termoeléctrica propuesta para NEGOCIACIONES PADILLA S.A.C., se desarrolló un procedimiento técnico basado en el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz mediante un sistema compuesto por reactor de gasificación tipo downdraft, sistema de enfriamiento y limpieza de gas, motor de combustión interna y generador eléctrico con capacidad neta de generación de 22 kW. Asimismo, se consideró una producción anual de entre 180 000 y 210 000 sacos de arroz pilado, utilizando únicamente el 15 % de la biomasa generada para el funcionamiento del sistema termoeléctrico.

Inicialmente, se determinó la producción diaria promedio de 97.95 sacos/día con un peso de 25 kg por saco y una jornada de operación de 16 h/día, permitiendo calcular la masa de biomasa disponible, flujos horarios y capacidad de almacenamiento requeridos para el sistema.

Posteriormente, se dimensionó el subsistema de recepción y almacenamiento considerando la densidad aparente de la cascarilla de arroz reportada por la Food and Agriculture Organization entre 100 kg/m³ y 140 kg/m³. Asimismo, se diseñó una tolva tipo tronco de pirámide cuadrada con

base superior de 2.9 m, base inferior de 1 m y altura de 1.5 m, calculándose el volumen útil, área superficial y carga estructural del sistema.

Para el sistema de dosificación y transporte se seleccionó un tornillo sinfín de 200 mm de diámetro, de acuerdo con criterios establecidos en ISO 7119:1981, DIN 15262 y CEMA Standard 350 para materiales livianos de baja densidad. Además, se calcularon la velocidad de giro, capacidad volumétrica, capacidad másica y potencia requerida del motor, obteniéndose un motor recomendado de 0.60 HP para garantizar el transporte continuo de biomasa hacia el reactor de gasificación.

Asimismo, se dimensionó el reactor de conversión tipo downdraft considerando el consumo de biomasa, la producción de gas de síntesis, relación aire-combustible, eficiencia térmica y temperatura de operación del sistema gasificador-motor-generator. Para el cálculo energético se utilizó un Poder Calorífico Inferior (PCI) promedio de 14.5 MJ/kg para la cascarilla de arroz, valor reportado en ASTM D5865, International Organization for Standardization ISO 18125 y estudios técnicos de biomasa.

Posteriormente, se diseñó el sistema de enfriamiento y limpieza de gas mediante el cálculo del caudal de aire, velocidad de captación, área filtrante y pérdidas de presión, aplicando criterios establecidos en ASHRAE, AMCA Standard 205 e ISO 16890. Además, se seleccionó un ventilador centrífugo radial debido a la alta abrasividad de la cascarilla de arroz por su contenido de sílice.

Finalmente, los resultados obtenidos permitieron establecer las capacidades operativas, dimensiones y parámetros de funcionamiento de cada subsistema de la minicentral termoeléctrica, garantizando condiciones adecuadas de operación, eficiencia energética, continuidad de suministro y viabilidad técnica para el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz.

2.6.4. Seleccionar los componentes del equipamiento de la minicentral termoeléctrica para los subsistemas de recepción, almacenamiento, dosificación, reactor de conversión, enfriamiento y limpieza de gas.

La selección de los componentes del equipamiento de la minicentral termoeléctrica de 22 kW se realizó considerando la demanda energética de la empresa, el flujo de cascarilla de arroz disponible y las condiciones de operación del sistema de gasificación. Asimismo, se emplearon normas técnicas, manuales de fabricantes y criterios de diseño mecánico, térmico y eléctrico para garantizar seguridad, eficiencia y operación continua.

Para el subsistema de recepción se seleccionó una tolva metálica fabricada en acero ASTM A36 y un tornillo sinfín de 200 mm de diámetro para transportar aproximadamente 200 kg/h de biomasa. La selección se realizó aplicando recomendaciones de ISO 7119:1981, DIN 15262 y CEMA Standard 350 para materiales ligeros de baja densidad.

En el subsistema de almacenamiento se seleccionaron silos metálicos con ventilación y descarga gravitacional, considerando densidades de cascarilla entre 100 y 140 kg/m³ reportadas por la FAO, con la finalidad de evitar acumulación de humedad y asegurar un flujo continuo de biomasa.

Para el subsistema de dosificación se seleccionó un sistema de alimentación mediante tornillo dosificador y válvulas herméticas, permitiendo controlar el suministro uniforme de biomasa hacia el reactor y evitar el ingreso excesivo de aire al sistema de gasificación.

En el reactor de conversión se seleccionó un gasificador tipo downdraft debido a su menor generación de alquitrán y mayor compatibilidad con motores de combustión interna. Además, se consideraron parámetros como poder calorífico, relación aire-combustible y temperaturas superiores a 800 °C, utilizando revestimiento refractario resistente a altas temperaturas.

Para el subsistema de enfriamiento se seleccionó un intercambiador de calor y ventiladores centrífugos, tomando como referencia la normativa AMCA Standard 205 para garantizar eficiencia y operación continua.

Finalmente, en el subsistema de limpieza de gas se seleccionaron filtros de mangas y ventiladores centrífugos radiales para remover partículas y cenizas del gas de síntesis. La selección se realizó aplicando criterios del manual Industrial Ventilation y recomendaciones de fabricantes como Donaldson, WAM Group y Dustex para sistemas de biomasa agrícola.

2.6.5. Evaluar la viabilidad económica de la minicentral termoeléctrica en la empresa Negociaciones Padilla S.A.C. ubicada en Jaén – Cajamarca

La evaluación económica de la minicentral termoeléctrica de 22 kW se realizó considerando la inversión total, costos operativos, generación anual de energía y los indicadores financieros del proyecto. La inversión total del proyecto fue de S/ 433,300, incluyendo sistemas, mano de obra e instalación.

La energía generada anualmente se calculó considerando una potencia de 22 kW, 16 horas de operación diaria y 365 días al año:

$$E = 22kW \times \frac{16h}{d} \times \frac{365d}{año} = 128,480 kWh/año$$

Para el análisis se consideró un precio referencial de S/ 0.90/kWh para centrales termoeléctricas de biomasa, según la International Renewable Energy Agency, obteniéndose ingresos anuales de:

$$Ingreso = 128,480 \times 0.9 \approx 115,632 S/año$$

Asimismo, los costos operativos anuales por operación, mantenimiento y combustible fueron de aproximadamente S/ 63,641/año, obteniéndose un flujo neto anual de:

$$Flujo\ neto = 115,632 - 63,703 = 51,929 S/año$$

Posteriormente, se evaluaron los indicadores financieros considerando una vida útil de 20 años y una tasa de descuento del 10 %.

El Valor Actual Neto (VAN) obtenido fue:

$$VAN = S/ 8,823.506$$

La Tasa Interna de Retorno (TIR) calculada fue:

$$TIR \approx 10.3\%$$

Finalmente, la Relación Beneficio/Costo fue:

$$B/C = 1.01$$

Con estos resultados se concluyó que la minicentral termoeléctrica es económicamente viable, debido a que presenta un VAN positivo, una TIR superior a la tasa de descuento y una relación beneficio/costo mayor a 1.

RESULTADOS

3.1. Consumo energético actual de la empresa Negociaciones Padilla S.A.C.

La planta procesadora de arroz “Negociaciones Padilla S.A.C.”, cuenta con un suministro eléctrico, proporcionado por Electro Oriente S.A. con las características que indicadas en el siguiente cuadro:

3.1.1. Consumo energético.

En la tabla 1, nos dicen que los datos proporcionados, el suministro eléctrico para la tarifa MT2 corresponde a un servicio en media tensión de 22.9 kV distribuido a través del SED N241509. Se trata de un servicio trifásico y aéreo, con medición realizada a través de un medidor de la serie A2415. La modalidad de contratación es de potencia variable, lo que implica flexibilidad en la demanda de energía. Está destinado a un cliente mayorista, generalmente de alto consumo y cuenta con cuatro hilos de referencia. Esta configuración es común en negocios o industrias con importantes necesidades energéticas.

Tabla 1 Suministro eléctrico

Tarifa	MT2
Medición	Media Tensión
Tensión y SED	22.9 kV / N241509
Tipo de suministro	Trifásico-Aéreo
Serie del medidor	A2415
Nº de hilos	4
Modalidad	Potencia variable
Calificación	Cliente Mayor

Fuente: “Negociaciones Padilla S.A.C.”

3.1.2. Consumo energético del periodo 2024-2025.

En la tabla 2, es el consumo energético anual promedio es 47 668.25 kWh en horario fuera de punta (EAFP), que representa el 93,1% de la energía total consumida. En contraste, el consumo en horario punta (EAHP) es de 3523.83 kWh, apenas el 6.9%. la demanda máxima refleja una distribución similar: la MDFP (203.17 kW) es 5,5 veces mayor que la MDHP (36.75 kW).

Tabla 2. Consumo energético periodo 2024-2025

	2024								2025				PROMEDIO
	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	TOTAL
EAHP (kWh)	4434	4451	3847	4463	3410	3169	3298	2773	3056	3522	3205	2658	3523.83
EAFP (kWh)	52254	52936	52220	53465	48136	43947	47282	44763	48677	50763	47261	30315	47668.25
MDHP (kW)	38	38	43	38	42	32	34	34	34	34	35	39	36.75
MDFP (kW)	212	223	221	209	206	205	191	194	196	196	198	187	203.17
ER Soles (S/)	38955	34546	27097	27984	26477	24894	27447	26543	26943	28438	26790	17707	27818.42

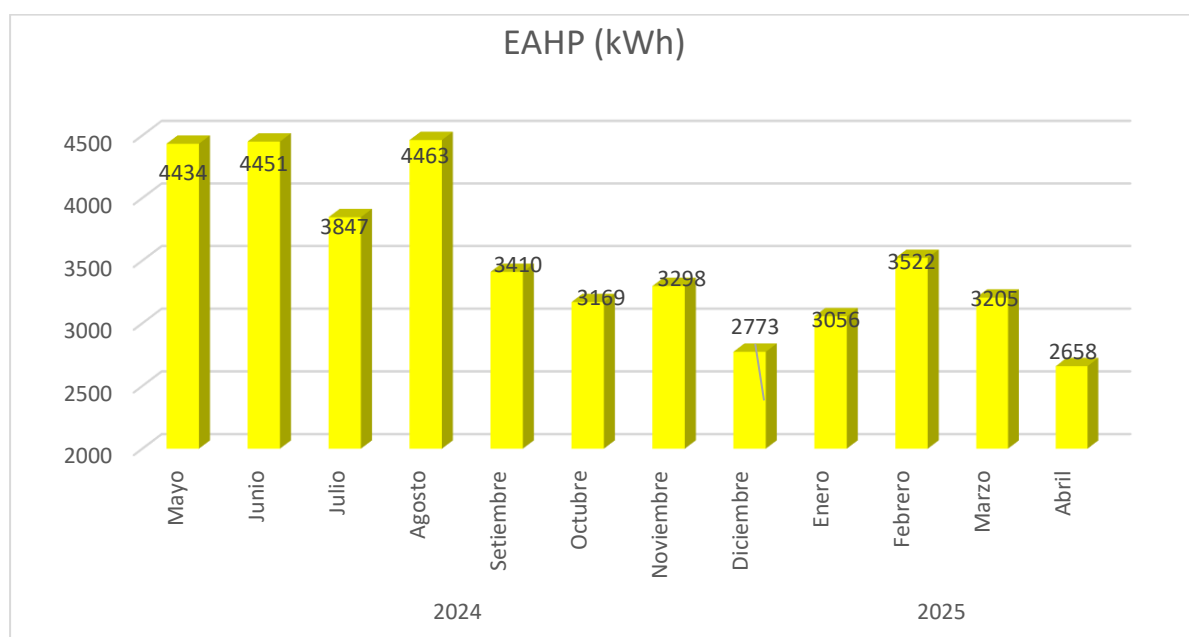
Fuente: “Negociaciones Padilla S.A.C.”

Este perfil, en que el 93% del consumo se produce en horas de tarifa más baja, indica una excelente gestión de la demanda, que optimiza costes al concentrar las operaciones intensivas en horarios en los que el precio de la energía es más bajo.

Se presentará los diagramas de manera independiente para su mayor comprensión y detallar valores dentro del año 2024 e inicios del 2025:

3.1.3. Energía activa en horas puntas del periodo 2024-2025

Figura 2. Energía activa en hora punta (EAHP)

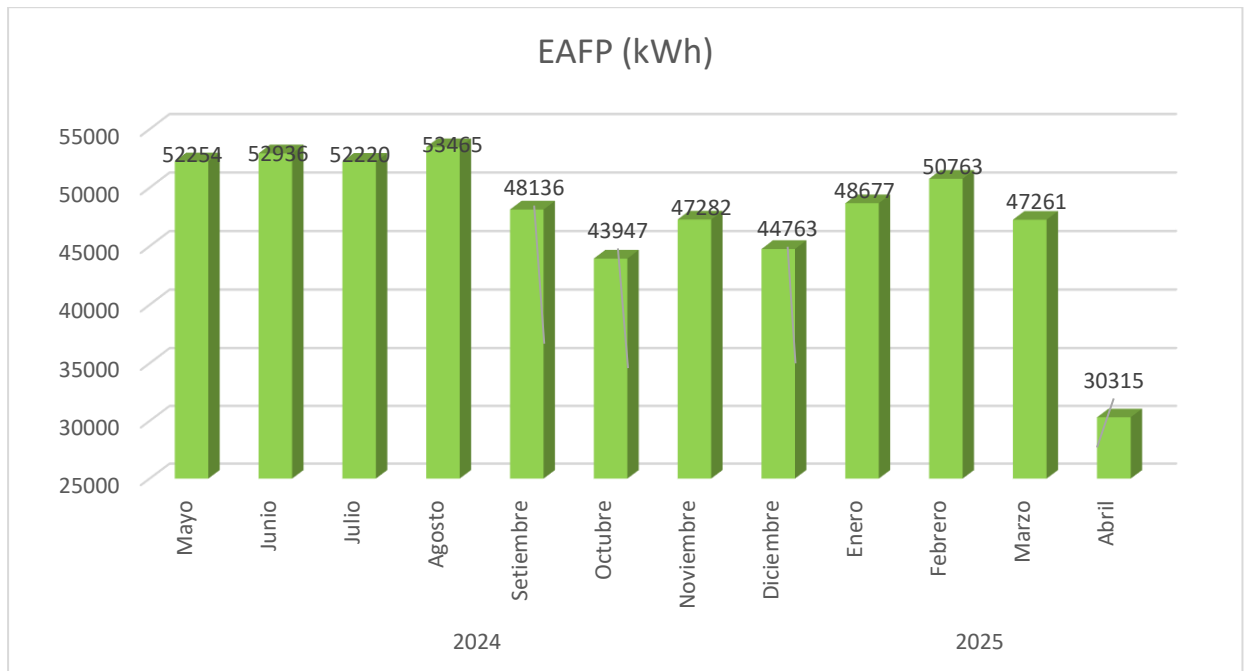


Fuente: “Negociaciones Padilla S.A.C.”

En la figura 2, la evolución mensual del consumo de energía activa en horas punta (EAHP), que representa solo el 6,9 % del total de energía consumida. Con un promedio de 3524 kWh, este consumo es relativamente bajo y estable, aunque presenta variaciones estacionales. Se observa un pico en agosto (4463 kWh) y valores mínimos en abril (2658 kWh), lo que evidencia una posible reducción progresiva de la actividad en los horarios con tarifa máxima. Este patrón confirma la eficacia de la estrategia de la empresa para minimizar las operaciones en horas punta y optimizar significativamente sus costes eléctricos.

3.1.4. Energía activa en horas fuera de punta del periodo 2024-2025.

Figura 3. Energía activa en horas fuera de punta.

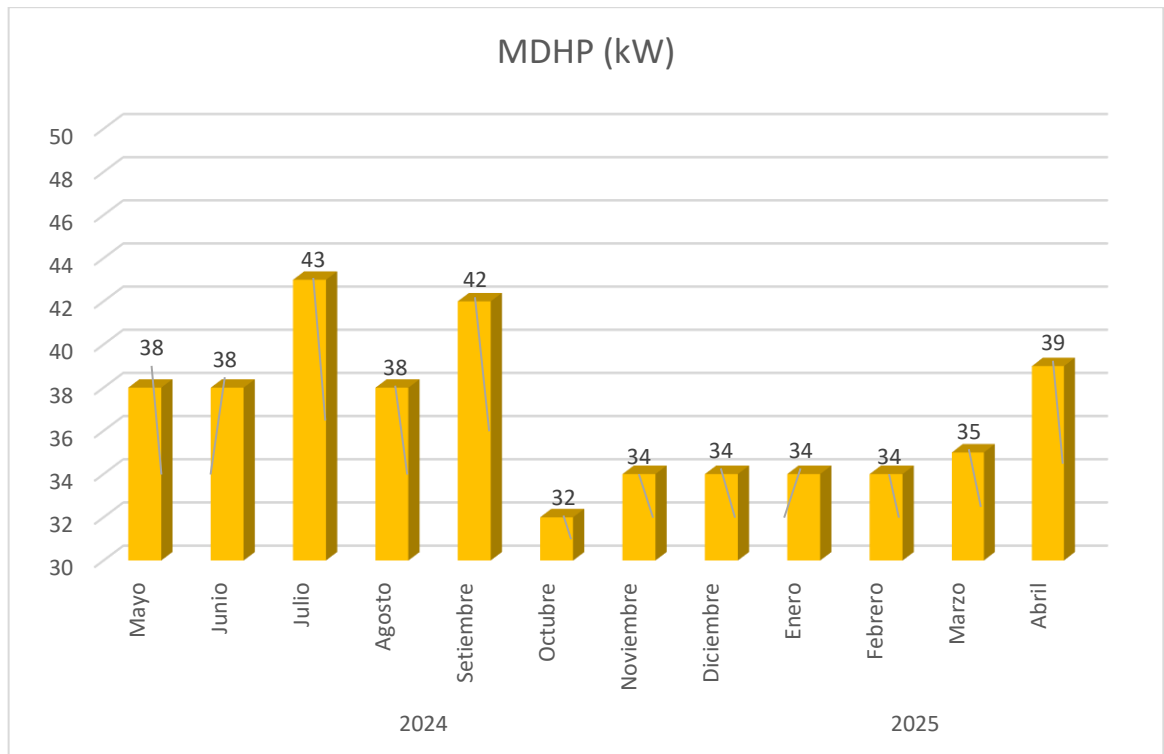


Fuente: “Negociaciones Padilla S.A.C.”

En la figura 3, representa el consumo de energía activa en horas fuera de punta (EAFP), que constituye la abrumadora mayoría (93,1%) del total de energía utilizada. Con un promedio de 47 668kWh, este consumo es consistentemente alto, lo que refleja que las operaciones productivas principales se programan deliberadamente en los periodos de tarifa más económica. Se observa una notable estabilidad a lo largo del año, con valores que rondan los 50 000 kWh, seguida de una pronunciada caída en abril (30 315 kWh). Este patrón confirma la estrategia de la empresa de concentrar su consumo intensivo en horarios de menor coste para maximizar la eficiencia operativa y financiera.

3.1.5. Máxima demanda en hora punta del periodo 2024-2025

Figura 4. Máxima demanda en hora punta.

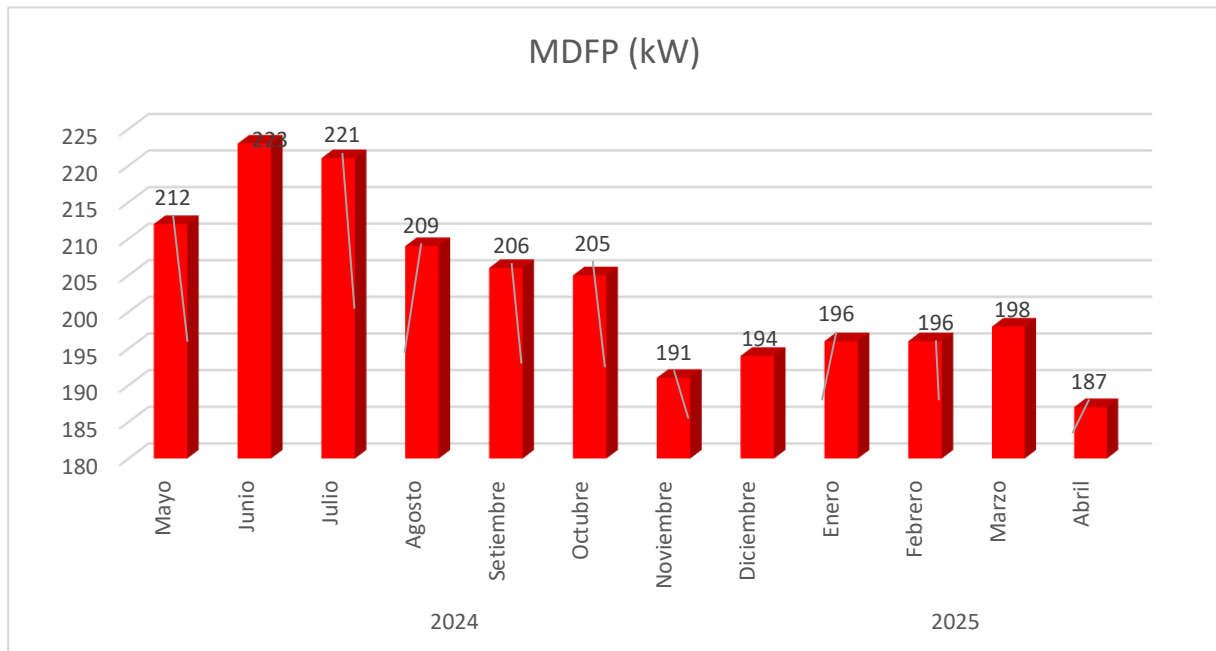


Fuente: “Negociaciones Padilla S.A.C.”

En la figura 4, representa la evolución mensual de la Máxima Demanda en Horas Punta (MDHP) entre mayo de 2024 y abril de 2025, que representa el mayor consumo de energía eléctrica registrado en una hora dentro de cada mes, muestra un comportamiento variable con picos en julio (43 kW) y septiembre (42 kW), que reflejan una mayor demanda de energía en esos meses. En contraste, el valor más bajo se registró en octubre (32 kW). Estos datos son útiles para analizar la eficiencia energética, planificar la capacidad de suministro del sistema y gestionar la demanda eléctrica.

3.1.6. Máxima demanda en horas fuera de punta del periodo 2024-2025

Figura 5. Máxima demanda en horas fuera de punta.

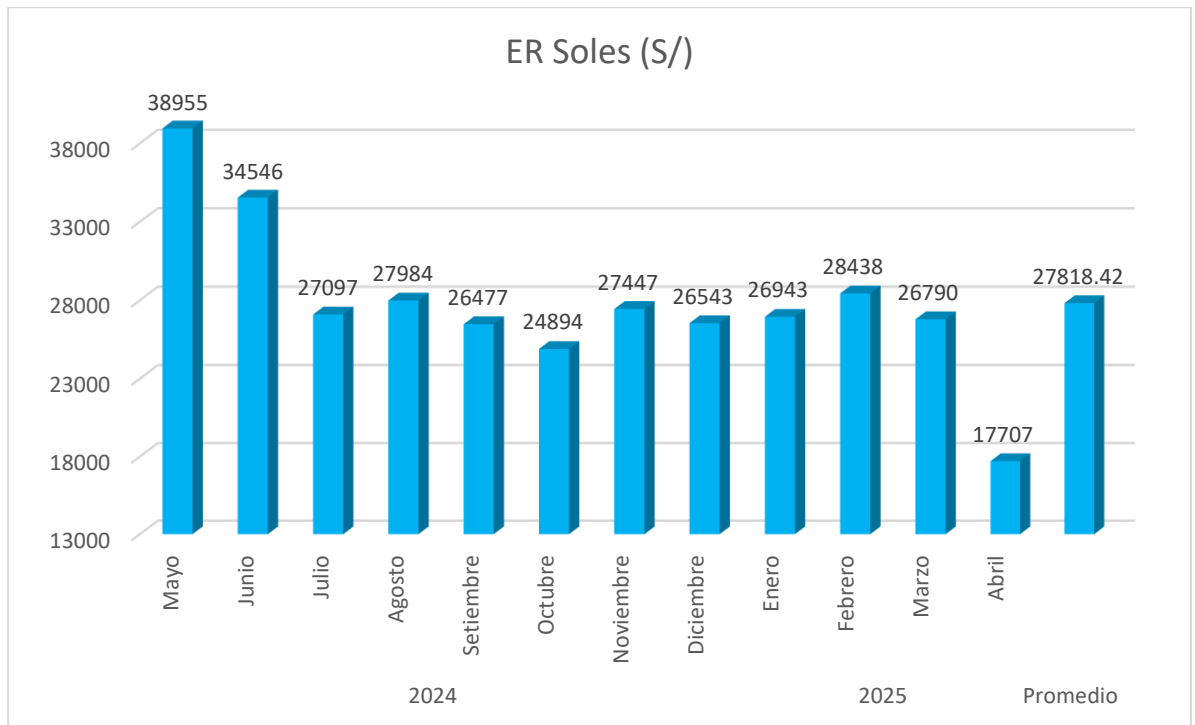


Fuente: “Negociaciones Padilla S.A.C.”

En la figura 5, representa la máxima demanda en horas fuera de punta (MDFP) en kilovatios (kW) registrada mensualmente entre mayo de 2024 y abril de 2025. La MDFP refleja el nivel máximo de potencia sostenida que requiere un sistema eléctrico durante un periodo determinado, lo que indica la carga de consumo estable. Se observa un valor máximo en junio (223 kW) y un descenso progresivo hasta abril (187 kW), lo que evidencia una reducción gradual de la demanda. Este comportamiento permite analizar la eficiencia operativa, planificar la capacidad instalada y optimizar la gestión del consumo eléctrico en función de las variaciones estacionales de la actividad.

3.1.7. Energía reactiva del periodo 2024-2025

Figura 6. Energía reactiva.



Fuente: “Negociaciones Padilla S.A.C.”

En la figura 6, presenta la evolución mensual del costo de energía reactiva (ER) valorada en soles(S/) durante el periodo mayo 2024-abril 2025, costo asociado al pago del consumo de energía reactiva que se genera cuando hay cargas inductivas o capacitivas en el sistema eléctrico. Se tiene un valor máximo en mayo (S/ 38 955) y un mínimo en abril (S/ 17 707), con un promedio general de S/ 27,818.42. La tendencia de descenso evidenciada en el gráfico sugiere que se ha mejorado la eficiencia en el uso energético que se está costando, posiblemente por una mejora en la compensación del factor de potencia o la optimización de la operación del sistema.

3.1.8. Promedio del consumo energético del periodo 2024-2025

En la tabla 3, se muestra el consumo energético mensual promedio de la empresa Negociaciones Padilla S. A. C. durante el período 2024-2025. El consumo total mensual oscila entre 32 973 kWh y 57 928 kWh, con un promedio total de 51 192,08 kWh. Gran parte de la energía corresponde al consumo en horas fuera de punta, con valores mensuales superiores a 47 000 kWh, mientras que el consumo en horas punta representa una fracción menor, entre 3500 y 4000 kWh. Este comportamiento indica que la gestión de la demanda eléctrica es adecuada, ya que se opera en horarios de menor coste y se reduce el impacto económico del consumo durante las horas de tarifa alta.

Tabla 3. Promedio consumo energético

MES Y AÑO	EAHP (kWh)	EAFP (kWh)	TOTAL, MENSUAL (kWh)
May-24	4434	52254	56688
Jun-24	4451	52936	57387
Jul-24	3847	52220	56067
Ago-24	4463	53465	57928
Set-24	3410	48136	51546
Oct-24	3169	43947	47116
Nov-24	3298	47282	50580
Dic-24	2773	44763	47536
Ene-25	3056	48677	51733
Feb-25	3522	50763	54285
Mar-25	3205	47261	50466
Abr-25	2658	30315	32973
PROMEDIO			51192.08

Fuente: “Negociaciones Padilla S.A.C.”

3.2. Determinar el valor energético de la producción de la cascarilla de arroz.

3.2.1. Producción de cascarilla de arroz del periodo 2025

En la tabla 4, se detalla las proyecciones de producción de cascarilla de arroz de Negociaciones Padilla S. A. C. para 2025. Las proyecciones, expresadas en sacos, dan unos resultados de producción diaria de entre 589 y 653 sacos, mensual de entre 15 000 y 17 000 sacos, y anual de entre 180 000 y 210 000 sacos.

Tabla 4. Producción de cascarilla

Producción	Unidad	Cantidad
Diaria	sacos/día	589-653
Mensual	sacos/mes	15,000-17,000
Anual	sacos/año	180,000-210,000

Fuente: “Negociaciones Padilla S.A.C.”

3.2.2. Producción de cascarilla de arroz del periodo 2025 del 15%

En la tabla 5, se va trabajar solo el 15 % del flujo de cascarilla y el 85 % restante se comercializa externamente como biomasa para combustión. Esta decisión forma parte de una estrategia de gestión de excedentes, en la que la venta externa cumple una función clave al generar ingresos inmediatos y garantizar la disposición eficiente del subproducto. Sin embargo, esta misma distribución, al priorizar la comercialización masiva externa, condiciona la cadena de valorización. La alta dependencia de un solo canal limita la capacidad de procesamiento interno y crea un cuello de botella que restringe el desarrollo de alternativas con valor añadido dentro de la propia cadena productiva.

Tabla 5. 15% de producción 2025

Producción	Unidad	Cantidad
Diaria	sacos/día	88.35-97.95
Mensual	sacos/mes	2250-2550
Anual	sacos/año	27000-31500

Fuente: “Negociaciones Padilla S.A.C.”

Por último, el peso medio de un saco es de 25 kg, se procede a calcular el valor energético de la producción de cascarilla de arroz siguiendo estos pasos:

Paso 1: Calcular la masa de cascarilla:

Consiste en cuantificar la cantidad total de cascarilla de arroz producida en un año. Se obtiene multiplicando la cantidad de sacos generados anualmente por el peso medio de cada saco. El resultado, expresado en kilogramos o toneladas por año, representa la disponibilidad real de esta materia prima. Esta masa es el insumo fundamental para todos los cálculos energéticos posteriores y determina la escala potencial del proyecto. Sin una cuantificación precisa, es imposible evaluar la viabilidad del aprovechamiento energético de este residuo agroindustrial. La fórmula es la siguiente: (Sandoval, 2021)

$$M_{\text{anual}} = \text{N}^{\circ} \text{ de saco/año} \times \text{Peso por saco}$$

Como dato de la tabla 5 utilizamos el promedio de producción anual igual a 29,250 sacos/año y reemplazamos en la fórmula:

$$M_{\text{anual}} = 29250 \frac{\text{sacos}}{\text{año}} \times 25 \text{ kg}$$

$$M_{\text{anual}} = 731250 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

$$M_{\text{anual}} = 731.25 \frac{t}{\text{año}}$$

Paso 2: Hallar el Poder Calorífico Inferior (PCI):

El PCI es la cantidad máxima de energía calorífica que se puede liberar durante la combustión completa de un kilogramo de combustible, excluyendo el calor latente de vaporización del agua presente en los productos de la combustión. En el caso de la biomasa, como la cascarilla de arroz, este es el valor más representativo. Se expresa en MJ/kg o kcal/kg y depende de la composición química y la humedad del material. Este parámetro define la «calidad» energética del combustible y es crucial para calcular el potencial

térmico total. El valor está en un rango de 13-16 MJ/kg. (Zambrano, Macía, Palacios, & Cedeño, 2021)

En la investigación se aplicó lo siguiente promedio aritmético:

$$\begin{aligned} \text{PCI} &= \frac{13 + 16}{2} \\ \text{PCI} &= \frac{29}{2} \\ \text{PCI} &= 14,5 \text{ MJ/kg} \end{aligned}$$

Paso3: Calcular la energía térmica total disponible:

Este cálculo determina la energía bruta contenida en la masa anual de cascarilla. Se realiza multiplicando la masa total de cascarilla por su poder calorífico inferior (PCI). El resultado, expresado en MJ/año, representa la cantidad total de calor que teóricamente podría liberarse si se quemara todo el recurso disponible anualmente. Esta cifra constituye el valor energético primario del residuo y es el punto de partida para diseñar el sistema de conversión de energía, ya que establece el límite máximo de aprovechamiento posible. La fórmula es la siguiente: (Escobedo & Calderón, 2023)

$$E_{\text{termica}} = M_{\text{anual}} \times \text{PCI} \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

M_{anual} = la masa de la cascarilla

PCI = Poder calorífico inferior

En la investigación se aplicó lo siguiente:

$$\begin{aligned} E_{\text{termica}} &= 731250 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \times 14,5 \text{ MJ/kg} \\ E_{\text{termica}} &= 10603125 \frac{\text{MJ}}{\text{año}} \end{aligned}$$

3.2.3. Convertir a unidades eléctricas (kWh):

El proceso mencionado convierte la energía térmica total en megajulios (MJ) en kilovatios-hora (kWh), que es la unidad de medida utilizada para la energía eléctrica. ya que es necesario homogeneizar las unidades para poder comparar directamente la energía que se puede llegar a producir con el mismo consumo eléctrico de la empresa, que por lo general se mide y se factura en kWh, con el fin de realizar un análisis técnico-económico coherente. La fórmula es la siguiente: (Sandoval, 2021)

$$P_{(w)} = \frac{E_{(J)}}{t_{(s)}} \dots \dots \dots (2)$$

$$E_{(J)} = P_{(w)} t_{(s)}$$

$$1J = 1w * 1s$$

$$1J = 1ws$$

De Ws a Wh:

$$1J = 1ws * \left(\frac{1h}{3600s}\right)$$

$$1J = 0.0002778 Wh$$

$$1MJ = 0.2778 kWh$$

Se aplicó lo siguiente:

$$1MJ = 0.2778 kWh$$

$$10603125 \frac{MJ}{año} = x$$

$$x = \frac{10603125 \frac{MJ}{año} * 0.2778 kWh}{1MJ}$$

$$E_{\text{eléctrica}} = x = 2945548.125 \frac{kWh}{año}$$

3.2.4. Aplicar eficiencia de conversión a electricidad:

Este concepto tiene en cuenta que ningún sistema de conversión de energía es 100% eficiente. La eficiencia (η) representa el porcentaje de energía térmica que puede transformarse efectivamente en electricidad útil. En los sistemas de gasificación y motor. El resultado es la electricidad neta realmente generable, una cifra realista muy inferior a la energía térmica disponible, lo cual es crucial para la viabilidad del proyecto. El valor está en un rango de 20-25%. (Sandoval, 2021)

En la investigación se aplicó lo siguiente promedio aritmético:

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{20\% + 25\%}{2} \\ \eta &= \frac{45\%}{2} \\ \eta &= 22,5\%\end{aligned}$$

Entonces:

$$\begin{aligned}E_{\text{eléctrica}} &= 2,945,548.125 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \times (0.225) \\ E_{\text{eléctrica}} &= 662,748.3281 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}\end{aligned}$$

3.2.5. Comparar con la demanda de la empresa:

La compañía ofrece un consumo medio de energía eléctrica de 51,192 kWh al mes, lo que se traduce en un consumo total estimado de 614,304 kWh al año. Este dato muestra la demanda energética mantenida de las operaciones a lo largo del año y permite realizar una referencia para el análisis de eficiencia y la planificación energética. Conocer este consumo anual es importante para evaluar el rendimiento energético, identificar oportunidades de ahorro y optimizar el uso de la electricidad en las diferentes áreas de la empresa.

3.2.6. Verificar suficiencia energética:

La compañía ofrece un consumo medio de energía eléctrica de 51,192 kWh al mes, lo que se traduce en un consumo total estimado de 614,304 kWh al año. Este dato muestra la

demanda energética mantenida de las operaciones a lo largo del año y permite realizar una referencia para el análisis de eficiencia y la planificación energética. Conocer este consumo anual es importante para evaluar el rendimiento energético, identificar oportunidades de ahorro y optimizar el uso de la electricidad en las diferentes áreas de la empresa. La fórmula es la siguiente: (Zhovkva, 2020)

$$\text{Suficiencia} = \frac{E_{\text{disponible}}}{D_{\text{anual}}} \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

$E_{\text{disponible}}$ = Energía eléctrica disponible

D_{anual} = Demanda anual de energía eléctrica

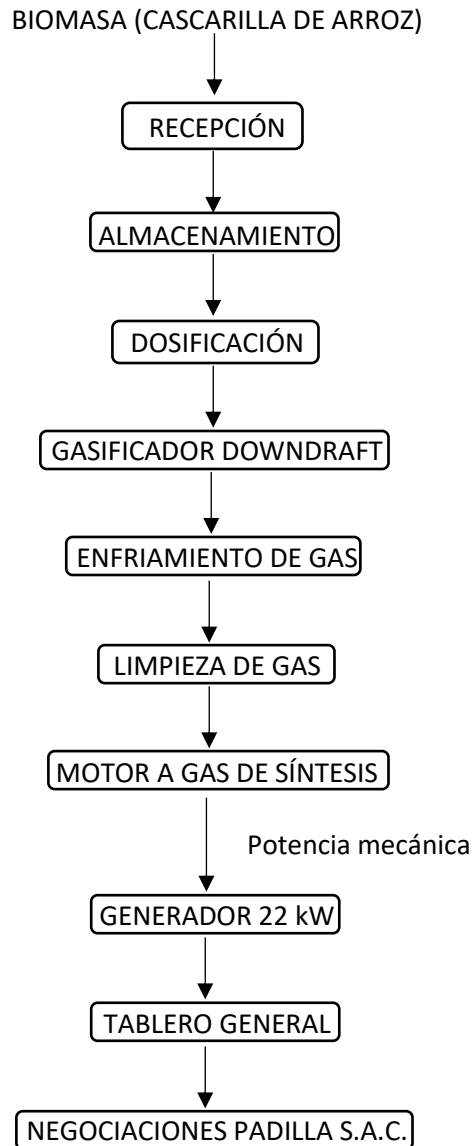
En la investigación se aplicó lo siguiente:

$$\text{Suficiencia} = \frac{662,748.3281 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}}{614,304 \text{ kWh/año}}$$

$$\text{Suficiencia} = 1.08$$

La evaluación confirma que la viabilidad técnica es adecuada: desde el punto de vista eléctrico, la cascarilla tiene una suficiencia de 1.08 veces la demanda anual de la empresa. El proyecto tiene un enfoque que va más allá del ahorro de costes, ya que pretende sentar las bases para la sostenibilidad y generar ingresos complementarios para la empresa.

3.3. Dimensionamiento de una minicentral termoeléctrica considerando los subsistemas de recepción, almacenamiento y dosificación, reactor de conversión, enfriamiento y limpieza de gas.



3.3.1. Subsistemas de recepción

Se tienen los siguientes datos:

- Producción es de 97.95 sacos/día
- Peso por saco es de 25 kg
- Jornada de 16 h/día

3.3.1.1. Producción diaria

$$M_{\text{diaria}} = N^{\circ} \text{ de sacos} \times \text{Peso por saco} \dots\dots\dots (4)$$

$$M_{\text{diaria}} = 97.95 \frac{\text{sacos}}{\text{día}} \times 25 \text{ kg}$$

$$M_{\text{diaria}} = 2448.75 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

3.3.1.2. Flujos Horarios

$$\text{Flujo normal (kg/h)} = \frac{\text{Masa diaria}}{\text{Horas de trabajo}} \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{Flujo normal (kg/h)} = \frac{2448.75 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{16 \text{ h/día}}$$

$$\text{Flujo normal} \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) = 153.04 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\text{Flujo máximo de diseño: } 200 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

3.3.1.3. Volúmenes de Diseño

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura (FAO) nos dice que reporta densidades entre 100-140 kg/m³ para cascarilla suelta:

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Masa}}{\text{Densidad}} \dots\dots\dots (6)$$

Para hallar el volumen de diseño:

- Primero, se calcula el volumen diario:

$$\text{Volumen} = \frac{2448.75 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{120 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen} = 20.40 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

- Segundo, se calcula el volumen horario:

$$\text{Volumen} = \frac{153.04 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{120 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen} = 1.28 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

3.3.1.4. Cálculos estructurales de tolva

Se tiene como lo siguientes datos:

- Base superior: 2.9 m

- Base interior: 1 m
- Altura: 1.5 m
- Espesor de la plancha: ¼”
- Peso del acero por m^2 : $20.1 \frac{kg}{m^2}$

a) Cálculo de Volumen Real

Siendo la tolva un tronco de pirámide cuadrada:

$$V = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2}) \dots \dots \dots (7)$$

Donde:

A_1 = Área mayor.

A_2 = Área menor.

h =Altura.

Siendo el área mayor y menor un cuadrado se aplica la fórmula del lado al cuadrado.

$$A_1 = (2.9)^2 = 8.41 \text{ m}^2$$

$$A_2 = (1)^2 = 1 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{1.5}{3} (8.41 + 1 + \sqrt{(8.41) (1)})$$

$$V = 0.5 (8.41 + 1 + 2.9)$$

$$V = 6.15 \text{ m}^3$$

b) Cálculo de Peso de Tolva Llena

$$Masa_{materail} = \text{Volumen} \times \text{Densidad} \dots \dots \dots (8)$$

$$Masa_{materail} = 6.15 \text{ m}^3 \times 120 \text{ kg/m}^3$$

$$Masa_{materail} = 738 \text{ kg}$$

$$Masa_{estrucutra} = \text{Área} \times \text{masa por m}^2$$

Se calcula el área superficial:

Paso 1: Diferencia de semilados cálculo de la apotema

$$\Delta = \frac{L_1 - L_2}{2} \dots\dots\dots (9)$$

Donde:

L_1 = Lado superior.

L_2 = Lado inferior.

$$\Delta = \frac{2.9 \text{ m} - 1 \text{ m}}{2}$$

$$\Delta = 0.95 \text{ m}$$

Paso 2: Cálculo de la apotema

$$a = \sqrt{h^2 + \Delta^2} \dots\dots\dots (10)$$

$$a = \sqrt{(1.5)^2 + (0.95)^2}$$

$$a = 1.776 \text{ m}$$

Paso 3: Área de una Cara Lateral

$$A_{\text{cara}} = \frac{L_1 + L_2}{2} \times (a) \dots\dots\dots (11)$$

Donde:

L_1 = Lado superior.

L_2 = Lado inferior.

a = Apotema.

$$A_{\text{cara}} = \frac{2.9 + 1.0}{2} \times (1.776)$$

$$A_{\text{cara}} = 1.95 \times (1.776)$$

$$A_{\text{cara}} = 3.46 \text{ m}^2$$

Paso 4: Área Total de las Cuatro Caras Laterales

$$A_{\text{laterales}} = 4 \times A_{\text{cara}} \dots\dots\dots (12)$$

Donde:

A_{cara} = Área de una Cara Lateral

$$A_{\text{laterales}} = 4 \times 3.46 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{laterales}} = 13.84 \text{ m}^2$$

Paso 5: Área Superficial Total

$$A_T = A_1 + A_2 + A_{\text{laterales}} \dots \dots \dots (13)$$

Donde:

A_1 = Área mayor.

A_2 = Área menor.

$A_{\text{laterales}}$ = Área Total de las Cuatro Caras Laterales.

$$A_T = 8.41 \text{ m}^2 + 1 \text{ m}^2 + 13.84 \text{ m}^2$$

$$A_T = 23.25 \text{ m}^2$$

$$Masa_{\text{estructura}} = 23.25 \text{ m}^2 \times 20.1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$Masa_{\text{estructura}} = 467.32 \text{ kg}$$

Masa total:

$$467.32 \text{ kg} + 738 \text{ kg}$$

$$\mathbf{1205.32 \text{ kg}}$$

3.3.1.5. Cálculos de sistema de transporte

a) Tornillo Sinfín – Capacidad

Paso 1: Selección del diámetro del tornillo

Según el fabricante como SICON nos dice que:

De acuerdo con el catálogo técnico SICON y considerando una capacidad transporte de 200 kg/h para la cascarilla de arroz se seleccionó un tornillo sin fin de 200 mm ya que dicho valor se encuentra dentro del rango recomendado para materiales livianos de baja densidad.

Tabla 6. Diámetro del tornillo

CAPACIDAD	DIÁMETRO RECOMENDADO
100–300 kg/h	50–200 mm
300–500 kg/h	200–250 mm

Fuente: sicon.

Paso 2: Selección del paso del tornillo

El paso del tornillo sinfín es un parámetro fundamental que influye directamente en la capacidad de transporte, la estabilidad del flujo de material y la eficiencia del sistema de alimentación. Para materiales de baja densidad aparente como la cascarilla de arroz, las normas técnicas recomiendan utilizar relaciones paso-diámetro (p/D) específicas que permitan un transporte uniforme, evitando atascamientos, compactación excesiva o alimentación irregular hacia el reactor de gasificación.

Tabla 7. Selección de paso

Fuente	Tipo	Densidad	p/D
Normativa	Material	(kg/m ³)	Recomendado
ISO	Materiales		
7119:1981	ligeros	< 400	0.8 - 1.0
ISO	Materiales		
7119:1981	medios	400 - 800	0.5 - 0.8
DIN	Biomasa		
15262	liviana	< 500	0.8 - 1.0
CEMA	Grupo B		0.75 -
Standard 350	(cascarilla)	100 - 400	1.0
WAM	Materiales		
Group Manual	ligeros	< 400	0.8 - 1.0
Martin			0.75 -
Sprocket Guide	Rice Hulls	120 - 180	1.0

Fuente: elaboración propia.

Para la investigación es de 0.75 quiere decir:

$$\frac{p}{D} = 0.75$$

Donde:

p= Paso del tornillo.

D= Diámetro.

$$\frac{p}{200} = 0.75$$

$$p = 0.75 \times (200)$$

$$p = 150 \text{ mm}$$

Paso 3: Cálculo de la velocidad de giro

Primero, hallamos el área transversal:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \dots\dots\dots (14)$$

Donde:

D= Diámetro.

$$A = \frac{\pi \times (0.2)^2}{4}$$

$$A = 0.0314 \text{ m}^2$$

Segundo, hallamos el volumen transportado:

$$V_{\text{rev}} = A \times p \dots\dots\dots (15)$$

Donde:

A= Área transversal.

p= Paso del tornillo.

$$V_{\text{rev}} = 0.0314 \text{ m}^2 \times (0.15)$$

$$V_{\text{rev}} = 0.00471 \text{ m}^3/\text{rev}$$

Ultimo, hallamos la velocidad para transportar el caudal:

$$N = \frac{Q_v}{V_{rev}} \dots \dots \dots (16)$$

Donde:

V_{rev} = Volumen transportado.

Q_v = Caudal volumétrico.

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Q_v = \frac{Q_v}{p} \dots \dots \dots (17)$$

Donde:

Q_v = Caudal masico

p = Paso del tornillo.

$$Q_v = \frac{200 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{120 \text{ kg/m}^3}$$

$$Q_v = 1.66 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$N = \frac{1.66 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{0.00471 \text{ m}^3/\text{rev}}$$

$$N = 352.44 \text{ rev/h}$$

$$N = 5.87 \text{ RPM}$$

Paso 4: Corrección de la velocidad real de trabajo

Según la norma CEMA STANDARD 350-2019, en la Sección 4.4.1: “Minimum Operating Speeds” se recomienda una velocidad para materiales livianos de 15-30 RPM.

En la investigación utilizaremos 30 RPM

Paso 5: Volumen por revolución

$$V_{rev} = \pi \times \frac{D^2}{4} \times p \dots \dots \dots (18)$$

Donde:

D = Diámetro.

p = Paso del tornillo.

$$V_{rev} = \pi \times \frac{(0.2)^2}{4} \times (0.15)$$

$$V_{rev} = 0.00471 \text{ m}^3$$

Paso 6: Capacidad volumétrica

$$Q_v = V_{rev} \times N \times 60 \dots \dots \dots (19)$$

Donde:

V_{rev} = Volumen por revolución.

N = RPM adecuado.

$$Q_v = V_{rev} \times N \times 60$$

$$Q_v = 0.00471 \text{ m}^3 \times 30 \text{ RPM} \times 60$$

$$Q_v = 8.478 \text{ m}^3/\text{h}$$

Paso 7: Capacidad másica

$$Q_m = Q_v \cdot \rho \dots \dots \dots (20)$$

Donde:

Q_v = Capacidad volumétrica.

ρ = Densidad de la cascarilla de arroz.

$$Q_m = 8.478 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot (120 \text{ kg/m}^3)$$

$$Q_m = 1017.36 \text{ kg/h}$$

b) Potencia requerida del tornillo sinfín

$$P = \frac{C \times L \times F \times f}{6120 \times \eta} \dots \dots \dots (21)$$

Donde:

C = Capacidad transportada.

L = Longitud.

F = Factor de material.

f = Factor de fricción.

η = Eficiencia.

En la investigación la longitud del tornillo sinfín influye directamente en la potencia requerida, la estabilidad mecánica y la eficiencia del transporte de biomasa. Para su selección se consideran la capacidad de transporte y el diámetro del tornillo, tomando como referencia las recomendaciones de fabricantes especializados en sistema de manejo de materiales.

Tabla 8. Longitud del tornillo

Martin Sprocket		
Capacidad (kg/h)	Diámetro (mm)	Longitud típica (m)
100-300	150-200	1.5-4.0

Para esta investigación el cálculo de la potencia del tornillo sinfín requiere la consideración de factores asociados a las características del material transportado, las pérdidas por fricción y el rendimiento mecánico del sistema.

Tabla 9. Factor y eficiencia del tornillo

Características	Normativas	Valor
Factor de material	Screw Conveyors Book No. 350	3-4
Factor de fricción	Martin Sprocket Design Manual	0.4-0.6
Eficiencia	SEW	0.85 – 0.90

$$P = \frac{200 \times 3 \times 4 \times (0.6)}{6120 \times (0.90)}$$

$$P = 0.261 \text{ kW}$$

Motor recomendado por un factor de servicio de 1.7:

$$P = 0.261 \text{ kW} \times (1.7)$$

$$P = 0.4437 \text{ kW} = 0.60 \text{ hp}$$

3.3.1.6. Cálculos de sistema de filtración

a) Caudal de Aire Requerido

$$Q = A \times v \dots\dots\dots (22)$$

Donde:

A = Área de la sección.

v = Velocidad de captación.

En la investigación la boca de la tolva es de 1.0 m × 1.0 m entonces Se agrega 0.2 m de margen por cada lado para captar polvo derramado quedando así el área de la sección:

$$A = 1.2 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$$

$$A = 1.44 \text{ m}^2$$

En la investigación la velocidad de captación aplicando el manual: Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practices, en la Tabla: 5-3 “Minimum Capture Velocities”, nos dice según el tipo de polvo:

Para garantizar la recolección eficiente del polvo generado durante la recepción y manipulación de la cascarilla de arroz, es necesario seleccionar una velocidad de captación adecuada.

Tabla 10. Velocidad de captación

Tipo de Emisión	Velocidad Recomendada (m/s)
Polvo en atmósfera tranquila	0.25 - 0.5
Polvo con baja velocidad	0.5 - 1.0
Polvo con alta velocidad	1.0 - 2.5
Polvo con muy alta velocidad	2.5 - 10.0

De esa manera la cascarilla de arroz, por su naturaleza liviana y su tendencia a formar nubes de polvo durante la descarga, requiere una velocidad suficiente para vencer la inercia inicial del material, se eligió 1 m/s:

$$Q = 1.44 \text{ m}^2 \times (1 \text{ m/s})$$

$$Q = 1.44 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 5184 \text{ m}^3/\text{h}$$

Con un factor de seguridad de 1.2:

$$Q = 5184 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times (1.2)$$

$$Q = 7464.98 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

b) Área Filtrante

$$A_f = \frac{Q}{v_f} \dots \dots \dots (23)$$

Donde:

Q = Caudal de Aire.

v_f = Velocidad de filtración.

En la investigación según los fabricantes se selecciona la velocidad de la filtración en el siguiente cuadro:

La velocidad de filtración determina el equilibrio entre la eficiencia de captura de partículas y la pérdida de carga del sistema.

Tabla 11. Velocidad de filtración

Fabricantes	Normativas	Rubro
Donaldson	2.5-3.5 m/min	Biomasa
WAM Group	.0-4.0 m/min	Subproductos agrícolas
Sistema Dustex	3.2-3.8 m/min	Cáscaras de arroz

La velocidad de filtración es de 3.8 m/min se pasa a 0.063 m/s, también a 228 m/h

$$A_f = \frac{7464.98 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{0.063 \text{ m/s}}$$

$$A_f = \frac{7464.98 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{226.8}$$

$$A_f = 32.91 \text{ m}^2$$

c) Potencia Ventilador

$$A_f = \frac{Q \cdot \Delta P}{3600 \times \eta} \dots\dots\dots (24)$$

Donde:

Q = Caudal de Aire.

η = Eficiencia.

ΔP = Perdida de presión.

En la investigación la eficiencia se tiene dado por el siguiente cuadro según la normativa AMCA (Air Movement and Control Association) Standard 205:

Tabla 12. Eficiencia de ventilación

Tipo de ventilador	Eficiencia	Aplicación
Ventilador axial simple	0.4 - 0.5	Extracción general
Ventilador centrífugo curva hacia adelante	0.55 - 0.65	Sistemas con filtro
Ventilador centrífugo curva hacia atrás	0.70 - 0.80	Alta eficiencia
Ventilador centrífugo radial	0.60 - 0.70	Materiales abrasivos

Selecciono ventilador centrífugo radial por su alta resistencia a la abrasión de la cascarilla (90% sílice). Ofrece eficiencia del 65%, mayor vida útil y menor mantenimiento. Es el equilibrio óptimo entre durabilidad y costo para operación continua en la termoeléctrica, asegurando confiabilidad con el material abrasivo.

Se calcula la perdida de presión mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_{\text{filtro}} + \Delta P_{\text{ductos}} + \Delta P_{\text{accesorios}} + \Delta P_{\text{campana}} \dots\dots\dots (25)$$

Donde:

ΔP_{filtro} = Caída de presión en el filtro.

ΔP_{ductos} = Caída de presión en los ductos.

$\Delta P_{\text{accesorios}}$ = Caída de presión en los accesorios.

$\Delta P_{\text{campana}}$ = Caída de presión en la campana de captación.

Lo se calcula por pasos:

Paso 1: Caída de presión en el filtro

Según las normas ISO 16890 y ASHRAE 52.2 dice: La selección de sistema de filtración debe considerar la eficiencia de captura de partículas, la pérdida de carga generada y las condiciones de operación del proceso.

Tabla 13. Tipo de filtro

Tipo	Valor
Filtro limpio	0.8-1.2 kPa
Filtro en operación	1.2-1.8 kPa

En la investigación elegiremos un promedio en operación de 1.50 kPa

Paso 2: Caída de presión en los ductos

Se aplicará la ecuación de Darcy-weisbach

$$\Delta P = f \times \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{\rho \times v^2}{2} \right) \dots \dots \dots (26)$$

Donde:

L = Longitud del conducto.

D = Diámetro hidráulico del conducto.

ρ = Densidad del fluido

v = Velocidad media del fluido.

Primero, se calcula la longitud del conducto:

Descripción	Medida
Distancia desde la tolva al filtro	3 m
Tramo horizontal principal	4 m
Tramo horizontal principal	3 m
TOTAL	10 m

Segundo, se teniendo un caudal de $7464.98 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ y una velocidad según la normativa

AGGIH para polvo evitando la sedimentación es de 6-8 m/s:

$$A = \frac{Q}{v} \dots \dots \dots (27)$$

$$A = \frac{2.07 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{7 \text{ m/s}}$$

$$A = 0.29 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4(0.29 \text{ m}^2)}{\pi}}$$

$$D = 0.60 \text{ m}$$

Tercero, se calcula el número de Reynolds:

$$R_e = \frac{v \times D}{\nu} \dots \dots \dots (28)$$

Donde:

v = Velocidad del flujo

D = Diámetro hidráulico del ducto

ν = Viscosidad cinemática del aire

En la investigación trabajaremos con valores estándares del aire a 20 °C, una viscosidad cinemática de $1.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ y una densidad 1.204 kg/m^3

$$R_e = \frac{7 \text{ m/s} \times (0.60 \text{ m})}{1.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$R_e = 280000 \text{ Flujo turbulento}$$

Cuarto, se calcula el factor de fricción según ASHRAE: El factor de fricción es un parámetro para determinar las pérdidas de carga en ductos y superficies metálicas.

Tabla 14 Factor de fricción acero

Tipo de ducto	f
PVC muy liso	0.015
Acero galvanizado	0.020 – 0.025
Rugoso	>0.03

En la investigación elegiremos acero galvanizado 0.020 porque es el material estándar en sistemas de ventilación industrial debido a su buena resistencia mecánica, bajo costo, facilidad de fabricación y adecuada durabilidad frente a partículas sólidas como el polvo.

$$\Delta P = 0.02 \times \left(\frac{10}{(0.6)} \right) \left(\frac{(1.204) \times (7)^2}{2} \right) \dots\dots\dots (29)$$

$$\Delta P = 9.83 \text{ Pa}$$

$$\Delta P = 0.00983 \text{ kPa}$$

Paso 3: Caída de presión en los accesorios

La caída de presión representa la resistencia que encuentra el flujo de aire al desplazarse a través de los diferentes componentes del sistema.

Tabla 15 Caída de presión

Accesorio	Cantidad	Coef. C	$\Delta P = C \times 27.74$ (Pa)	Norma
Codo 90°	2	0.5	27.74	ASHRAE Tabla 4
Entrada campana	1	0.25	6.93	ASHRAE Tabla 4
Salida filtro	1	0.3	8.32	ASHRAE Tabla 4
Transición entrada	1	0.18	4.99	SMACNA Cap 5
Válvula registro	1	0.4	11.10	SMACNA Cap 5
Unión flexible	1	0.1	2.774	SMACNA Cap 5
TOTAL	7	1.73	61.85	

Fuente: elaboración propia.

Paso 4: Caída de presión en la campana de captación

Se aplicará la siguiente normativa ACGIH Industrial Ventilation Manual - Sección 5.3.2:

Tabla 16 Caída de presión en campana

Tipo	Valores
Campanas tipo canoa	0.15 - 0.25 kPa
Campanas con deflectores	0.20 - 0.30 kPa
Campanas con mangas	0.25 - 0.35 kPa

Se eligió la campana con deflectores de 0.25 kPa porque es la opción que exige un control más estable del flujo de captación. El deflector mejora la dirección del aire, reduce turbulencias y evita que la cascarilla escape o se recircule.

$$\Delta P_{\text{total}} = 1.50 \text{ kPa} + 0.00983 \text{ kPa} + 0.06185 \text{ kPa} + 0.25 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_{\text{total}} = 1.82 \text{ kPa}$$

$$A_f = \frac{7464.98 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot (1.82 \text{ kPa})}{3600 \times (0.65)}$$

$$A_f = \frac{13586.26}{3600 \times (0.65)}$$

$$A_f = \frac{13586.26}{2340}$$

$$A_f = 5.80 \text{ kW}$$

Todos los motores industriales se seleccionan con un margen adicional, típico entre 15% y 30%, según la norma NEMA MG-1 – Motor and Generators

$$P_{\text{nom}} = P_{\text{util}} \times 1.23 \dots \dots \dots (30)$$

$$P_{\text{nom}} = 5.80 \text{ kW} \times 1.23$$

$$P_{\text{nom}} = 7.134 \text{ kW}$$

Pasarlo a HP:

$$\text{HP} = \frac{7.134 \text{ kW}}{0.746}$$

$$\text{HP} = 9.56 \text{ hp}$$

Para una selección comercial es de 10 HP

3.3.1.7. Cálculos eléctricos y energéticos

a) Consumo Energético del Subsistema

$$P_I = P_{Si} + P_V + P_C + P_S \dots \dots \dots (31)$$

Donde:

P_{Si} = Potencia del tornillo sinfín (kW)

P_V = Potencia del ventilador (kW)

P_C = Potencia de la compuerta (kW)

P_S = Potencia de los sensores (kW)

Se tiene como datos:

- **tornillo sinfín: 0.4437 kW**
- **Ventilador: 7.134 kW**

La demás potencia instalada se aplicará las siguientes normas:

Potencias instaladas según cálculos realizados

Tabla 17 Potencia instalada

ACTIVOS	NORMA	VALOR
Compuerta	ISO 4414.	0.12–0.18 kW
Sensores	IEC 61131-2	0.06–0.10 kW

$$P_i = 0.4437 \text{ kW} + 7.134 \text{ kW} + 0.18 \text{ kW} + 0.10 \text{ kW}$$

$$P_i = 7.8577 \text{ kW}$$

b) Consumo Diario de Energía

$$\text{Consumo} = P_i \times t \times f_u \dots \dots \dots (32)$$

Donde:

P_i = Potencia instalada (kW)

t = Tiempo por día (h)

f_u = Factor de utilización

$$f_u = \frac{\sum(P_i \times f_{u1})}{\sum P_i} \dots \dots \dots (33)$$

Donde:

f_{u1} = Factor de utilización unitario.

Según la Norma: IEEE 739 (Recommended Practice for Energy Management) en la Tabla 4-2: “Typical Load Factors” nos da el siguiente cuadro de factor de utilización:

Tabla 18 Factor de utilización

EQUIPO	FACTOR DE UTILIZACIÓN
Transportador intermitente	0.5 - 0.7
Ventilador control automático	0.7 - 0.9
Actuador	0.2 - 0.4
Sistema control	0.8 - 1.0

En la investigación se eligió todos del extremo derecho.

Primeros, se calcula el numerador:

$$0.4437 \text{ kW} \times (0.7) = 0.310 \text{ kW}$$

$$7.134 \text{ kW} \times (0.7) = 4.99 \text{ kW}$$

$$0.18 \text{ kW} \times (0.7) = 0.126 \text{ kW}$$

$$0.10 \text{ kW} \times (0.7) = 0.07 \text{ kW}$$

$$\text{Sumatoria: } 0.310 \text{ kW} + 4.99 \text{ kW} + 0.126 \text{ kW} + 0.07 \text{ kW} = 5.496 \text{ kW}$$

$$f_u = \frac{5.496 \text{ kW}}{7.8577 \text{ kW}}$$

$$f_u = 0.69$$

$$\text{Consumo} = 7.8577 \text{ kW} \times (16) \times (0.69)$$

$$\text{Consumo} = 7.8577 \text{ kW} \times (11.04)$$

$$\text{Consumo} = 86.75 \text{ kW/día}$$

3.3.1.8. Cálculos de cimentación y soporte

La estructura de soporte de la tolva y del sistema de recepción será fabricada con acero estructural S235 (6 mm), debido a que presenta propiedades mecánicas adecuadas para las aplicaciones industriales de soporte estructural, especialmente en sistemas sometidos a cargas estáticas.

a) Cargas sobre Cimentación

– Cargas permanentes (D)

Paso 1: Peso de la tolva

$$W = m \times g \dots \dots \dots (34)$$

Donde:

m = Masa

g = Gravedad

En la investigación tenemos como dato la masa de la tolva es 1205.32 kg:

$$W = 1205.32 \text{ kg} \times (9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$W = 11821.05 \text{ N}$$

$$W = 11.82 \text{ Kn}$$

Paso 2: Peso de la estructura de soporte

$$W_{\text{total}} = n \times L \times w \times g \dots\dots\dots (35)$$

Donde:

n = Número de elementos

L = Longitud

w = Peso lineal

g = Gravedad

En la investigación tenderemos 4 soportes que cada uno es de 3 metros, según la norma NTE E.090 nos dice que el peso lineal es de 10.4 kg/m

$$W_{\text{total}} = 4 \times 3 \times (10.4) \times (9.81)$$

$$W_{\text{total}} = 1224.288 \text{ N}$$

$$W_{\text{total}} = 1.22 \text{ kN}$$

Paso 3: Peso de vigas de soporte

$$W_{\text{soporte}} = n \times L \times w \times g \dots\dots\dots (36)$$

Donde:

n = Número de elementos

L = Longitud

w = Peso lineal

g = Gravedad

En la investigación tenderemos 4 soportes que cada tiene luz entre columnas de 2.90 m, según la norma IPE 100 nos dice que el peso lineal es de 8.1 kg/m

$$W_{\text{soporte}} = 4 \times (2.90) \times (8.1) \times (9.81)$$

$$W_{\text{soporte}} = 921.74 \text{ N}$$

$$W_{\text{soporte}} = 0.92 \text{ kN}$$

Paso 4: Peso de tornillo sinfín + motor

$$W = m \times g \dots\dots\dots (37)$$

Donde:

m = Masa

g = Gravedad

En la investigación sabemos que tornillo sinfin tiene una masa de 150 kg y motor de 50 kg

$$W = (150 \text{ kg} + 50 \text{ kg}) \times (9,81 \text{ m/s}^2)$$

$$W = 1962 \text{ N}$$

$$W = 1.962 \text{ kN}$$

Paso 5: Peso total

Es la suma total de los pesos:

$$W_{\text{total}} = 11.82 \text{ kN} + 1.22 \text{ kN} + 0.92 \text{ kN} + 1.962 \text{ kN}$$

$$W_{\text{total}} = 15.65 \text{ kN}$$

– Cargas vivas (L)

Paso 1: Sobrecarga mantenimiento

$$L_{\text{mantemimiento}} = A \times q \dots\dots\dots (38)$$

Donde:

A = Área de la plataforma

q = Sobrecarga unitaria por mantenimiento

En la investigación se tiene una base 2.9 m siendo la tolva es un tronco de pirámide cuadrada entonces al área seria y según la norma ASCE 7-16, Tabla 4.1 la sobrecarga unitaria por mantenimiento es 1.0 kN/m²

$$A = (2.9) \times (2.9) = 8.41 \text{ m}^2$$

$$L_{\text{msntemimiento}} = 8.41 \text{ m}^2 \times 1.0 \text{ kN/m}^2$$

$$L_{\text{mantenimiento}} = 8.41 \text{ kN}$$

Paso 2: Carga de impacto durante descarga

$$L_{\text{impacto}} = (F_I - 1) \times W_{\text{tolva}} \dots \dots \dots (39)$$

Donde:

F_I = Factor de impacto

W_{tolva} = Peso de la tolva

En la investigación se tiene el peso de la tolva 11.82 kN y según la norma CEMA Standard 350 para materiales granulados es de 1.25:

$$L_{\text{impacto}} = (1.25 - 1) \times 11.82 \text{ kN}$$

$$L_{\text{impacto}} = (0.25) \times 11.82 \text{ kN}$$

$$L_{\text{impacto}} = 2.96 \text{ Kn}$$

Paso 3: Total de carga viva

Es la suma de sobrecarga mantenimiento y la carga de impacto durante descarga:

$$L_{\text{total de la carga viva}} = 8.41 \text{ kN} + 2.96 \text{ kN}$$

$$L_{\text{total de la carga viva}} = 11.37 \text{ kN}$$

Combinación de cargas

$$U = 1.4 D + 1.7 L \dots \dots \dots (40)$$

Donde:

D = Carga muertas

L = Carga vivas

En la investigación se tiene la carga muerta es de 15.65 kN y la carga viva es de 11.37 kN se calcula de la siguiente manera:

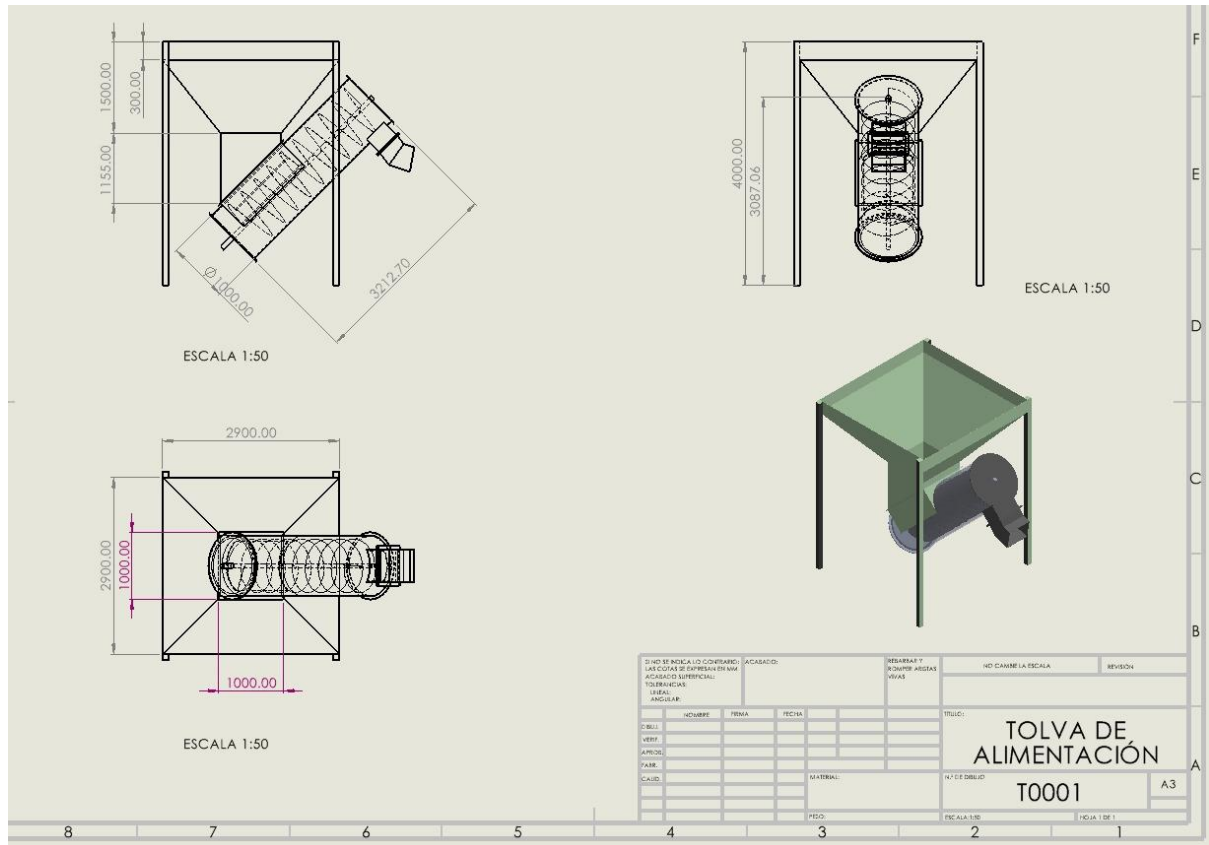
$$U = 1.4 (15.65 \text{ kN}) + 1.7 (11.37 \text{ kN})$$

$$U = 21.91 \text{ kN} + 19.329 \text{ kN}$$

$$U = 41.239 \text{ kN}$$

También, en la investigación se divide entre 4 porque se tiene 4 soportes siendo la carga de 10.31 kN

Figura 7. Subsistema de recepción



Fuente: elaboración propia.

3.3.2. Subsistemas almacenamiento

3.3.2.1. Capacidad de almacenamiento requerida

$$M_{\text{almacenar}} = M_{\text{dia}} \times D_{\text{autonomia}} \dots \dots \dots (41)$$

Donde:

M_{dia} = Masa del día

$D_{\text{autonomia}}$ = Días de autonomía

$$V_{\text{almacenar}} = \frac{M_{\text{almacenar}}}{\rho_{\text{cascarilla}}} \dots \dots \dots (42)$$

Donde:

$M_{\text{almacenar}} = \text{Capacidad de almacenamiento}$

$\rho_{\text{cascarilla}} = \text{Densidad de la cascarilla}$

En la investigación se tiene que la normativa FAO nos dice que reporta densidades entre 100-140 kg/m³ para cascarilla suelta y La normativa ISO 11697:2015 – “Silos para el almacenamiento de granos”, Capítulo 5 nos dicen que la capacidad mínima de almacenamiento debe ser entre 2 y 3 veces la producción diaria, la M_{diaria} es de $2448.75 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$:

$$M_{\text{almacenar}} = 2448.75 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 3$$

$$M_{\text{almacenar}} = 7346.25 \text{ kg}$$

$$V_{\text{almacenar}} = \frac{7346.25 \text{ kg}}{120 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_{\text{almacenar}} = 61.21 \text{ m}^3$$

3.3.2.2. Diseño geométrico del silo

$$V = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times H \dots\dots\dots (43)$$

Donde:

D = Diámetro interno del silo

H = Altura cilíndrica efectiva

En la investigación se tiene que la normativa ISO 11697:2015- “Silos para el almacenamiento de granos”, Capítulo 6 Para materiales ligeros con una densidad < 300 kg/m³), se recomienda:

$$1.0 \leq \frac{H}{D} \leq 2.0$$

También, el diámetro interno del silo es de 4 m y altura cilíndrica efectiva es de 5 m

$$1.0 \leq \frac{5}{4} \leq 2.0$$

$$1.0 \leq 1.25 \leq 2.0$$

$$V = \pi \times \left(\frac{4}{2}\right)^2 \times 5$$

$$V = \pi \times (2)^2 \times 5$$

$$V = 62.83 \text{ m}^3$$

$$62.83 \text{ m}^3 > 61.22 \text{ m}^3 \quad \text{CUMPLE ISO 11697}$$

3.3.2.3. Cálculo estructural

a) Presión horizontal

$$P_h = \frac{\gamma \times R}{\mu} \left(1 - e^{-\left(\frac{\mu \times K \times h}{R}\right)}\right) \dots\dots\dots (44)$$

Donde:

γ = Peso específico del material

R = Radio hidráulico

K = Coeficiente de presión lateral

h = Altura del material

μ = Coeficiente de fricción material–pared

En la investigación se tiene que para calcular el peso específico se multiplica la densidad de la cascarilla es 120 kg/m^3 por la gravedad de la tierra 9.81 m/s^2 siendo 1177.2 N/m^3 , coeficiente de presión lateral según la normativa 1991-4:2006 - *Eurocódigo 1: Acciones en estructuras - Parte 4: Silos y depósitos es 0.4, coeficiente de fricción material–pared según la normativa 1991-4 - Tabla E.2 es 0.3, radio hidráulico es la mitad del diámetro del silo 2 m y la altura del silo es 5 m

$$P_h = \frac{(1177.2) \times (2)}{(0.3)} \left(1 - e^{-\frac{(0.3) \times (0.4) \times (5)}{(2)}}\right)$$

$$P_h = 7848 (1 - e^{-(0.3)})$$

$$P_h = 2034.1 \text{ Pa}$$

$$P_h = 2.034 \text{ kPa}$$

b) Presión vertical en el fondo

$$P_v = \gamma \times h \left(1 - e^{-\left(\frac{\mu \times K \times h}{R}\right)}\right) \dots \dots \dots (45)$$

Donde:

γ = Peso específico del material

K = Coeficiente de presión lateral

h = Altura del material

En la investigación se tiene que para calcular el peso específico se multiplica la densidad de la cascarilla es 120 kg/m^3 por la gravedad de la tierra 9.81 m/s^2 siendo 1177.2 N/m^3 , coeficiente de presión lateral según la normativa 1991-4:2006 - *Eurocódigo 1: Acciones en estructuras - Parte 4: Silos y depósitos es 0.4 y la altura del silo es 5 m

$$P_h = (1177.2) \times (5) \left(1 - e^{-\frac{(0.3) \times (0.4) \times (5)}{(2)}}\right)$$

$$P_h = 5886 (1 - e^{-(0.3)})$$

$$P_h = 1525.54 \text{ Pa}$$

$$P_h = 1.525 \text{ kPa}$$

c) Presión en fondo cónico

$$P_f = P_v \times h \dots \dots \dots (46)$$

Donde:

P_v = Presión vertical en el fondo

h = Coeficiente de presión lateral

En la investigación se tiene que para calcular la presión vertical en el fondo 1.525 kPa y el coeficiente de presión lateral según la normativa 1991-4:2006 - *Eurocódigo 1: Acciones en estructuras - Parte 4: Silos y depósitos es 0.4

$$P_f = 1525.54 \text{ Pa} \times (0.4)$$

$$P_f = 610.21 \text{ Pa}$$

$$P_f = 0.610 \text{ kPa}$$

3.3.2.4. Cálculo de espesores de chapa

a) Fuerza de tracción en pared cilíndrica

$$T = P_h \times R \dots \dots \dots (47)$$

Donde:

P_h = Presión horizontal

R = radio del silo

En la investigación se tiene que para calcular la horizontal 2.034 kPa y el radio del silo es 2 m

$$T = 2034.1 \text{ Pa} \times (2)$$

$$T = 4068.2 \text{ kN/m}$$

b) Espesor mínimo por resistencia

$$t_{\min} = \frac{T}{F_y \times \eta} \dots \dots \dots (48)$$

Donde:

T = Fuerza de tracción por unidad de longitud

F_y = Limite elástico del material

η = Factor de eficiencia de la junta

En la investigación se tiene que la fuerza de tracción en pared cilíndrica $4068.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$, el material del acero estructural es de tipo S235 siendo su límite elástico es 235 MPa y el factor de eficiencia de la junta según la normativa 1993-4-1:2007 - “Silos” - Anexo C se aplicara una eficiencia de 0.85

$$t_{\min} = \frac{4068.2}{(235 \times 10^6) \times (0.85)}$$

$$t_{\min} = 0.0204 \text{ mm}$$

c) Espesor por rigidez y durabilidad

$$t_{\text{teorico}} \gg t_{\min}$$

Donde:

t_{teorico} = Espesor teórico

$t_{\min}$ = Espesor mínimo

En la investigación se tiene que según la normativa Principal: EN 1993-4-1:2007 “Eurocódigo 3: Diseño de estructuras de acero - Parte 4-1: Silos” Tabla 7.1 - Espesores mínimos recomendados

Tabla 19 Características de acero

DIÁMETRO	ESPESOR
$D \leq 4 \text{ m}$	3
$4 \text{ m} < D \leq 8 \text{ m}$	4
$D > 8 \text{ m}$	5

$$3 \text{ mm} \gg 0.0204 \text{ mm}$$

3.3.2.5. Cálculo de cimentación

a) Cargas totales

Primero, se obtiene del peso del material almacenado

$$W = m \times g \dots\dots\dots (49)$$

Donde:

m = Masa total almacenada

g = Gravedad

En la investigación se tiene que la masa 7346 kg y la gravedad es 9.81 m/s^2

$$W_{\text{material}} = (7346) \times (9.81)$$

$$W_{\text{material}} = 72064.26 \text{ N}$$

Segundo, se obtiene del peso total del silo

En la investigación se tiene que los catálogos fabricantes que son silos metálicos Perú, S.A.

catálogos fabricantes que son silos metálicos Perú, S.A.

Tabla 20 características de Silos

DIÁMETRO	ALTURA	MASA TÍPICO
3	4	800-1000
4	5	1400-1600
5	6	2000-2500
6	8	3500-4500

$$W_{\text{silo}} = (1450) \times (9.81)$$

$$W_{\text{silo}} = 14224.5 \text{ N}$$

Tercero, se obtiene de la carga total transmitida a la cimentación

$$W_{\text{total}} = W_{\text{material}} + W_{\text{silo}} \dots \dots \dots (50)$$

$$W_{\text{total}} = 72064.26 \text{ N} + 14224.5 \text{ N}$$

$$W_{\text{total}} = 86288.76 \text{ N}$$

b) Presión sobre el terreno

En la investigación se tiene que el diámetro del silo: $D = 4.0 \text{ m}$, que el radio de la zapata: $r = 2.2 \text{ m}$ y el borde libre: $2.2 - 2.0 = 0.2 \text{ m}$ por cada lado según la normativa RNE E.050 ($0.20 > 0.15$) y la normativa 1997-1 ($0.20 > 0.10$) cumple con la anterior:

$$\sigma_{\text{terreno}} = \frac{W_{\text{total}}}{A} \dots \dots \dots (51)$$

Donde:

W_{total} = Carga total transmitida a la cimentación

A = Área de la zapata

$$\sigma_{\text{terreno}} = \frac{86288.76 \text{ N}}{\pi \times (2.2)^2}$$

$$\sigma_{\text{terreno}} = \frac{86288.76 \text{ N}}{15.20 \text{ m}^2}$$

$$\sigma_{\text{terreno}} = 5676.89 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\text{terreno}} = 5.67 \text{ kPa}$$

3.3.2.6. Sistema de ventilación

a) Caudal de aire para prevención de combustión

$$Q = 0.1 \times V_{\text{silo}} \dots \dots \dots (52)$$

Donde:

V_{silo} = Volumen del silo

En la investigación se tiene que el volumen del silo es 62.83 m^3

$$Q = 0.1 \times 62.83 \text{ m}^3$$

$$Q = 6.283 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) Potencia del ventilador

$$P_{\text{ventilador}} = \frac{Q \times \Delta P}{\eta} \dots \dots \dots (53)$$

Donde:

Q = Caudal de aire

ΔP = Pérdida total de presión

η = Eficiencia global del ventilador

En la investigación se tiene que el caudal del aire por minuto 6.283 m^3 dividirlo en 60 para obtenerlo en segundos $0.11 \text{ m}^3/\text{s}$, la eficiencia global del ventilador según la norma ISO 12759:2010” Fans-Efficiency classification for fans esta entre 75% - 85% y la pérdida total de presión:

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_{\text{filtro}} + \Delta P_{\text{ductos}} + \Delta P_{\text{accesorios}} + \Delta P_{\text{campana}} + \Delta P_{\text{salida}} \dots \dots \dots (54)$$

Donde:

ΔP_{filtro} = Pérdida de presión en el filtro

ΔP_{ductos} = Pérdida de presión en ductos

$\Delta P_{\text{accesorios}}$ = Pérdidas en accesorios

$\Delta P_{\text{campana}}$ = Pérdida en campana

ΔP_{salida} = Pérdida en salida a atmósfera

Primero, se halla la pérdida de presión en el filtro mediante la siguiente normativa ISO

16890 –

Norma para pérdida de presión en el filtro.

Tabla 21 Pérdida de presión en el filtro

ESTADO DEL FILTRO	ΔP
Filtro limpio	100–150
En operación	1500–2000
Filtro sucio	2500–3000

$\Delta P_{\text{filtro}} = 1750 \text{ Pa}$

Segundo, se halla la pérdida de presión en ductos

$$\Delta P_{\text{ductos}} = f \times \left(\frac{L}{D}\right) \left(\frac{\rho \times v^2}{2}\right) \dots \dots \dots (55)$$

Donde:

f = Factor de fricción

L = Longitud del conducto.

D = Diámetro hidráulico del conducto.

P = Densidad del fluido

v = Velocidad media del fluido.

En la investigación se tiene que el factor de fricción del acero galvanizado 0.022, con una longitud del conducto de 10 m, diámetro hidráulico del conducto 0.6 m, la densidad del aire 1.204 kg/m³ y una velocidad media del fluido es de 12 m/s según la normativa NFPA 91 para polvos

$$\Delta P_{\text{ductos}} = (0.022) \times \left(\frac{10}{0.6}\right) \left(\frac{(1.204) \times (12)^2}{2}\right)$$

$$\Delta P_{\text{ductos}} = 31.78 \text{ Pa}$$

Tercero, se halla las pérdidas de presión en accesorios

$$\Delta P_{\text{accesorios}} = C \times \frac{\rho \times v^2}{2} \dots\dots\dots (56)$$

Donde:

C = Coeficiente de pérdida

ρ = Densidad del aire

v = Velocidad del aire en el accesorio

En la investigación se tiene que el coeficiente de pérdida según la normativa ASHRAE Sección 21.5.2 se pierde el 50% de la presión dinámica, la densidad del aire 1.204 kg/m³ y la velocidad del aire en el accesorio 12 m/s

$$\Delta P_{\text{accesorios}} = (0.5) \times \frac{(1.204) \times (12)^2}{2}$$

$$\Delta P_{\text{accesorios}} = 43.34 \text{ Pa}$$

Cuarto, se halla la pérdida de presión en campana en nuestro proyecto se tiene la normativa NFPA 91:2020 – Sección 6.2.1.2, se tiene los componentes reales: base: 68.58 Pa, malla seguridad: 75 Pa, difusor: 40 Pa, accesorios: 30 Pa, margen: 80 Pa y suma 293.58 Pa

Quinto, se halla la pérdida de presión en salida a atmósfera

$$\Delta P_{\text{salida}} = 1 \times \frac{\rho \times v^2}{2} \dots\dots\dots (57)$$

Donde:

C = Coeficiente de pérdida

ρ = Densidad del aire

v = Velocidad del aire en el accesorio

En la investigación se tiene que la densidad del aire 1.204 kg/m^3 y la velocidad del aire en el accesorio 12 m/s

$$\Delta P_{\text{salida}} = 1 \times \frac{(1.204) \times (12)^2}{2}$$

$$\Delta P_{\text{salida}} = 86.68 \text{ Pa}$$

Sexto, se halla la pérdida de presión total

$$\Delta P_{\text{total}} = 1750 \text{ Pa} + 31.78 \text{ Pa} + 43.34 \text{ Pa} + 86.68 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{\text{total}} = 1911.8 \text{ Pa}$$

Por último, se hallará la potencia del ventilador

$$P_{\text{ventilador}} = \frac{(6.283 \text{ m}^3/\text{s}) \times (1911.8 \text{ Pa})}{(0.85)}$$

$$P_{\text{ventilador}} = 14131.58 \text{ W}$$

$$P_{\text{ventilador}} = 14.132 \text{ kW}$$

3.3.2.7. Sistema de detección de temperatura

En la investigación se tiene que el volumen del silo 62.83 m^3 la normativa NFPA 69 recomienda un sensor cada 50 m^3 para materiales combustibles

$$N_{\text{sensores}} = \frac{V_{\text{silo}}}{50} \dots\dots\dots (58)$$

$$N_{\text{sensores}} = \frac{62.83}{50}$$

$$N_{\text{sensores}} = 1.26$$

$$N_{\text{sensores}} = 2 \text{ sensores}$$

Referente a la posición:

- Uno en la parte superior (zona de acumulación de gases)
- Uno en la parte media (zona de mayor masa de material)
- Termopar Tipo K (rango: -40°C a 1200°C), con salida 4-20 mA.
- Umbral de alarma: 60°C (temperatura crítica para autocombustión de biomasa según FAO).

3.3.2.8. Sistema de extinción de incendios

a) Volumen de CO₂ requerido

En la investigación se tiene que la normativa NFPA 12 (Sistemas de extinción con CO₂). El volumen protegido:

$$V_{\text{silo}} = 62.83 \text{ m}^3$$

También, el factor de diseño: Para materiales sólidos combustibles (Clase A), se requiere una concentración del 34% de CO₂.

$$V_{\text{CO}_2} = 0.34 \times V_{\text{silo}} \dots \dots \dots (59)$$

$$V_{\text{CO}_2} = 0.34 \times 62.83$$

$$V_{\text{CO}_2} = 21.36 \text{ m}^3$$

b) H.2. Masa de CO₂

En la investigación se tiene que la densidad del CO₂ a 20°C y 1 atm, $\rho_{\text{CO}_2} = 1.98 \text{ kg/m}^3$

$$m_{\text{CO}_2} = V_{\text{CO}_2} \times \rho_{\text{CO}_2} \dots \dots \dots (60)$$

$$m_{\text{CO}_2} = 21.36 \times 1.98$$

$$m_{\text{CO}_2} = 42.29 \text{ kg}$$

Por último, según la normativa NFPA, 12 es el factor de seguridad del 20%:

$$m_{\text{total}} = 42.29 \times 1.2$$

$$m_{\text{total}} = 50.75 \text{ kg (se recomienda cilindro de 55 kg)}$$

3.3.2.9. Pérdidas térmicas

En la investigación se tiene que los datos:

- Diámetro del silo: $D = 4 \text{ m}$
- Altura cilíndrica: $H = 5 \text{ m}$
- Espesor de chapa: $t = 3 \text{ mm} = 0.003 \text{ m}$

También, en la investigación se tiene que los datos:

- Según la normativa NFPA 61: Standard for the Prevention of Fires and Dust Explosions in Agricultural and Food Processing Facilities – Capítulo 8 la temperatura interior: $T_i = 40^\circ\text{C}$
- Según la normativa del reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) – Norma IT.8 “Climatología” para la región de Jaén, Cajamarca, Perú la temperatura exterior: $T_e = 25^\circ\text{C}$
- Según la normativa ASHRAE Handbook – Fundamentals (Capítulo 4: Heat Transfer) para convección natural en aire quieto dentro de espacios cerrados el coeficiente convectivo interior: $h_i = 10 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Según la normativa ASHRAE Handbook – Fundamentals (Capítulo 4) para convección natural en superficies exteriores con viento moderado el coeficiente convectivo exterior: $h_e = 15 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Según la normativa Manual de diseño de Silos (ISO 11697) a conductividad térmica del material $45 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

Primero, se hallará el área superficial del silo

$$A = \pi \times D \times H \dots\dots\dots (61)$$

Donde:

D = Diámetro

H = Altura

$$A = \pi \times 4 \times 5$$

$$A = 62.83 \text{ m}^2$$

Segundo, se hallará la resistencia térmica total

$$R_{\text{total}} = \frac{1}{h_i \times A} + \frac{t}{k \times A} + \frac{1}{h_e \times A} \dots \dots \dots (62)$$

Donde:

h_i = Coeficiente convectivo interior

K = Conductividad térmica del material

h_e = Coeficiente convectivo exterior

A = Área superficial exterior

$$R_{\text{total}} = \frac{1}{10 \times 62.83} + \frac{0.003}{45 \times 62.83} + \frac{1}{15 \times 62.83}$$

$$R_{\text{total}} = 0.00159 + 1.06 \times 10^{-6} + 0.00106$$

$$R_{\text{total}} = 0.00265 \text{ K/W}$$

Tercero, se hallará la pérdida de calor

$$\dot{Q} = \frac{T_i - T_e}{R_{\text{total}}} \dots \dots \dots (63)$$

Donde:

T_i = La temperatura interior

T_e = La temperatura exterior

$$\dot{Q} = \frac{40 - 25}{0.00265}$$

$$\dot{Q} = \frac{15}{0.00265}$$

$$\dot{Q} = 5660.38 \text{ W}$$

$$\dot{Q} = 5.66 \text{ kW}$$

Cuarto, se hallará en 24 horas

$$Q_{\text{día}} = 5.66 \times 24$$

$$Q_{\text{día}} = 135.84 \text{ kWh/día}$$

Por último, se recomienda aislar con lana mineral de 50 mm para reducir pérdidas en un 80%.

3.3.2.10. Análisis de vibraciones en tornillo sin fin

a) Frecuencia natural

En la investigación se tiene que los datos del tornillo y el material: Acero AISI 1020:

- **Diámetro 0.2 m**
- **Longitud entre apoyos 3 m**
- **Módulo de elasticidad: $200 \times 10^9 \text{ Pa}$**
- **Densidad: 7850 kg/m^3**
- **Masa del tornillo: 150 kg**
- **Masa del material transportado: 50 kg**

Primero, se hallará el momento de inercia de la sección circular

$$I = \frac{\pi D^4}{64} \dots \dots \dots (64)$$

Donde:

D = diámetro

$$I = \frac{\pi(0.2)^4}{64}$$

$$I = 7.85 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

Segundo, se hallará la masa por unidad de longitud

$$m_{\text{total}} = \frac{150 + 50}{3}$$

$$m_{\text{total}} = 66.67 \text{ kg/m}$$

Tercero, se hallará la frecuencia natural para viga simplemente apoyada

$$f_n = \frac{\pi}{2L^2} \sqrt{\frac{EI}{m_{\text{total}}}} \dots\dots\dots (65)$$

Donde:

E = Modulo de elasticidad

I = Momento de inercia

m_{total} = Masa total

$$f_n = \frac{\pi}{2 \times 3^2} \sqrt{\frac{200 \times 10^9 \times 7.85 \times 10^{-5}}{66.67}}$$

$$f_n = 0.174 \times \sqrt{2.355 \times 10^5}$$

$$f_n = 0.174 \times 485.3$$

$$f_n = 84.5 \text{ Hz}$$

b) Velocidad crítica

En la investigación se tiene que Velocidad de rotación del tornillo: $N = 30 \text{ RPM} = 0.5 \text{ Hz}$

Primero, se hallará la relación de frecuencia

$$\frac{f_{\text{operación}}}{f_n} \dots\dots\dots (66)$$

$$\frac{0.5}{84.5}$$

$$0.0059 (\text{muy lejos de la resonancia})$$

Segundo, se hallará la velocidad crítica en RPM:

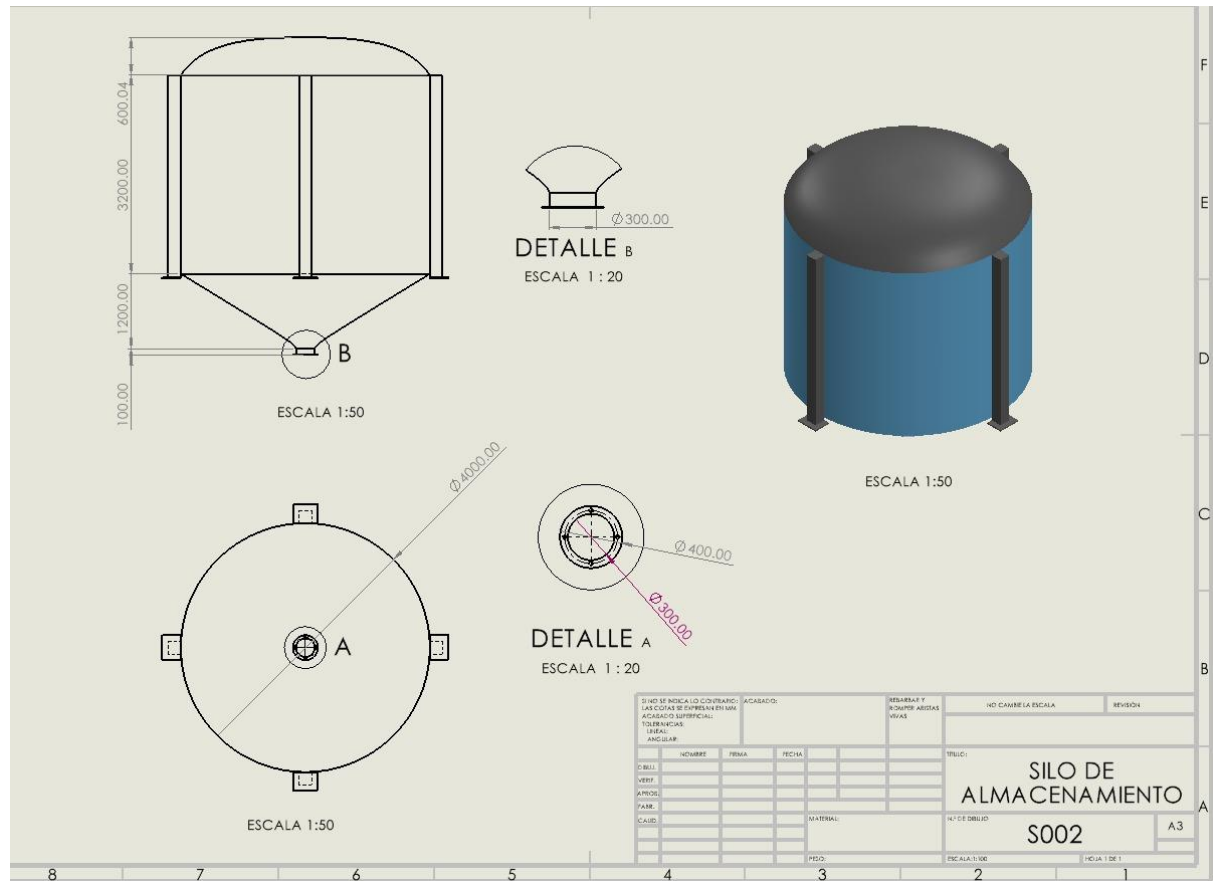
$$N_{\text{crítica}} = f_n \times 60 \dots\dots\dots (67)$$

$$N_{\text{crítica}} = 84.5 \times 60$$

$$N_{\text{crítica}} = 5070 \text{ RPM}$$

Por último, la conclusión: El tornillo opera a 30 RPM, muy por debajo de la velocidad crítica (5070 RPM), por lo que no hay riesgo de vibraciones resonantes.

Figura 8 Subsistema de almacenamiento



fuelle: elaboración propia.

3.3.3. Subsistemas dosificación

3.3.3.1. Cálculo de la capacidad de la tolva intermedia

- Volumen requerido

Los datos son:

- **Flujo máximo: 200 kg/h**
- **Densidad: 120 kg/m³**
- **Tiempo de autonomía deseado: 30 minutos (0.5 h)**

– Primero, se hallará la masa requerida:

$$m = \dot{m}_{\text{máx}} \times t \dots \dots \dots (68)$$

Donde:

$\dot{m}_{\text{máx}}$ = Flujo masico

t = Tiempo de autonómica

En la investigación se tiene que el flujo másico 200 kg/h y el tiempo de autonomía 0.5 h

$$m = 200 \times 0.5$$

$$m = 100 \text{ kg}$$

– Segundo, se hallará el volumen:

$$V = \frac{m}{\rho} \dots \dots \dots (69)$$

Donde:

m = Masa

ρ = Densidad

En la investigación se tiene que la masa es 100 kg y la densidad de 120 kg/m³

$$V = \frac{100}{120}$$

$$V = 0.833 \text{ m}^3$$

– Tercero, se hallará el factor de seguridad 1.2:

En la investigación se tiene que siempre se multiplicara por una seguridad del 20%

$$V_{\text{final}} = 0.833 \times 1.2$$

$$V_{\text{final}} = 1 \text{ m}^3$$

Solución: Tolva Combinada (Cilindro + Cono)

- Parte cilíndrica: D = 0.5 m, H_{cilindro} = 0.8 m

$$V_{\text{cil}} = \pi \times R^2 \times H \dots \dots \dots (70)$$

Donde:

R = Radio del cilindro

H = Altura del cilindro

En la investigación se tiene que el radio del cilindro 0.25 m y una altura de 0.8 m

$$V_{cil} = \pi \times 0.25 \times 0.8 \dots\dots\dots (71)$$

$$V_{cil} = 0.628 \text{ m}^3$$

- Parte cónica: D = 1.0 m, d = 0.3 m, H_{cono} = 0.6 m

$$V_{cono} = \frac{\pi H}{3} (R^2 + Rr + r^2) \dots\dots\dots (72)$$

Donde:

H = Altura

R = Radio de la base mayor

r = Radio de la base menor

En la investigación se tiene que la altura es 0.6 m, radio de la base mayor es 0.5 m y el radio de la base menor es 0.15

$$V_{cono} = \frac{\pi \times 0.6}{3} (0.25 + 0.075 + 0.0225)$$

$$V_{cono} = 0.218 \text{ m}^3$$

- Volumen total:

En la investigación se tiene la suma 0.628 m³ y 0.218 m³

$$V_{total} = 0.628 + 0.218$$

$$V_{total} = 0.846 \text{ (Cumple con } 0.833 \text{ m}^3\text{)}$$

3.3.3.2. Cálculo de Presión en la Tolva (Método de Janssen)

Parámetros del material

Los datos son:

- Densidad: **120 kg/m³**
- La normativa eurocódigo 1 - EN 1991-4:2006 Coeficiente de presión lateral:
K = 0.4 (cascarilla, material granular)
- La normativa ISO 11697:2015 “Silos for the storage of grains” Coeficiente de fricción pared-material: $\mu = 0.3$ (acero-cascarilla)

Perímetro: $\pi \times D$

Donde:

R = Radio de la base mayor

En la investigación se tiene que diámetro es 1 m

$$\text{Perímetro: } \pi \times 1.0 \dots \dots \dots (73)$$

$$\text{Perímetro: } = 3.1416 \text{ m}$$

$$\text{Área: } \pi \times R^2 \dots \dots \dots (74)$$

Donde:

R = Radio de la base mayor

En la investigación se tiene que la radio 0.5 m

$$\text{Área} = \pi \times 0.25$$

$$\text{Área} = 0.7854 \text{ m}^2$$

$$\text{Radio hidráulico: } A/U \dots \dots \dots (75)$$

Donde:

A = Área

U = Perímetro

En la investigación se tiene que el área es 0.7854 m² y el perímetro 3.1416 m

$$\text{Radio hidráulico: } 0.7854/3.1416$$

$$\text{Radio hidráulico: } 0.25 \text{ m}$$

En la investigación se tiene que la densidad 120 kg/m³ y la gravedad es 9.81 m/s²

$$\text{Peso específico: } \rho \times g$$

$$\text{Peso específico: } 120 \times 9.81$$

$$\text{Peso específico: } 1177.2 \text{ N/m}^3$$

a) Presión vertical a profundidad z

Para $z = H_{\text{cilindro}} = 0.8 \text{ m}$:

$$P_v = \frac{\gamma R_h}{\mu K} \left(1 - e^{-\frac{\mu K z}{R_h}} \right) \dots \dots \dots (76)$$

Donde:

γ = Peso específico

R_h = Radio hidráulico

μ = Coeficiente de fricción

K = Coeficiente de presión lateral

K_z = Profundidad desde la superficie del material

En la investigación se tiene que el peso específico 1177.2 N/m^3 , radio hidráulico 0.25, coeficiente de fricción 0.3, coeficiente de presión lateral 0.4 y la profundidad desde la superficie del material 0.8

$$P_v = \frac{1177.2 \times 0.25}{0.3 \times 0.4} \left(1 - e^{-\frac{0.3 \times 0.4 \times 0.8}{0.25}} \right)$$

$$P_v = \frac{294.3}{0.12} (1 - e^{-0.384})$$

$$P_v = 2452.5 \times (1 - 0.681)$$

$$P_v = 782.5 \text{ Pa}$$

b) Presión horizontal

$$P_h = K \times P_v \dots \dots \dots (77)$$

Donde:

K = Coeficiente de presión lateral

P_v = Presión vertical

En la investigación se tiene que el coeficiente de presión lateral es 0.4 y la presión vertical 782.5 Pa

$$P_h = (0.4) \times 782.5 \text{ Pa}$$

$$P_h = 313 \text{ Pa}$$

c) Presión en la transición (cono)

En la unión cilindro-cono ($z = 0.8 \text{ m}$):

$$P_{\text{trans}} = P_v + \gamma \times H_{\text{cono}} \times f \dots \dots \dots (78)$$

Donde:

γ = Peso específico

H_{cono} = Altura del cono

P_v = Presión vertical

f = factor de sobrepresión

En la investigación se tiene que el factor de sobrepresión según la normativa EUROCODIGO 1-EN 1991-4:2006 "Actions on structures - Part 4: Silos and tanks" es 1.5

$$P_{\text{trans}} = 782.5 + 1177.2 \times 0.6 \times 1.5$$

$$P_{\text{trans}} = 782.5 + 1059.48$$

$$P_{\text{trans}} = 1841.98 \text{ Pa}$$

3.3.3.3. Cálculo del torque del tornillo dosificador

a) Fuerza de avance del material

$$F_a = \dot{m} \times g \times L \times \mu_i \dots \dots \dots (79)$$

Donde:

$\dot{m}$ = Masa

g = Gravedad

L = Longitud

En la investigación se tiene que la masa $200 \text{ kg/h} = 0.0556 \text{ kg/s}$, la gravedad 9.81 m/s^2 , una longitud 2 m y el coeficiente de fricción interna del material es $\mu_i = 0.4$ cascarilla según la normativa ISO 11697

$$F_a = 0.0556 \times 9.81 \times 2.0 \times 0.4$$

$$F_a = 0.436 \text{ N}$$

b) Torque para vencer fricción

$$T_f = F_a \times \frac{D}{2} \times \mu_w \dots \dots \dots (80)$$

Donde:

F_a = Fuerza de avance del material

D = Diámetro

μ_w = Coeficiente de fricción pared-material

En la investigación se tiene que la fuerza de avance del material 0.436 N, diámetro 0.2 m y la normativa ISO 11697:2015 “Silos for the storage of grains” Coeficiente de fricción pared-material: $\mu = 0.3$

$$T_f = 0.436 \times \frac{(0.2)}{2} \times (0.3)$$

$$T_f = 0.01308 \text{ N.m}$$

c) Torque para aceleración del material

$$T_a = I \times \alpha \dots \dots \dots (81)$$

Donde:

I = Momento de inercia del material. Se calcula así:

$$I = \frac{m \times D^2}{4} \dots \dots \dots (82)$$

D = diámetro

m = Masa Se calcula así:

$$m = \dot{m} \times t_{\text{aceleracion}} \dots \dots \dots (83)$$

$t_{\text{aceleracion}}$ = Tiempo de aceleración

α = Velocidad angular. Se calcula así:

ω = Aceleración angular

$t_{\text{aceleracion}}$ = Tiempo de aceleración

$$\alpha = \frac{\omega}{t_{\text{aceleracion}}} \dots\dots\dots (84)$$

En la investigación se tiene que la masa 0.0556 kg/s, la aceleración angular es 30 RPM a rad/s y El tiempo de aceleración según la normativa CEMA Standard 350 para materiales granulares y por IEC 60034-1 en 2 s

$$T_a = \frac{(0.0556) \times (2) \times (0.2)^2}{4} \times \frac{(3.14)}{2}$$

$$T_a = 0.001746 \text{ N.m}$$

d) Potencia mecánica requerida

$$P_m = (T_f + T_a) \times \omega \dots\dots\dots (85)$$

Donde:

T_f = Torque para vencer fricción

T_g = Torque para aceleración del material

ω = Aceleración angular

En la investigación se tiene que el torque para vencer fricción 0.01308 N. m y el torque para aceleración del material 0.001746 N. m

$$P_m = (0.01308 + 0.001746) \times 3.14$$

$$P_m = 0.0465 \text{ W}$$

e) Potencia del motor con eficiencias

$$P_{\text{motor}} = \frac{P_{\text{motor}}}{\eta_r \times \eta_c} \dots\dots\dots (86)$$

Donde:

η_r = Eficiencia del reductor

η_c = Eficiencia del acoplamiento

En la investigación se tiene que la eficiencia del reductor según la normativa ISO 6336:2019 es 90% y la eficiencia del acoplamiento según la normativa ISO 10441:2007 es 95%

$$P_{\text{motor}} = \frac{0.0465}{0.90 \times 0.95}$$

$$P_{\text{motor}} = 0.0544 \text{ W}$$

f) Factor de servicio

$$P_{\text{nominal}} = P_{\text{motor}} \times \text{FS} \dots \dots \dots (87)$$

Donde:

P_{motor} = Potencia del motor con eficiencias

FS = Factor de seguridad

En la investigación se tiene que según la normativa *AGMA 6004*, para servicio intermitente con carga uniforme es 1.5

$$P_{\text{nominal}} = 0.0544 \text{ W} \times (1.5)$$

$$P_{\text{nominal}} = 0.0816 \text{ W}$$

g) Verificación de velocidad crítica del tornillo

Propiedades del eje

- Material del eje: Acero AISI 1020
- Módulo de elasticidad $200 \times 10^9 \text{ Pa}$
- Densidad del acero 7850 kg/m^3

En la investigación se tiene que el diámetro es 0.2 m para el hallar el diámetro exterior se aplicará la normativa DIN 15262:1986 - “Continuous conveyors - Screw conveyors for loose bulk materials” Sección 6.2: “Shaft design”

$$D_e = (0.20 \text{ a } 0.30) \times 0.2 \text{ m}$$

$$D_e = 0.05 \text{ m}$$

También, la longitud entre apoyos se aplicará según los Manuales de fabricantes (WAM Group, Martin Sprocket) en catálogos técnicos para tornillos de diámetro 200 mm, la longitud estándar entre soportes de cojinete es: 2.5 – 3.5 m en nuestro caso elegimos 3 m

Momento de inercia del eje

$$I = \frac{\pi D_e^4}{64}$$

Donde:

D_e = Diámetro exterior

En la investigación se tiene que el diámetro exterior es 0.05m

$$I = \frac{\pi(0.05)^4}{64}$$

$$I = 3.067 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Masa por unidad de longitud

Masa del eje por metro:

$$m_{\text{eje}} = \rho \times A \dots \dots \dots (88)$$

Donde:

ρ = Densidad

A = Área

En la investigación se tiene que es 7850 kg/ m^3 y diámetro exterior es de 0.05 m

$$m_{\text{eje}} = 7850 \times \frac{\pi(0.05)^2}{4}$$

$$m_{\text{eje}} = 15.41 \text{ kg/m}$$

También, nos dice que la masa del tornillo:

150 kg en 3 m $\rightarrow$ 50 kg/m

Masa total por unidad de longitud:

$$m_{\text{total}} = 15.41 + 50$$

$$m_{\text{total}} = 65.41 \text{ kg/m}$$

Frecuencia natural

$$f_n = \frac{\pi}{2 \times L^2} \sqrt{\frac{E \times I}{m_{\text{total}}}} \dots \dots \dots (89)$$

Donde:

L = Longitud

E = Modulo de elasticidad

m_{total} = Masa total

En la investigación se tiene que la longitud es 3 m y el módulo de elasticidad 200 GPa y la masa total de 65.41 kg/m

$$f_n = \frac{\pi}{2 \times 3^2} \sqrt{\frac{200 \times 10^9 \times 3.067 \times 10^{-8}}{65.41}}$$

$$f_n = 0.1745 \times \sqrt{93.76}$$

$$f_n = 0.1745 \times 9.683$$

$$f_n = 1.69 \text{ Hz}$$

Velocidad crítica en rpm

$$N_{\text{crítica}} = f_n \times 60 \dots \dots \dots (90)$$

Donde:

f_n = Frecuencia natural

En la investigación se tiene que 1.69 Hz

$$N_{\text{crítica}} = 1.69 \times 60$$

$$N_{\text{crítica}} = 101.4 \text{ RPM}$$

Relación de operación

$$\frac{N_{op}}{N_{crítica}} \dots\dots\dots (91)$$

Donde:

N_{op} = Velocidad de operación

$N_{crítica}$ = Velocidad crítica en rpm

En la investigación se tiene que la velocidad de operación 30 RPM y la velocidad critica 101.4 RPM

$$\frac{30}{101.4}$$
$$0.296 < 0.7$$

Por último, la velocidad de operación está muy por debajo de la crítica, sin riesgo de resonancia.

3.3.3.4. Cálculo de pérdidas por derrame

a) Área de fuga

$$A_{fuga} = \pi \times D_{tornillo} \times \delta \dots\dots\dots (92)$$

Donde:

$D_{tornillo}$ = Diámetro del tornillo

δ = Holgadura

En la investigación se tiene que según la normativa CEMA Standard 350, para materiales finos como cascarilla $\delta = 1 \text{ mm} = 0.001 \text{ m}$

$$A_{fuga} = \pi \times 0.2 \times 0.001$$

$$A_{fuga} = 0.000628 \text{ m}^2$$

b) Velocidad de fuga

$$V_{periférica} = \pi \times D \times N \dots\dots\dots (93)$$

Donde:

D = Diámetro

N = RPM

En la investigación se tiene que el diámetro 0.2 m y el 30 RPM

$$v_{\text{periférica}} = \pi \times 0.2 \times \frac{30}{60}$$

$$v_{\text{periférica}} = 0.0628 \text{ m/s}$$

c) Pérdida másica

$$\dot{m}_{\text{fuga}} = \rho \times A_{\text{fuga}} \times v_{\text{fuga}} \dots \dots \dots (95)$$

Donde:

ρ = Densidad

A_{fuga} = Área de fuga

v_{fuga} = Velocidad de fuga

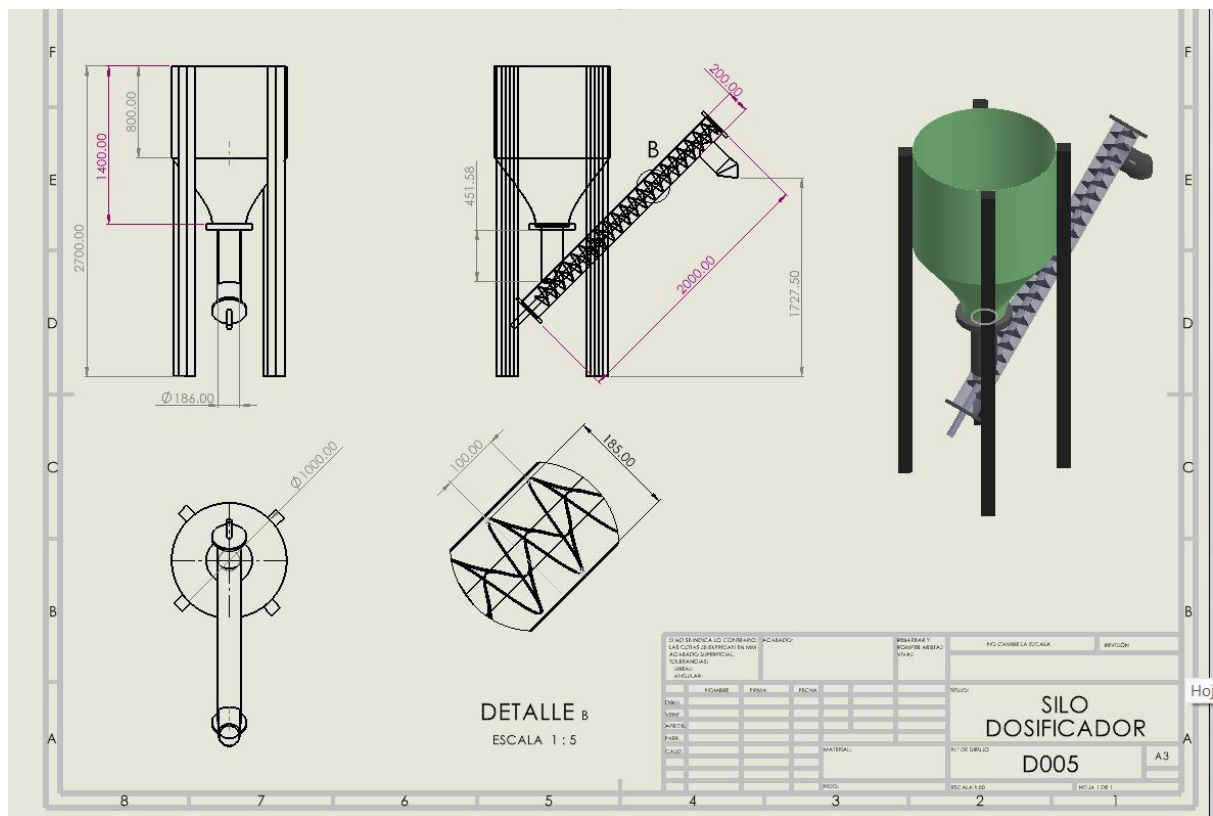
En la investigación se tiene que la velocidad de fuga según la normativa CEMA Standard 350-2019 es de 0.2

$$\dot{m}_{\text{fuga}} = 120 \times 0.001885 \times 0.0628$$

$$\dot{m}_{\text{fuga}} = 0.0142 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{\text{fuga}} = 51.12 \text{ kg/h}$$

Figura 9. subsistema de dosificación



Fuente: elaboración propia.

3.3.4. Subsistemas reactor de conversión

Se seleccionó un reactor de gasificación tipo downdraft porque permite obtener un gas combustible más limpio y con menor contenido de alquitranes, característica fundamental para alimentar motores de combustión interna destinados a generación eléctrica. Asimismo, este tipo de gasificador presenta mejor estabilidad operativa en sistemas de baja y mediana potencia, menores costos de implementación y mantenimiento, y mayor aprovechamiento energético de la biomasa residual.

3.3.4.1. Cálculo del flujo de combustible

Las propiedades físicas y energéticas de la cascarilla de arroz constituyen los parámetros de entrada para el diseño del reactor de gasificación, influyendo directamente en el rendimiento energético del sistema.

Tabla 22 Propiedades de cascarilla de arroz

Parámetro	Símbolo	Valor	Norma técnica
Poder calorífico inferior	PCI	14.5 MJ/kg	ISO 18125:2017
Densidad aparente	ρ_b	120 kg/m ³	ISO 17828:2015
Humedad	H	10%	ISO 18134-2:2017
Contenido de cenizas	Ash	15%	ISO 18122:2015
Tamaño de partícula	d_b	2-10 mm	ISO 17827-1:2016

El proceso de gasificación requiere condiciones específicas de operación para garantizar una conversión eficiente de la biomasa en gas combustible.

Tabla 23 Parámetros de operación del reactor

Parámetro	Símbolo	Valor	Norma técnica
Eficiencia motor-generator	η_{mg}	25%	ISO 3046-1:2002
Eficiencia gasificador	η_g	70%	ASME PTC 4.3-2017
Temperatura gasificación	T_g	850-950 °C	ISO 13577-1:2016
Temperatura ambiente	T_a	25 °C	SENAMHI
Presión operación en Jaén	P_{op}	101.325 kPa	ISO 2533:1975
Relación aire/combustible estequiométrica	RAC_{est}	4.5 kg aire/kg biomasa	ASTM D3176-15
Factor de exceso de aire	λ	0.3	NFPA 86:2021
Velocidad superficial gas	v_g	0.20 m/s	CEN/TS 15370-1:2006
Tiempo residencia	T_r	25 min	ASME PTC 4.3-2017

Fuente: elaboración propia

Potencia térmica requerida

$$P_{térmica} = \frac{P_{el}}{\eta_{mg} \times \eta_g} \dots \dots \dots (96)$$

Donde:

P_{el} = Potencia eléctrica

η_{mg} = Eficiencia motor-generator

η_g = Eficiencia gasificador

En la investigación se tiene que la potencia eléctrica es 22 kW, la eficiencia motor-generator 25%, la eficiencia gasificador 70%:

$$P_{térmica} = \frac{22}{0.25 \times 0.70}$$

$$P_{térmica} = \frac{22}{0.175}$$

$$P_{térmica} = 125.71 \text{ kW}$$

a) Flujo másico de biomasa seca

$$\dot{m}_{b,seca} = \frac{P_{térmica}}{PCI \times 1000} \dots\dots\dots (97)$$

Donde:

$P_{térmica}$ = Potencia térmica

PCI = Poder calorífico inferior

En la investigación se tiene que la potencia térmica 125.71 kW y un poder calorífico inferior 14.5 MJ/kg

$$\dot{m}_{b,seca} = \frac{125.71}{14.5 \times 1000}$$

$$\dot{m}_{b,seca} = \frac{125.71}{14500}$$

$$\dot{m}_{b,seca} = 0.00867 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{b,seca} = 0.00867 \times 3600$$

$$\dot{m}_{b,seca} = 31.21 \text{ kg/h}$$

b) Flujo másico con humedad

$$\dot{m}_{b,húmeda} = \dot{m}_{b,seca} \times (1 + H) \dots\dots\dots (98)$$

Donde:

$\dot{m}_{b,seca}$ = Flujo másico de biomasa seca

H = Humedad

En la investigación se tiene que el flujo másico de biomasa seca 31.21 kg/h y la humedad 10%

$$\dot{m}_{b,húmeda} = 31.21 \times (1 + 0.10)$$

$$\dot{m}_{b,húmeda} = 34.33 \text{ kg/h}$$

c) Volumen horario de biomasa

$$\dot{V}_b = \frac{\dot{m}_{b,húmeda}}{\rho_b} \dots\dots\dots (99)$$

Donde:

$\dot{m}_{b,húmeda}$ = Flujo másico con humedad

ρ_b = Densidad aparente

En la investigación se tiene que el flujo másico con humedad 34.33 kg/h y una densidad aparente 120 kg/m³

$$\dot{V}_b = \frac{34.33}{120}$$

$$\dot{V}_b = 0.2861 \text{ m}^3/\text{h}$$

3.3.4.2. cálculo del flujo de aire

a) Aire estequiométrico

$$\dot{m}_{aire,est} = \dot{m}_{b,seca} \times RAC_{est} \dots\dots\dots (100)$$

Donde:

$\dot{m}_{b,seca}$ = Flujo másico de biomasa seca

RAC_{est} = Relación aire/combustible estequiométrica

En la investigación se tiene que el flujo másico de biomasa seca 31.21 kg/h y la relación aire/combustible estequiométrica 4.5 kg aire/kg biomasa

$$\dot{m}_{aire,est} = 31.21 \times 4.5$$

$$\dot{m}_{aire,est} = 140.45 \text{ kg/h}$$

b) Aire real con exceso

$$\dot{m}_{aire} = \dot{m}_{aire,est} \times (1 + \lambda) \dots \dots \dots (101)$$

Donde:

$\dot{m}_{aire,est}$ = Aire estequiométrico

λ = Factor de exceso de aire

En la investigación se tiene que el aire estequiométrico 140.45 kg/h y el factor de exceso de aire 0.3

$$\dot{m}_{aire} = 140.45 \times (1 + 0.3)$$

$$\dot{m}_{aire} = 182.59 \text{ kg/h}$$

c) Caudal volumétrico de aire

$$\dot{V}_{aire} = \frac{\dot{m}_{aire}}{\rho_{aire}} \dots \dots \dots (102)$$

Donde:

$\dot{m}_{aire}$ = Aire real con exceso

ρ_{aire} = Densidad del aire

En la investigación se tiene que el aire real con exceso 182.59 kg/h y la densidad del aire a 25°C: $\rho_{aire} = 1.184 \text{ kg/m}^3$

$$\dot{V}_{aire} = \frac{182.59}{1.184}$$

$$\dot{V}_{aire} = 154.22 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\dot{V}_{\text{aire}} = 0.0428 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.3.4.3. Dimensionamiento geométrico del reactor

a) Diámetro del reactor

- **Primero, se hallará que la producción del gas**

Para un reactor **Downdraft** alimentado con cascarilla de arroz, el rendimiento suele estar entre:

2.0 y 2.6 Nm³/kg

$$\dot{V}_{\text{gas}} = \dot{m}_{\text{b,seca}} \times 2.0 \dots \dots \dots (103)$$

Donde:

$\dot{m}_{\text{b,seca}}$ = Flujo másico de biomasa seca

En la investigación se tiene que el flujo másico de biomasa seca 31.21 kg/h

$$\dot{V}_{\text{gas}} = 31.21 \times 2.0$$

$$\dot{V}_{\text{gas}} = 62.42 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

- **Segundo, se hallará que la producción del gas en operación**

$$\dot{V}_{\text{gas,op}} = \dot{V}_{\text{gas}} \times \frac{T_g + 273}{273} \times \frac{1}{3600} \dots \dots \dots (104)$$

Donde:

$\dot{V}_{\text{gas}}$ = Producción de gas

T_g = Temperatura gasificación

En la investigación se tiene que la producción de gas 62.42 Nm³/h y la temperatura gasificación 900 °C

$$\dot{V}_{\text{gas,op}} = 62.42 \times \frac{900 + 273}{273} \times \frac{1}{3600}$$

$$\dot{V}_{\text{gas,op}} = 62.42 \times \frac{1173}{273} \times \frac{1}{3600}$$

$$\dot{V}_{\text{gas,op}} = 62.42 \times 4.2967 \times 0.0002778$$

$$\dot{V}_{\text{gas,op}} = 0.0744 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Tercero, se hallará que el área transversal requerida**

$$A = \frac{\dot{V}_{\text{gas,op}}}{v_g} \dots \dots \dots (105)$$

Donde:

$\dot{V}_{\text{gas,op}}$ = Producción del gas en operación

$\dot{V}_{\text{gas}}$ = Velocidad superficial del gas

En la investigación se tiene que la producción del gas en operación 0.0744 m³/s y la velocidad superficial del gas 0.20 m/s

$$A = \frac{0.0744}{0.20}$$

$$A = 0.372 \text{ m}^2$$

- **Cuarto, se hallará que el diámetro del reactor**

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} \dots \dots \dots (106)$$

Donde:

A = Área transversal requerida

En la investigación se tiene que el área transversal requerida es 0.372 m²

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0.372}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{0.4736}$$

$$D = 0.688 \text{ m}$$

Selección comercial: D = 0.70 m (700 mm)

b) Altura del lecho de biomasa

Primero, se hallará que la velocidad de descenso del lecho

$$v_{\text{lecho}} = \frac{\dot{m}_{b,húmeda}}{\rho_b \times A} \dots \dots \dots (107)$$

Donde:

$\dot{m}_{b,húmeda}$ = Flujo másico con humedad

ρ_b = Densidad aparente

A = Área, se calcula así:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \dots \dots \dots (108)$$

Donde:

D = Diámetro

En la investigación se tiene que el diámetro es 0.7 m, el flujo másico con humedad 34.33 kg/h y la densidad aparente 120 kg/m³

$$A = \frac{\pi \times (0.70)^2}{4}$$

$$A = 0.3848 \text{ m}^2$$

$$v_{\text{lecho}} = \frac{34.33}{120 \times 0.3848}$$

$$v_{\text{lecho}} = \frac{0.009536}{46.176}$$

$$v_{\text{lecho}} = 0.0002065 \text{ m/s}$$

$$v_{\text{lecho}} = 0.743 \text{ m/h}$$

Segundo, se hallará que la altura para tiempo de residencia

$$H_{\text{lecho}} = v_{\text{lecho}} \times t_r \dots \dots \dots (109)$$

Donde:

v_{lecho} = Velocidad de descenso del lecho

t_r = Tiempo de residencia

En la investigación se tiene que según la normativa ASME PTC 4.3-2017 para el tiempo de residencia $25 \text{ min} = 0.4167 \text{ h}$

$$H_{lecho} = 0.743 \times 0.4167$$

$$H_{lecho} = 0.309 \text{ m}$$

Tercero, se hallará que la corrección por densidad de empaquetamiento

$$H_{lecho,real} = H_{lecho} \times 2.5 \dots \dots \dots (110)$$

Donde:

H_{lecho} = Altura para tiempo de residencia

En la investigación se tiene que según la normativa ISO 18847:2016 es un factor 2.5

$$H_{lecho,real} = 0.7725 \text{ m}$$

$$H_{lecho,real} = 0.80 \text{ m}$$

Para la distribución de las zonas internas del reactor, es necesario establecer alturas adecuadas para cada etapa del proceso de gasificación.

Tabla 24 Altura total del reactor

Zona	Altura	Norma
Zona de secado/pirólisis	(0.35-0.49 m)	ASME PTC 4.3
Zona de reducción	(0.70-0.91 m)	ASME PTC 4.3
Zona de oxidación/combustión	(0.28-0.35 m)	ASME PTC 4.3
Tolva inferior + espacio libre	(≥ 0.49 m)	ASTM D2013
Tapa superior	(≥ 0.25 m)	NFPA 86

$$H_{total} = 0.40 + 0.80 + 0.30 + 0.50 + 0.30 = 2.30 \text{ m}$$

3.3.4.4. Balance de masa detallado

a) Entradas

En la investigación se tiene que según la normativa ISO 2533:1975 la composición del aire seco es:

Tabla 25 Composición del aire seco

Componente	% en masa	% en volumen
Oxígeno (O ₂)	23.20%	20.95%
Nitrógeno (N ₂)	76.80%	78.08%
Argón (Ar)	1.28%	0.93%
CO ₂	0.04%	0.04%
Otros	0.02%	0.002%

Se tiene que el oxígeno en masa es el 23.2% equivalente a 42.36 kg/h y el nitrógeno en masa es el 76.8% equivalente a 140.23 kg/h del $\dot{m}_{\text{aire}} = 182.59 \text{ kg/h}$

$$\dot{m}_{\text{b,húmeda}} = 34.33 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{\text{aire}} = 182.59 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{\text{total}} = 216.92 \text{ kg/h}$$

b) Salidas

En la investigación se tiene que según la normativa ISO 22006:2009 - “Gas analysis — Preparation of calibration gas mixtures” según la composición del aire:

Tabla 26 Composición del aire

Componente	Rango típico	% Volumen
CO	18-22%	20%
H ₂	13-17%	15%
CH ₄	1-3%	2%
CO ₂	9-12%	10%

N ₂	50-55%	53%
----------------	--------	-----

También, se tiene las densidades de las composiciones del aire que según la normativa ISO 6976:2016:

Tabla 27 Densidades de la composición del aire

Componente	Densidad	Unidades
CO	1.250	kg/Nm ³
H ₂	0.090	kg/Nm ³
CH ₄	0.717	kg/Nm ³
CO ₂	1.977	kg/Nm ³
N ₂	1.251	kg/Nm ³

Asimismo, se calcula el volumen y la densidad según la composición del aire y una producción del gas 62.42 Nm³/h:

$$V_{xy} = (V_X) \times (y_y) \dots \dots \dots (111)$$

Donde:

V_X = Volumen de la producción del gas

y_X = Fracción molar

$$\dot{m}_{xy} = (V_{xy}) \times (\rho_A)$$

Donde:

V_{xy} = Volumen del elemento

ρ_A = Densidad del elemento

$$V_{CO} = 62.42 \text{ Nm}^3/\text{h} \times (0.20)$$

$$V_{CO} = 12.484 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$m_{CO} = 12.484 \text{ Nm}^3/\text{h} \times 1.250 \text{ kg/Nm}^3$$

$$m_{CO} = 15.605 \text{ kg/h}$$

$$V_{H_2} = 62.42 \text{ Nm}^3/\text{h} \times (0.15)$$

$$\begin{aligned}
V_{H_2} &= 9.363 \text{ Nm}^3/\text{h} \\
m_{H_2} &= 9.363 \text{ Nm}^3/\text{h} \times 0.090 \text{ kg/Nm}^3 \\
m_{H_2} &= 0.843 \text{ kg/h} \\
V_{CH_4} &= 62.42 \text{ Nm}^3/\text{h} \times (0.02) \\
V_{CH_4} &= 1.2484 \text{ Nm}^3/\text{h} \\
m_{CH_4} &= 1.2484 \text{ Nm}^3/\text{h} \times 0.717 \text{ kg/Nm}^3 \\
m_{CH_4} &= 0.895 \text{ kg/h} \\
V_{CO_2} &= 62.42 \text{ Nm}^3/\text{h} \times (0.10) \\
V_{CO_2} &= 6.242 \text{ Nm}^3/\text{h} \\
m_{CO_2} &= 6.242 \text{ Nm}^3/\text{h} \times 1.977 \text{ kg/Nm}^3 \\
m_{CO_2} &= 12.340 \text{ kg/h}
\end{aligned}$$

$$m_{N_2} = 140.23 \text{ kg/h}$$

$$m_{H_2O} = \dot{m}_{b,seca} \times H \dots\dots\dots (112)$$

Donde:

$\dot{m}_{b,seca}$ = Flujo másico de biomasa seca

H = Humedad

En la investigación se tiene que el flujo másico de biomasa seca 31.21 kg/h y una Humedad del 10%

$$m_{H_2O} = 31.21 \times 0.10$$

$$m_{H_2O} = 3.121 \text{ kg/h}$$

Por otro lado, se hallará las cenizas

$$m_{cenizas} = \dot{m}_{b,seca} \times Ash \dots\dots\dots (113)$$

Donde:

$\dot{m}_{b,seca}$ = Flujo másico de biomasa seca

Ash = Contenido de cenizas

En la investigación se tiene que el flujo másico de biomasa seca 31.21 kg/h y un contenido de cenizas del 15%

$$m_{cenizas} = 31.21 \times 0.15$$

$$m_{cenizas} = 4.682 \text{ kg/h}$$

Por último, se hallará alquitranes

$$m_{alquitranes} = \dot{m}_{b,seca} \times \theta \dots\dots\dots (114)$$

Donde:

$\dot{m}_{b,seca}$ = Flujo másico de biomasa seca

θ = Eficiencia para downdraft

En la investigación se tiene que el flujo másico de biomasa seca 31.21 kg/h y la eficiencia para downdraft según la normativa CEN/TS 15439:2006 está entre el 3% al 7%

$$m_{alquitranes} = 31.21 \times 0.05$$

$$m_{alquitranes} = 1.5605 \text{ kg/h}$$

Componentes	kg/h
CO	15.605
H ₂	0.843
CH ₄	0.895
CO ₂	12.340
N ₂	140.23
m _{H₂O}	3.121
m _{cenizas}	4.682
m _{alquitranes}	1.5605
TOTAL	179.27

Se agrega las pérdidas no contabilizadas como el gas de síntesis, gases traza (O₂, NH₃, H₂S) no considerados en la composición típica, y posibles incertidumbres en la estimación de humedad y cenizas siendo 37.64 kg/h, sumando un total de 216.92 kg/h

3.3.4.5. Poder calorífico del gas

El poder calorífico del gas representa la energía disponible en el gas de síntesis producido durante la gasificación, siendo un indicador fundamental para determinar su capacidad de generación energética.

Tabla 28 Poder calorífico del gas

Componente	% Volumen	Normativas
CO	12.63	NIST Chemistry
	MJ/Nm ³	WebBook
H ₂	12.75	IUPAC Reference
	MJ/Nm ³	Data
CH ₄	39.8	437:2021
	MJ/Nm ³	

En la investigación se tiene que:

$$PCI_{gas} = (0.20 \times 12.63) + (0.15 \times 12.75) + (0.02 \times 39.8)$$

$$PCI_{gas} = 2.526 + 1.9125 + 0.796$$

$$PCI_{gas} = 5.2345 \text{ MJ/Nm}^3$$

a) Producción de gas energético

Primero, se hallará que el caudal de gas producido:

$$P_{\text{térmica, gas}} = \dot{V}_{\text{gas}} \times PCI_{\text{gas}} \dots \dots \dots (115)$$

Donde:

$$\dot{V}_{\text{gas}} = \text{Producción de gas}$$

PCI_{gas} = Poder calorífico del gas

En la investigación se tiene que la producción de gas 62.42 Nm³/h y un poder calorífico del gas 5.2345 MJ/Nm³

$$P_{\text{térmica, gas}} = (62.42 \text{ Nm}^3/\text{h}) \times (5.2345 \text{ MJ/Nm}^3)$$

$$P_{\text{térmica, gas}} = 326.6 \text{ MJ/h}$$

Por último, convertimos a kW:

$$1 \text{ MJ/h} = \frac{1}{3.6} \text{ kW}$$

$$P_{\text{térmica, gas}} = \frac{326.6}{3.6}$$

$$P_{\text{térmica, gas}} = 90.72 \text{ kW}$$

3.3.4.6. Cálculo de pérdidas térmicas

- **Primero, se hallará área cilíndrica:**

$$A_{\text{cil}} = \pi \cdot D \cdot H \dots\dots\dots (116)$$

Datos:

D = Diámetro

H = Altura total

En la investigación se tiene que el diámetro es de 0.7 m y la altura total es 2.30 m

$$A_{\text{cil}} = \pi \cdot 0.70 \cdot 2.30$$

$$A_{\text{cil}} = 5.057 \text{ m}^2$$

- **Segundo, se hallará área de tapas (2 tapas planas)**

$$A_{\text{tapas}} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \dots\dots\dots (117)$$

Datos:

D = Diámetro

En la investigación se tiene que el diámetro es de 0.7 m

$$A_{\text{tapas}} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 0.70^2}{4}$$

$$A_{\text{tapas}} = 0.769 \text{ m}^2$$

- **Tercero, se hallará área total exterior:**

$$A_{\text{total}} = A_{\text{cil}} + A_{\text{tapas}} \dots \dots \dots (118)$$

Datos:

A_{cil} = Área del cilindro

A_{tapas} = Área de las tapas

En la investigación se tiene que el área del cilindro 5.057 m^2 y área de las tapas 0.769 m^2

$$A_{\text{total}} = 5.057 + 0.769$$

$$A_{\text{total}} = 5.826 \text{ m}^2$$

a) Resistencia térmica total

$$R_{\text{total}} = \frac{1}{h_i \cdot A} + \frac{e_{\text{ac}}}{k_{\text{ac}} \cdot A} + \frac{e_{\text{ais}}}{k_{\text{ais}} \cdot A} + \frac{1}{h_e \cdot A} \dots \dots \dots (119)$$

Donde:

h_i = Coeficiente de transferencia de calor

A = Área por donde fluye el calor

k_{ac} = Conductividad térmica del material del tubo

k_{ais} = Conductividad térmica del aislamiento

h_e = Coeficiente de convección externa

e_{ac} = Espesor del acero

e_{ais} = Espesor del aislante

En la investigación se tiene que el área total es 5.826 m^2 , el coeficiente de transferencia de calor según la normativa ASME PTC 4.3-2017 es $15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, espesor del acero según

la normativa ASME B31.3 es 0.01 mm, la conductividad térmica del material del tubo ASTM A36 según la normativa ASTM C177-19 45 W/m². K, el espesor del aislante según la normativa ISO 12241:2008 es 0.1 mm, coeficiente de convección externa según la normativa ISO 6946:2017 es 10 W/m². K y la conductividad térmica del aislamiento es lana mineral según la normativa ISO 9288:2022 es 0.04 W/m². K

$$R_{total} = \frac{1}{(15)(5.826)} + \frac{(0.01)}{(45)(5.826)} + \frac{(0.1)}{(0.04)(5.826)} + \frac{1}{(10)(5.826)}$$

$$R_{total} = 0.4577 \text{ k/W}$$

b) Pérdida de calor

$$\dot{Q}_{p\acute{e}rdida} = \frac{T_i - T_e}{R_{total}} \dots\dots\dots (120)$$

Donde:

T_i = Temperatura interior

T_e = Temperatura exterior

R_{total} = Resistencia térmica total

En la investigación se tiene que la temperatura interior según la normativa ISO 13577-1:2016 está entre 850-950 °C y la temperatura exterior según SENAMHI 25 °C y la resistencia térmica total 0.4577 k/W

$$\dot{Q}_{p\acute{e}rdida} = \frac{900 - 25}{0.4577}$$

$$\dot{Q}_{p\acute{e}rdida} = \frac{875}{0.4577}$$

$$\dot{Q}_{p\acute{e}rdida} = 1911.73 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{p\acute{e}rdida} 1.91 \text{ kW}$$

c) Eficiencia térmica del reactor

$$\eta_{\text{termico}} = \frac{P_{\text{termico}}}{P_{\text{entrada}}} \dots\dots\dots (121)$$

Donde:

P_{termico} = Potencia térmico

P_{entrada} = Potencia de entrada

En la investigación se tiene que la potencia térmica 90.72 kW y la potencia de entrada 125.71 kW

$$\eta_{\text{termico}} = \frac{90.72 \text{ kW}}{125.71 \text{ kW}}$$

$$\eta_{\text{termico}} = 0.7217$$

$$\eta_{\text{termico}} = 72.17 \%$$

3.3.4.7. Diseño estructural

a) Espesor de pared por presión

$$t = \frac{P \times D_i}{2 \cdot \sigma_{\text{adm}} \cdot E_w - 1.2P} \dots\dots\dots (122)$$

Datos:

P = Presión interna

D_i = Diámetro interno

σ_{adm} = Tensión admisible del material

E_w = Factor de soldadura

En la investigación se tiene que la presión interna por la normativa ISO 13577-1:2016 es 0.15 bar = 15 kPa, un diámetro interno 0.7 m, una tensión admisible del material ASTM A36 137.9MPa y el factor de soldadura con la normativa ASME BPVC Sección VIII 0.85

$$t = \frac{15 \times 10^3 \cdot 0.70}{2 \cdot 137.9 \times 10^6 \cdot 0.85 - 1.2 \cdot 15 \times 10^3}$$

$$t = \frac{10500}{234430000 - 18000}$$

$$t = 4.48 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$t = 0.045 \text{ mm}$$

También, por rigidez y corrosión se aplicará la normativa ASME B31.3 con $t_{\min} = 6 \text{ mm}$ entonces se el espesor adoptado será de 10 mm

b) Peso del reactor

Primero, se hallará que el cálculo del diámetro exterior:

$$D_e = D_i + 2t \dots \dots \dots (123)$$

Datos:

D_i = Diámetro interno

t = Espesor de pared

En la investigación se tiene que el diámetro interno 0.7 m y el espesor de la pared es 10 mm

$$D_e = 0.70 + 2 \times 0.01$$

$$D_e = 0.72 \text{ m}$$

Segundo, se hallará que el volumen del reactor

$$V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_e^2 - D_i^2) \cdot H \dots \dots \dots (124)$$

Donde:

D_i = Diámetro interno

D_e = Diámetro exterior

H = Altura

t = Espesor de pared

$$V_{\text{tapas}} = 2 \times \left(\frac{\pi \times D_e^2}{4} \times t \right)$$

En la investigación se tiene que el diámetro interno 0.7 m, el diámetro exterior 0.72 m, el espesor de la pared es 10 mm y una altura 2.3 m

$$V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi}{4} \cdot ((0.72)^2 - (0.7)^2) \cdot (2.3)$$

$$V_{\text{cilindro}} = 0.05 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{tapas}} = 2 \times \left(\frac{\pi \times (0.72)^2}{4} \times (0.01) \right)$$

$$V_{\text{tapas}} = 0.00814 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{total}} = V_{\text{cilindro}} + V_{\text{tapas}}$$

$$V_{\text{total}} = 0.05 \text{ m}^3 + 0.00814 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{total}} = 0.05814 \text{ m}^3$$

Tercero, se hallará que la masa

$$M = V_{\text{total}} \times \rho \dots \dots \dots (126)$$

Donde:

V_{total} = Volumen total

ρ = Densidad del acero ASTM A36

En la investigación se tiene que el volumen total 0.05814 m³ y la densidad del acero ASTM A36 7850kg/m³

$$M = 0.05814 \text{ m}^3 \times (7850 \text{ kg/m}^3)$$

$$M = 406.944 \text{ kg}$$

3.3.4.8. Sistema de inyección de aire

a) Número de toberas

$$N_{\text{toberas}} = \frac{\pi \cdot D}{s} \dots \dots \dots (127)$$

Donde:

D = Diámetro interno del reactor

S = Espaciamiento entre toberas

En la investigación se tiene que el diámetro interno del reactor 0.70 m, espaciamento entre toberas según la normativa CEN/TS 15370-1:2006 es 0.15 m

$$N_{\text{toberas}} = \frac{\pi \cdot (0.7)}{(0.15)}$$

$$N_{\text{toberas}} = 14.66$$

$$N_{\text{toberas}} = 15$$

b) Diámetro de toberas

Primero, se hallará el área total

$$A_{\text{total}} = \frac{\dot{V}_{\text{aire}}}{v_t} \dots \dots \dots (128)$$

Donde:

$\dot{V}_{\text{aire}}$ = Volumen total

v_t = Velocidad recomendada

En la investigación se tiene que el volumen total 0.05814 m³ y Velocidad recomendada según la normativa NFPA 86:2021

$$A_{\text{total}} = \frac{0.05814}{20}$$

$$A_{\text{total}} = 0.002907 \text{ m}^2$$

Segundo, se hallará el área por tobera

$$A_{\text{tobera}} = \frac{A_{\text{total}}}{N} \dots \dots \dots (129)$$

Donde:

A_{total} = Área total

N = Numero de toberas

$$A_{\text{tobera}} = \frac{0.002907}{15}$$

$$A_{\text{tobera}} = 1.938 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Tercero, se hallará del diámetro de cada tobera

$$d = \sqrt{\frac{4^a}{\pi}} \dots \dots \dots (130)$$

Donde:

A_{total} = Área de la tobera

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 1.938 \times 10^{-4} \text{ m}^2}{3.1416}}$$

$$d = \sqrt{\frac{7.752 \times 10^{-4}}{3.1416}}$$

$$d = \sqrt{2.467 \times 10^{-4}}$$

$$d = 0.01570 \text{ m}$$

$$d = 15.70 \text{ mm}$$

3.3.4.9. Sistema de descarga de cenizas

a) Producción de cenizas

En la investigación se tiene que:

$$\dot{m}_{\text{cenizas}} = 4.682 \text{ kg/h}$$

También, la operación continua es por 24 horas:

$$m_{\text{dia}} = 4.682 \times 24$$

$$m_{\text{dia}} = 112.37 \text{ kg/día}$$

b) Volumen de cenizas

$$V_{\text{total}} = \frac{m_{\text{dia}}}{\rho} \dots \dots \dots (131)$$

Donde:

m_{dia} = Masa del día

ρ = Densidad de las cenizas

En la investigación se tiene que según la normativa ISO 1213-2:2016 500 kg/m³ y una masa del día 112.37 kg/día

$$V_{dia} = \frac{112.37}{500}$$

$$V_{dia} = 0.2247 \text{ m}^3/\text{día}$$

c) Tolva de cenizas

En nuestra investigación se tiene que la autonomía es de 7 días

$$V_{tolva} = 0.2247 \times 7$$

$$V_{tolva} = 1.573 \text{ m}^3$$

3.3.4.10. Potencia del soplador

a) Caída de presión total

En la investigación se tiene que los componentes tienen los siguientes caudales de presión mediante las siguientes normativas:

- **Reactor: 1.5 kPa (ASME PTC 4.3-2017)**
- **Toberas: 0.5 kPa (NFPA 86:2021 + ISO 5167)**
- **Ductos y accesorios: 0.3 kPa (ASHRAE)**

$$\Delta P_{total} = 2.3 \text{ kPa}$$

Potencia del soplador

$$P_{soplador} = \frac{\dot{V}_{aire} \cdot \Delta P_{total}}{\eta_{soplador}} \dots \dots \dots (132)$$

Donde:

$\dot{V}_{aire}$ = Caudal volumétrico de aire

ΔP_{total} = Caída de presión total

η_{soplador} = Eficiencia del soplador

En la investigación se tiene que caudal volumétrico de aire 0.0428 m³/s, caída de presión total 2.3 kPa y eficiencia del soplador según la normativa ISO 12759:2010 es 65%

$$P_{\text{soplador}} = \frac{0.0428 \times 2300}{0.65}$$

$$P_{\text{soplador}} = 151.38 \text{ W}$$

$$P_{\text{soplador}} = 0.151 \text{ kW}$$

b) Motor

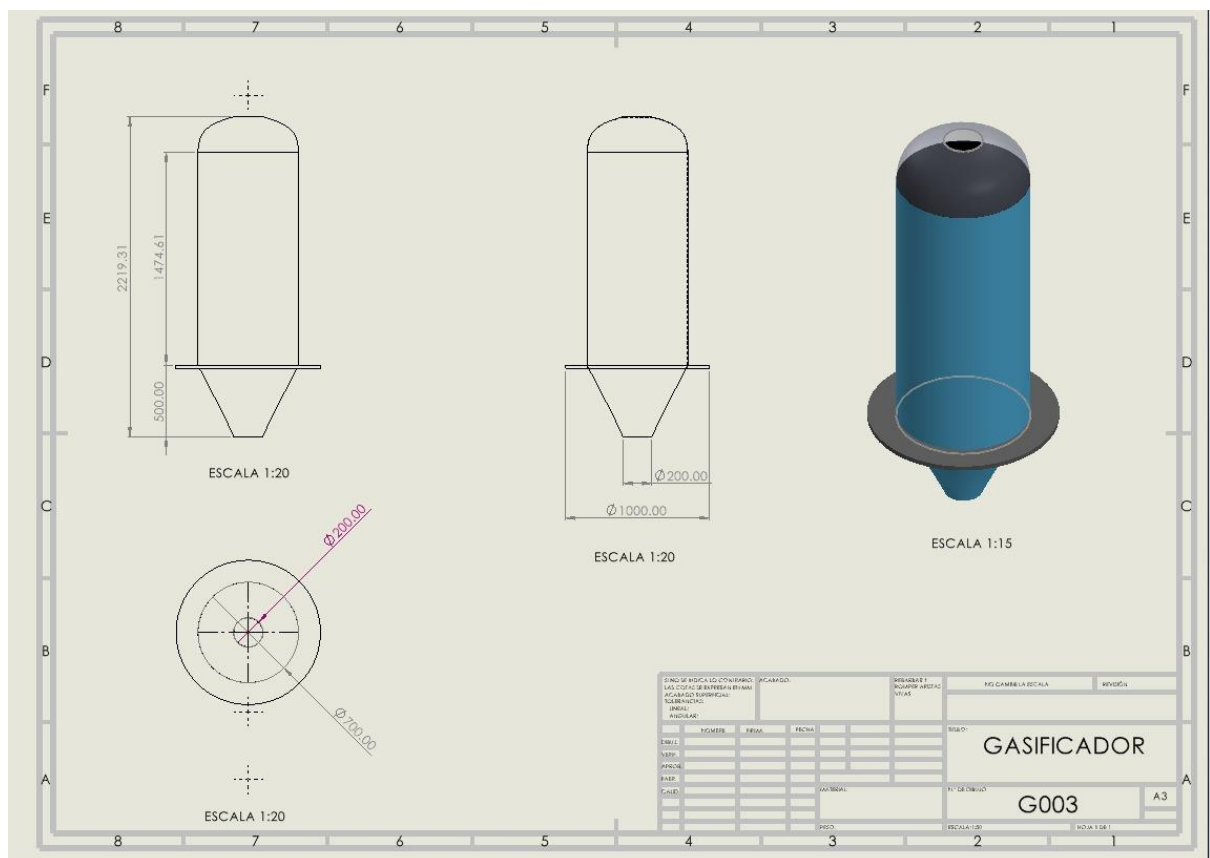
En la investigación se tiene que un factor de seguridad 1.5

$$P_{\text{motor}} = 0.151 \times 1.5$$

$$P_{\text{motor}} = 0.2265 \text{ kW}$$

$$P_{\text{motor}} = 0.23 \text{ kW}$$

Figura 10. Subsistema de conversión.



Fuente: elaboración propia.

3.3.5. Subsistemas enfriamiento

3.3.5.1. Temperatura media para propiedades de fluidos

a) Temperatura media del gas

$$T_{g,mean,log} = \frac{T_{g,in} - T_{g,out}}{\ln\left(\frac{T_{g,in}}{T_{g,out}}\right)} \dots\dots\dots (133)$$

Donde:

$T_{g,in}$ = Temperatura de entrada del gas

$T_{g,out}$ = Temperatura de salida del gas

En la investigación se tiene que la temperatura gasificación según la normativa ISO 13577-1:2016 está entre 850 y 950°C se eligió 900°C y Temperatura de salida del gas según la normativa ISO 3046-1:2002 50 °C

$$T_{g,in,K} = 900 + 273.15 = 1173.15 \text{ K}$$

$$T_{g,out,K} = 50 + 273.15 = 323.15 \text{ K}$$

$$T_{g,mean,log} = \frac{1173.15 - 323.15}{\ln\left(\frac{1173.15}{323.15}\right)}$$

$$T_{g,mean,log} = \frac{850}{\ln(3.630)}$$

$$T_{g,mean,log} = \frac{850}{1.289}$$

$$T_{g,mean,log} = 659.4 \text{ K}$$

$$T_{g,mean,log} = 386.3 \text{ °C}$$

b) Temperatura media del agua

$$T_{w,mean} = \frac{T_{w,in} + T_{w,out}}{2} \dots\dots\dots (134)$$

Donde:

$T_{w,in}$ = Temperatura de entrada del agua

$T_{w,out}$ = Temperatura de salida del agua

En la investigación se tiene que la temperatura de entrada del agua según SENAMHI de Jaén 25 °C y la temperatura de salida del agua según la normativa ISO 13790:2008 - ENERGY PERFORMANCE esta entre 40 y 45°C se eligió 45 °C

$$T_{w,mean} = \frac{25 + 45}{2}$$

$$T_{w,mean} = 35 \text{ °C}$$

$$T_{w,mean} = 308.15 \text{ K}$$

c) Propiedades del gas

Tabla 29 Propiedades del gas

Las propiedades termofísicas del gas de síntesis son requeridas para el diseño de los equipos de enfriamiento, transporte y limpieza del gas producido.

Propiedad	Símbolo	Valor	Normativa
Densidad	ρ_g	0.528 kg/m ³	ISO 6976:2016
Viscosidad dinámica	μ_g	2.8×10^{-5} Pa·s	NIST REFPROP
Calor específico	$C_{p,g}$	1.15 kJ/(kg·K)	ISO 20765-2:2015
Conductividad térmica	k_g	0.045 W/(m·K)	ASHRAE
Número de Prandtl	Pr_g	0.72	ISO 80000-5:2019

Fuente: elaboración propia

d) Propiedades del agua

Las propiedades del agua de enfriamiento permiten calcular la transferencia de calor y dimensionar adecuadamente el sistema de enfriamiento del gas combustible.

Tabla 30 Propiedades del agua

Propiedad	Símbolo	Valor	Normativa
Densidad	ρ_g	994 kg/m ³	ISO 1183-1:2019
Viscosidad dinámica	μ_g	0.72×10^{-3} Pa·s	ISO 3104:2020
Calor específico	$C_{p,g}$	4.18 kJ/(kg·K)	ISO 11357-1:2016
Conductividad térmica	k_g	0.62 W/(m·K)	ISO 22007-2:2022
Número de Prandtl	Pr_g	4.85	ISO 80000-5:2019

Fuente: elaboración propia.

3.3.5.2. cálculo de la carga térmica a extraer

a) Caudal másico

En la investigación se tiene que se obtiene del balance de masa del reactor:

- **Total del gas producido:** $\dot{m}_{gas} = 179.27$ kg/h
- **Temperatura de entrada gas:** $T_{g,in} = 900^\circ\text{C}$

Temperatura salida del gas deseada: $T_{g,out} = 50^\circ\text{C}$ $\dot{m}_{gas} = 179.27$ kg/h $\dot{m}_{gas} = 0.0498$ kg/s

b) Calor a extraer

$$\dot{Q}_{extraer} = \dot{m}_{gas} \cdot C_{p,g} \cdot (T_{g,in} - T_{g,out}) \dots \dots \dots (135)$$

Donde:

$\dot{m}_{gas}$ = Caudal másico del gas

$C_{p,g}$ = Calor específico a presión constante del gas

$T_{g,in}$ = Temperatura de entrada del gas

$T_{g,out}$ = Temperatura de salida del gas

En la investigación se tiene que el caudal másico del gas 0.0498 kg/s, calor específico a presión constante del gas 1150 J/(kg·K) y se tiene que la temperatura gasificación según la normativa ISO 13577-1:2016 esta entre 850 y 950°C se eligió 900°C y Temperatura de salida del gas según la normativa ISO 3046-1:2002 50 °C

$$\dot{Q}_{extraer} = 0.0498 \times 1150 \times (900^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C})$$

$$\dot{Q}_{extraer} = 0.0498 \times 1150 \times 850^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{Q}_{extraer} = 48654.5 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{extraer} = 48.65 \text{ kW}$$

3.3.5.3. Diseño del intercambiador de calor.

a) Caudal de agua requerido

$$\dot{m}_{agua} = \frac{\dot{Q}_{extraer}}{C_{p,agua} \cdot (T_{w,out} - T_{w,in})} \dots\dots\dots (136)$$

Donde:

$\dot{Q}_{extraer}$ = Calor a extraer

$C_{p,agua}$ = Calor específico del agua

$T_{w,out}$ = Temperatura de salida del agua

$T_{w,in}$ = Temperatura de entrada del agua

En la investigación se tiene que el calor a extraer 48.65 kW, calor específico del agua 4180J/(kg·K), la temperatura de entrada del agua según SENAMHI de Jaén 25 °C y la temperatura de salida del agua según la normativa ISO 13790:2008 - ENERGY PERFORMANCE esta entre 40- 45°C y una densidad de 994 kg/m³

$$\dot{m}_{\text{agua}} = \frac{48,654.5}{4180 \times (45 - 25)}$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} = \frac{48,654.5}{83,600}$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} = 0.582 \text{ kg/s}$$

$$\dot{V}_{\text{agua}} = \frac{0.582}{994}$$

$$\dot{V}_{\text{agua}} = 0.000586 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{V}_{\text{agua}} = 2.11 \text{ m}^3/\text{h}$$

b) Diferencia logarítmica de temperatura

$$\text{LMTD} = \frac{(T_{g,\text{in}} - T_{w,\text{out}}) - (T_{g,\text{out}} - T_{w,\text{in}})}{\ln\left(\frac{T_{g,\text{in}} - T_{w,\text{out}}}{T_{g,\text{out}} - T_{w,\text{in}}}\right)} \dots\dots\dots (137)$$

Donde:

$T_{g,\text{in}}$ = Temperatura de entrada del gas

$T_{w,\text{out}}$ = Temperatura de salida del agua

$T_{g,\text{out}}$ = Temperatura de salida del gas

$T_{w,\text{in}}$ = Temperatura de entrada del agua

En la investigación se tiene que la temperatura de entrada del gas según la normativa ISO 13577-1:2016 está entre 850 y 950°C se eligió 900°C, la temperatura de salida del agua según la normativa ISO 13790:2008 - ENERGY PERFORMANCE esta entre 40- 45°C, la temperatura de salida del gas según la normativa ISO 3046-1:2002 50 °C y la temperatura de entrada del agua según SENAMHI de Jaén 25 °C

$$\text{LMTD} = \frac{(900 - 45) - (50 - 25)}{\ln\left(\frac{855}{25}\right)}$$

$$LMTD = \frac{855 - 25}{\ln(34.2)}$$

$$LMTD = \frac{830}{3.532}$$

$$LMTD = 235.0 \text{ K}$$

c) Área de transferencia requerida

$$A = \frac{\dot{Q}_{\text{extraer}}}{U \cdot LMTD} \dots \dots \dots (138)$$

Donde:

$\dot{Q}_{\text{extraer}}$ = Calor a extraer

U = Coeficiente global de transferencia de calor

LMTD = Diferencia logarítmica media de temperatura

En la investigación se tiene que el calor a extraer 48.65 kW, el coeficiente global de transferencia de calor según la normativa TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association) es 50–150, diferencia logarítmica media de temperatura es 235.0 K

$$A = \frac{48,654.5}{100 \times 235.0}$$

$$A = 2.07 \text{ m}^2$$

3.3.5.4. Diseño mecánico preliminar

a) Número de tubos

$$A_{\text{tubo}} = \pi \cdot d_o \cdot L \dots \dots \dots (139)$$

Datos:

d_o = Diámetro exterior

L = Longitud

$$N_{\text{tubos}} = \frac{A}{A_{\text{tubo}}} \dots \dots \dots (140)$$

Datos:

A = Área de transferencia requerida

A_{tubo} = Área del tubo

En la investigación se tiene que los tubos son de acero inoxidable 304, diámetro exterior según la normativa TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association), nos recomienda un $d_o = 0.0254 \text{ m}$ (1”) y una longitud $L = 1.5 \text{ m}$.

$$A_{\text{tubo}} = \pi \times 0.0254 \times 1.5$$

$$A_{\text{tubo}} = 0.1197 \text{ m}^2$$

$$N_{\text{tubos}} = \frac{2.07}{0.1197}$$

$$N_{\text{tubos}} = 18 \text{ tubos}$$

b) Diámetro de la coraza

$$P_t \geq 1.25 \times d_o$$

Donde:

P_t = Paso mínimo

d_o = Diámetro exterior del tubo

En la investigación se tiene que el diámetro exterior del tubo 0.0254 m

$$P_t \geq 1.25 \times 0.0254$$

$$P_t \geq 0.03175 \text{ m}$$

También, este valor es estándar para tubos de 1”.

Por, ultimo según la normativa TEMA Standard, Apéndice A – “Tube Count Tables” para 1” se tiene que para el diámetro de la carcasa es 0.2 m o 8”

c) Área de flujo en tubos

$$A_{\text{int,tubo}} = \frac{\pi \cdot d_i^2}{4} \dots\dots\dots (141)$$

Donde:

d_i = Diámetro interior

$$A_{\text{flujo,gas}} = N_{\text{tubos}} \times A_{\text{int,tubo}} \dots\dots\dots (142)$$

Donde:

N_{tubos} = Numero de tubos

$A_{\text{int,tubo}}$ = Área de interno de tubos

En la investigación se tiene que según la normativa ASME B36.19M, Table 1 nos dice que para diámetro exterior del tubo 0.0254 m entonces el diámetro interior 22.1 mm

$$A_{\text{int,tubo}} = \frac{\pi \times (0.0221)^2}{4}$$

$$A_{\text{int,tubo}} = 3.836 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{\text{flujo,gas}} = 18 \times 3.836 \times 10^{-4}$$

$$A_{\text{flujo,gas}} = 0.006905 \text{ m}^2$$

d) Velocidad del gas en tubos

$$v_g = \frac{\dot{V}_{\text{gas}}}{A_{\text{flujo,gas}}} \dots\dots\dots (143)$$

Donde:

$\dot{V}_{\text{gas}}$ = Velocidad del gas

$A_{\text{flujo,gas}}$ = Área total de flujo del gas

$$\rho_{g,\text{mean}} = \frac{P \cdot M}{R \cdot T} \dots\dots\dots (144)$$

Donde:

P = Presión atmosférica

M = Masa molar promedio

R = Constante del aire

T = Temperatura media

$$\dot{V}_{\text{gas}} = \frac{\dot{m}_{\text{gas}}}{\rho_{\text{g,mean}}} \dots\dots\dots (145)$$

Donde:

$\dot{m}_{\text{gas}}$ = Caudal másico del gas

$\rho_{\text{g,mean}}$ = Densidad

En la investigación se tiene que la temperatura media del gas 386.3°C o 659.45 K, la presión atmosférica 101.325 kPa, una masa molar promedio según la normativa ISO 80000-9:2019 es 0.0288 kg/mol, la constante del aire 0.287 kJ/(kg·K), el caudal másico del gas 0.0498 kg/s y un área de flujo en tubos 0.006905 m²

$$\rho_{\text{g,mean}} = \frac{101.325 \times 0.0288}{0.287 \times 659.45}$$

$$\rho_{\text{g,mean}} = 0.528 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{V}_{\text{gas}} = \frac{\dot{m}_{\text{gas}}}{\rho_{\text{g,mean}}}$$

$$\dot{V}_{\text{gas}} = \frac{0.0498}{0.528}$$

$$\dot{V}_{\text{gas}} = 0.0943 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v_g = \frac{0.0943}{0.006905}$$

$$v_g = 13.66 \text{ m/s}$$

3.3.5.5. Pérdida de presión

a) Pérdida en tubos

$$Re = \frac{\rho_g \cdot v_g \cdot d_i}{\mu_g} \dots \dots \dots (146)$$

Donde:

ρ_g = Densidad del gas

v_g = Velocidad del gas

d_i = Diámetro interno

μ_g = Viscosidad dinámica del gas

$$\Delta P_{\text{tubos}} = f \cdot \frac{L}{d_i} \cdot \frac{\rho_g \cdot v_g^2}{2} \dots \dots \dots (147)$$

Donde:

f = Factor de fricción

L = Longitud

d_i = Diámetro interno

ρ_g = Densidad del gas

V_g = Velocidad

En la investigación se tiene que la densidad del gas 0.528 kg/m³, la velocidad del gas 13.66 m/s, diámetro interno 0.0221 m, la viscosidad dinámica del gas 2.8×10^{-5} Pa·s, factor de fricción el factor de fricción según la normativa Colebrook nos dice que es 0.035, longitud 1.5 m

$$Re = \frac{0.528 \times 13.66 \times 0.0221}{2.8 \times 10^{-5}}$$

$$Re = 5,800$$

$$\Delta P_{\text{tubos}} = 0.035 \times \frac{1.5}{0.0221} \times \frac{0.528 \times (13.66)^2}{2}$$

$$\Delta P_{\text{tubos}} = 0.035 \times 67.87 \times 49.23$$

$$\Delta P_{\text{tubos}} = 117 \text{ Pa}$$

b) Pérdidas en cabezales y accesorios

$$P_{\text{acc}} = K \times \frac{\rho_g \cdot v_g^2}{2} \dots \dots \dots (149)$$

Donde:

K = Coeficiente de pérdida (adimensional)

ρ_g = Densidad del gas (kg/m³)

v_g = Velocidad del gas (m/s)

También, en nuestro proyecto se tiene que:

Accesorio	Cantidad
Cabezales de entrada/salida	2
Codos 90°	4
Total	6

Cabezales (2 unidades)

Según la normativa ASHRAE Handbook, Table 21.5:

- Entrada desde espacio grande a tubo: K = 0.5
- Salida de tubo a espacio grande: K = 1.0
- Total 2 cabezales: $K_{\text{cabezales}} = 0.5 + 1.0 = 1.5$

Codos 90° (4 unidades)

Según la normativa ASHRAE Table 21.5 para codos de radio medio:

- Codo 90° estándar: K = 0.25 cada uno

- 4 codos: $K_{\text{codos}} = 4 \times 0.25 = 1.0$

Coeficiente total K

$$K_{\text{total}} = K_{\text{cabezales}} + K_{\text{codos}} \dots \dots \dots (150)$$

$$K_{\text{total}} = 1.5 + 1.0$$

$$K_{\text{total}} = 2.5$$

Además, la densidad del gas 0.528 kg/m^3 , la velocidad del gas 13.66 m/s ,

$$P_{\text{din}} = \frac{0.528 \times (13.66)^2}{2}$$

$$P_{\text{din}} = \frac{0.528 \times 186.6}{2}$$

$$P_{\text{din}} = \frac{98.52}{2}$$

$$P_{\text{din}} = 49.26 \text{ Pa}$$

Por último, la pérdida total en accesorios

$$\Delta P_{\text{acc}} = K_{\text{total}} \times P_{\text{din}} \dots \dots \dots (151)$$

$$\Delta P_{\text{acc}} = 2.5 \times 49.26$$

$$\Delta P_{\text{acc}} = 123.15 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{\text{acc}} = 123 \text{ Pa}$$

c) Pérdida total en lado gas

$$\Delta P_{\text{total,gas}} = \Delta P_{\text{tubos}} + \Delta P_{\text{acc}} \dots \dots \dots (152)$$

$$\Delta P_{\text{total,gas}} = 117 + 123$$

$$\Delta P_{\text{total,gas}} = 240 \text{ Pa (2.4 mbar)}$$

3.3.5.6. Diseño hidráulico en el lado del gas

a) Velocidad del agua en coraza

$$v_{\text{agua}} = \frac{\dot{V}_{\text{agua}}}{A_{\text{coraza}}} \dots \dots \dots (153)$$

Donde:

$\dot{V}_{\text{agua}}$ = Caudal de agua requerido

A_{coraza} = Área de carcasa

En la investigación se tiene que caudal de agua requerido 0.000586 m³/s y área de carcasa según la normativa TEMA Standard, Apéndice A – “Tube Count Tables” para 1” es 0.2 m o 8”

$$v_{\text{agua}} = \frac{0.000586}{0.02}$$

$$v_{\text{agua}} = 0.0293 \text{ m/s}$$

3.3.5.7. Selección de bomba de agua

a) Potencia de bomba

$$P_{\text{bomba}} = \frac{\dot{V}_{\text{agua}} \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot g \cdot H_{\text{total}}}{\eta_{\text{bomba}}} \dots\dots\dots (154)$$

Donde:

$\dot{V}_{\text{agua}}$ = Velocidad del agua en coraza

ρ_{agua} = Densidad del agua

g = Gravedad

H_{total} = Es la suma de la altura estática y dinámica

η_{bomba} = Eficiencia de la bomba

En la investigación se tiene que velocidad del agua en coraza 0.000586 m³/s, la densidad del agua 994 kg/m³, eficiencia de la bomba según la normativa ISO 9906 es 70% y es la suma de la altura estática según la normativa ASHRAE Handbook- HVAC Systems and Equipment. Esta entre 3-10 m y las pérdidas por accesorios según la normativa ISO

12238:2015 es 2 m y la altura dinámica según la normativa según ISO 13709:2009 es 0.004 m

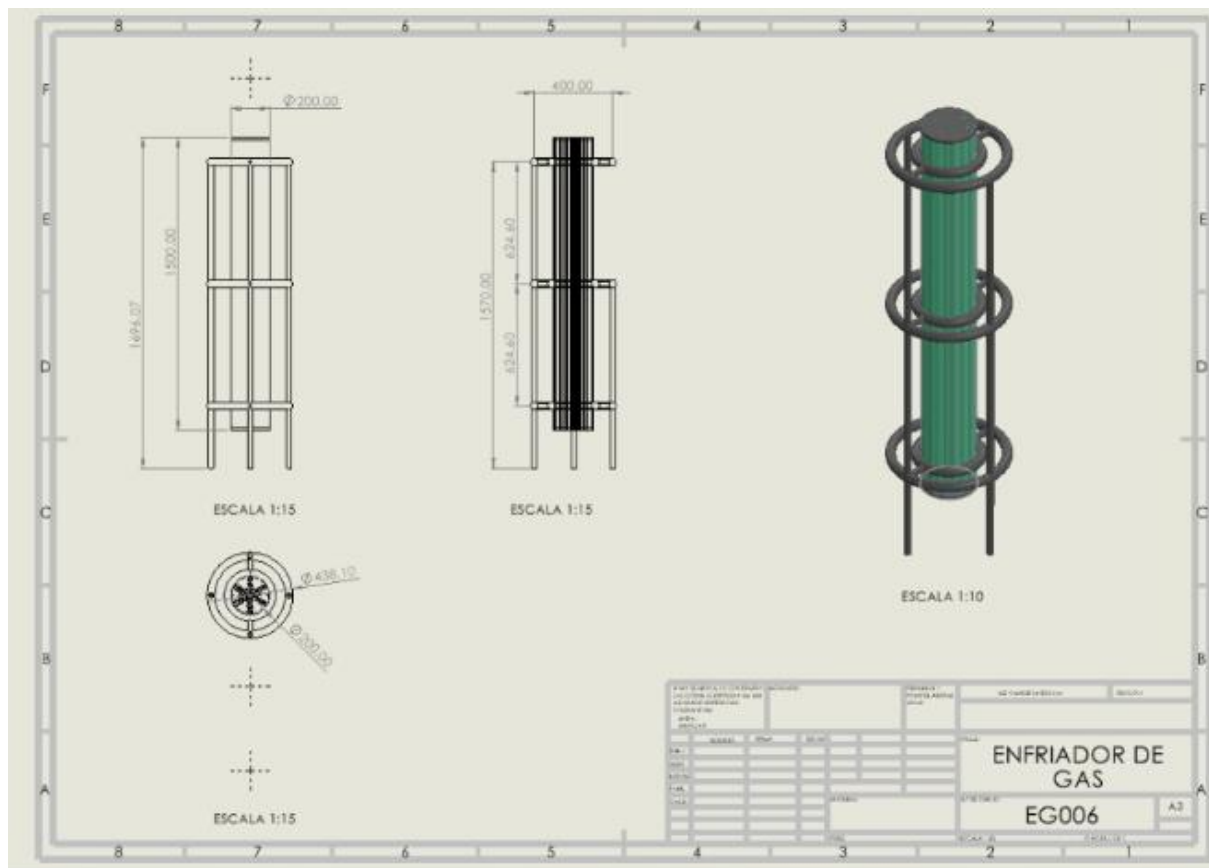
$$P_{\text{bomba}} = \frac{0.000586 \times 994 \times 9.81 \times 7}{0.70}$$

$$P_{\text{bomba}} = 57.1 \text{ W}$$

También, la potencia del motor con factor de seguridad (1.5):

$$P_{\text{motor}} = 85.7 \text{ W}$$

Figura 11. Subsistema de enfriamiento



Fuente: elaboración propia

K = Coeficiente de pérdida

ρ_g = Densidad del fluido

v_{in} = Velocidad de entrada del gas al ciclón

En la investigación se tiene que el coeficiente de pérdida según normativa VDI 3677 Blatt 1:2010 está entre 8-12, la densidad del fluido según la normativa ISO 2533:1975 a 50 °C 0.94 kg/m³ y la velocidad de entrada del gas al ciclón según normativa ISO 16889:2022 es 15–25 m/s, tomamos 20 m/s

$$\Delta P_c = \frac{8 \times 0.94 \times 20^2}{2}$$

$$\Delta P_c = 1504 \text{ Pa (15 mbar)}$$

3.3.6.1. diseño de filtro de mangas

a) Área filtrante necesaria

$$A_f = \frac{\dot{V}_{gas}}{v_f} \dots \dots \dots (157)$$

Donde:

$\dot{V}_{gas}$ = Caudal volumétrico del gas

v_f = Velocidad de filtración

En la investigación se tiene que el caudal volumétrico 0.0943 m³/s, según la normativa norma ISO 11057:2011 es de partículas de biomasa con partículas finas 0.03 m/s

$$A_f = \frac{0.0943}{0.03}$$

$$A_f = 3.14 \text{ m}^2$$

b) Número de mangas

Primero, se hallará área por manga:

$$A_m = \pi \cdot d_m \cdot L_m \dots \dots \dots (158)$$

Donde:

d_m = Diámetro de la manga

L_m = Longitud de la manga

Segundo, se hallará número de mangas:

$$N_m = \frac{A_f}{A_m} \dots \dots \dots (159)$$

Donde:

A_f = Área filtrante necesaria

A_m = Área por manga

En la investigación se tiene que diámetro de la manga según la normativa ISO 4548-12:2017 es 0.15 m, longitud de la manga según la normativa ISO 2942:2022 2.0 m

$$A_m = \pi \times 0.15 \times 2.0$$

$$A_m = 0.942 \text{ m}^2$$

$$N_m = \frac{3.14}{0.942}$$

$$N_m = 3.33 \rightarrow 4 \text{ mangas}$$

3.3.6.2. Cálculo de pérdida de presión en filtro

a) Resistencia por capa de polvo

- **Primero, se hallará la masa depositada**

$$m'' = C \cdot v_f \cdot t \dots \dots \dots (160)$$

Donde:

C = Concentración de polvo en el gas

v_f = Velocidad de filtración superficial

t = Tiempo entre ciclos de limpieza del filtro

En la investigación se tiene que la carga de polvo estimada según la normativa ISO 1213-2 es 5 g/m^3 , tiempo entre limpiezas 1 h y la velocidad de filtración superficial según la normativa norma ISO 11057:2011 es de partículas de biomasa con partículas finas 0.03 m/s

$$m'' = 5 \times 10^{-3} \times 0.03 \times 3600$$

$$m'' = 0.54 \text{ kg/m}^2$$

- **Segundo, se hallará el espesor**

$$\delta = \frac{m''}{\rho_p} \dots \dots \dots (161)$$

Donde:

m'' = Masa depositada:

ρ_p = Densidad del polvo depositado

En la investigación se tiene que la masa depositada 0.54 kg/m^2 y la densidad del polvo depositado según la normativa SO 17828:2015 es 500 kg/m^3

$$\delta = \frac{0.54}{500}$$

$$\delta = 1.08 \times 10^{-3} \text{ m}$$

- **Tercero, se hallará la resistencia específica del polvo**

$$R_p = K_p \cdot m'' \dots \dots \dots (162)$$

Donde:

m'' = Masa depositada:

K_p = Resistencia específica del polvo

En la investigación se tiene que la masa depositada 0.54 kg/m^2 y la resistencia específica del polvo según la normativa ISO 11057:2011 es $1 \times 10^{10} \text{ m/kg}$

$$R_p = 1 \times 10^{10} \times 0.54$$

$$R_p = 5.4 \times 10^9 \text{ m/kg}$$

b) Caída de presión total en el filtro

En la investigación se tiene que la normativa VDI 3677 Blatt 2:2010 Filtering separators — Surface filters, sección 6.3: “Design pressure drop” nos recomienda presión diferencial de diseño entre 500–1500 Pa para filtros de mangas con limpieza por pulsos, en nuestro caso elegiremos 1200 Pa

3.3.6.3. Ventilador de extracción

a) Caída de presión total del sistema de limpieza

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_{\text{ciclón}} + \Delta P_{\text{filtro}} + \Delta P_{\text{ductos}} \dots \dots \dots (163)$$

Donde:

$\Delta P_{\text{ciclón}}$ = Caída de presión del ciclón

ΔP_{filtro} = Caída de presión del filtro

ΔP_{ductos} = Caída de presión de los ductos

En la investigación se tiene que la caída de presión del ciclón 1504 Pa, caída de presión del filtro 1200 Pa y caída de presión de los ductos según la normativa ASHRAE Handbook – Fundamentals (Capítulo 21) es 200 Pa

$$\Delta P_{\text{total}} = 1504 + 1200 + 200$$

$$\Delta P_{\text{total}} = 2904 \text{ Pa}$$

b) Potencia del ventilador

$$P_{\text{vent}} = \frac{\dot{V}_{\text{gas}} \cdot \Delta P_{\text{total}}}{\eta_v} \dots \dots \dots (164)$$

Donde:

$\dot{V}_{\text{gas}}$ = Caudal volumétrico del gas

ΔP_{total} = Caída de presión total

η_v = Rendimiento del ventilador

En la investigación se tiene que caudal volumétrico del gas 0.0943 m³/s, caída de presión total y rendimiento del ventilador según la normativa Según ISO 5801:2017 es 0.65:

$$P_{\text{vent}} = \frac{0.0943 \times 2904}{0.65}$$

$$P_{\text{vent}} = 421 \text{ W}$$

c) Potencia del motor

$$P_{\text{motor}} = 421 \times 1.2$$

$$P_{\text{motor}} = 505 \text{ W}$$

3.3.6.4. Espesor de paredes del ciclón y filtro

a) Presión interna de diseño

$$P_d = 1.1 \times P_{\text{op}} \dots \dots \dots (165)$$

Donde:

P_{op} = Presión operacional

En la investigación se tiene que la presión operacional en Jaén según la normativa ISO 2533:1975 105 kPa

$$P_d = 1.1 \times 105 \text{ kPa}$$

$$P_d = 115.5 \text{ kPa}$$

b) Espesor mínimo por resistencia

$$t = \frac{P_d \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot E - 0.2 \cdot P_d} \dots \dots \dots (166)$$

Donde:

P_d = Presión de diseño

D_i = Diámetro interno

S = Esfuerzo admisible del material

E = Eficiencia de junta

En la investigación se tiene que presión de diseño 115.5 kPa, diámetro interno 0.3 m, esfuerzo admisible del material ASTM A36 137.9 MPa y eficiencia de junta según la normativa ASME BPVC Sección VIII, UW-12 es 85 %

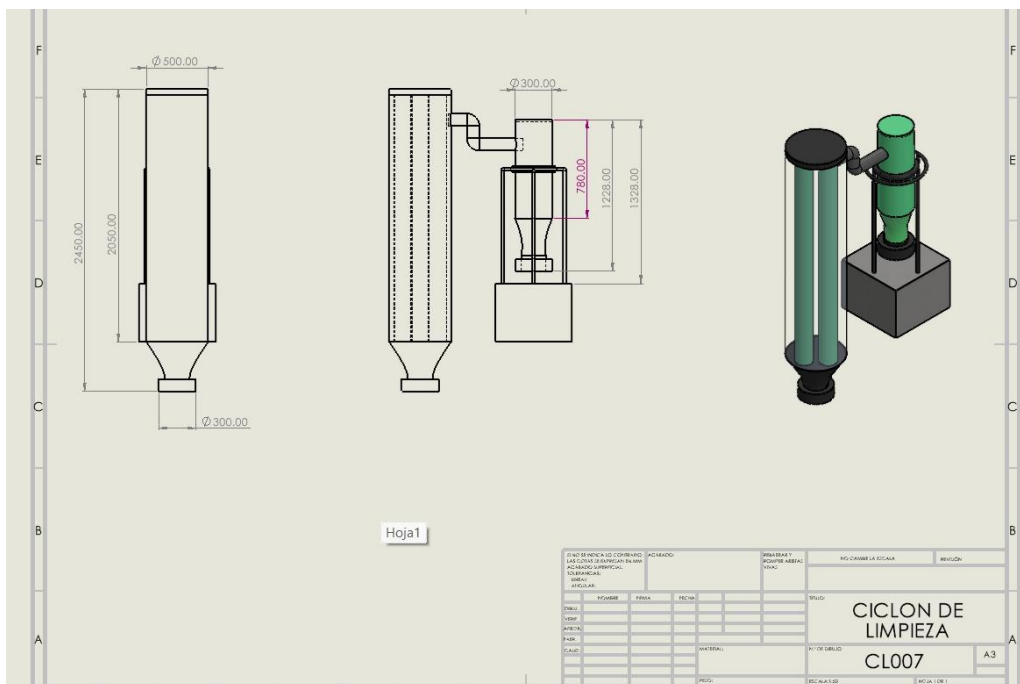
$$t = \frac{115.5 \times 0.30}{2 \times 137.9 \times 0.85 - 0.2 \times 115.5}$$

$$t = 0.147 \text{ mm}$$

c) Espesor por corrosión y rigidez

En la investigación se tiene que según la normativa ASME B31.3, espesor mínimo recomendado para ductos: 3 mm. Adoptamos 4 mm por seguridad y vida útil.

Figura 12. Subsistema de limpieza de gas.



Fuente: elaboración propia

3.4. Selección de los componentes del equipamiento recepción, almacenamiento, dosificación, reactor de conversión, enfriamiento y limpieza de gas.

3.4.1. Componentes del subsistema de recepción

Componente	Descripción / Especificación Técnica	Cantidad	Observaciones / Normativa de Referencia
1. Tolva de Recepción	- Material: Acero estructural S235 (ISO 630) - Capacidad: ~6.15 m³ - Peso total: ~1205 kg (llena) - Dimensiones: Base superior 2.9 m, base inferior 1 m, altura 1.5 m - Espesor de chapa: ¼" (6.35 mm)	1 unidad	Diseñada según cálculo estructural con factor de seguridad 1.7. Cumple con CEMA Standard 350. Proveedor: WANGROUP (Wangroup), Conveyors Inc. (Conveyors Inc.)
2. Tornillo Sinfín de Alimentación	- Diámetro: 200 mm - Paso: 150 mm - Capacidad: 200 kg/h (diseño) - Motor: 0.6 HP (0.45 kW) - Velocidad: 30 RPM - Longitud: 3 m	1 unidad	Motor con factor de servicio 1.7. Diseño según ISO 7119 y DIN 15262. Proveedor: Inducom Perú. (Martin Sprocket, Dodge)
3. Sistema de Filtración de Polvo	- Tipo: Filtro de mangas - Caudal: 7465 m³/h - Área filtrante: 32.91 m² - Ventilador: 10 HP (7.5 kW) - Material: Poliéster recubierto PTFE	1 unidad	Diseñado según ASHRAE, ISO 16890 y normas de captación de polvo (ACGIH). Proveedor: NEDERMAN PERÚ (Nederman)

4. Compuerta Reguladora	- Tipo: Guillotina neumática - Material: Acero al carbono - Potencia actuador: 0.18 kW - Control: Automático por PLC	1 unidad	Cumple con ISO 4414 (neumática). Proveedores: FUNDIGSAC (Orbinox), Siemens Perú (Siemens).
5. Sensores de Nivel y Flujo	- Tipo: Sensor ultrasónico (nivel) y célula de carga (flujo másico) - Señal: 4–20 mA - Precisión: $\pm 1\%$	2 unidades	Compatible con IEC 61131-2 para integración con sistema de control. Proveedor: Siemens Perú (Siemens)
6. Estructura de Soporte	- Material: Perfiles IPE 100 y columnas de acero S235 - Altura: 3 m - Peso: ~467 kg (estructura)	1 conjunto	Diseño estructural según NTE E.090 y ASCE 7-16. Proveedores: Aceros Arequipa (Aceros Arequipa), Famesa Industrial (Famesa).
7. Sistema Eléctrico y de Control	- Tablero eléctrico: IP55, con contactores, relés y PLC - Potencia instalada subsistema: ~7.86 kW - Consumo diario estimado: 86.75 kWh	1 conjunto	Normas IEC 61439, NFPA 70E y IEEE 739. Proveedor: Siemens Perú (Siemens).
8. Cimentación y Anclajes	- Tipo: Zapata aislada - Dimensiones: 1.2 m $\times$ 1.2 m $\times$ 0.5 m (por soporte) - Material: Concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	4 unidades	Diseño según RNE E.050 y ACI 318.

3.4.2. Componentes del subsistema de almacenamiento

Componente	Descripción / Especificación Técnica	Cantidad	Observaciones / Normativa de Referencia
1. Silo de Almacenamiento Principal	- Material: Acero estructural S235 - Capacidad: ~62.83 m³ (aprox. 7346 kg de cascarilla) - Diámetro: 4.0 m - Altura cilíndrica: 5.0 m - Espesor de chapa: 3 mm - Volumen útil: 61.21 m³ (3 días de autonomía)	1 unidad	Diseño según ISO 11697:2015 y EN 1991-4:2006. Cumple con relación H/D = 1.25. Proveedor: Metal Mecánica MTH (MTH).
2. Sistema de Ventilación y Prevención de Incendios	- Ventilador axial: 0.1 × V_{silo} = 6.283 m³/min - Potencia: ~334 W (0.45 HP) - Filtro antipolvo integrado - Sensor de temperatura tipo K (rango: -40°C a 1200°C)	2 unidades	Normas NFPA 69, ISO 12759. Sensor según NFPA 61. Proveedor: Systemair Perú (Systemair).
3. Sistema de Extinción por CO ₂	- Cilindro de CO₂: 55 kg - Concentración de diseño: 34% - Volumen protegido: 62.83 m³	1 sistema	Diseño según NFPA 12. Factor de seguridad 1.2 aplicado. Proveedor: Systemair Perú (Systemair).

	- Activación automática por sensor de temperatura		
4. Sensores de Temperatura y Nivel	- Tipo: Termopar Tipo K (2 unidades) - Salida: 4–20 mA - Umbral de alarma: 60°C - Sensor de nivel por ultrasonido	2 + 1 unidad	Posicionados en zona superior y media del silo. Compatible con IEC 61131-2. Proveedor :TESPRO PERÚ (Wika, Endress+Hauser)
5. Aislamiento Térmico	- Material: Lana mineral - Espesor: 50 mm - Conductividad: 0.04 W/m·K - Reducción de pérdidas térmicas: 80%	1 conjunto	Norma ISO 12241:2008. Pérdidas estimadas sin aislamiento: ~5.66 kW. Proveedor: Aislacorp 2000 SAC (RockWool, Owens Corning).
6. Estructura de Soporte y Cimentación	- Cimentación: Zapata circular D = 4.4 m - Presión sobre terreno: 5.67 kPa - Material: Concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ - Peso total transmitido: 86.3 kN	1 conjunto	Diseño según RNE E.050, ASCE 7-16 y EN 1997-1. Proveedores: Aceros Arequipa, Famesa Industrial (Famesa).
7. Sistema de Descarga Inferior	- Tipo: Tolva cónica con compuerta neumática - Ángulo de cono: $\geq 60^\circ$ - Material: Acero S235 con	1 unidad	Evita puentes y segregación. Cumple con CEMA Standard 350. Proveedor: Metal Mecánica MTH (MTH).

recubrimiento
antiadherente

8. Sistema de Monitoreo y Control	- PLC local con HMI - Integración con SCADA de la planta - Alarmas por temperatura, nivel y fallo de ventilación	1 conjunto	Normas IEC 61131-3 e IEEE 739. Proveedor: Siemens Perú (Siemens).
9. Acceso y Seguridad	- Escalera de servicio con plataforma de inspección - Barandillas y puerta de acceso - Iluminación antiexplosiva	1 conjunto	Cumple con OSHA 1910.23 y NFPA 70E. Proveedores: Aceros Arequipa (Aceros Arequipa), Famesa Industrial (Famesa).

3.4.3. Componentes del subsistema de dosificación

Componente	Descripción / Especificación Técnica	Cantidad	Observaciones / Normativa de Referencia
1. Tolva Intermedia de Dosificación	- Material: Acero S235 - Capacidad: 1 m ³ (100 kg) - Diseño: Cilíndro + cono - Dimensiones: D=1.0 m, H _{cil} =0.8 m, H _{cono} =0.6 m - Volumen total: 0.846 m ³	1 unidad	Diseñada para 30 min de autonomía con flujo de 200 kg/h. Cumple con EN 1991-4. Proveedor: WANGROUP (Wangroup), Conveyors Inc (Conveyors Inc.).
2. Tornillo Dosificador	- Diámetro: 200 mm - Paso: 150 mm - Capacidad: 200 kg/h	1 unidad	Motor con factor de servicio 1.5 (AGMA 6004). Velocidad

	- Motor: 0.082 W nominal (0.11 W con FS) - Velocidad: 30 RPM - Longitud: 2 m - Material: Acero AISI 1020		crítica: 101.4 RPM, operación a 30 RPM sin resonancia. Proveedor: Inducom Perú.
3. Sistema de Control de Flujo	- Tipo: Variador de frecuencia (VFD) para motor del tornillo - Rango: 0–50 Hz - Señal de control: 4–20 mA desde PLC - Precisión: $\pm 1\%$ del flujo setpoint	1 unidad	Compatible con IEC 61800-3. Permite ajuste fino del flujo de biomasa al reactor. Proveedor: Siemens Perú (Siemens).
4. Sensores de Nivel y Peso	- Sensor de nivel por radar (tolva) - Célula de carga para medición en continuo - Salida: 4–20 mA / Modbus RTU - Precisión: $\pm 0.5\%$ FS	2 unidades	Norma IEC 61298-3. Integración con PLC para control automático de llenado/descarga. Proveedor: Siemens Perú (Siemens).
5. Válvula de Compuerta de Control	- Tipo: Guillotina neumática - Diámetro: 200 mm - Material: Acero al carbono con sellos de nitrilo - Tiempo de apertura/cierre: < 5 s	1 unidad	Cumple con ISO 5211 para actuadores y ISO 5752 para compuertas. Proveedores: FUNDIGSAC (Orbinox), Siemens Perú (Siemens).
6. Sistema de Sellado y Antiderrame	- Junta de grafito expandido en bridas - Holgadura máxima: 1	1 conjunto	Reduce fugas de polvo y pérdida de material.

	mm (CEMA Standard 350)		Proveedor: KLINGER Perú (Klinger).
	- Pérdida estimada: 51.12 kg/h (diseño optimizable)		
7. Estructura de Soporte	- Material: Perfiles IPE 80 - Diseño modular para fácil mantenimiento - Incluye pasarelas y barandillas	1 conjunto	Norma OSHA 1910.23 y EN 1090-2. Proveedores: Aceros Arequipa (Aceros Arequipa), Famesa Industrial (Famesa).
8. Sistema de Control Local (PLC)	- PLC compacto (ej: Siemens S7-1200) - Módulos E/S analógicas y digitales - HMI táctil 7” - Comunicación: Ethernet/IP, Modbus TCP	1 conjunto	Cumple con IEC 61131-3. Permite control automático y manual. Proveedor: Siemens Perú (Siemens).
9. Alimentación Eléctrica y Protecciones	- Tablero eléctrico IP55 - Protecciones: termomagnética, diferencial, contra sobretensiones - Potencia instalada: < 0.5 kW	1 unidad	Normas IEC 61439-1, NFPA 70E. Proveedor: Siemens Perú (Siemens).

3.4.4. Componentes del subsistema de reactor de conversión

Componente	Descripción /Especificación Técnica	Cantidad	Observaciones / Normativa de Referencia
1. Reactor Principal (Gasificador Downdraft)	- Material: Acero ASTM A36 - Diámetro interno: 0.70 m - Altura total: 2.30 m - Espesor de pared: 10 mm - Volumen útil: ~0.38 m³ - Temperatura de operación: 900°C - Presión interna: 0.15 bar (15 kPa)	1 unidad	Diseño según ISO 13577-1:2016 y ASME BPVC Sección VIII. Aislamiento incluido. Proveedor: All Power Labs (All Power Labs).
2. Sistema de Inyección de Aire	- Toberas: 15 unidades, diámetro 15.7 mm - Material: Acero inoxidable 310S - Distribución perimetral uniforme - Caudal total: 154.22 m³/h (0.0428 m³/s)	1 conjunto	Diseño según CEN/TS 15370-1:2006 y NFPA 86:2021. Proveedor: EuroBlow Perú (Elektorr, FPZ).
3. Soplador de Aire Primario	- Tipo: Centrífugo de presión media - Caudal: 0.0428 m³/s - Presión de descarga: 2.3 kPa - Potencia del motor: 0.23 kW (0.31 HP) - Material: Acero al carbono con recubrimiento anticorrosivo	1 unidad	Eficiencia 65% según ISO 12759:2010. Factor de seguridad 1.5 aplicado. Proveedor: EuroBlow Perú (Elektorr, FPZ).

4. Sistema de Descarga de Cenizas	- Tolva de cenizas: Capacidad 1.57 m³ (7 días de autonomía) - Compuerta de extracción manual/neumática - Material: Acero S235 con refuerzos	1 unidad	Diseño según ISO 1213-2:2016. Autonomía para producción de 4.68 kg/h de cenizas. Proveedor: Aceros Arequipa (Aceros Arequipa).
5. Aislamiento Térmico del Reactor	- Material: Lana cerámica (Alumina-Silica) - Espesor: 100 mm - Conductividad: 0.12 W/m·K a 900°C - Reducción de pérdidas: ~80%	1 conjunto	Norma ISO 12241:2008. Pérdidas estimadas sin aislamiento: ~1.91 kW. Proveedor: Aaislacorp 2000 SAC (Aaislacopr, Lanaroka).
6. Sensores e Instrumentación	- Termopares Tipo K: 4 unidades (zona oxidación, reducción, salida de gas) - Transductor de presión: 0–50 kPa, 4–20 mA - Analizador de gas en línea (CO, H₂, CH₄, CO₂)	1 conjunto	Cumple con ISO 13577-1:2016. Integración con PLC para control automático. Proveedor: Siemens Perú (Siemens).
7. Sistema de Encendido y Llama Piloto	- Quemador de gas piloto (propano) - Encendido electrónico - Control automático por temperatura de entrada	1 unidad	Norma NFPA 86:2021. Para arranque y estabilización del reactor. Proveedor: Promelsa (Honeywell).
8. Estructura de Soporte y Acceso	- Estructura de acero S235 con plataformas de mantenimiento - Escalera y barandillas - Zona de operación con extintores CO₂	1 conjunto	Cumple con OSHA 1910.23 y EN 1090-2. Proveedor: Aceros Arequipa (Aceros Arequipa)

9. Sistema de Control y Seguridad	- PLC dedicado (ej: Allen-Bradley CompactLogix) - HMI de operación - Válvulas de seguridad y alivio - Sistema de parada de emergencia (ESD)	1 conjunto	Normas IEC 61508 (SIL2) y NFPA 86. Proveedor: Siemens Perú (Siemens).
10. Ductos de Salida de Gas de Síntesis	- Material: Acero inoxidable 304 - Diámetro: 0.15 m - Aislamiento: 50 mm de lana mineral - Juntas expansivas para dilatación térmica	1 conjunto	Diseño según ASME B31.3. Temperatura de salida: ~900°C (hacia enfriador). Proveedor: Aceros Arequipa (Aceros Arequipa).

3.4.5. Componentes del subsistema de enfriamiento

Componente	Descripción / Especificación Técnica	Cantidad	Observaciones / Normativa de Referencia
1. Intercambiador de Calor Tubo-Coraza	- Tipo: Gas (tubos) – Agua (coraza) - Material tubos: Acero inoxidable 304 - Diámetro tubos: 1” (25.4 mm ext / 22.1 mm int) - Longitud tubos: 1.5 m - Número de tubos: 18 - Área de transferencia: 2.07 m² - Carga térmica: 48.65 kW	1 unidad	Diseño según TEMA Standards y ASME BPVC Sección VIII. Coeficiente global $U = 100 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Proveedor: Heat Exchanger Perú SAC. (Alfa Laval, API Heat Transfer)

2. Bomba de Circulación de Agua	- Tipo: Centrífuga horizontal - Caudal: 2.11 m³/h (0.000586 m³/s) - Altura manométrica: 7 m (estática + pérdidas) - Potencia del motor: 85.7 W (0.115 HP) - Material: Hierro fundido con impulsor en bronce	1 unidad	Eficiencia 70% según ISO 9906:2012. Factor de seguridad 1.5 aplicado. Proveedor: PROINFER PROVEEDOR INDUSTRIAL FERRETERO S.A.C. (Pedrollo, Grundfos)
3. Tanque de Almacenamiento de Agua	- Capacidad: 500 L (0.5 m³) - Material: Polietileno de alta densidad (HDPE) - Incluye: Válvula de llenado, drenaje, indicador de nivel y tapa de acceso	1 unidad	Suficiente para 2 horas de operación continua. Norma ISO 12158. Proveedor: Nicoll Perú (Nicoll), Promart Perú, Sodimac Perú.
4. Sistema de Refrigeración Auxiliar (Chiller)	- Capacidad: 5 kW (enfriamiento) - Tipo: Enfriado por aire - Refrigerante: R410A - Temperatura de salida agua: 25°C constante	1 unidad	Opcional para climas cálidos. Norma ISO 5151:2017. Proveedor: Termotem Perú (Carrier, Midea).
5. Sensores de Temperatura y Flujo	- Termopares Tipo K: entrada/salida de gas y agua (4 unidades) - Caudalímetro de turbina para agua: 0–5 m³/h, señal 4–20 mA - Transmisor de presión	1 conjunto	Precisión ±1% FS. Compatible con IEC 60751 y ISO 6817. Proveedor: TESPOR PERÚ (Wika), Contrial Perú (Endress+Hauser).

	diferencial en el intercambiador		
6. Ductos y Tuberías	- Ductos de gas: Acero inoxidable 304, diámetro 0.15 m, aislados con lana mineral (50 mm) - Tuberías de agua: PVC Schedule 40, diámetro 1" - Juntas y bridas: PTFE/graphito	1 conjunto	Normas ASME B31.3 (gas) y ISO 1452 (agua). Aislamiento según ISO 12241. Proveedor: Grupo Acorsa Perú.
7. Válvulas de Control y Aislamiento	- Válvula de globo para regulación de flujo de agua - Válvula de retención (check valve) en descarga de bomba - Válvulas de bola para aislamiento en líneas de agua	4 unidades	Normas ISO 5208 (pruebas) y ISO 5752 (conexiones). Proveedor: Control Valves Perú (Samson, Spirax Sarco).
8. Sistema de Control Automático	- PLC con PID para control de temperatura de salida del gas - Actuador eléctrico para válvula de regulación de agua - HMI local con pantalla táctil	1 conjunto	Integración con SCADA central. Cumple con IEC 61131-3. Proveedor: Siemens Perú (Siemens).
9. Estructura de Soporte y Protección	- Soporte metálico para intercambiador y bomba - Cubierta anticorrosiva y anti-UV para	1 conjunto	Normas EN 1090-2 y OSHA 1910.23.

	componentes externos		Proveedor: Aceros
	- Señalización de seguridad		Arequipa (Aceros Arequipa)
10. Sistema de Drenaje y Tratamiento de Condensados	- Separador de condensados con drenaje automático	1 unidad	Necesario por la humedad del gas (≈ 3.12 kg/h de agua). Norma ISO 14001 considerada.
	- Tanque de recolección de 50 L		Proveedores: ACO Perú
	- Bomba de drenaje auxiliar (si requiere)		(Aco), Protechnik, Friotemp Perú.

3.4.6. Componentes del subsistema de limpieza de gas

Componente	Descripción / Especificación Técnica	Cantidad	Observaciones / Normativa de Referencia
1. Separador Ciclónico Primario	- Material: Acero al carbono con recubrimiento interno antiabrasivo - Diámetro: 0.30 m (comercial) - Altura total: 1.2 m - Velocidad de entrada: 20 m/s - Eficiencia estimada: 85–90% para partículas > 10 μm	1 unidad	Diseño según BS 3928:1969 y VDI 3677 Blatt 1:2010. Caída de presión: ~ 1504 Pa. Proveedor: Electro Cima Perú (Electro Cima).
2. Filtro de Mangas (Filtro de Superficie)	- Número de mangas: 4 - Diámetro por manga: 0.15 m - Longitud por manga: 2.0 m - Material del fieltro:	1 unidad	Norma ISO 11057:2011. Limpieza por pulsos de aire comprimido. Eficiencia > 99.5% para partículas > 1 μm .

	Poliéster + PTFE (antiadherente) - Área filtrante total: 3.14 m ² - Velocidad de filtración: 0.03 m/s		Proveedor: ECS Perú (Atlas Copco, Ingersoll Rand).
3. Ventilador de Extracción y Presión Negativa	- Tipo: Centrífugo de alta presión - Caudal: 0.0943 m ³ /s (339.5 m ³ /h) - Presión total: 2904 Pa (≈ 30 cmH ₂ O) - Potencia del motor: 0.5 kW (0.67 HP) - Material: Acero al carbono con recubrimiento epóxico	1 unidad	Eficiencia > 65% según ISO 12759:2010. Factor de seguridad 1.3 aplicado. Proveedor: Macinser.
4. Sistema de Limpieza por Pulsos (Para Filtro de Mangas)	- Compresor de aire: 1.5 kW, 8 bar, 100 L/min - Tanque pulmón: 100 L - Válvulas solenoides: 4 unidades (una por manga) - Temporizador programable	1 conjunto	Norma ISO 1217:2009 (compresores). Ciclo de limpieza cada 1 hora. Proveedor: ECS Perú (Atlas Copco, Ingersoll Rand).
5. Separador de Condensados y Humedad	- Tipo: Cilindro vertical con drenaje automático - Capacidad: 50 L - Material: Acero inoxidable 304 - Incluye trampa de agua y filtro coalescente	1 unidad	Retiene agua y alquitranes condensados. Norma ISO 14001 considerada para manejo de residuos. Proveedor: Genera Calor Perú (Spirax Sarco).

10. Sistema de Seguridad y Alarmas	- Alarmas por alta ΔP (>2000 Pa), baja presión de aire de pulso, fallo de ventilador - Parada de emergencia (ESD) integrada con reactor y enfriador	1 conjunto	Norma NFPA 69 (sistemas de prevención de explosiones). Proveedor: Siemens Perú Siemens).
------------------------------------	---	------------	---

3.5. Evaluación económica.

3.5.1. Presupuesto de los sistemas

Descripción	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Subtotal (S/.)	Total (S/.)
SUBSISTEMA DE RECEPCIÓN				
Tolva de Recepción	Acero estructural S235, cap. 6.15 m ³ , espesor 6.35 mm	1	S/ 6,000.00	S/ 6,000.00
Tornillo Sinfín de Alimentación	D=200mm, L=3m, motor 0.6 HP, capacidad 200 kg/h	1	S/ 3,500.00	S/ 3,500.00
Sistema de Filtración de Polvo	Filtro de mangas, ventilador 10 HP, ductos	1	S/ 24,000.00	S/ 24,000.00
Compuerta Reguladora Neumática	Diámetro 200 mm, con actuador	1	S/ 3,000.00	S/ 3,000.00
Sensores de Nivel y Flujo	Sensor ultrasónico y celda de carga	2	S/ 1,000.00	S/ 2,000.00
Estructura de Soporte	Perfiles IPE 100, acero S235	1	S/ 2,000.00	S/ 2,000.00

SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO

Silo de Almacenamiento Principal	D=4.0m, H=5.0m, acero S235, espesor 3mm	1	S/ 16,000.00	S/ 16,000.00
----------------------------------	---	---	--------------	--------------

Sistema de Ventilación y Prev. Incendios	Ventilador axial 0.45 HP, sensores, compuertas	1	S/ 4,400.00	S/ 4,400.00
Sistema de Extinción por CO ₂	Cilindro de 55 kg, válvulas, tubería, activación	1	S/ 5,000.00	S/ 5,000.00
Sensores de Temperatura y Nivel	Termopares tipo K y sensor ultrasónico	3	S/ 1,000.00	S/ 3,000.00
Aislamiento Térmico	Lana mineral e=50mm para silo	1	S/ 3,500.00	S/ 3,500.00
Sistema de Descarga Inferior	Tolva cónica con compuerta neumática	1	S/ 4,000.00	S/ 4,000.00
Acceso y Seguridad	Escalera, barandillas, plataforma	1	S/ 2,000.00	S/ 2,000.00

SUBSISTEMA DE DOSIFICACIÓN

Tolva Intermedia de Dosificación	Capacidad 1 m ³ , acero S235	1	S/ 3,500.00	S/ 3,500.00
Tornillo Dosificador	D=200mm, L=2m, motor 0.11 W, AISI 1020	1	S/ 4,000.00	S/ 4,000.00
Sistema de Control de Flujo	Variador de frecuencia (VFD)	1	S/ 2,000.00	S/ 2,000.00
Sensores de Nivel y Peso	Sensor de radar y célula de carga	2	S/ 2,000.00	S/ 4,000.00
Válvula de Compuerta de Control	Neumática, D=200mm	1	S/ 4,000.00	S/ 4,000.00
Sistema de Sellado y Antiderrame	Juntas, holguras controladas	1	S/ 1,800.00	S/ 1,800.00

Estructura de Soporte	Perfiles IPE 80	1	S/ 2,000.00	S/ 2,000.00
SUBSISTEMA DE REACTOR DE CONVERSIÓN				
Reactor Principal (Gasificador Downdraft)	D=0.70m, H=2.30m, ASTM A36, e=10mm, aislado	1	S/ 16,000.00	S/ 16,000.00
Sistema de Inyección de Aire	15 toberas de acero inox. 310S, múltiple	1	S/ 5,000.00	S/ 5,000.00
Soplador de Aire Primario	Centrífugo, 0.23 kW	1	S/ 3,000.00	S/ 3,000.00
Sistema de Descarga de Cenizas	Tolva 1.57 m³, compuerta	1	S/ 5,000.00	S/ 5,000.00
Aislamiento Térmico del Reactor	Lana cerámica e=100mm	1	S/ 6,000.00	S/ 6,000.00
Sensores e Instrumentación	Termopares, transmisores, analizador de gas	1	S/ 8,000.00	S/ 8,000.00
Sistema de Encendido y Llama Piloto	Quemador a gas propano	1	S/ 2,500.00	S/ 2,500.00
Ductos de Salida de Gas	Acero inox. 304, aislados	1	S/ 2,000.00	S/ 2,000.00

SUBSISTEMA DE ENFRIAMIENTO				
Intercambiador de Calor Tubo-Coraza	A=2.07 m², 18 tubos de acero inox. 304	1	S/ 9,000.00	S/ 9,000.00

Bomba de Circulación de Agua	Centrífuga, 0.115 HP, 2.11 m ³ /h	1	S/ 2,800.00	S/ 2,800.00
Tanque de Almacenamiento de Agua	Capacidad 500 L, HDPE	1	S/ 1,200.00	S/ 1,200.00
Sensores de Temperatura y Flujo	Termopares, caudalímetro	1	S/ 3,000.00	S/ 3,000.00
Ductos y Tuberías	Acero inox. 304, PVC, válvulas	1	S/ 5,000.00	S/ 5,000.00
Sistema de Drenaje y Tratamiento	Separador de condensados, tanque 50L	1	S/ 3,000.00	S/ 3,000.00
SUBSISTEMA DE LIMPIEZA DE GAS				
Separador Ciclónico Primario	D=0.30m, acero al carbono con recubrimiento	1	S/ 4,000.00	S/ 4,000.00
Filtro de Mangas	4 mangas, área 3.14 m ² , limpieza por pulsos	1	S/ 13,000.00	S/ 13,000.00
Ventilador de Extracción	Centrífugo, 0.5 kW, 2904 Pa	1	S/ 3,500.00	S/ 3,500.00
Sistema de Limpieza por Pulsos	Compresor 1.5 kW, válvulas, tanque pulmón	1	S/ 5,000.00	S/ 5,000.00
Separador de Condensados y Humedad	Capacidad 50 L, acero inox. 304	1	S/ 3,000.00	S/ 3,000.00
Sensores de Presión Diferencial	Transmisores de ΔP	3	S/ 1,400.00	S/ 4,200.00

Contenedor de Residuos Sólidos	Tambor metálico 200L	2	S/ 600.00	S/ 1,200.00
SUBSISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL				
Tablero Eléctrico General	IP55, con breakers, contactores	1	S/ 6,000.00	S/ 6,000.00
Sistema de Control Central (PLC)	PLC, módulos E/S, HMI táctil 7"	1	S/ 11,000.00	S/ 11,000.00
Cableado y Bandejas Eléctricas	Para todos los subsistemas	1	S/ 8,000.00	S/ 8,000.00
Sistema de Puesta a Tierra y Pararrayos		1	S/ 4,000.00	S/ 4,000.00
Grupo Electrónico Síncrono	25 kVA, 22 kW, 440V, 60Hz	1	S/ 16,000.00	S/ 16,000.00
Total				S/ 250,100.00

PRESUPUESTO DE MANO DE OBRA

Actividad / Especialidad	Cantidad de Personal	Duración (días)	Jornal / Honorario (S/.)	Costo Total (S/.)
Ingeniero Residente de Obra	1	60	S/ 250.00 /día	S/ 15,000.00
Técnico Mecánico (Montaje de equipos)	3	45	S/ 100.00 /día	S/ 13,500.00
Técnico Electricista (Cableado y tableros)	2	30	S/ 100.00 /día	S/ 6,000.00

Técnico Instrumentista (Sensores y PLC)	1	20	S/ 120.00 /día	S/ 2,400.00
Soldador Calificado (6G)	2	25	S/ 120.00 /día	S/ 6,000.00
Ayudante / Obrero de Montaje	4	45	S/ 85.00 /día	S/ 15,300.00
Operador de Grúa / Izaje	1	15	S/ 200.00 /día	S/ 3,000.00
Supervisor de Seguridad (Prevencionista)	1	60	S/ 150.00 /día	S/ 9,000.00
Ingeniero de Puesta en Marcha	1	15	S/ 400.00 /día	S/ 6,000.00
Capacitación a Operarios	2	5	S/ 250.00 /día	S/ 2,500.00
TOTAL				S/ 78,700

PRESUPUESTO DE INSTALACIÓN

Actividad / Concepto	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Montaje de Tolva de Recepción	Gib	1	S/ 3,000.00	S/ 3,000.00
Montaje de Silo de Almacenamiento (incluye izaje)	Gib	1	S/ 7,000.00	S/ 7,000.00
Montaje de Reactor Gasificador	Gib	1	S/ 5,000.00	S/ 5,000.00
Montaje de Intercambiador de Calor	Gib	1	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00
Montaje de Ciclón y Filtro de Mangas	Gib	1	S/ 3,000.00	S/ 3,000.00
Instalación de Tuberías y Ductos (Gas)	m	25	S/ 200.00	S/ 5,000.00

Instalación de Tuberías (Agua)	m	40	S/ 80.00	S/ 3,200.00
Cableado Eléctrico (Potencia y Control)	m	350	S/ 30.00	S/ 10,500.00
Montaje de Tableros Eléctricos	Gib	1	S/ 2,200.00	S/ 2,200.00
Instalación de PLC y Sistema de Control	Gib	1	S/ 3,000.00	S/ 3,000.00
Conexión de Sensores e Instrumentación	Gib	1	S/ 4,000.00	S/ 4,000.00
Montaje de Estructuras Metálicas (Soportes)	kg	1,200	S/ 11.00	S/ 13,200.00
Obras Civiles Complementarias (Cimentaciones)	m ³	18	S/ 750.00	S/ 13,500.00
Sistema de Puesta a Tierra	Gib	1	S/ 2,500.00	S/ 2,500.00
Pruebas Hidrostáticas (Intercambiador)	Gib	1	S/ 1,800.00	S/ 1,800.00
Pruebas de Estanqueidad (Gas)	Gib	1	S/ 2,200.00	S/ 2,200.00
Puesta en Marcha y Calibración	Gib	1	S/ 7,000.00	S/ 7,000.00
Alquiler de Equipos (Grúa 25 TN, montacargas)	mes	1.5	S/ 8,000.00	S/ 12,000.00
Andamios y Elementos de Seguridad	Gib	1	S/ 3,200.00	S/ 3,200.00
TOTAL				S/104,500.00

PRESUPUESTO GENERAL

Descripción	Monto
PRESUPUESTO DE LOS SISTEMAS	S/. 250,100.00
PRESUPUESTO DE MANO DE OBRA	S/. 78,700
PRESUPUESTO DE INSTALACIÓN	S/. 104,500.00
Total (CAPEX)	S/. 433,300

3.5.2. Valor Actual Neto (VAN)

Energía generada se calcula $\text{Energía anual} = \text{potencia} \times \frac{\text{horas}}{\text{día}} \times \frac{\text{días}}{\text{año}}$

Donde:

- Potencia = 22 kW
- Horas de trabajo= 16 horas
- Días de trabajo= 365 días

$$E = 22 \times 16 \times 365$$

$$E = 128,480 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

Esta potencia obtenida, cubrirá aproximadamente el 21% de la demanda total de la empresa Negociaciones Padilla S.A.C.

- Precio de la energía por kWh

Según la International Renewable Energy Agency (IRENA), el costo aproximado de generación por kWh para centrales termoeléctricas de biomasa es aproximadamente 0.90 S/ kWh.

Ahora tenemos como datos

- Vida útil: 20 años
- Inversión inicial (CAPEX): S/ 433,300

- **Cálculo del VAN**

$$\text{VAN} = -I_0 + \sum (\text{flujo neto} / (1 + r)^t)$$

Donde:

I_0 =inversión inicial

r= tasa (10%)

t= año

$$\text{flujo neto} = \text{ingreso} - \text{opex}$$

hallamos el:

$$\text{ingreso} = 128,480 \text{ kWh} \times 0.9 \frac{\text{S/}}{\text{kWh}}$$

$$\text{ingreso} = \text{S/}115,632$$

- **Opex (costos de operación anual):**

- Operación 2 operadores (turno de 8 horas): sueldo mínimo mensual en Perú =1,130 soles.

Costo real del trabajador es 1.5 veces el sueldo mínimo mensual por beneficios sociales.

$$\text{Costo real del trabajador} = 1,130 * 1.5 = 1695 \text{ soles/mes.}$$

$$\text{Costos de operación anual} = 2 \text{ operadores} * 1695/ \text{ mes} * 12 \text{ meses/año} = 40,680 \text{ soles/año.}$$

- Costo de mantenimiento anual: Se estima un 3% del Capex para plantas de biomasa por mantenimiento de equipos (limpieza de cenizas, reposición de filtros, etc.).

$$\text{Mantenimiento anual} = \text{S/ } 433,300 * 0.03 = \text{S/ } 12,999/\text{año}$$

- Costo de Combustible: Se considera un costo de S/ 0.05 por kg de cascarilla por su manipulación y transporte interno (actualmente es un residuo). Consumo anual de biomasa (del diseño, sección Reactor): 34.33 kg/h*16h/día*365días/año = 200,487.2 kg/año.

$$\text{Costo Combustible Anual} = 200,487.2 \text{ kg} * \text{S/ } 0.05/\text{kg} = \text{S/ } 10,024.36/\text{año}$$

$$\text{costos (OPEX)} = 12,999 + 10,024 + 40,680 = 63,703 \text{ soles}$$

- **ahora hallamos flujo neto**

$$\text{flujo neto} = 115,632 \text{ soles} - 63,703 \text{ soles}$$

$$\text{flujo neto} = \text{S/ } 51,929$$

ahora hallamos el VAN (20 años vida útil, 10% la tasa)

$$F = \frac{1 - (1 + 0.10)^{-20}}{0.10} = 8.514$$

$$VAN = -433,300 + (51,929 * 8.514)$$

$$VAN = 8,823.506 \text{ soles}$$

3.5.3. Tasa Interna de Retorno (TIR)

$$TIR = -I_0 + \sum_{t=0}^n \frac{F_c}{(1 + i)^t}$$

Donde:

- $I_0=433,300$
- $F=51$
- $n=20$ años
- $i=TIR$

- **simplificamos**

$$\text{factor de anualidad} = \frac{433,300}{51,929} = 8.34$$

- El factor con el 10% = 8.5136 correspondiente a 20 años
- El factor con el 11% = 7.9633

El factor de anualidad 8.34 se encuentra dentro del 10% y 11%

- **Calculamos el TIR**

Analizamos distancias entre factores

- Para 10% = $8.5136 - 8.34$ da como resultado 0.18
- Para 11% = $8.34 - 7.9633$ da como resultado 0.4

Ahora hallamos la diferencia total del intervalo entre 10% y 11%

$$8.5136 - 7.9633 = 0.55$$

técnicamente viable cuando se aprovecha la biomasa disponible in situ. Además, el excedente energético calculado permite la cogeneración o la venta de excedentes a la red, tal y como se implementó en los casos estudiados por (Nguyen, y otros, 2021) en Vietnam bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio.

Los cálculos realizados para cada subsistema (recepción, almacenamiento, dosificación, reactor, enfriamiento y limpieza) se basaron en normativas internacionales (ISO, ASME, NFPA y ASHRAE), y están en línea con los diseños de estudios similares. El reactor de gasificación tipo downdraft, con un diámetro de 0,70 m y una eficiencia térmica del 72,17 %, es coherente con los rangos indicados por (Energypedia, 2024) y (Raza, et al., 2021) para sistemas de pequeña escala (inferiores a 100 kW). El intercambiador de calor de tubos y coraza, diseñado para reducir la temperatura del gas de 900 °C a 50 °C, sigue los criterios de TEMA y ASHRAE, similares a los aplicados por (Paredes, Rodríguez, García, & Martínez, Termodinámica con Enfoque, 2021) en ciclos de Rankine con biomasa. El sistema de limpieza de gases (ciclón y filtro de mangas) está dimensionado para cumplir los límites de emisión establecidos por el (Ministerio del Ambiente, 2021) y se alinea en cuanto al control de partículas y alquitranes.

La selección de equipos como: la tolvas, silos, transportadores, ventiladores, bombas y sistemas de control) se realizó teniendo en cuenta las normas de seguridad y eficiencia energética (IEEE, NEMA y AGMA), lo que garantiza un funcionamiento fiable y de bajo mantenimiento. Este enfoque es coherente con las recomendaciones de (Sertaç & Furkan, 2025) y de (Mendoza, Rodríguez, & Rodríguez, 2022) quienes destacan la importancia de la automatización y el control en los sistemas de generación de energía a partir de biomasa para optimizar el rendimiento y la vida útil.

Los resultados obtenidos evidencian que el proyecto presenta una viabilidad técnica, logrando que la minicentral termoeléctrica permita el aprovechamiento eficiente de la cascarilla

de arroz como fuente de energía, logrando así cubrir el 21% de la demanda energética de la empresa, reduciendo la dependencia de la red convencional.

Por otro lado, los indicadores obtenidos, con un VAN S/ 8,823.506, un TIR de 10.3% y una Relación Beneficio/Costo de 1.01, afirma que el proyecto genera beneficios superiores a los costos a lo largo de su vida útil.

El proyecto no solamente contribuye a la reducción de costos energéticos, sino también promueve el aprovechamiento de residuos agroindustriales. Fortaleciendo de esta manera la sostenibilidad y eficiencia energética en este sector.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

La cascarilla de arroz disponible en la empresa presenta un potencial energético de aproximadamente 662,748 kWh/año, lo cual permite cubrir 1.08 veces la demanda anual de 614,304 kWh/año, determinándose un consumo promedio mensual de 51,192 kWh demostrando la viabilidad energética del sistema. El diseño integral presentado, que incluye todos los subsistemas necesarios, desde la recepción del residuo hasta la limpieza del gas, demuestra una solución robusta y alineada con los estándares de eficiencia y seguridad. La implementación de este proyecto de gasificación no solo garantizaría la autonomía energética, sino que también transformaría un residuo en un recurso, fomentando un modelo de operación circular y sostenible.

Se determinó el potencial energético de la cascarilla de arroz disponible en la empresa, considerando una producción promedio anual de 29,250 sacos equivalentes a aproximadamente 731.25 toneladas de biomasa. Con un poder calorífico inferior de 14.5 MJ/kg, se obtuvo un potencial energético suficiente para abastecer la demanda energética proyectada de la minicentral termoeléctrica, demostrando la viabilidad técnica del aprovechamiento energético de la biomasa residual.

Se diseñaron y calcularon todos los subsistemas necesarios: recepción: tolva de 6,15 m³, sistema de transporte con tornillo sinfín de 200 kg/h y sistema de filtración con ventilador de 10 HP, almacenamiento: silo de 4 m de diámetro y 5 m de altura con capacidad para 62,83 m³, dosificación: tolva intermedia de 1 m³ y sistema dosificador con motor de 0,08 kW , reactor de gasificación: diámetro de 0,70 m, altura de 2,30 m y eficiencia térmica del 72,17 %, enfriamiento: intercambiador de calor de 2,07 m² capaz de reducir la temperatura del gas de 900 °C a 50 °C y la limpieza de gas: sistema con ciclón (D = 0,30 m) y filtro de mangas (4 mangas de 2 m).

Se seleccionaron equipos y componentes técnicamente adecuados, teniendo en cuenta normativas internacionales y estándares de seguridad y eficiencia. Entre ellos se encuentran: Tolvas, silos y sistemas de transporte, Reactor de gasificación tipo downdraft, Intercambiador de calor de tubos y coraza, sistema de filtración con ciclón y filtro de mangas, ventiladores, bombas y sistemas de control automático.

Se concluye que el diseño de este proyecto de la minicentral termoeléctrica de 22 kW es técnica y económicamente viable. Técnicamente el sistema es capaz de transformar la cascarilla de arroz en energía eléctrica de una manera eficiente, logrando cubrir el 21% de la demanda energética de la empresa.

Económicamente los indicadores que se obtuvieron tanto el VAN S/ 8,823.506, TIR de 10.3% y la Relación Beneficio/Costo de 1.01, evidencia que el proyecto genera beneficios superiores a los costos. Por tanto, este proyecto es viable técnica y económicamente.

El diseño de la minicentral termoeléctrica se desarrolló con base en normas técnicas nacionales e internacionales, las cuales permitieron establecer criterios específicos para cada subsistema. El Código Nacional de Electricidad y la norma ISO 50001 fueron utilizados para el análisis del consumo y la gestión energética; la ISO 7119:1981, DIN 15262 y CEMA Standard 350 sirvieron para el dimensionamiento del sistema de transporte mediante tornillo

sinfín; las normas ASTM D5865 e ISO 18125 proporcionaron el criterio para determinar el poder calorífico de la cascarilla de arroz; mientras que ASHRAE, AMCA Standard 205 e ISO 16890 se emplearon para definir los parámetros de ventilación, pérdidas de presión, filtración y limpieza del gas de síntesis. La aplicación de estos criterios permitió garantizar un diseño técnicamente sustentado, seguro y acorde con las condiciones de operación de la minicentral.

RECOMENDACIONES:

Se recomienda a la empresa Negociaciones Padilla S.A.C. implementar la minicentral termoeléctrica de 22 kW utilizando cascarilla de arroz como combustible, considerando los resultados técnicos y económicos obtenidos, los cuales evidencian su viabilidad y su potencial para reducir la dependencia de la red eléctrica y optimizar el aprovechamiento de residuos agroindustriales.

Para garantizar la sostenibilidad y eficiencia del sistema, se recomienda establecer un plan de mantenimiento predictivo basado en el monitoreo continuo de variables críticas como temperatura del gasificador, presión del sistema, vibraciones del motor–generador y calidad del gas producido (contenido de alquitrán y partículas). Este enfoque permitirá anticipar fallas, reducir tiempos de inactividad y prolongar la vida útil de los equipos.

Asimismo, se sugiere implementar un plan de operación y mantenimiento que contemple actividades preventivas y correctivas, incluyendo inspecciones periódicas, limpieza de filtros, revisión de sistemas de enfriamiento y control, así como protocolos de seguridad para la manipulación de gases combustibles, garantizando un funcionamiento seguro y eficiente.

Finalmente, se recomienda desarrollar un programa de capacitación continua dirigido al personal operador, enfocado en la operación del sistema de gasificación, control de parámetros, mantenimiento básico, seguridad industrial y respuesta ante emergencias. Esto

permitirá asegurar una correcta operación del sistema, minimizar riesgos y maximizar el rendimiento energético del proyecto en el largo plazo.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Abelardo, H., & Carranza, D. (2021). *Modelo matemático de un valle eficiente para la estimación de la contribución de biomasa a la generación eléctrica*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo [tesis de pregrado], Lambayeque. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/9185>
- Albacete, Á. (2023). *Estudio, diseño y optimización de sistemas híbridos de alta concentración fotovoltaica y generación termoeléctrica*. Universidad de Jaen [tesis de pregrado], Jaen. <https://ruja.ujen.es/server/api/core/bitstreams/3df906ed-47f8-4869-aa97-e27e7b18e2d5/content>
- Alcántara, J. (2020). *Diseño de una central termoeléctrica utilizando cascarilla de arroz para reducir costos de consumo de energía eléctrica en los molinos de arroz de la provincia de Jaén*. Universidad Señor de Sipan [tesis de pregrado], Pimentel. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/6893>
- Áraque, L., Sierra, J., & Álvarez, E. (2020). Study of the energy potential of pelletized Ecuadorian rice husk for use as fuel. *Ingeniería química y desarrollo*, 2(1), 44–51. doi:10.53591/iqd.v2i1.2104
- Benavides, A., Navarro, G., Picado, E., & Arguedas, C. (2023). Optimización del diseño de un reactor de gasificación por plasma a través de simulaciones computacionales numéricas. *Revista Tecnología En Marcha*, 36(3), 34-49. doi:10.18845/tm.v36i3.6375
- Bonilla, I. (2023). *Evaluación termoenergética de la co-digestión de la mezcla cascarilla de arroz y estiercol bovino en condiciones termofílicas*. Universidad de Córdoba [tesis de posgrado], MONTERÍA. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/792b1a38-05f0-44de-846c-9f6276c54b96/content>
- Cadenillas, R. (2022). *Diseño de sistema de autogeneración con ciclo combinado utilizando la cascarilla de arroz para energizar la molinera Sudamérica S.A.C. - Lambayeque*. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo [TESIS DE PREGRADO], Chiclayo. https://tesis.usat.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/20.500.12423/5316/TL_IlatomaCadenillasRosa.pdf?sequence=8&isAllowed=y

- Carrera, L., Palenque, A., Perdomo, N., & Borges, R. (2022). Metodología para balance energético de centrales azucareros soportada en microsoft excel. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(4), 190-196. doi:http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202022000400190
- Catagua, J., & Méndez, S. (2021). *Diseño de un sistema de generación de energía usando la cascarilla de*. [Tesis de grado, Escuela Superior Politecnica del Litoral].
- Colina, A. (2024). Una revisión integral del escenario energético del Perú: Avanzando en el acceso a la energía, la sostenibilidad y las implicaciones políticas. *Revista Kawsaypacha*, 14(1), 3-7. doi:10.18800/kawsaypacha.202402.D006
- Díaz, J. (2023). *Evaluación de la gasificación de cascarilla de arroz para optimizar la eficiencia energética de un molino de arroz*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo [tesis de pregrado], Lambayeque. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/12111>
- Energypedia. (2024). *Biomass Gasification (Small-scale)*. Plataforma de energypedia.
- Escobedo, M., & Calderón, A. (2023). Biomasa microalgal con alto potencial para la producción de biocombustibles. *Scientia Agropecuaria*, 12(2), 265-282. doi:10.17268/sci.agropecu.2021.030
- Falconí, E., & Delgado, R. (2023). Impacto del gasto público en la transición energética. Caso: Departamento de Ayacucho 2020-2023. *EUPG*, 2(2), 155–172. doi:10.62428/rcvp2023221713
- García, J. (2021). *Conversión a ciclo combinado de central térmica de talará tg5 para optimización de sus indicadores de generación*. Universidad Nacional del Santa [tesis de pregrado], NUEVO CHIMBOTE. <https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/3871/52348.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García, V., Márquez, C., & Recalde, C. (2020). *Termodinámica*. Comité. doi:10.37135/u.editorial.05.25
- Ikumapayi, O., Kazeem, R., Ige, E., Ofori, D., Adoramola, B., Ting, T., . . . Chien, J. (2023). Thermo-economic comparative analysis of a simple and cascaded organic Rankine power plants fired by rice husks. *Cleaner Engineering and Technology*, 17(1). doi:10.1016/j.clet.2023.100692
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2024). *Producción de arroz cáscara creció 7,0% a nivel nacional y tres departamentos concentraron el 71,7% durante*

- mayo de 2024. Lima: Plataforma del Estado Peruano. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/inei/noticias/993795-produccion-de-arroz-cascarilla-crecio-7-0-a-nivel-nacional-y-tres-departamentos-concentraron-el-71-7-durante-mayo-de-2024>
- Izquierdo , W., & Tirado , A. (2023). *Pirolisis de la cascarilla de arroz en un sistema de generación*. Universidad Cesar Vallejo [tesis de pregrado], Chiclayo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/148274/Izquierdo_CJW-Tirado_GJA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mendoza, P., Rodríguez, G., & Rodríguez, P. (2022). Sistema de control automático para la detección de fuga de gas natural. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(3), 680-703. doi:10.37811/cl_rcm.v6i3.2253
- Milagros , Y. (2021). *Estudio de prefactibilidad para implementar una planta térmica de generación eléctrica a gas natural, de trabajo en hora punta, en la pontificia universidad católica del Perú*. Pontificia Universidad Católica del Perú [tesis de pregrado], Lima. <https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/34dbb172-81bf-437b-8e32-28cb470128cc/content>
- Ministerio del Ambiente. (2021). *Decreto Supremo N.º 030-2021-MINAM*. Plataforma del Estado Peruano. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/2305280-030-2021-minam>
- Muñoz, J., Castillo, C., Cedeño, J., Pat, F., & Soto, C. (2023). Análisis de correlaciones para propiedades termodinámicas del agua saturada y vapor sobrecalentado aplicado a ciclos de refrigeración por absorción. *Revista de ciencias tecnológicas*, 6(4), 263. doi:0.37636/recit.v6n4e263
- Natarajan, E., Nordin, A., & Rao, A. (1998). Overview of combustion and gasification of rice husk in fluidized bed reactors. *Overview of combustion and gasification of rice husk in fluidized bed reactors*, 14(1), 5-6. doi:10.1016/S0961-9534(97)10060-5
- Nguyen, V., Thai, H., Tran, T., Nguyen, V., Dinh, T., & Nguyem, T. (2021). Development of Rice Husk Power Plants Based on Clean Development Mechanism: A Case Study in Mekong River Delta, Vietnam. *Sostenibilidad*, 13(12), 6950. doi:10.3390/su13126950
- Núñez, L. (2024). *Propuesta de producción de electricidad a partir de cascarilla de arroz en un molino para reducir sus costos energéticos*. [Tesis de grado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo].
- Organismo Supervisor de la Inversión de Energía y Minería [OSINERGMIN]. (2024). *Operación del sector eléctrico*. Lima: Editado y producido por Osinergmin. Obtenido

de

<https://www2.osinergmin.gob.pe/publicacionesgrt/pdf/OperSecElectrico/OSEMAR2024.pdf>

OSINERGMING. (2024). *Reporte de interrupciones*.

Paredes, G., Rodríguez, A., García, S., & Martínez, É. (2021). *Termodinámica con Enfoque*. Área de Innovación y Desarrollo, S.L. doi:10.17993/IngyTec.2021.67

Paredes, G., Rodríguez, A., García, S., & Martínez, É. (2021). *TERMODINÁMICA CON ENFOQUE*. Área de Innovación y Desarrollo, S.L. doi:10.17993/IngyTec.2021.67

Paz, E. (2022). *Diseño de una central termoeléctrica de biomasa para Lambayeque, utilizando residuos agrícolas como el bagazo de caña de azúcar y cascarilla de arroz*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo [tesis de pregrado], Lambayeque. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4870349>

Ponce, Á. (2020). Evaluación financiera de proyectos de inversión para la PYMES. *Dominio de las ciencias*, 5(3), 375-390. doi:10.23857/dc.v5i3.941

Quiñónez, B., Ortiz, N., Souza, R., Quiñónez, L., Ponce, J., Peralta, A., & Bautista, J. (2022). Mejoras para la eficiencia energética de la Central Térmica Esmeraldas. *Brazilian Journal of Developmen*, 8(1), 6978–6991. doi:10.34117/bjdv8n1-471

Ramírez, A., Orellana, L., Tapia, R., Teves, R., & Tisoc, J. (2023). Métodos de investigación científica. *INUDI PERU*, 1(1), 12-80. doi:10.35622/inudi.b.094

Ramón, S., Cárdenas, J., & Rojas, J. (2018). Poder calorífico de la cascarilla de arroz usada como combustible en hornos de secado. *Mundo Fesc*, 8(16), 72-76.

Ramos, L. (2023). *Desarrollo de una herramienta de modelamiento para la evaluación de alternativas de aprovechamiento energético de biomasa en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia [tesis de posgrado], Bogotá D.C. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/84884/1143355086.2023.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Raza, S., Muhammad, N., Ammar, S., Iqbal, F., Inatat, A., Hussain, A., & Taqi, M. (2021). Agro-industrial residue gasification feasibility in captive power plants: A South-Asian case study. *Energy*, 214(1). doi:10.1016/j.energy.2020.118952

Rios, R., & Sanchez, A. (2023). *Diseño y fabricación de un sistema termoeléctrico de obtención de agua*. Universidad Nacional de Trujillo [tesis de pregrado], Trujillo. <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/fc17e2d8-1519-4247-a88c-9af96b2f0826/content>

- Rodríguez, R., & Avilés, D. (2020). Diseño para la conversión a un sistema subterráneo de la red de distribución aérea de energía eléctrica en el sector del campus centenario de la universidad politécnica salesiana. *Universidad Politécnica Salesiana*, 1(17), 52-59. doi:10.37116/revistaenergia.v17.n1.2020.406
- Rodríguez, R., & Avilés, D. (2020). Diseño para la Conversión a un Sistema Subterráneo de la Red de Distribución Aérea de Energía Eléctrica en el Sector del Campus Centenario de la Universidad Politécnica Salesiana. *Universidad Politécnica Salesiana*, 1(17), 52-59. doi:10.37116/revistaenergia.v17.n1.2020.406
- Ruiz, A., Gonzalez, W., & Giraldo, O. (2023). *Introducción a la estabilidad de sistemas eléctricos de potencia*. UTP. doi:10.22517/9789587228960
- Sandoval, J. (2021). Balances de materia y energía aplicados a la investigación. *Publicaciones Universidad de América*, 1(1), 14-67. doi:10.29097/9789585303058
- Serna, C. (2022). *Identificación de etapas a optimizar en la gasificación de biomasa para producción de energía sostenible mediante la aplicación del análisis exergético de ciclo de vida (ELCA)*. Universidad Nacional de Colombia [tesis de posgrado], Medellín. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/83021/1060646872.2022.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Sertaç, T., & Furkan, G. (2025). Investigation of Steel Chimney Retrofitted with Nanocoating Under Earthquake Excitation Using FEM. *MDPI*, 15(6), 619. doi:10.3390/coatings15060619
- Singaña, C., Reinoso, P., Tamayo, P., & Monge, M. (2022). Performance evaluation of a combined cycle thermoelectric plant based on its energy model. *Multidisciplinary Contributions*, 3(2), 774–787. doi:10.51798/sijis.v3i2.379
- Vargas, V., Mayorga, D., Álvarez, M., & Espinoza, J. (2022). Los biocombustibles como alternativa de energía a partir de recursos renovables y/o desechos. *Polo del conocimiento*, 7(70), 386-407. doi:10.23857/pc.v7i7
- Vargas, V., Mayorga, D., Álvarez, M., & Espinoza, J. (2022). Los biocombustibles como alternativa de energía a partir de recursos renovables y/o desechos. *Polo del Conocimiento*, 7(70), 386-407. doi:10.23857/pc.v7i7
- Vélez, S., Arteaga, R., & Velepucha, J. (2024). Factores que inciden en la disponibilidad de una central termoeléctrica. *Journal Scientific Investigar*, 8(1), 450-469. doi:10.56048/MQR20225.8.1.2024.450-469
- Villa, D. (2023). *Evaluation of thermoelectric generation systems under mismatching thermal conditions*. Universidad Nacional de Colombia [tesis de posgrado], Medellín.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/84611/Tesis.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

- Villa, D. (2023). *Evaluation of thermoelectric generation systems under mismatching thermal conditions*. Universidad Nacional de Colombia [tesis de progrado], Medellín.
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/84611/Tesis.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Zambrano, G., Macía, V., Palacios, C., & Cedeño, U. (2021). Aprovechamiento de la cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) para la obtención de fibras de celulosa. *Polo del conocimiento*, 6(4), 415-437. doi:10.23857/pc.v6i4.2572
- ZhovkVa, O. (2020). Los principios de eficiencia energética y respeto al medio ambiente para complejos multifuncionales. *Revista ingeniería de construcción*, 35(3), 308-320. doi:10.4067/S0718-50732020000300308

DEDICATORIA

Dedico este logro en primer lugar a mi abuelo Eloy Mayanga, quien siempre creyó en mí, cada página de esta tesis y cada esfuerzo realizado lleva una parte de ti, este logro siempre será tuyo tanto como mío.

A mi padre Delmer Mayanga, por sus consejos y ejemplo; a mi madre Raquel que, aunque no esté conmigo en este mundo, sigue iluminando mi camino; a mama Rosa y mama Lita, quienes con amor me criaron como un hijo.

A mi compañera de vida Alicia López, por su amor, apoyo y compañía incondicional; y especialmente a mi hija Alisson Mayanga, quien es la mayor inspiración de mi vida y la razón por la que cada día me esfuerzo por ser una mejor persona y un mejor profesional.

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado a Dios, por ser mi guía y concederme la fortaleza, perseverancia y sabiduría necesarias para culminar esta importante etapa de mi formación profesional.

A mis padres, Miguel Carrasco y Marcelina Campos, y a mis familiares, por su amor, apoyo incondicional, consejos y por haber contribuido a mi crecimiento personal y académico a lo largo de mi vida.

A mi compañera de vida, Yanaly, por su comprensión, confianza y constante apoyo durante este proceso, siendo un pilar fundamental para alcanzar esta meta.

Con gratitud y cariño, dedico este logro a quienes me han acompañado y alentado en cada paso de este camino.

ANEXOS

ANEXO 1: CARTA DE AUTORIZACION



CARTA DE AUTORIZACION

SUSCRIBE EL GERENTE DE LA EMPRESA NEGOCIACIONES PADILLA SAC.

PROVINCIA DE JAEN REGION CAJAMARCA

AUTORIZA

Al señor: **JAVIER ROBINSON MAYANGA GARCIA**, Identificado con DNI N° 48052971, egresado de la Universidad de Jaén, Bach. de la carrera Ingeniería Mecánica eléctrica, desarrolle y aplique el instrumento de recojo de datos para el trabajo de investigación titulado. **"DISEÑO DE UNA MINI CENTRAL TERMoeLECTRICA DE 22KW PARA EL APROVECHAMIENTO DE CASCARILLA DE ARROZ COMO COMBUSTIBLE EN LA EMPRESA "NEGOCIACIONES PADILLA S.A.C"., JAÉN -CAJAMARCA, JAÉN - 2025"**

Se concederá la facilidad para visitar nuestras instalaciones, y la disposición por parte del equipo de trabajo para brindar la información que considere necesaria para la aplicación de recojo de datos.

Jaén, 03 de setiembre del 2025.,

NEGOCIACIONES PADILLA S.A.C.

Maria Husula Padilla Legala
GERENTE
PADILLA S.A.C.

ANEXO 2: HISTORIAL DE CONSUMO 2022 - 2025

ELECTRO ORIENTE S.A.								ESTADO DE CUENTA AL MES 2025-10								Fecha		21/10/2025	
																Hora		15:12:56	
CLIENTE								CONTRATO				MEDICION.-				Op		JSAAVEDRA	
Contrato		31207349						Situacion		Activo		Medidor		02871748		Radial		A2415	
codruta		7210847-010031						FactorCol.		1		Marca		ELS A1800		S.E.D.		E241509	
Nombres		PADILLA LOZADA, MARIA URSULA						Clase		Mayor		Factor		416		Circ.BT		N241509	
Direccion		Carr. JAEN - SAN IGNACIO 0KM25 Cas.						Carga		0.00		Digitos		5		Fases		RST	
Tarifa		MT2						Pot.Cont.:		0.00		Acometid		Aerea		Conexion		C51	
Zona		CM Sector AD						Pau		0		Nfases		3					
CUENTA CORRIENTE																			
Mes	Emission	UDP	Tar	Sit	Consumo	IGV	Interes +Mora	Conceptos	TotMes	Total	FP	Pagado	Fecha	Saldo	SaldoPend	Nc	Mod	Recibo	
202211	05/11/2022	21/11/2022	MT2	0	55076.58	0.00	95.32	27339.68	27435.00	52940.00	1	52940.00	21/11/2022	0.00	0.00			4381104	
202212	05/12/2022	20/12/2022	MT2	0	58490.76	0.00	104.51	30719.99	30824.50	30824.50			0.00 19/01/2023	30824.50	0.00			4531989	
202301	05/01/2023	21/01/2023	MT2	0	55284.76	0.00	121.59	30112.91	30234.50	61059.00	1	61059.00	19/01/2023	0.00	0.00			4821178	
202302	05/02/2023	20/02/2023	MT2	0	57570.55	0.00	115.78	30956.22	31072.00	31072.00			0.00 20/03/2023	31072.00	0.00			4835351	
202303	05/03/2023	20/03/2023	MT2	0	49251.70	0.00	102.00	26366.00	26468.00	57540.00	1	57540.00	20/03/2023	0.00	0.00			5018801	
202304	05/04/2023	20/04/2023	MT2	0	59606.61	0.00	130.07	30424.93	30555.00	30555.00	1	30555.00	28/04/2023	0.00	0.00			5173231	
202305	05/05/2023	22/05/2023	MT2	0	54481.18	0.00	61.00	28407.50	28468.50	28468.50	1	28468.50	30/05/2023	0.00	0.00			5294489	
202306	05/06/2023	20/06/2023	MT2	0	61434.45	0.00	57.58	30073.42	30131.00	30131.00	1	30131.00	28/06/2023	0.00	0.00			5468927	
202307	05/07/2023	20/07/2023	MT2	0	63637.02	0.00	61.92	30963.08	31025.00	31025.00	1	31025.00	27/07/2023	0.00	0.00			5756895	
202308	05/08/2023	21/08/2023	MT2	0	57978.63	0.00	55.76	25331.24	25387.00	25387.00			0.00 20/09/2023	25387.00	0.00			5893755	
202309	05/09/2023	21/09/2023	MT2	0	59036.19	0.00	106.24	28049.76	28156.00	53543.00	1	53543.00	20/09/2023	0.00	0.00			6067273	
202310	05/10/2023	20/10/2023	MT2	0	58886.27	0.00	115.15	28108.85	28224.00	28224.00			0.00 16/11/2023	28224.00	0.00			6159770	
202311	05/11/2023	20/11/2023	MT2	0	53756.74	0.00	125.22	25983.78	26109.00	54333.00	1	54333.00	16/11/2023	0.00	0.00		M	6376125	
202312	05/12/2023	21/12/2023	MT2	0	51895.56	0.00	92.42	27317.08	27409.50	27409.50			0.00 18/01/2024	27409.50	0.00			6396365	
202401	05/01/2024	20/01/2024	MT2	0	51687.37	0.00	111.04	28368.96	28480.00	55889.50	1	55889.50	18/01/2024	0.00	0.00			6610779	
202402	05/02/2024	20/02/2024	MT2	0	55855.18	0.00	104.46	28912.04	29016.50	29016.50	1	29016.50	05/03/2024	0.00	0.00			6694354	
202403	05/03/2024	21/03/2024	MT2	0	53082.20	0.00	107.72	28810.78	28918.50	28918.50	1	28918.50	02/04/2024	0.00	0.00			6956534	
202404	05/04/2024	20/04/2024	MT2	0	50200.96	0.00	89.69	27619.81	27709.50	27709.50	1	27709.50	26/04/2024	0.00	0.00			7050846	
202405	05/05/2024	20/05/2024	MT2	0	56687.90	0.00	41.54	29667.46	29709.00	29709.00	1	29709.00	28/05/2024	0.00	0.00			7267166	
202406	05/06/2024	20/06/2024	MT2	0	57387.40	0.00	59.01	29254.99	29314.00	29314.00	1	29314.00	01/07/2024	0.00	0.00			7331398	
202407	05/07/2024	20/07/2024	MT2	0	56067.52	0.00	80.90	28848.10	28929.00	28929.00	1	28929.00	31/07/2024	0.00	0.00			7639868	
202408	05/08/2024	21/08/2024	MT2	0	57928.67	0.00	76.65	29152.85	29229.50	29229.50	1	29229.50	02/09/2024	0.00	0.00			7797719	
202409	05/09/2024	20/09/2024	MT2	0	51545.82	0.00	84.54	27325.96	27410.50	27410.50	1	27410.50	30/09/2024	0.00	0.00			7870545	
202410	05/10/2024	21/10/2024	MT2	0	47115.71	0.00	63.81	24913.69	24977.50	24977.50	1	24977.50	05/11/2024	0.00	0.00			8112676	
202411	05/11/2024	21/11/2024	MT2	0	50579.85	0.00	91.04	26415.96	26507.00	26507.00	1	26507.00	02/12/2024	0.00	0.00			8270365	
202412	05/12/2024	20/12/2024	MT2	0	47536.23	0.00	68.63	25509.87	25578.50	25578.50	1	25578.50	30/12/2024	0.00	0.00			8391426	
202501	05/01/2025	20/01/2025	MT2	0	51733.18	0.00	59.61	26974.89	27034.50	27034.50	1	27034.50	01/02/2025	0.00	0.00			8565692	
202502	05/02/2025	20/02/2025	MT2	0	54285.49	0.00	77.50	27830.00	27907.50	27907.50	1	27907.50	28/02/2025	0.00	0.00			8710324	
202503	05/03/2025	20/03/2025	MT2	0	50466.04	0.00	51.07	25977.93	26029.00	26029.00	1	26029.00	31/03/2025	0.00	0.00			8870291	
202504	05/04/2025	21/04/2025	MT2	0	32973.22	0.00	66.56	19937.94	20004.50	20004.50	1	20004.50	30/04/2025	0.00	0.00			9055143	
202505	05/05/2025	20/05/2025	MT2	0	51599.94	0.00	41.29	26251.71	26293.00	26293.00	1	26293.00	05/06/2025	0.00	0.00			9203584	
202506	05/06/2025	20/06/2025	MT2	0	54647.72	0.00	102.46	28522.54	28625.00	28625.00	1	28625.00	02/07/2025	0.00	0.00			9225824	
202507	05/07/2025	21/07/2025	MT2	0	53361.16	0.00	82.57	27678.43	27761.00	27761.00	1	27761.00	30/07/2025	0.00	0.00			9548826	
202508	05/08/2025	20/08/2025	MT2	0	57225.02	0.00	56.60	29370.40	29427.00	29427.00	1	29427.00	01/09/2025	0.00	0.00			9686782	
202509	05/09/2025	20/09/2025	MT2	0	51529.16	0.00	84.67	26759.33	26844.00	26844.00	1	26844.00	30/09/2025	0.00	0.00			9848848	
202510	05/10/2025	20/10/2025	MT2	0	57608.07	0.00	63.50	28767.00	28830.50	28830.50		0.00		28830.50	28830.50			10001800	
Totales					1947490.8	0.00	3009.42	1003025.08	1006034.50			1002709.0							

ANEXO 3: INSTRUMENTOS PARA VALIDACION



INSTRUMENTO PARA LA VALIDACIÓN Y ENTREVISTA SOBRE CASCARILLA DE ARROZ



Título del proyecto: Diseño de minicentral termoeléctrica de 22 kW usando cascarilla de arroz como combustible en Negociaciones Padilla S.A.C., Jaén 2025.

Finalidad: Este instrumento tiene como propósito:

- Validar el cuestionario diseñado para recolectar información sobre la producción, almacenamiento y conservación de la cascarilla de arroz.
- Aplicar la entrevista al personal de la empresa, con el fin de recabar datos útiles para el diseño del proyecto.

Se agradece su colaboración y sinceridad, ya que su aporte permitirá desarrollar una propuesta técnica viable y adaptada a la realidad de la empresa.

Formato para Validación del Instrumento

Estimado experto: Evalúe el presente cuestionario según los criterios propuestos, marcando con una (X) y añadiendo observaciones si lo considera necesario.

Criterios	Excelente	Bueno	Regular	Deficiente
Presentación del instrumento		X		
Claridad y redacción de los ítems		X		
Pertinencia de las variables con los indicadores		X		
Relevancia del contenido		X		
Factibilidad de aplicación		X		

Apreciación cualitativa:

El instrumento cuenta con criterios apropiados y claros por lo cual se considera "Bueno".

Observaciones:

Ninguna.

Validado por: Dr. Deibi Eric García Campos.

Profesión: Ingeniero Mecánico.

Lugar de trabajo: Universidad Nacional de Jaén.

Cargo: Docente.

Fecha: 22/09/2025.

Firma: 

Cuestionario para Recolección de Datos

Datos generales del entrevistado:

- Nombre completo: _____
- Área de trabajo y Cargo: _____
- Experiencia en el área (años): _____
- Sexo: Masculino () Femenino ()

Instrucciones: Marque con una X la opción que mejor describa su respuesta o complete según corresponda.

Nº	Pregunta	Sí	No	A veces	Nunca	Otra respuesta
1	¿Cuál es el volumen promedio mensual de cascarilla de arroz producido?					
2	¿Se realiza el almacenamiento de la cascarilla de arroz después del pilado?					
3	¿El almacenamiento está protegido de la intemperie?					
4	¿El acceso al área de almacenamiento permite un transporte y monitoreo adecuados?					
5	¿La cascarilla almacenada se encuentra libre de humedad, residuos o contaminantes?					
6	¿Considera que las condiciones actuales de almacenamiento son seguras para su uso como combustible?					
7	¿Qué porcentaje de la cascarilla se destina a: venta, secado u otros fines?					
8	¿Se podría destinar parte de la cascarilla a generación de energía eléctrica?					
9	¿Han realizado ensayos o experiencias previas para aprovechar la cascarilla como fuente energética?					
10	¿Cuáles considera que son las principales limitaciones para su uso como combustible?					

Nota: Este instrumento debe aplicarse a personal clave de Negociaciones Padilla S.A.C. (operadores, jefes de área y responsables de almacenamiento). Se recomienda explicar previamente el objetivo del estudio y garantizar la confidencialidad de la información brindada.

INSTRUMENTO PARA LA VALIDACIÓN Y ENTREVISTA SOBRE CASCARILLA DE ARROZ



Título del proyecto: Diseño de minicentral termoeléctrica de 22 kW usando cascarilla de arroz como combustible en Negociaciones Padilla S.A.C., Jaén 2025.

Finalidad: Este instrumento tiene como propósito:

- Validar el cuestionario diseñado para recolectar información sobre la producción, almacenamiento y conservación de la cascarilla de arroz.
- Aplicar la entrevista al personal de la empresa, con el fin de recabar datos útiles para el diseño del proyecto.

Se agradece su colaboración y sinceridad, ya que su aporte permitirá desarrollar una propuesta técnica viable y adaptada a la realidad de la empresa.

Formato para Validación del Instrumento

Estimado experto: Evalúe el presente cuestionario según los criterios propuestos, marcando con una (X) y añadiendo observaciones si lo considera necesario.

Criterios	Excelente	Bueno	Regular	Deficiente
Presentación del instrumento		X		
Claridad y redacción de los ítems		X		
Pertinencia de las variables con los indicadores		X		
Relevancia del contenido		X		
Factibilidad de aplicación		X		

Apreciación cualitativa:

El instrumento cuenta con criterios apropiados y claros por lo cual se considera "Bueno".

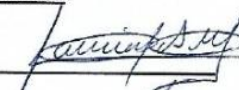
Observaciones:

Ninguna.

Validado por: Jannier Alberto Montenegro Juárez Profesión: Ingeniero Mecánico Electricista

Lugar de trabajo: Universidad Nacional de Jaén. Cargo: Docente.

Fecha: 25/09/2025.

Firma: 

Cuestionario para Recolección de Datos

Datos generales del entrevistado:

- Nombre completo: _____
- Área de trabajo y Cargo: _____
- Experiencia en el área (años): _____
- Sexo: Masculino () Femenino ()

Instrucciones: Marque con una X la opción que mejor describa su respuesta o complete según corresponda.

Nº	Pregunta	Sí	No	A veces	Nunca	Otra respuesta
1	¿Cuál es el volumen promedio mensual de cascarilla de arroz producido?					
2	¿Se realiza el almacenamiento de la cascarilla de arroz después del pilado?					
3	¿El almacenamiento está protegido de la intemperie?					
4	¿El acceso al área de almacenamiento permite un transporte y monitoreo adecuados?					
5	¿La cascarilla almacenada se encuentra libre de humedad, residuos o contaminantes?					
6	¿Considera que las condiciones actuales de almacenamiento son seguras para su uso como combustible?					
7	¿Qué porcentaje de la cascarilla se destina a: venta, secado u otros fines?					
8	¿Se podría destinar parte de la cascarilla a generación de energía eléctrica?					
9	¿Han realizado ensayos o experiencias previas para aprovechar la cascarilla como fuente energética?					
10	¿Cuáles considera que son las principales limitaciones para su uso como combustible?					

Nota: Este instrumento debe aplicarse a personal clave de Negociaciones Padilla S.A.C. (operadores, jefes de área y responsables de almacenamiento). Se recomienda explicar previamente el objetivo del estudio y garantizar la confidencialidad de la información brindada.

INSTRUMENTO PARA LA VALIDACIÓN Y ENTREVISTA SOBRE CASCARILLA DE ARROZ



Título del proyecto: Diseño de minicentral termoeléctrica de 22 kW usando cascarilla de arroz como combustible en Negociaciones Padilla S.A.C., Jaén 2025.

Finalidad: Este instrumento tiene como propósito:

- Validar el cuestionario diseñado para recolectar información sobre la producción, almacenamiento y conservación de la cascarilla de arroz.
- Aplicar la entrevista al personal de la empresa, con el fin de recabar datos útiles para el diseño del proyecto.

Se agradece su colaboración y sinceridad, ya que su aporte permitirá desarrollar una propuesta técnica viable y adaptada a la realidad de la empresa.

Formato para Validación del Instrumento

Estimado experto: Evalúe el presente cuestionario según los criterios propuestos, marcando con una (X) y añadiendo observaciones si lo considera necesario.

Criterios	Excelente	Bueno	Regular	Deficiente
Presentación del instrumento	X			
Claridad y redacción de los ítems		X		
Pertinencia de las variables con los indicadores		X		
Relevancia del contenido		X		
Factibilidad de aplicación		X		

Apreciación cualitativa:

El instrumento cuenta con criterios apropiados y claros por lo cual se considera "Bueno".

Observaciones:

Ninguna.

Validado por: Dra. Rosario Yaquelin Y Llaucé Santamaría.
en estadística.

Profesión: licenciada

Lugar de trabajo: Universidad Nacional de Jaén.

Cargo: Docente.

Fecha: 19/09/2025.

Firma: 

Cuestionario para Recolección de Datos

Datos generales del entrevistado:

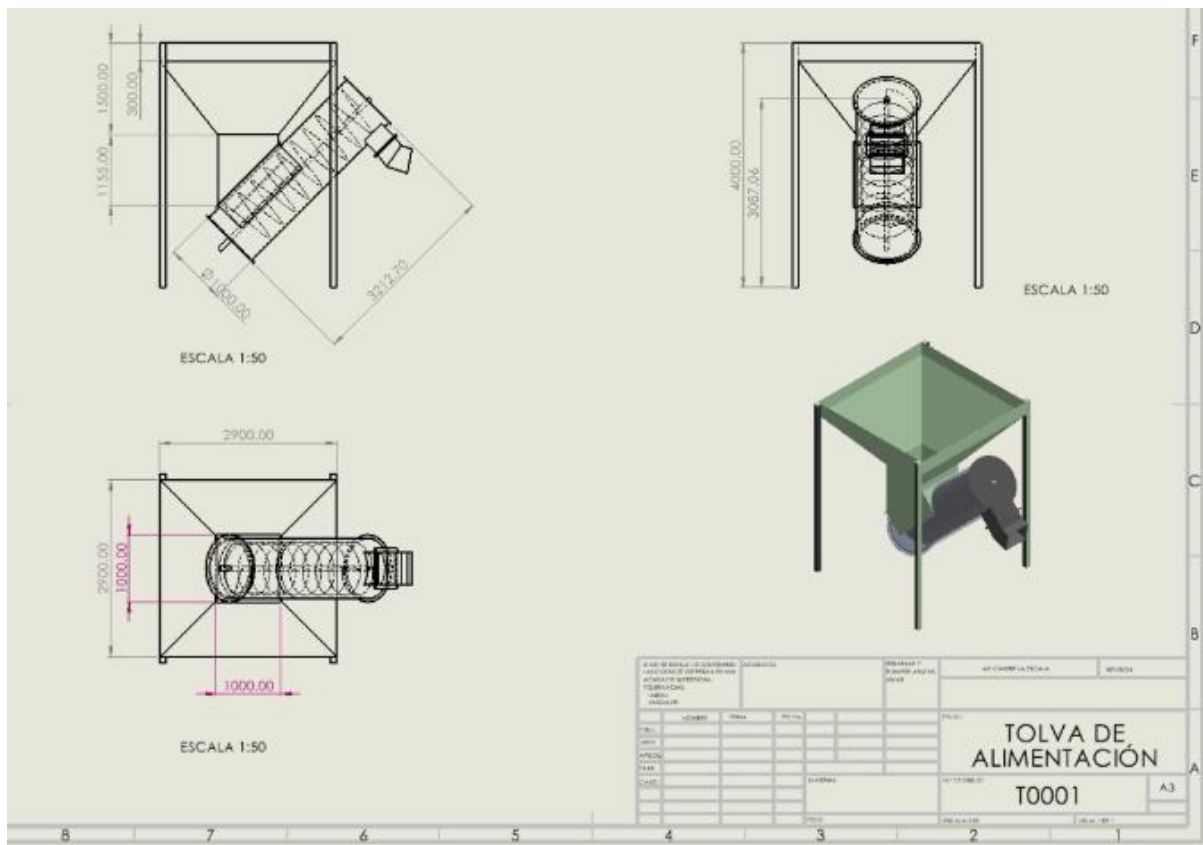
- Nombre completo: _____
- Área de trabajo y Cargo: _____
- Experiencia en el área (años): _____
- Sexo: Masculino () Femenino ()

Instrucciones: Marque con una X la opción que mejor describa su respuesta o complete según corresponda.

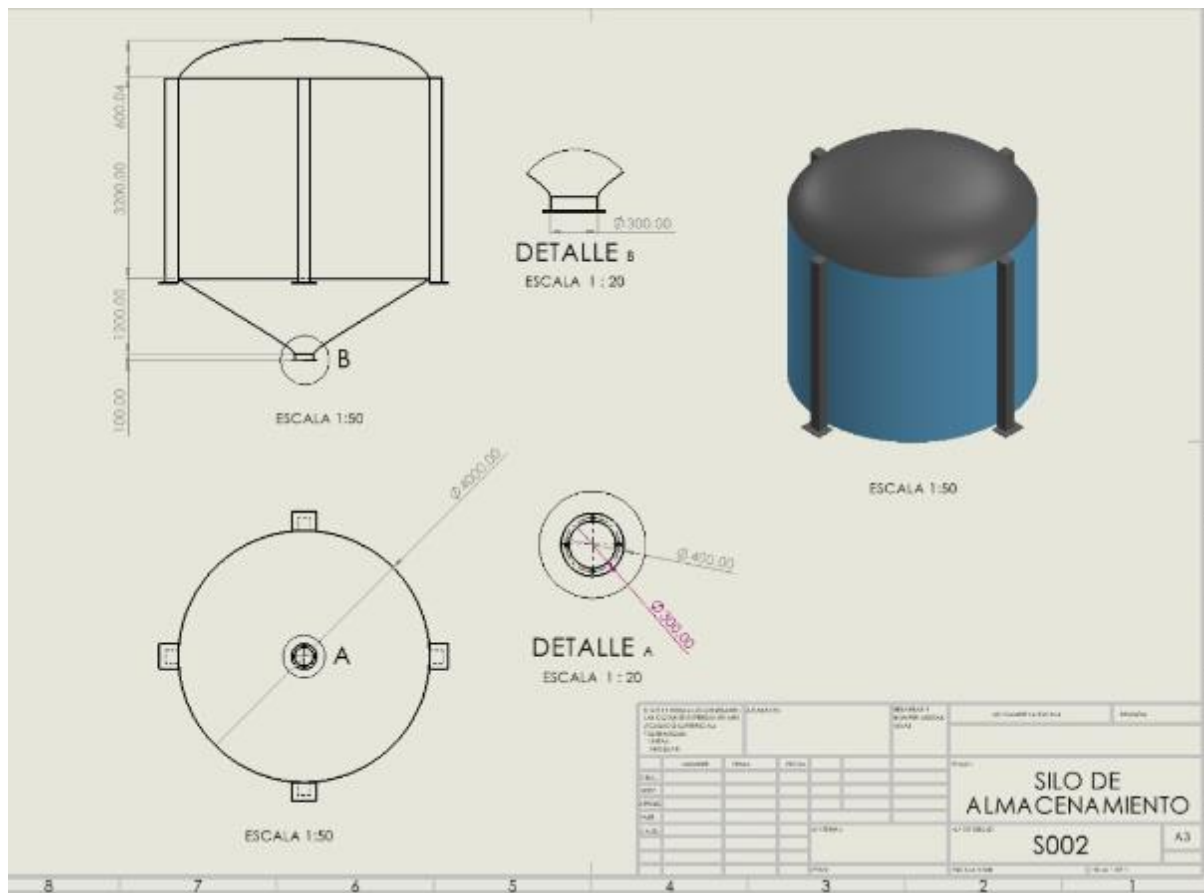
Nº	Pregunta	Sí	No	A veces	Nunca	Otra respuesta
1	¿Cuál es el volumen promedio mensual de cascarilla de arroz producido?					
2	¿Se realiza el almacenamiento de la cascarilla de arroz después del pilado?					
3	¿El almacenamiento está protegido de la intemperie?					
4	¿El acceso al área de almacenamiento permite un transporte y monitoreo adecuados?					
5	¿La cascarilla almacenada se encuentra libre de humedad, residuos o contaminantes?					
6	¿Considera que las condiciones actuales de almacenamiento son seguras para su uso como combustible?					
7	¿Qué porcentaje de la cascarilla se destina a: venta, secado u otros fines?					
8	¿Se podría destinar parte de la cascarilla a generación de energía eléctrica?					
9	¿Han realizado ensayos o experiencias previas para aprovechar la cascarilla como fuente energética?					
10	¿Cuáles considera que son las principales limitaciones para su uso como combustible?					

Nota: Este instrumento debe aplicarse a personal clave de Negociaciones Padilla S.A.C. (operadores, jefes de área y responsables de almacenamiento). Se recomienda explicar previamente el objetivo del estudio y garantizar la confidencialidad de la información brindada.

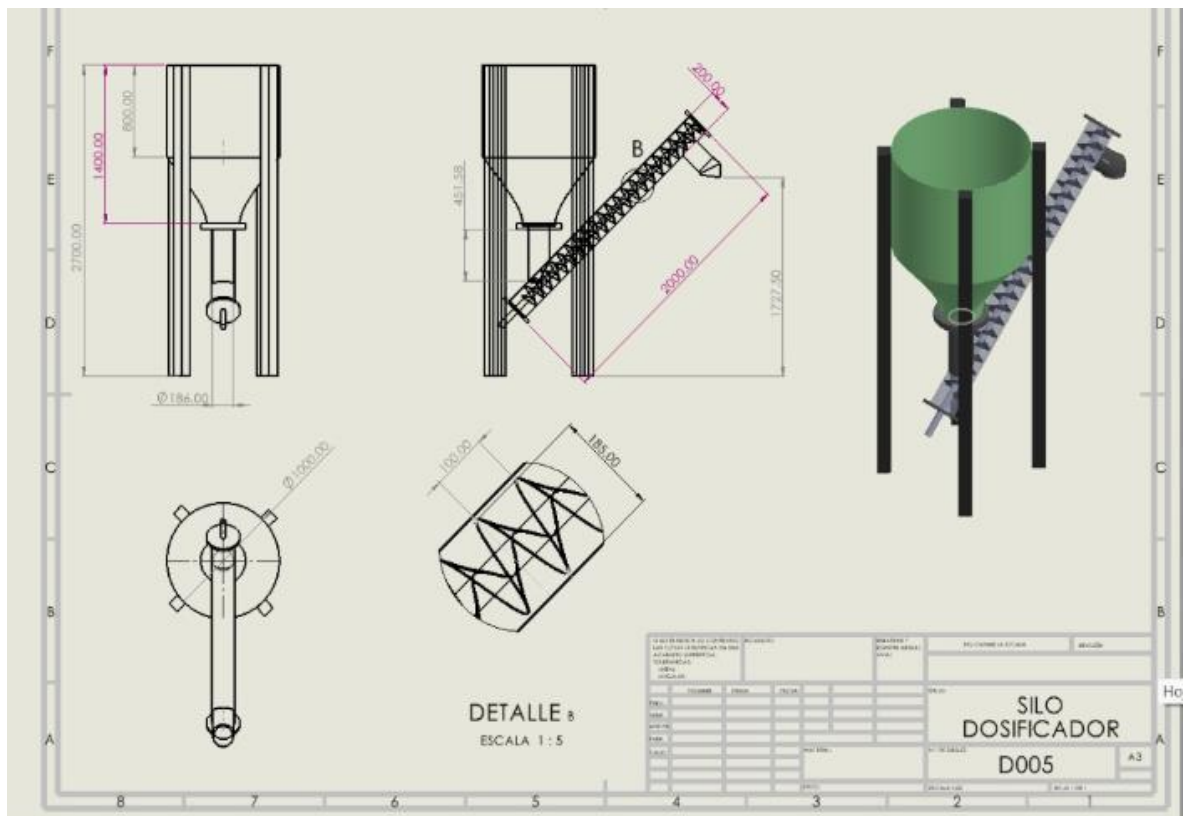
Subsistema de recepción



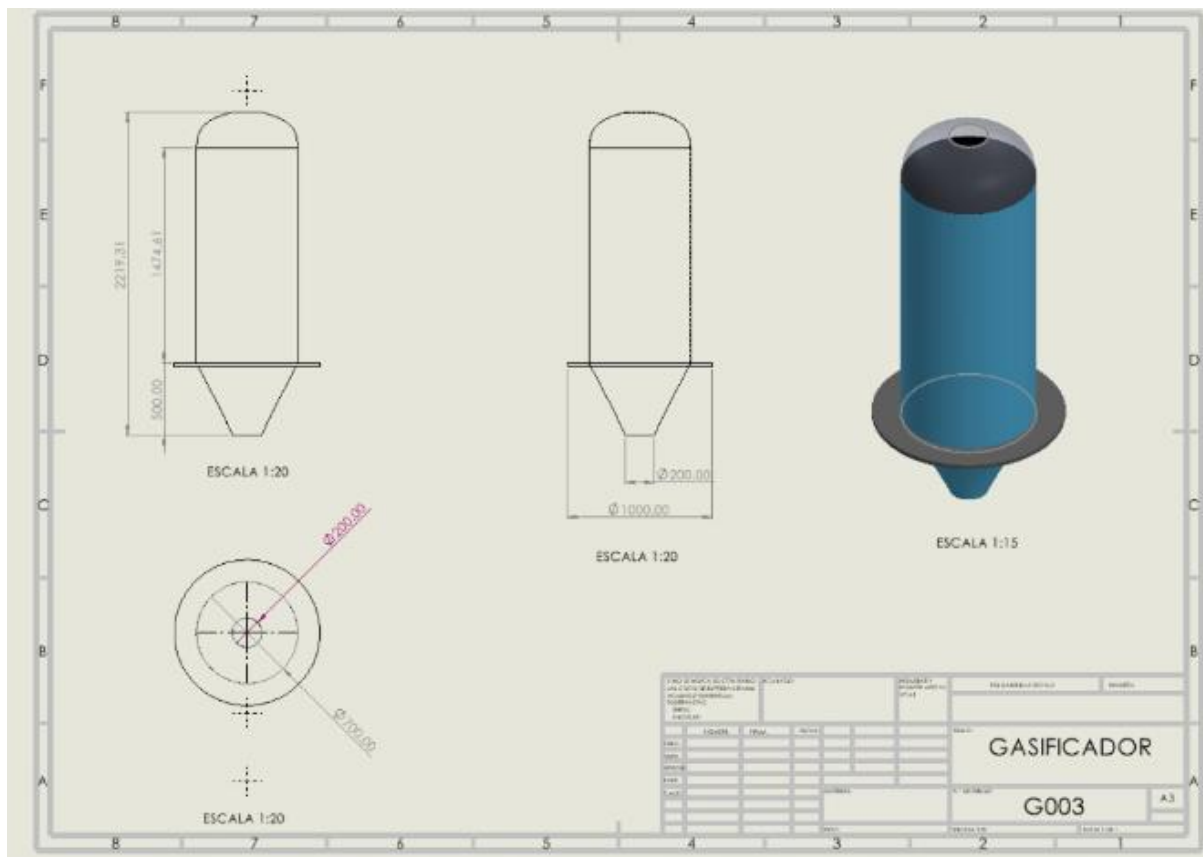
Subsistema de almacenamiento



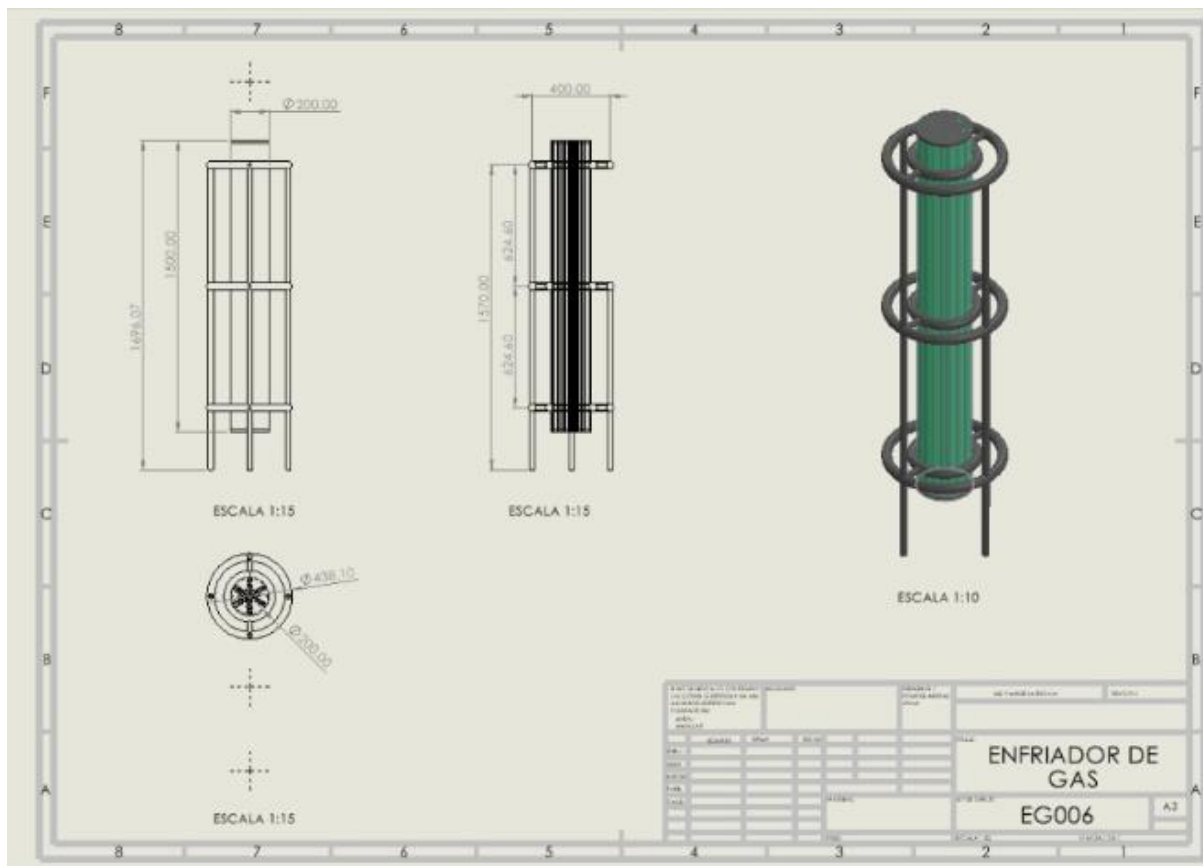
Subsistema de dosificación



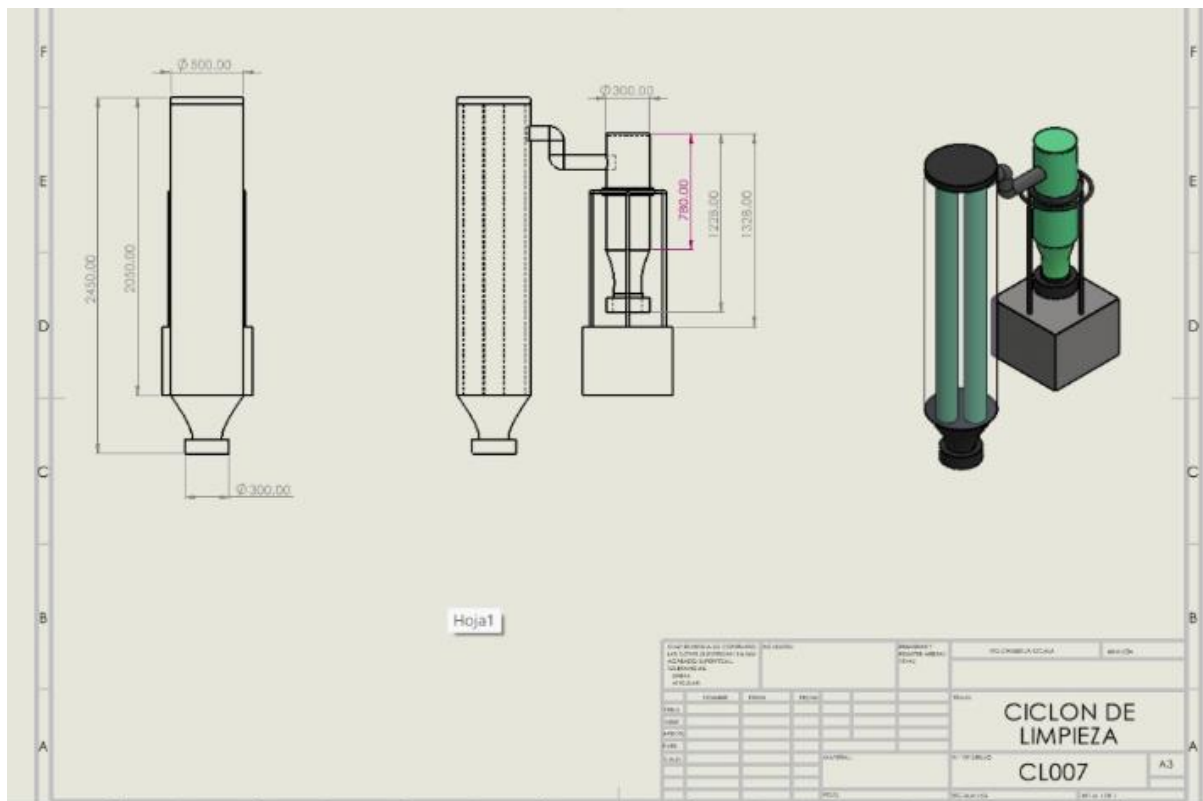
Subsistema del Reactor de conversión



Subsistema de Enfriamiento



Subsistema de limpieza de gas



Simulación de la estructura de soporte del Silo de almacenamiento con factor de seguridad 2.6

Nombre del modelo: estructura simulación

Nombre de estudio: Análisis estático 2(-Predeterminado<Como mecanizada>-)

Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1

Criterio: Automático

Distribución de factor de seguridad: FDS min = 2.6

