

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

SANTIAGO – CHILE



**“ANÁLISIS Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE
EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EMPRESA DE
ACUICULTURA EN EL MARCO DE LA
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
GESTIÓN ENERGÉTICA BASADA EN LA NORMA
ISO 50001”**

MARTÍN ANDRÉS LEÓN OTÁROLA

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

**PROFESOR GUÍA: MAURICIO OSSES
PROFESOR CORREFERENTE: CRISTÓBAL LABRA**

ENERO – 2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título; ☐ Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: ANÁLISIS Y PROPUESTAS DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EMPRESA DE ACUICULTURA EN EL MARCO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA BASADA EN LA NORMA ISO 50001"

Nombre del candidato(a): MARTÍN ANDRÉS LEÓN OTÁROLA

Carrera / Grado: INGENIERIA CIVIL MECÁNICA

Campus: Santiago San Joaquín ; Departamento: MECÁNICA

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, MAURICIO OSSES, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

☐ 6 meses; ☒ 12 meses; ☒ 2 años; ☐ 3 años; ☐ 5 años; ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 07/07/2025

; Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 07/07/2025

; Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

AGRADECIMIENTOS

Con el término de esta tesis, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo, brindándome su apoyo, orientación y motivación a lo largo de este proceso.

En primer lugar, agradezco a mi familia, quienes han sido mi pilar fundamental durante toda mi vida. A mi madre, Morelia, por su amor incondicional, sus hermosos valores, la fuerza que me transmite, sus enseñanzas a lo largo de toda mi vida, siendo ella la principal fuente de inspiración en cada uno de mis desafíos, proyectos y trabajos hasta este momento. A mis hermanos, Joaquín y Bastián, por su constante apoyo, momentos inolvidables, todo el tiempo compartido conmigo y su confianza en mí.

A mi novia Paulina, quien ha estado a mi lado en este largo y desafiante proceso, entregándome su amor, su apoyo incondicional, su paciencia infinita y su capacidad para entenderme incluso cuando yo mismo no podía hacerlo.

A mis amigos, por su compañía, tiempo y conocimientos que me han entregado durante este camino. Gracias por los momentos de diversión y alegría, las noches de largo estudio, las conversaciones motivadoras que me ayudaron a ser lo que soy hoy en día.

Extiendo también mi agradecimiento a la empresa Evol Services, que me dio su apoyo al trabajar con ellos durante el desarrollo de esta tesis. Agradezco especialmente a Cristóbal, mi profesor correferente, que me ha apoyado, orientado y transmitido sus conocimientos durante estos últimos años.

Agradezco a mi profesor guía Mauricio Osses que me brindó de su tiempo y experiencia para mi desarrollo de mi carrera profesional, siendo su alumno, ayudante y memorista.

Finalmente, reconozco la importancia de todos los profesores, compañeros y trabajadores que formaron parte de mi formación académica.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo principal evaluar medidas de eficiencia energética en una empresa dedicada a la acuicultura, en el marco de la implementación de un Sistema de Gestión de Energía (SGE) basado en la norma ISO 50.001. Esto debido al contexto energético en el cual se encuentra actualmente la organización, catalogados como consumidores con capacidad de gestión de energía (CCGE) debido a la Ley de Eficiencia Energética 21.305 de Chile, la cual obliga a este tipo de empresas a reportar y gestionar su consumo mediante sistemas certificados.

Dentro de los alcances de esta memoria se desarrollan algunos puntos de la norma, que son los que responden a los objetivos específicos propuestos, los cuales son el desarrollo de la revisión energética, línea base energética, indicadores de desempeño energético, objetivos, metas energéticas y planificación para lograrlos y finalmente el seguimiento, medición, análisis y evaluación del desempeño energético del SGE.

En la primera parte del desarrollo del trabajo, se realizó una revisión energética que permitió levantar información clave sobre los consumos, procesos y usos significativos de energía (USE) en las tres plantas productivas de la organización ubicadas en Pargua, Castro y Ercilla. Durante esta etapa, se determinaron las fuentes de energía utilizadas, entre las cuales destacan GLP, electricidad, diésel y combustibles alternativos líquidos (CAL). Se identificaron los usos finales de energía y se cuantificó la energía que consume cada uno de estos.

Posteriormente, se desarrollaron indicadores de desempeño energético (IDE) y una línea base energética (LBE) que permiten medir y comparar el desempeño energético a lo largo del tiempo, y cuantificar las mejoras derivadas de la implementación de las medidas de eficiencia energética propuestas. Para la validación de estos modelos, se utilizaron herramientas estadísticas como el coeficiente de determinación (R^2) y pruebas de significancia.

Se definieron líneas meta energéticas de acuerdo con las mejores operaciones obtenidas por la organización, con lo que se definen metas cuantificables que la organización debe cumplir a corto plazo. Estas metas son el aumento en un 3,7% en el desempeño energético de la organización, aumento de un 4,4% en el sistema de caldera y un aumento del 2,5% en los sistemas de equipos con funcionamiento eléctrico que tiene la empresa.

Se proponen y analizan oportunidades de mejora energética, como son el recambio de calderas, la incorporación de economizadores en calderas y una gestión más eficiente en el uso de generadores durante períodos punta. Estas propuestas se evaluaron técnica y económicamente, en donde se destaca el recambio de la caldera de Pargua, que proyecta un ahorro energético del 8% y payback de 1,6 años.

Finalmente, debido a que la organización realizó la implementación de una nueva caldera, se verifica la mejora en el desempeño energético con datos de consumos desde enero a octubre 2024, entregando como resultado un incremento en el desempeño de la organización a nivel general del 0,9%, con un ahorro acumulado de 625 MWh y un incremento del 4,4% en el desempeño del sistema de caldera en Pargua acumulando un ahorro de 935 MWh.

ABSTRACT

The main objective of this thesis is to evaluate energy efficiency measures in a company dedicated to aquaculture, within the framework of the implementation of an Energy Management System (SGE) based on the standard ISO 50001. This is due to the energy context in which the organization is currently located, where these are classified as consumers with energy management capacity (CCGE) due to the Energy Efficiency Law 21.305 of Chile, which requires this type of companies to report and manage their consumption through certified systems.

Within the scope of this report, some points of the standard are developed, which are those that respond to the specific objectives proposed, which are the development of the energy review, energy baseline, energy performance indicators, objectives, energy goals and planning to achieve them and finally the monitoring, measurement, analysis and evaluation of the energy performance of the SGE.

In the first part of the development of the work, an energy review was carried out that allowed to gather key information on the consumption, processes and significant uses of energy (USE) in the three production plants of the organization located in Pargua, Castro and Ercilla. During this stage, the energy sources used were identified, among which GLP, electricity, diesel and liquid alternative fuels (CAL) stand out. The final uses of energy were identified and the energy consumed by each of these was quantified.

Subsequently, energy performance indicators (IDE) and an energy baseline (LBE) were developed that allow measuring and comparing energy performance over time, and quantifying the improvements derived from the implementation of the proposed energy efficiency measures. To validate these models, statistical tools such as the coefficient of determination (R^2) and significance tests were used.

Energy goal lines were defined according to the best operations obtained by the organization, thereby defining quantifiable goals that the organization must meet in the short term. These goals are a 3,7% increase in the organization's energy

performance, a 4,4% increase in the boiler system, and a 2,5% increase in the company's electrically powered equipment systems.

Energy improvement opportunities are proposed and analyzed, such as boiler replacement, the incorporation of economizers in boilers, and more efficient management in the use of generators during peak periods. These proposals were evaluated technically and economically, highlighting the replacement of the Pargua boiler, which projects an energy saving of 8% and payback of 1,6 years.

Finally, since the organization implemented a new boiler, the improvement in energy performance is verified with consumption data from January to October 2024, resulting in an increase in the organization's performance at a general level of 0,9%, with accumulated savings of 625 MWh and a 4,4% increase in the performance of the boiler system in Pargua, accumulating savings of 935 MWh.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	vi
ÍNDICE	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
INTRODUCCIÓN	xvii
OBJETIVOS	xix
PLAN DE TRABAJO	xx
1 Estado del arte.....	22
1.1 Contexto energético internacional y nacional	22
1.1.1 Consumo energético mundial.....	22
1.1.2 Desafíos y nuevas tecnologías	25
1.1.3 Consumo energético en Chile	27
1.1.4 Eficiencia energética	31
1.1.5 Eficiencia energética en Chile.....	32
1.2 Sistema de gestión de energía (SGE).....	34
1.2.1 Reglamento implementación SGE - Decreto 28	34
1.2.2 Generalidades de la ISO 50001	35
1.2.3 Marco de trabajo de la ISO 50001 – Ciclo de Deming	35
1.2.4 Requisitos de la norma ISO 50001	37
1.2.5 Requisitos por desarrollar de la norma ISO 50001	38
1.2.6 Revisión energética	39

1.2.7	Objetivos, metas energéticas y la planificación para lograrlos	40
1.2.8	Línea base energética (LBE).....	42
1.2.9	Indicadores de desempeño energético.....	42
1.2.10	Seguimiento, medición, análisis y evaluación del desempeño energético del SGE	43
1.3	Contexto energético organizacional.....	44
1.3.1	Descripción de la organización	44
1.3.2	Contexto energético bajo normativa energética nacional	46
1.3.3	Plantas productivas de estudio	46
1.3.4	Sistema productivo de estudio	47
2	Metodología de trabajo	55
2.1	Revisión energética.....	55
2.2	Determinación de indicadores de desempeño energéticos.....	57
2.3	Generación de línea base y meta energéticas.....	57
2.3.1	Escoger el modelo de LBE.....	58
2.3.2	Definir el periodo y las variables independientes de estudio.....	58
2.3.3	Creación de la línea base energética	59
2.3.4	Validación estadística y determinación de propiedades del modelo LBE	59
2.3.5	Creación de líneas de metas energéticas	61
2.4	Propuestas de verificación y control del SGE.....	61
2.5	Identificación, clasificación y análisis de oportunidades de mejora energética.....	61
3	Resultados y análisis.....	63
3.1	Revisión energética.....	63
3.1.1	Fuentes de energía.....	63

3.1.2	Perfil energético	65
3.1.3	Usos finales de energía.....	69
3.1.4	Propuesta de usos significativos de energía (USE).....	76
3.2	Propuestas de Indicadores de desempeño energético y Líneas base energéticas.	79
3.2.1	Propuestas de indicadores de desempeño energético.....	79
3.2.2	Línea base energética	82
3.2.3	Línea base energética meta	89
3.3	Propuestas de medidas de verificación y control	95
3.3.1	Definición de objetivos, metas y planes energéticos	95
3.3.2	Control y verificación operacional.....	97
3.4	Propuestas y análisis de mejoras energéticas	104
3.4.1	Listado de oportunidades de mejoras energéticas.	104
3.4.2	Criterios de evaluación de oportunidades de mejora energética	107
3.4.3	Análisis de propuestas de mejoras energéticas	109
3.4.4	Análisis y verificación del desempeño energético actual	125
CONCLUSIONES		132
BIBLIOGRAFÍA		138
ANEXOS		141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plan de trabajo..	xx
Figura 2. Consumo de energía mundial dividida entre las principales fuentes de energía.....	23
Figura 3. Emisiones mundiales de gases de efecto invernadero relacionadas con usos de energía años 1990-2023.....	24
Figura 4. Consumo energético mundial 2023..	24
Figura 5. Consumo energético histórico de Chile.....	27
Figura 6. Consumo energético de fuentes primarias en Chile.	28
Figura 7. Detalle de producción de energía generada en 2023..	30
Figura 8. Evolución de energía generada por fuentes en Chile años 2019-2023.....	30
Figura 9. Metas nacionales para reducir la intensidad energética.....	33
Figura 10. Metas nacionales para reducir la intensidad energética.....	34
Figura 11. Ciclo de Deming – PHVA..	36
Figura 12. Requisitos para la implementación de un SGE según la norma ISO 50001:2018.....	38
Figura 13. Característica SMART en objetivos y metas energéticas.....	41
Figura 14. Ubicación de las plantas de estudio.	47
Figura 15. Sistema de producción general..	47
Figura 16. Ingreso, almacenaje y recepción de materia prima.....	48
Figura 17. Molinos tipo martillo.	49
Figura 18. Mezcladora horizontal tipo paletas.....	49
Figura 19. Proceso de extrusión.....	50
Figura 20. Secador..	51
Figura 21. Sistema de aceitado al vacío.	51
Figura 22. Criba vibratoria.....	52
Figura 23. Enfriador.....	52
Figura 24. Empaque y almacenamiento de producto terminado.....	53
Figura 25. Caldera.....	53

Figura 26. Generador.	54
Figura 27. Proceso de revisión energética.....	56
Figura 28. Matriz de consumo de la organización 2023.	64
Figura 29. Distribución de Consumo totales en Tcal por planta productiva en 2023..	65
Figura 30. Consumo energético anual de la organización 2023.	66
Figura 31. Consumo de energía anual por planta 2023.....	67
Figura 32. Energía consumida durante el año 2023 dividida por tipo de fuente energética.	68
Figura 33. Consumo de energía en GWh por grupos de equipos de la organización..	70
Figura 34. Usos finales de energía aportada por red eléctrica en plantas de la organización..	71
Figura 35. Energía útil y perdidas en generación eléctrica..	72
Figura 36. Usos finales de la energía producida por generadores en Pargua.....	73
Figura 37. Usos finales de energía aportada por las calderas..	74
Figura 38. Consumo de energía total en equipos de usos finales.....	75
Figura 39. Diagrama Sankey del flujo energético de la organización..	76
Figura 40. Diagrama Pareto USE.....	77
Figura 41. Líneas base de energía sobre consumo total de la organización..	82
Figura 42. Líneas base de energía sobre consumo total de las plantas de la organización..	83
Figura 43. Líneas base de energía sobre consumo de calderas en las plantas de la organización..	84
Figura 44. Líneas base de energía sobre consumos en los sistemas de equipos con funcionamiento por energía eléctrica en las plantas de la organización.	85
Figura 45. LBE meta de la Planta de Castro..	90
Figura 46. LBE meta de la Planta de Ercilla.....	91
Figura 47. Eficiencia de caldera en función del porcentaje de carga.....	111
Figura 48. Balance de energía de economizador.	116
Figura 49. Ecuación general de la combustión..	117

Figura 50. Verificación de IDE del consumo total de energía de la organización....	127
Figura 51. Verificación de IDE del consumo de la caldera de Pargua..	128
Figura 52. Verificación de IDE del consumo de la caldera de Castro..	129
Figura 53. Verificación de IDE del consumo de la caldera de Ercilla..	129
Figura 54. IDE y LBE consumos de energía totales de la organización.....	151
Figura 55. IDE y LBE consumos de energía totales de la planta de Pargua.....	151
Figura 56. IDE y LBE consumos de energía totales de la planta de Castro..	152
Figura 57. IDE y LBE consumos de energía totales de la planta de Ercilla..	152
Figura 58. IDE y LBE consumos de energía caldera de la planta de Pargua.....	153
Figura 59. IDE y LBE consumos de energía caldera de la planta de Castro..	153
Figura 60. IDE y LBE consumos de energía caldera de la planta de Ercilla..	154
Figura 61. IDE y LBE consumos de energía grupo de equipos eléctricos de la planta de Pargua.....	154
Figura 62. IDE y LBE consumos de energía grupo de equipos eléctricos de la planta de Castro.	155
Figura 63. IDE y LBE consumos de energía grupo de equipos eléctricos de la planta de Ercilla.	155

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Capacidad energética instalada y generación energética por fuentes energéticas en Chile 2023.	29
Tabla 2. Valores de T-student de acuerdo del nivel de confianza esperado..	60
Tabla 3. Fuentes de energía y sus propiedades.	64
Tabla 4. Usos de fuentes de energía en las plantas de estudio.....	69
Tabla 5. Uso final de la energía proyectada usada en las calderas de la organización	74
Tabla 6. Variables de los IDE..	79
Tabla 7. Coeficientes de determinación (R^2) de la LBE generadas.	86
Tabla 8. Resultados de atributos estadísticos de validación del modelo de LBE.	87
Tabla 9. Determinación de presión absoluta y relativa.....	88
Tabla 10. Propiedades estadísticas de validación LBE metas.....	92
Tabla 11. Resumen de resultados LBE v/s LBE meta.	93
Tabla 12. Metas y objetivos propuestos del SGE. Fuente:	95
Tabla 13. Plantilla de plan de acción.	97
Tabla 14. Estados de operación energética durante 2023.	99
Tabla 15. Planilla de control de IDE de la empresa.....	103
Tabla 16. Criterios de evaluación de oportunidades de mejoras energéticas.....	108
Tabla 17. Resultados de evaluación de oportunidades de mejora energética.	109
Tabla 18. Características Caldera actual y Caldera por analizar.....	110
Tabla 19. Parámetros e indicadores económicos de proyecto recambio de caldera.	113
Tabla 20. Plan de acción recambio de caldera de planta de Pargua.....	114
Tabla 21. Supuestos y parámetros necesarios en análisis de economizador de caldera	115
Tabla 22. Moles en reacción de combustión para las distintas plantas de la organización.	117
Tabla 23. Ahorro energético por implementación de economizadores en calderas..	118
Tabla 24. Inversión inicial de economizadores.....	118

Tabla 25. Parámetros e indicadores económicos de proyecto implementación de economizadores en calderas.....	119
Tabla 26. Plan de acción implementación de economizadores en calderas.....	120
Tabla 27. Balance energía en generadores de la organización.....	122
Tabla 28. Reducción de perdidas energéticas con servicio GDI.....	122
Tabla 29. Tarifas de suministro eléctrico.....	123
Tabla 30. Retiros de potencia de la organización en su situaciónn actual y en bajo el supuesto proyectado de contratar el servició de GDI.....	124
Tabla 31. Resumen de ahorro económico con la implementación de GDI.....	124
Tabla 32. Plan de acción implementación servicio de gestión inteligente en el uso de generadores en periodo punta.....	125
Tabla 33. FODA - características internas.	145
Tabla 34. FODA - características externas.	145
Tabla 35. Consumos de energía por fuente de energía planta Pargua 2023..	146
Tabla 36. Consumos de energía por fuente de energía planta Castro 2023.	146
Tabla 37. Consumos de energía por fuente de energía planta Ercilla 2023.....	146
Tabla 38. Proyección de consumo eléctrico en equipos de la planta de Pargua.	147
Tabla 39. Proyección de consumo eléctrico en equipos de la planta de Castro.....	147
Tabla 40. Proyección de consumo eléctrico en equipos de la planta de Ercilla.....	147
Tabla 41. Producción de alimento 2023 por plantas de la organización.....	148
Tabla 42. Mejores operaciones 2023 Pargua.	149
Tabla 43. Mejores operaciones 2023 Castro.	149
Tabla 44. Mejores operaciones 2023 Ercilla.....	150
Tabla 45. Flujo de caja de recambio de caldera en planta de Pargua.....	156
Tabla 46. Flujo de caja de implementación de economizador en planta de Pargua..	156
Tabla 47. Flujo de caja de implementación de economizador en planta de Castro. .	157
Tabla 48. Flujo de caja de implementación de economizador en planta de Ercilla. .	157
Tabla 49. Análisis económico de GDI planta de Pargua.	158
Tabla 50. Análisis económico de GDI planta de Castro.	158
Tabla 51. Análisis económico de GDI planta de Ercilla.....	159

Tabla 52. Potencias proyectadas considerando el uso de servicio de GDI..	161
--	-----

INTRODUCCIÓN

La empresa de estudio se funda en el año 1962 por acuicultores daneses. Actualmente, se posiciona como uno de los principales proveedores de alimentos de excelencia para la industria acuícola en Europa y Chile, enfocándose principalmente en la producción de alimentos destinados a salmones y truchas.

A comienzos del siglo XXI, la organización de estudio inició sus actividades en Chile, junto a la fundación de su primera planta situada en la comuna de Puerto Montt. En la actualidad, la compañía dispone de tres plantas productivas en Chile, las cuales se encuentran en el sur del país, en las localidades de Pargua, Ercilla y Castro (región de los Lagos).

La organización, con el objetivo de mantener sus grandes estándares de calidad, se ha certificado en normas internacionales, destacando: ISO 9001, ISO 14001, ISO 22000 e ISO 45001.

El 13 de febrero de 2021 se publicó en el Diario Oficial la Ley 21.305 sobre Eficiencia Energética en Chile, que promueve el uso adecuado y eficiente de los recursos energéticos. Posteriormente, en agosto del mismo año, se promulgó el Decreto Supremo N.º 163 del Ministerio de Energía, el cual establece los criterios para identificar las empresas obligadas a reportar anualmente sus consumos e intensidad energéticos durante los siguientes cuatro años.

En 2022, el reglamento que regula la aplicación del artículo 2 de la Ley 21.305 entra en vigor, con el objetivo de fomentar la gestión de energía en los grandes consumidores. Esto obliga a las grandes empresas que posean consumos energéticos superiores a las 50 Tcal, definidos como Consumidores con capacidad de gestión de energía (CCGE), de reportar sus consumos e intensidad energéticos por los próximos 4 años.

La ley también establece la obligación de los CCGE a implementar un sistema de gestión de energía (SGE) que permita cubrir al menos el 80 % de sus consumos energéticos totales.

Los SGE deben contar con una política energética interna, objetivos, metas, planes de acción e indicadores de desempeño energético. Además de, un gestor energético, controles operacionales, medición y verificación, de acuerdo con los requisitos, plazos y forma establecidos por el reglamento [1].

Dado el contexto de las normativas vigentes, la organización debe reportar anualmente sus consumos de energía y su intensidad energética al Ministerio de Energía dado que cumple con los criterios exigidos el artículo 2 de la Ley de eficiencia energética, además de haber sido identificado como un CCGE, por lo que, deben implementar un SGE dentro de su organización.

Para este trabajo se abordan una serie de requisitos que pide la ley de eficiencia energética, los cuales se abordan de acuerdo con la norma ISO 50001 como son el levantamiento de información energética actual de la empresa, la generación de línea base energética e indicadores de desempeño energéticos, además de proponer medidas de eficiencia energética que permitan mejorar la productividad energética y competitividad de la organización.

OBJETIVOS

En este trabajo el objetivo general es evaluar medidas de eficiencia energética aplicadas en los consumos energéticos de una empresa dedicada a la acuicultura realizando una revisión energética y estableciendo la línea base energética e indicadores de desempeño basados en la norma ISO 50001 sobre eficiencia energética.

Con el fin de cumplir el propósito anteriormente señalado, se debe abordar los siguientes objetivos específicos:

1. Realizar el levantamiento de información energética de la organización, para dar a conocer el perfil energético de los consumos, procesos y usos de las plantas de la empresa de acuicultura.
2. Analizar la situación actual del perfil energético de la organización, mediante la generación de una línea base energética (LBE).
3. Proponer medidas de verificación y control energéticas mediante la generación de indicadores de desempeño energético (IDE).
4. Proponer opciones de mejora energética con la finalidad de mejorar la productividad y competitividad económica de la organización.

PLAN DE TRABAJO

El plan de trabajo propuesto para lograr los objetivos del trabajo sigue la secuencia lógica de las etapas necesarias para abordar la problemática planteada. El plan de trabajo se presenta de manera esquemática en la Figura 1.

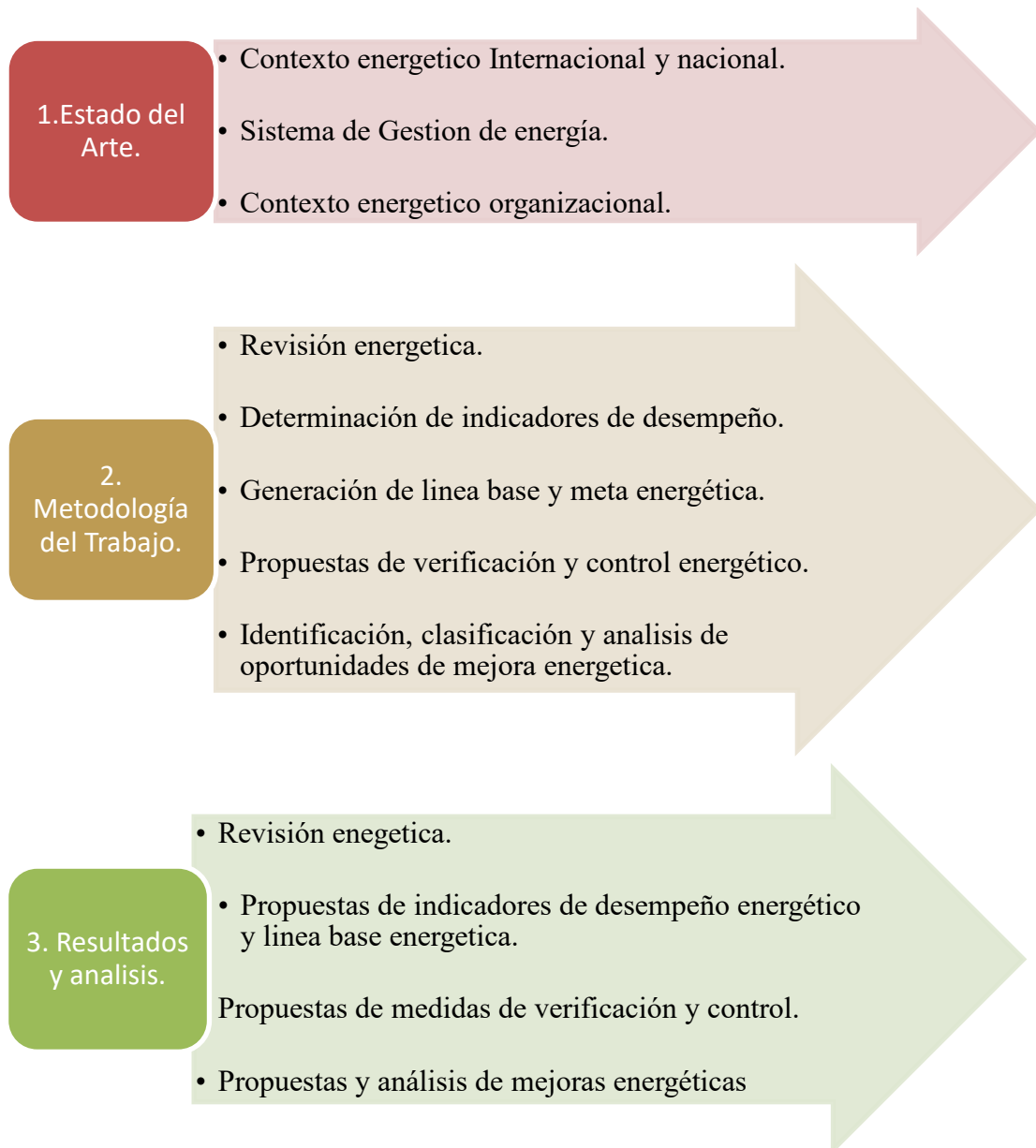


Figura 1. Plan de trabajo. Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se presenta una descripción general de cada una de las etapas que conforman el plan de trabajo propuesto.

1. Estado del arte: se basa en la teoría necesaria para la realización de la memoria, en la que se expone el contexto energético internacional como nacional, los requisitos claves que rodean la norma 50001 y el contexto energético de la organización de estudio, con el fin de cumplir con los objetivos propuestos del trabajo.
2. Metodología del trabajo: se establece el marco de trabajo práctico y sistemático a partir de la información recopilada mediante reuniones, visitas a terreno, estudios previos y contexto organizacional.
3. Resultados y Análisis: en este capítulo se presentan los resultados obtenidos del levantamiento de información energética, junto con su correspondiente análisis. Asimismo, se detalla la generación de la línea base energética y los indicadores de desempeño energético, los cuales servirán como punto de partida para la evaluación de las medidas de eficiencia energética propuestas.

1 Estado del arte

En el presente capítulo se expondrán los antecedentes relacionados con el ámbito energético a nivel internacional, nacional y organizacional, los cuales están vinculados con el desarrollo de este trabajo de titulación.

La información se organiza siguiendo un enfoque progresivo, que avanza desde lo general a lo particular. En primer lugar, se aborda el contexto energético internacional, analizando el consumo energético global, los principales desafíos actuales y las nuevas tecnologías disponibles a nivel mundial. Posteriormente, se presenta el contexto energético nacional, con énfasis en la matriz de consumo energético del país y las legislaciones vigentes relevantes para este estudio, como la Ley 21.305 sobre eficiencia energética. Finalmente, se analizan los requisitos establecidos en la norma ISO 50001, los cuales constituyen la base para el desarrollo de los objetivos de la presente memoria, así como el contexto productivo y energético de la organización objeto de estudio.

1.1 Contexto energético internacional y nacional

1.1.1 Consumo energético mundial

El Instituto de Energía, organización de carácter mundial con membresía profesional autorizada para personas en el sector energético, publicó el informe titulado Statistical Review of World Energy 2024 [2], el cual detalla el contexto energético y analiza datos sobre el mercado energético a nivel mundial. El informe mencionado indica que el consumo de energías primarias (Petróleo, Carbón, Gas natural, Hidroeléctrica, Renovables y Nuclear) a nivel mundial fue en 2023 de 620 [EJ], lo cual se traduce en un aumento del 2 % en comparación con el año anterior, un 0,6 % por encima de su media de diez años y más del 5 % por encima del año 2019 previo a la pandemia COVID. La Figura 2 muestra la tendencia en el uso de energía histórica desde 2020 hasta 2022, lo cual revela el comportamiento del consumo energético

mundial en los últimos años, con énfasis en el año 2022, que es el año en el que el estudio toma como referencia para entregar sus análisis estadísticos.

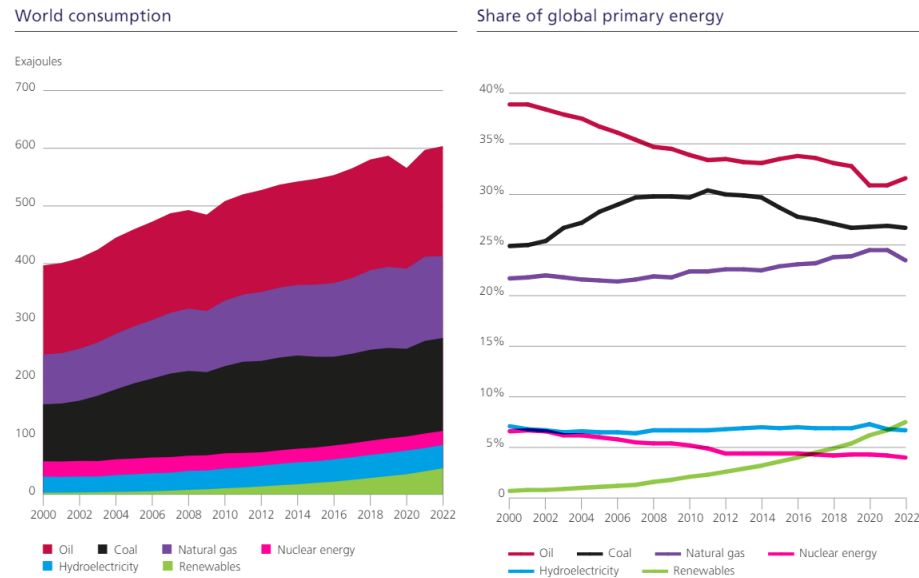


Figura 2. Consumo de energía mundial dividida entre las principales fuentes de energía.
Fuente: [3].

Los países que conforman el CIS (0,7 %) y el Centro y Sur de América (3,0 %), Medio Oriente (3,0 %) y Asia Pacífico (4,7 %), aumentaron su consumo de energía, mientras que las regiones que disminuyeron su consumo fueron Europa (-2,2 %), Norte América (-1,0 %) y África (-0,5 %).

Como consecuencia del uso de las energías, las emisiones de dióxido de carbono aumentaron en un 2,1 % en 2023, lo cual superó el nivel récord establecido en 2022. También alcanzaron un nivel récord, superando por primera vez las 40 GtCO₂e, como se puede apreciar en la Figura 3.

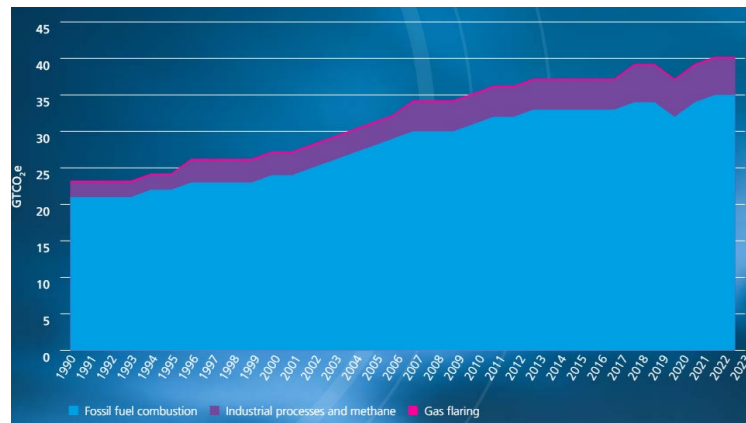


Figura 3. Emisiones mundiales de gases de efecto invernadero relacionadas con usos de energía años 1990-2023. Fuente: [2].

Como se muestra en la Figura 4, los combustibles fósiles (Petróleo, Carbón y Gas natural) representan la mayoría de la matriz energética mundial, con un 81,5 %, lo cual es inferior a lo registrado en 2022, con un 81,9 %, como se muestra en la figura 3. Las energías renovables se posicionan como la cuarta energía primaria más utilizada en el mundo, superando la energía hidroeléctrica en el año 2023, tal como se puede apreciar en la Figura 3.

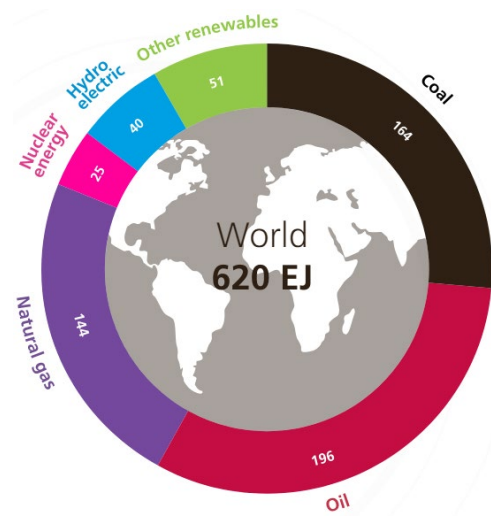


Figura 4. Consumo energético mundial 2023. Fuente: [2].

Al exponer el contexto energético global, resulta crucial tener en cuenta los desafíos a los que se presentará el uso de la energía en los siguientes años.

1.1.2 Desafíos y nuevas tecnologías

A raíz de este contexto y desarrollo energético mundial, se presentan los desafíos energéticos a los que se enfrentará el mundo en las próximas décadas, así como las tecnologías que se están utilizando y desarrollando para resolver estos mismos.

1.1.2.1 COP21 – acuerdo de París

Un hito importante para este tema fue el ocurrido en la conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático de 2015 (COP21) celebrada en París en 2015. En la cual se estableció un acuerdo para combatir el cambio climático e impulsar e incrementar las acciones e inversiones para lograr un futuro sostenible con bajas emisiones de carbono, siendo estos los obstáculos que, en conjunto con diversos países, se desean superar a largo plazo (meta 2050). El objetivo fundamental de este acuerdo es reforzar la respuesta global a la amenaza del cambio climático, manteniendo el aumento de la temperatura mundial en este siglo muy por debajo de los 2 grados centígrados por encima de los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar aún más el aumento de la temperatura a 1,5 grados centígrados [4].

1.1.2.2 COP28

En la última conferencia de naciones realizada en diciembre del año 2023 (COP28) se reafirma el hecho de que para alcanzar el objetivo central, es necesaria la eliminación progresiva de todos los combustibles fósiles, ayudar financieramente a los países en desarrollo vulnerables al cambio climático, además se llegó a compromisos para triplicar la capacidad de las energías renovables y duplicar la eficiencia energética para 2030, ya que, según el balance mundial realizado es necesario que las emisiones mundiales de GEI se reduzcan en un 43 % para 2030 para alcanzar el cero neto en emisiones mundiales de CO2 para 2050 [5].

El COP28 no entregó datos alentadores de acuerdo con el objetivo que se quiere alcanzar a nivel mundial, pero permite dar a conocer el panorama general actual de lo sucedido a nivel mundial y conclusiones de que se debe seguir trabajando en las acciones y apoyos que permitan la transición energética sustentable, aprovechando para ello las oportunidades existentes en todos los sectores y sistemas.

1.1.2.3 Nuevas tecnologías

La innovación tecnológica en el sector energético es fundamental para cumplir con el objetivo de la transición energética y cumplir con los objetivos globales. Algunas de estas tecnologías, son las siguientes [6]:

- Energías renovables: como son la energía solar y la eólica, que son fuentes limpias y abundantes que están redefiniendo el sector energético, proporcionando alternativas más sostenibles y reduciendo nuestra dependencia de los combustibles fósiles.
- La inteligencia artificial y la digitalización de procesos: están cambiando radicalmente la gestión y distribución de la energía eléctrica mediante algoritmos avanzados y sistemas de monitorización en tiempo real. Las empresas pueden optimizar el consumo energético, anticipar picos de demanda y prevenir posibles fallos en la red.
- Almacenamiento de energía: como son las baterías de ion-litio y los sistemas de almacenamiento térmico, están permitiendo capturar y almacenar eficientemente la energía generada por fuentes renovables, como la solar y la eólica.
- Los vehículos eléctricos: representan una alternativa más limpia y eficiente en comparación con los vehículos tradicionales de combustión interna, además de contribuir significativamente a la demanda de electricidad.
- El hidrógeno verde: es una alternativa prometedora para la transición hacia un futuro energético más limpio y sostenible, sustituyendo principalmente los combustibles fósiles en sectores difíciles de electrificar, como la industria pesada y el transporte marítimo.

- Huella de carbono: efectuando un seguimiento y cálculo en todos los sectores, lo que permite evaluar el impacto ambiental de cada actividad y orientar las políticas de eficiencia energética a objetivos claros y sostenibles.
- Eficiencia energética: que es la utilización de menos energía para realizar la misma tarea o producir el mismo resultado [7].

1.1.3 Consumo energético en Chile

Según el informe Statistical Review of World Energy 2024 [2], Chile ha experimentado un aumento en el consumo energético, lo cual se puede apreciar en la Figura 5, en la que su último registro en 2023 indica que la nación realizó un consumo de 1,81 EJ, siendo este valor el valor más registrado en los últimos años junto al año 2022.



Figura 5. Consumo energético histórico de Chile. Fuente: [2].

El informe entrega el consumo energético por fuente de energía que tiene Chile, lo cual se puede observar en la Figura 6, además de los indicadores energéticos globales respecto al año 2022, como son los siguientes [2]:

- Consumo energético 2023 de 1,81 EJ equivalentes al 0,3 % del consumo global.
- Crecimiento porcentual en el año 2023 de un 0,1 %.

- Crecimiento porcentual entre los años 2013-2023 de un 2,0 %.
- Incremento en el consumo de energías renovables de un 10,0 %.
- Incremento en el consumo de petróleo en un 1,2 %.
- Incremento en el consumo de energía generación hidroeléctrica en un 15,8 %.
- Reducción de las emisiones de CO2 en un 7,0 %.
- Reducción en el consumo de gas natural en un 3,8 %.
- Reducción en el consumo de carbón en un 25 %.

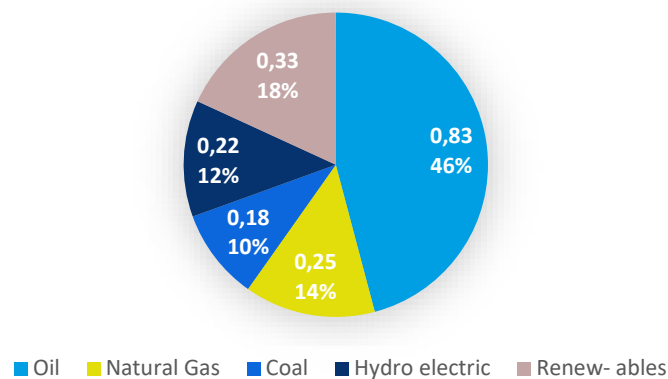


Figura 6. Consumo energético de fuentes primarias en Chile. Fuente [2].

De acuerdo con los datos proporcionados en la Figura 6 y los indicadores de consumos globales, se puede inferir que Chile ha experimentado progresos en la reducción de las centrales energéticas que funcionan con carbono, lo que ha generado una disminución en las emisiones de CO2, así como en la generación energética a través de centrales de energía renovables.

1.1.3.1 Matriz energética chilena

De acuerdo con el último informe de sostenibilidad energética publicado por el coordinador eléctrico nacional [8], se señala que la capacidad energética instalada en el año 2023 es de 34.321 MW, en el cual el 35 % de dicha energía se originó de centrales convencionales, mientras que el 65 % corresponde a centrales de energía

renovables. En la Tabla 1 se presenta la capacidad energética instalada y la producción energética generada para cada tipo de energía utilizada en 2023.

Tabla 1. Capacidad energética instalada y generación energética por fuentes energéticas en Chile 2023. Fuente [8].

Fuente energética 2023	Capacidad Instalada 2023 MW	Producción generada 2023 GWh
Hídrica	7.514	23.944
Térmica	12.940	32.682
Eólica	4.710	9.911
Solar	9.061	16.662
Geotérmica	95	438

En la Figura 7 se muestra el detalle la generación de energía durante 2023, en lo que se puede concluir que a pesar de la información entregada en la Tabla 1 de que la mayor capacidad instalada es de origen renovable, aun así, las fuentes convencionales aún se encuentran presente en gran medida como opción para la generación en Chile, en donde el carbón junto al gas natural aporta un 35,2 %.

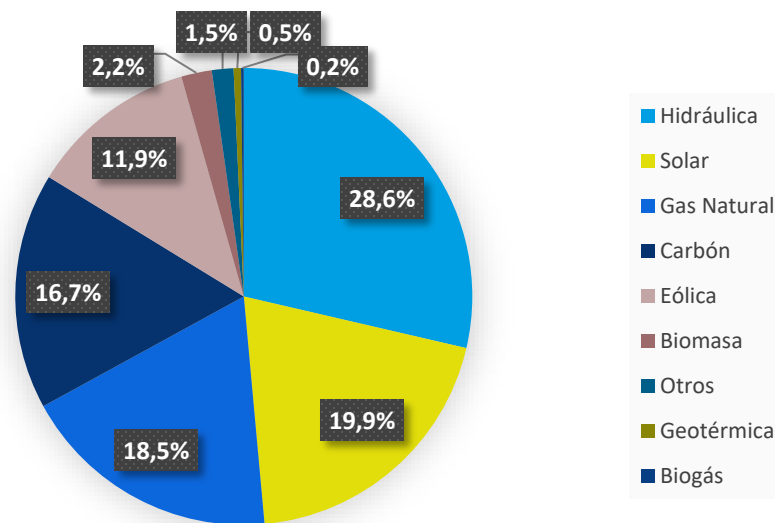


Figura 7. Detalle de producción de energía generada en 2023. Fuente: [8].

La evolución de la nación en los últimos años en cuanto a las fuentes de energía que participan en la generación de energía se evidencia en la Figura 8, la cual se puede comparar con los datos proporcionados en la Figura 2, donde se destaca que se ha experimentado una disminución significativa en el uso del carbono y se ha incrementado el uso de fuentes renovables, tales como la solar y la eólica.

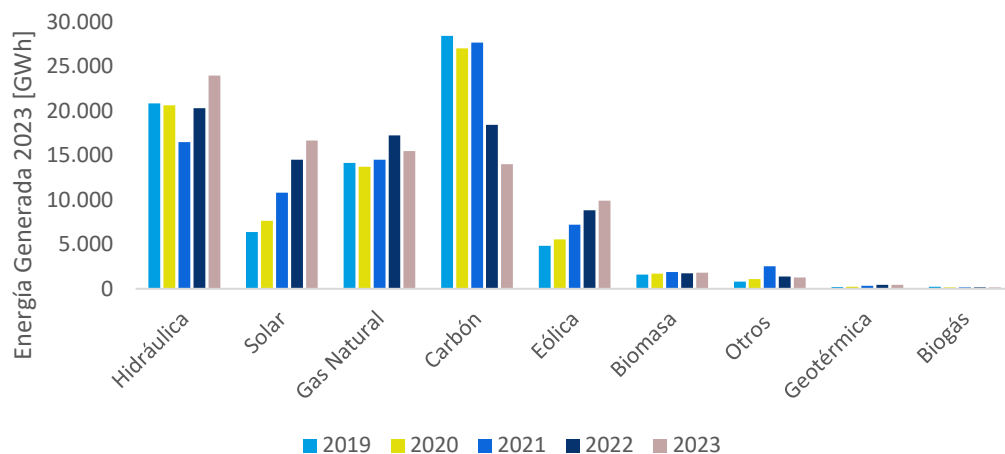


Figura 8. Evolución de energía generada por fuentes en Chile años 2019-2023. Fuente: [8].

La reducción en energéticos convencionales y aumento en energéticos renovables, no son casualidad, sino que, es producto de la importancia que le está dando el país a la transición energética, siendo el año 2021 un punto de inflexión, ya que, este año se publicó la primera ley de eficiencia energética (Ley 21.305), la cual da las directrices que permiten desarrollar el primer plan nacional de eficiencia energética, estableciendo metas para reducir la intensidad energéticas durante los siguientes años.

1.1.4 Eficiencia energética

La eficiencia energética a nivel mundial es una de las áreas y tecnologías de acción más importantes para avanzar en la transición energética y cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible.

1.1.4.1 Definición

La organización internacional de normalización (ISO) define eficiencia energética como la proporción u otra relación cualitativa entre un resultado del desempeño (resultado medible), del servicio, de los bienes, de las materias primas, o de la energía, y una entrada de energía [9]. Bajo esta definición, se puede expresar la eficiencia energética con la ecuación 1:

$$E_f = \frac{P}{I_E} \quad 1$$

Donde:

E_f : Eficiencia Energética

P : Resultado medible de servicios, bienes, materias primas o energía

I_E : Energía de entrada necesaria para generar productos o servicios.

Al centrarse en el área industrial, la eficiencia energética se logra definir como la utilización de la menor cantidad posible de energía cuando se lleva a cabo algún

trabajo. Es decir, el objetivo para que una empresa sea eficiente energéticamente es optimizar el consumo de energía sin que ello impida completar bien una labor (servicio o bien entregado) o disminuir la calidad ofrecida [10].

1.1.5 Eficiencia energética en Chile

En Chile, como primer hito relevante a nivel nacional en cuanto a la eficiencia energética, se publicó en el Diario Oficial el 13 de febrero de 2021 la Ley 21.305 sobre eficiencia energética, la cual establece que cada 5 años el Ministerio de energía debe elaborar un Plan Nacional de Eficiencia Energética, en el cual se deberán establecer metas a corto, mediano y largo plazo, así como planes, programas y acciones necesarias para alcanzar dichas metas.

1.1.5.1 Artículo 2 de la Ley 21.305

El artículo 2 de la ley 21.305 establece que todas las empresas que hayan tenido un consumo energético total para uso final igual o superior a 50 tera-calorías durante el año calendario anterior deberán notificar anualmente al Ministerio de Energía sus consumos por uso de energía y su intensidad energética del año calendario anterior y se catalogarán como Consumidores con Capacidad de Gestión de Energía, en adelante CCGE [1] El ministro de Energía informará anualmente el listado de consumidores que se catalogarán como CCGE mediante la publicación de una resolución en el Diario Oficial.

Los CCGE deben implementar una o más Sistemas de Gestión de Energía, en adelante SGE, que cubran al menos un 80 % de su consumo energético total. Una vez implementados, se deberán reportar anualmente los resultados de la implementación [1].

1.1.5.2 Resolución exenta N°13

El 8 de marzo del 2023 se publicó en el diario oficial la resolución exenta 13 que fija el listado de consumidores con capacidad de gestión de energía para los consumos del

año 2022, siendo esta, el primer listado de empresas que deberán cumplir con la implementación de un SGE.

Se destaca en esta resolución que los CCGE tendrán 12 meses contados desde la publicación de la resolución vigente en el Diario Oficial para implementar el SGE, a excepción de los CCGE con consumos anuales entre 50 Tcal y 100 Tcal quienes tendrán 24 meses [11].

1.1.5.3 Plan nacional de eficiencia energética

El Plan elaborado por el Ministerio de energía y que está alineado con lo dicho en el artículo 1 de la ley 21.350, cuenta con el objetivo de alcanzar la carbononeutralidad en el año 2050 y cuenta con metas que permitan de reducir la intensidad energética respecto del año 2019 las cuales se muestran en la Figura 9.



Figura 9. Metas nacionales para reducir la intensidad energética. Fuente [12].

El plan se divide en metas sectoriales, siendo estos: Sectores productivos, transporte, edificación y ciudadanía, en donde, cada uno de estos, se le ha definido una serie de

medidas y metas a alcanzar, los cuales se pueden visualizar en la Figura 10.



Figura 10. Metas nacionales para reducir la intensidad energética. Fuente: [12].

En la Figura 10, se destacan las medidas y metas que tiene el sector industrial, en donde, se menciona la implementación de los sistemas de gestión de energía y que para el año 2026 que los CCGE deberán reducir en un 4% la intensidad energética con respecto al año 2019.

1.2 Sistema de gestión de energía (SGE)

1.2.1 Reglamento implementación SGE - Decreto 28

El Decreto 28 publicado el 22 de junio del año 2021 por el Ministerio de Energía, entrega el reglamento que los CCGE deberán considerar al momento de implementar el SGE. Este mismo comenta que la obligación de implementación se puede cumplir mediante la certificación de alguna norma chilena vigente, que establezca los requisitos de un Sistema de Gestión de Energía, elaborada por el Instituto Nacional de Normalización (INN), o su equivalente internacional [13].

Debido a esto es que se tiene en cuenta la norma ISO 50001 que trata de los requisitos del sistema de gestión de energía para una organización y que es realizado por la “Organización Internacional de normalización” (ISO), la cual lleva desde 1946

publicando normas internacionales y que con ayuda de expertos mundiales han logrado estandarizar “la mejor manera de hacer las cosas” [14].

1.2.2 Generalidades de la ISO 50001

La primera edición de la norma ISO 50001 “Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso” fue publicada en el año 2011 y posteriormente reemplazada por una segunda versión y vigente publicada en el año 2018. Esta norma tiene como propósito permitir a cualquier organización establecer sistemas y procesos necesarios para mejorar el desempeño energético, considerando la eficiencia energética, el uso de energía y consumo de energía. Esto lo logra especificando todos los requisitos que debe considerar el sistema de gestión de energía que una empresa quiera implementar.

Integrar esta gestión de una manera eficaz establece un proceso de mejora continuamente permitiendo un mejor rendimiento energético y la reducción de costos en energía. Esto no solo aumenta la competitividad, sino que también ayuda a cumplir objetivos de mitigación del cambio climático al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la energía.

1.2.3 Marco de trabajo de la ISO 50001 – Ciclo de Deming

La norma considera una estructura documental que asegura que las actividades se realizan conforme a su planeación, que se verifican los resultados de las actividades emprendidas y se toman acciones, en función de las desviaciones observadas entre lo planeado y lo conseguido. De acuerdo con esto, el marco de trabajo de la ISO 50001 se basa en el enfoque cíclico de mejora continua o también conocido como ciclo de Deming. La Figura 11 muestra la estructura del ciclo compuesto por sus cuatro etapas planificar, hacer, verificar y actuar (PHVA), en la que se puede apreciar el proceso de mejora continua, de forma que, al terminar la última etapa, comienza nuevamente la primera etapa, permitiendo que cada actividad que compone cada etapa se evalúe periódicamente y permitiendo incorporar mejoras.



Figura 11. Ciclo de Deming – PHVA. Fuente [15].

Las cuatro etapas que componen el ciclo se describen como:

- Planificar: se enfoca en comprender la utilización de la energía, con el propósito de determinar los recursos, acciones, controles y metas necesarios para garantizar la mejora en el rendimiento energético.
- Hacer: se trata de ejecutar las acciones planificadas a través de procedimientos y estándares de eficiencia energética, comunicándolos dentro de la organización para controlar y mejorar el rendimiento energético.
- Verificar: implica monitorear los procesos y productos según las políticas y objetivos de rendimiento energético, evaluándolos a través de auditorías y revisiones por la alta dirección, para informar los resultados de la planificación y ejecución.
- Actuar: basándose en la verificación y la información obtenida, se llevan a cabo nuevas acciones para mejorar el rendimiento energético de manera continua, lo que reinicia el ciclo de planificación.

1.2.4 Requisitos de la norma ISO 50001

La guía de implementación del sistema de gestión de energía basado en la ISO 50001:2018 publicada por la Agencia de Sostenibilidad Energética [15], caracteriza cada uno de los requisitos por etapa que considera la norma ISO 50001, dividiéndolo en requisitos de carácter modular o estructural.

Los requisitos modulares son esenciales para monitorear y mejorar el desempeño energético. Los requisitos estructurales, como su nombre lo indica, son aquellos que proveen la estructura en torno a los requisitos modulares y que convierten a la gestión de la energía en un proceso sistemático y controlado [15].

Los requisitos modulares se centran en la gestión directa de la energía y al enfocarse solo en ellos se permite de igual forma integrar el desempeño energético en el control operativo de una organización, mostrando mejoras tanto en el consumo de energía como en los costos asociados. Sin embargo, si se omiten los requisitos estructurales, puede resultar difícil mantener a largo plazo las acciones necesarias para mejorar el rendimiento energético, especialmente aquellas que requieren una implementación transversal en toda la organización.

En la Figura 12 se muestran los requisitos que considera la norma ISO 50001, en donde los que son de color blanco son los de carácter estructural, mientras que los de color gris son los de carácter modular.

Planificar	4. Contexto de la Organización
	4.1 Compresión de la organización y su contexto
	4.2 Compresión de las necesidades y las expectativas de las partes interesadas
	4.3 Determinación del alcance del sistema de gestión de la energía
	4.4 Sistema de gestión de la energía
	5. Liderazgo
	5.1 Liderazgo y compromiso
	5.2 Política energética
	5.3 Roles, responsabilidades y autoridades en la organización
	6. Planificación
Hacer	6.1 Acciones para abordar los riesgos y las oportunidades
	6.2 Objetivos, metas energéticas y planificación para lograrlos
	6.3 Revisión energética
	6.4 Indicadores de desempeño energético
	6.5 Línea de base energética
	6.6 Planificación para la recopilación de datos de la energía
	7. Apoyo
	7.1 Recursos
	7.2 Competencia
	7.3 Toma de consciencia
Verificar	7.4 Comunicación
	7.5 Información documentada
	8. Operación
	8.1 Planificación y control operacional
	8.2 Diseño
	8.3 Adquisición
	9. Evaluación del desempeño
	9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación del desempeño energético y del SGE
	9.2 Auditoría interna
	9.3 Revisión por la dirección
Actuar	10. Mejora
	10.1 No conformidad y acción correctiva
	10.2 Mejora continua

Figura 12. Requisitos para la implementación de un SGE según la norma ISO 50001:2018. Fuente [15].

1.2.5 Requisitos por desarrollar de la norma ISO 50001

Con la finalidad de dar cumplimiento a los objetivos específicos del trabajo de titulación, se abordan algunos de los requisitos medulares que se muestran en la Figura 12, siendo estos los siguientes:

- Objetivos, metas energéticas y la planificación para lograrlos.
- Revisión energética.
- Línea de Base energética.
- Indicadores de desempeño energético.
- Seguimiento, medición, análisis y evaluación del desempeño energético del SGE.

En el Anexo 1 se encuentra el detalle entregado por la norma ISO 50001 [9] que se desarrollan a lo largo del trabajo de titulación.

1.2.6 Revisión energética

La revisión energética es una recopilación y análisis de datos sobre los usos energéticos, consumos de energía y niveles de eficiencia de una organización, siendo una de las etapas más importantes para implementar y mantener un SGE en el tiempo, además de apoyar en la determinación de la línea base energética e indicadores de desempeño e identificar oportunidades de mejoras energéticas.

Este levantamiento de información se debe ir manteniendo de forma periódica, generalmente anual o en el caso de que se produzca un cambio que afecte de forma relevante el uso y consumo de energía (sustitución de equipos o sistemas, cambios en forma de ocupar la energía, modificaciones abruptas en fuentes de energía utilizadas).

Las organizaciones deben documentar el procedimiento, metodología y criterio considerados para llevar a cabo la revisión energética, estableciendo la periodicidad, el responsable de la revisión, la información disponible y la localización de los documentos.

1.2.6.1 Actividades de la revisión energética

De acuerdo con la norma ISO 50001 [9], la revisión energética se compone de tres actividades principales:

1. Análisis de usos y consumos de la energía: en donde se identifican todas las fuentes de energía utilizada en la organización en ese momento, se evalúan los consumos de energías tanto pasados como futuros y los usos de la energía.
2. Identificación de las áreas de usos significativos de la energía: señalando todos aquellos usos de la energía que tienen un consumo sustancial o presentan un potencial de mejora de desempeño energético los cuales se denominan USES, luego se identifican las variables relevantes que afectan al consumo de estos mismos usos significativos y el desempeño energético de

los mismos, para estimar finalmente el uso y consumos futuros de la energía de la organización.

3. Identificación, registro y priorización de las oportunidades para mejorar el desempeño energético: en donde estas pueden estar vinculadas a:
 - Uso de energía, por ejemplo, destacando el cambio a un empleo de energía limpia.
 - Consumo de energía, por ejemplo, cambios de horarios en las operaciones.
 - Relacionado con eficiencia energética de los equipos o sistemas, por ejemplo, sustituyendo equipos o modificando sistemas.

1.2.7 Objetivos, metas energéticas y la planificación para lograrlos

Estos objetivos representan las visiones a largo plazo que adoptara la empresa en el tema energético y las metas serán los valores mensurables que podrán ser verificados a lo largo de este tiempo.

Los objetivos deben ser documentados, tener la finalidad de una mejora en el desempeño energético considerando los USEs, contar con el detalle necesario para alcanzarse en los plazos definidos y actualizarse cuando sea apropiado, ser coherentes con los requisitos aplicables de la norma. En conclusión, tanto los objetivos como metas deben adoptar la característica de ser SMART como se puede ver en la Figura 13, en donde, al ser escritos estos deben ser lo suficientemente específicos, medibles, alcanzables y puntuales en un rango de tiempo definido (corto y largo plazo) y realistas para el contexto de la organización comprendiendo las restricciones en cuanto a inversiones.



Figura 13. Característica SMART en objetivos y metas energéticas. Fuente [16].

Según el funcionamiento de la organización, se pueden elegir dos corrientes que permiten la generación de los objetivos y metas energéticas, siendo estas las siguientes:

1. Bottom-up: donde los objetivos y metas energéticas se definen a partir de los resultados de la planificación energética como son la línea base energética, los indicadores de desempeño energético, los USE, y la evaluación del potencial de mejora del desempeño energético.
2. Top-down: donde los objetivos y metas energéticas son establecidos por la alta dirección o el corporativo. A partir de estos objetivos, se definen y priorizan las oportunidades de mejora del desempeño energético a implementar para alcanzar dichos objetivos.

Se recomienda que siempre que sea posible, se utilice la técnica del “Bottom-up”, permitiendo que el equipo de gestión de energía desarrolle los objetivos y metas, junto con el consenso de la alta dirección [16].

1.2.8 Línea base energética (LBE)

La ISO 50001 define a la línea base energética, desde ahora LBE, como una referencia cuantitativa que proporciona la base de comparación del desempeño energético [9].

La LBE también se puede definir como un modelo matemático que permite describir el consumo de energía de un equipo, área o proceso con un nivel de confianza y precisión adecuada. Este modelo puede ser univariable o multivariable, dependiendo de la cantidad de variables significativas que no dependan de la operación y el mantenimiento en el proceso, o sea, que no pueden ser controladas por los operadores o mantenedores como por ejemplo grados-día, mix de producción, tipo de materia prima, etc.

El modelo de la LBE puede ser de carácter determinístico, físico, matemático o estadístico, y debe ser validado mediante pruebas estadísticas como P-Value, T-Student o el coeficiente de determinación para determinar si el modelo estadístico ha sido bien establecido desde los datos utilizados.

Una vez establecida la LBE, estas se deben mantener en el tiempo, a menos que ocurra un gran cambio en los procesos, en la operación, en los sistemas de energía o los indicadores de desempeño energético ya no se adecuen.

1.2.9 Indicadores de desempeño energético

Los indicadores de desempeño energético, desde ahora IDE, son una herramienta que permiten medir las variaciones de consumo energético debido a la influencia de diferentes factores.

La ISO 50001 define un IDE como un valor cuantitativo o medida de desempeño energético tal como lo define la organización [9] y sirve para medir su desempeño frente a su LBE.

Las organizaciones establecen IDE a diferentes niveles, con el fin de tener información suficiente para describir mejor su desempeño [16]:

- Al nivel general de consumo en plantas de producción.
- Al nivel de procesos.
- Al nivel de los usos significativos del sistema seleccionado.
- Al nivel de equipos consumidores de energía.

Los IDE pueden ser tan complejos como los defina la organización:

- Simples: por ejemplo, consumos de energía por mes versus meses anteriores, consumo real versus consumo previsto o costos de energía real versus costo presupuestado.
- Complejos: por ejemplo, consumo por unidad producida o ventas, consumo específico de equipos o consumo por fuentes de energía.

1.2.10 Seguimiento, medición, análisis y evaluación del desempeño energético del SGE

La verificación de la mejora del desempeño energético es un aspecto fundamental del SGE, el cual se realiza comparando la evolución de los IDE con sus respectivas LBE de forma sistemática. Si se detectan desviaciones significativas en el desempeño, estos deben ser examinados y analizados.

El seguimiento, medición y análisis se encuentra íntimamente vinculado al ámbito de planificación y control operacional, dado que, para verificar la correcta ejecución de una determinada actividad, es necesario llevar a cabo las medidas y el seguimiento oportuno. De acuerdo con la revisión energética y el control operacional, se establecerá el método de medición, análisis y seguimiento.

1.3 Contexto energético organizacional

1.3.1 Descripción de la organización

La empresa de estudio se dedica al rubro de la acuicultura, en específico a ser la productora y proveedora de alimentos (pellet) de alto rendimiento para la cría de peces. Esta posee actualmente 17 plantas de producción de alimentos situadas en Noruega, Chile, Dinamarca, Escocia, España, Francia, Vietnam, Grecia, Turquía, China, Ecuador, Australia y Costa Rica, permitiendo entregar sus productos a más de 90 países de todo el mundo.

La organización desde su fundación se ha comprometido con garantizar los estándares de calidad, seguridad y sostenibilidad en todas sus operaciones, lo que los ha llevado hoy en día a estar certificados en las siguientes normas internacionales de gestión:

- ISO 9001: es un estándar internacional que establece los requisitos para establecer, implementar y mantener un sistema de gestión de calidad efectivo en una organización pública o privada.
- ISO 14001: es un estándar internacional que establece los requisitos para que las organizaciones desarrollen un sistema de gestión ambiental, con el cual se pretende disminuir impactos ambientales, promover la sostenibilidad y responsabilidad ambiental.
- ISO 22000: es un estándar internacional que establece los requisitos para la implementación de un sistema de gestión de seguridad alimentaria en cualquier organización involucrada en una cadena de suministro de alimentos.
- OHSAS/ISO 45001: proporciona un marco integral para que las organizaciones implementen un sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo.

1.3.1.1 Contexto de la organización

La organización actualmente bajo su modelo y contexto de trabajo presenta asuntos que los pueden afectar de forma interna como de forma externa. Dichos asuntos se obtienen de un análisis FODA que es realizado por los trabajadores de la organización, en donde se obtiene como resultado las amenazas, oportunidades, fortalezas y debilidades que tiene esta misma.

El FODA se encuentra presente en el Anexo 2, del cual se puede extraer a modo de resumen lo siguiente:

1. Fortalezas: la organización implementa medidas para reducir su huella de carbono mediante el reemplazo de combustibles fósiles por opciones más limpias y el uso de energía renovable. Además, cuenta con un plan anual de mantenimiento y un sistema de respaldo diseñado para garantizar la continuidad del suministro energético.
2. Debilidades: la empresa presenta una baja cultura organizacional en la gestión de energía y carece de programas de capacitación específicos para el personal encargado de operar los equipos principales.
3. Oportunidades: el nuevo marco normativo en materia de eficiencia energética, junto con los crecientes requisitos de sostenibilidad exigidos por los clientes, representan una oportunidad para que la organización impulse la innovación tecnológica. Esto podría traducirse en mejoras en la eficiencia operativa y una reducción en el impacto del uso de recursos energéticos.
4. Amenazas: la empresa se enfrenta a factores adversos como condiciones climáticas extremas, incluyendo bajas temperaturas y temporales, así como al aumento en los costos energéticos debido a la escasez de combustibles originada por conflictos externos. Asimismo, la limitada disponibilidad de fuentes de energía renovable, derivada de su ubicación geográfica, representa un desafío significativo.

1.3.2 Contexto energético bajo normativa energética nacional

Producto del artículo 2 de ley 21.350, muchas empresas se catalogaron como CCGE, ya que cumplían con el requisito de consumo de 50 Tcal anuales, una de estas empresas es la estudiada para este trabajo de titulación. Esto se comprueba revisando la resolución N°13 mencionada en la sección 1.1.5.2, la cual lista a las organizaciones que deberán cumplir con la implementación de un SGE en los plazos que menciona esta misma, que, para este caso, al consumir la organización entre 50 y 100 Tcal, esta tiene 24 meses máximos para cumplir con la implementación desde la publicación de dicha resolución (principios de marzo 2025).

1.3.3 Plantas productivas de estudio

Actualmente, en Latinoamérica, la empresa cuenta con cinco plantas ubicadas en Chile, Costa Rica y Ecuador, tres de estas plantas se encuentran en Chile y se encuentran ubicadas al sur del país como se puede observar en la Figura 14.

Estas plantas son las siguientes:

- Planta Castro: la cual se dedica a la producción de alimentos para peces de nicho, peces de agua dulce y alimentos medicados.
- Planta Ercilla: la cual está destinada a la producción de alimentos para engorde de peces.
- Planta Pargua: la cual está destinada a la producción de alimentos para engorde de peces.



Figura 14. Ubicación de las plantas de estudio. Fuente: [17].

1.3.4 Sistema productivo de estudio

La organización cuenta con un sistema productivo similar en sus tres plantas, el cual se puede observar en la Figura 15.

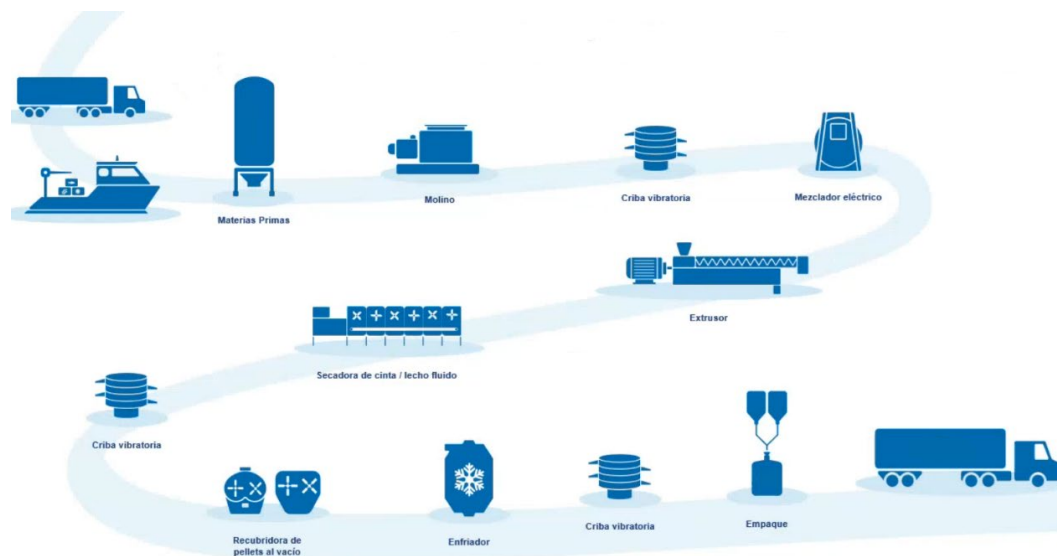


Figura 15. Sistema de producción general. Fuente [17].

A continuación, se describe a grandes rasgos los procesos que tienen las plantas productivas de la organización:

1.3.4.1 Ingreso, recepción y almacenamiento de materias primas

Las materias primas ingresan a la planta a través de camiones que son dirigidos al sector de báscula, donde se realiza la medición del peso. Posteriormente, los materiales pueden ingresar a la planta para su descarga y almacenamiento en estanques (en el caso de aceites), en silos (para productos en polvo) o directamente en la bodega de la planta.



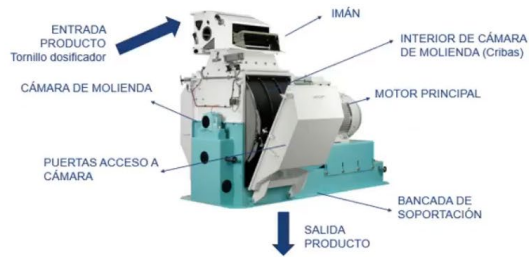
Figura 16. Ingreso, almacenaje y recepción de materia prima. Fuente: [17].

1.3.4.2 Molienda

Antes de este proceso, se lleva a cabo una etapa de dosificación, ya que los alimentos deben ser balanceados en su composición. El objetivo del proceso de molienda es reducir el tamaño de las partículas a valores iguales o inferiores a 500 micrómetros (partículas finas) y uniformar el tamaño de las partículas en la mezcla harinosa. Este proceso es relevante, ya que permite una mejor calidad en los procesos siguientes como son el mezclado (mejora la distribución de nutrientes) y la extrusión (importante en la incorporación de agua y vapor).

Particularmente, en las tres plantas de la organización se ocupan para este proceso molinos de tipo martillo, como el que se puede observar en la Figura 17.

Componentes Externos



Componentes Internos

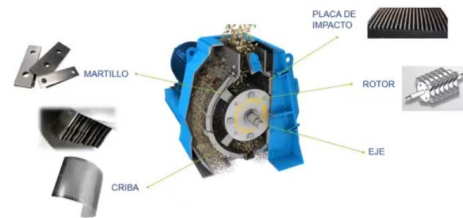


Figura 17. Molinos tipo martillo. Fuente: [17].

Los controles que lleva la organización para la molienda es el tiempo y la capacidad de molienda (tiempo necesario para moler un lote), desgaste de martillos (de forma homogénea) y sentido de giro, calidad de la molienda, temperatura de salida de la molienda y distancia entre el martillo y la criba.

1.3.4.3 Mezclado

La empresa actualmente utiliza cintas de tipo paleta en sus plantas de producción. El objetivo de este proceso es de mezclar de forma homogénea los ingredientes que contiene cada pellet, para que estos contengan las proporciones deseadas de acuerdo con lo deseado.

Los controles que lleva la organización para el proceso de mezclado son la velocidad de mezclado, el tiempo de llenado, mezclado y vaciado de producto.



Figura 18. Mezcladora horizontal tipo paletas. Fuente: [17].

1.3.4.4 Extrusión

Es un proceso que trabaja de forma continuada y estable gracias a que se utiliza una tolva BIN a la cual se le establece una velocidad constante de descarga de material. La etapa de extrusión cuenta con un proceso previo de acondicionado que adiciona agua y vapor en las partículas, permitiendo calentar e hidratar la mezcla y así activar las propiedades de esta misma para aumentar el rendimiento del extrusor y mejorar la calidad final del producto.

La etapa de extrusión fuerza a la mezcla a fluir por placas/boquillas diseñadas para darle forma o expandir los ingredientes. Actualmente, la organización cuenta con dos tipos de extrusoras, de tornillo simple y de tornillo doble.

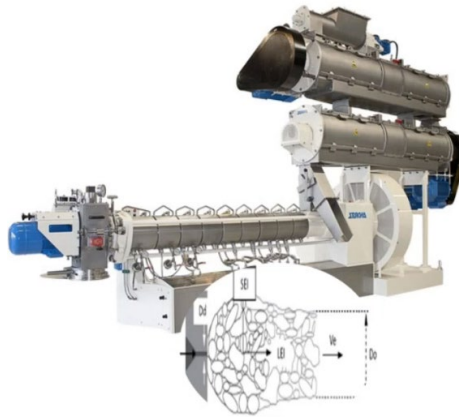


Figura 19. Proceso de extrusión. Fuente [17].

1.3.4.5 Secado

En la etapa de extrusión y acondicionado se incorpora una gran cantidad de agua en la mezcla, por lo que necesita de la etapa de secado con aire que permita reducir el contenido de humedad del producto para preparar a este para las siguientes etapas como son el aceitado, enfriado, envasado y almacenaje.



Figura 20. Secador. Fuente [17].

1.3.4.6 Aceitado

Este proceso tiene como objetivo aumentar el contenido de aceite del alimento incorporando ácidos grasos esenciales que aumentan la energía, mejoran la palatabilidad y modifican la textura del alimento. Actualmente, la organización utiliza un sistema de aceitado al vacío como se muestra en la Figura 21.



Figura 21. Sistema de aceitado al vacío. Fuente [17].

1.3.4.7 Criba vibratoria

Este proceso permite separar el tamaño de los productos dependiendo del requerimiento que se desee. Cuenta con dos tipos de mallas, una que permite separar el sobre tamaño y la otra para separar los tamaños más pequeños, por lo que, el

producto que se encuentre entre medio es el que cumple con la calidad necesaria para ser envasada.



Figura 22. Criba vibratoria. Fuente [17].

1.3.4.8 Enfriado

Con este proceso se pretende evitar la condensación en la bolsa y salida del aceite desde el proceso, mejorando la estabilidad en el almacenamiento. Para esto, se reduce la temperatura del pellet engrasado entre 8-15°C.



Figura 23. Enfriador. Fuente [17].

1.3.4.9 Empaque y almacenamiento

Cuando el producto está completamente terminado, se empaca de forma automática en bolsas de 25 [kg] o en maxi-sacos de 1250 [kg] de capacidad.



Figura 24. Empaque y almacenamiento de producto terminado. Fuente [17].

1.3.4.10 Caldera

Todas las plantas de la organización cuentan con una caldera utilizada para la generación de vapor mediante la combustión de combustibles líquidos o gaseosos. El vapor producido se emplea en diversos procesos productivos esenciales para la fabricación y procesamiento de pellets. En la Figura 25 se puede observar una de las calderas que dispone la organización.



Figura 25. Caldera. Fuente: Elaboración Propia.

1.3.4.11 Generadores

Los generadores son equipos que permiten convertir la energía mecánica en energía eléctrica mediante el uso de un motor que utiliza combustible para su accionamiento.

La organización cuenta con estos equipos mediante un contrato de arriendo con una empresa externa, limitando su uso para solo gestión de suministro en periodo punta y como para suministrar energía de respaldo en el caso de cortes inesperados de energía desde la red eléctrica. En la Figura 26 se puede observar un generador tipo que es utilizado por la organización.

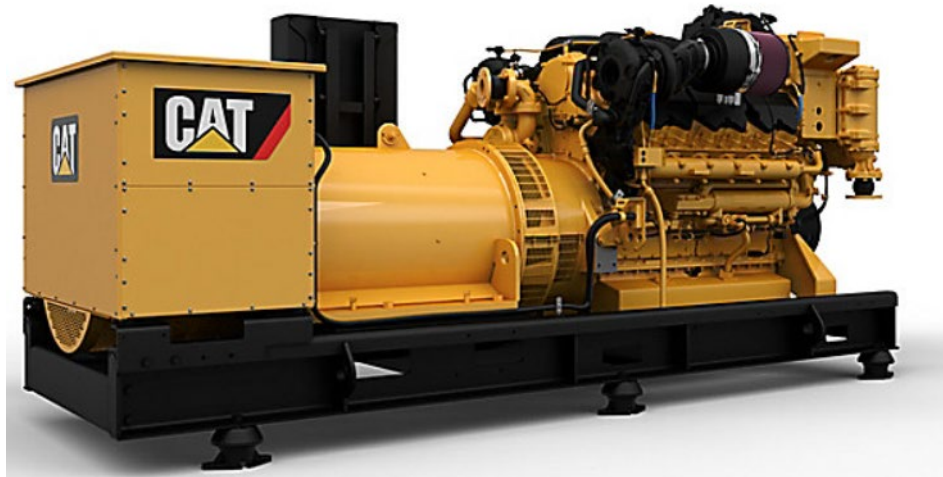


Figura 26. Generador. Fuente: [18].

2 Metodología de trabajo

En esta sección se describirá detalladamente la estrategia metodológica diseñada para la ejecución del presente trabajo de titulación.

Se expondrán las actividades realizadas para llevar a cabo la revisión energética, la cual proporciona el contexto inicial del estado energético actual de la organización. Asimismo, se explicarán los procedimientos y herramientas empleadas para la generación de la línea base energética y los indicadores de desempeño energético, elementos clave para la verificación y el control de las mejoras en el desempeño energético de la organización.

Por último, se detallarán los pasos necesarios para identificar, clasificar y seleccionar las oportunidades de mejora energética, las cuales estarán orientadas a incrementar la productividad y la competitividad económica de la organización.

2.1 Revisión energética

La revisión energética es la etapa que permitirá conocer el contexto energético que lleva hoy la organización, obteniendo así datos relevantes de sus consumos energéticos que luego podrán ser analizados.

Para realizar esta etapa, en primera instancia se debe identificar cual será la información que se desea buscar. Para ello se consideran cuatros aspectos que serán necesario determinar y analizar con respecto al consumo energético de la organización, estos mismos se encuentran en la Figura 27.

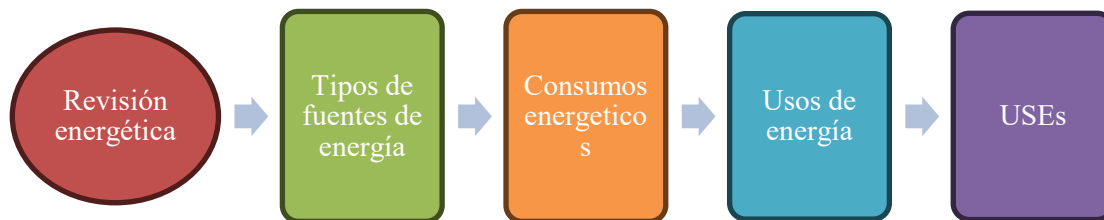


Figura 27. Proceso de revisión energética. Fuente: Elaboración propia.

1. Tipos de fuentes energéticas: en el cual se recopilan todas las fuentes energéticas que utiliza la organización para el funcionamiento normal de la planta, dando así una lista final de todas estas fuentes. Estas fuentes de energía pueden ser energía eléctrica, gas, combustibles diésel u otros.
2. Consumos energéticos: en el cual se recopila la información de todos los consumos energéticos diferenciados por los tipos de fuente energética, con lo que se puede generar el perfil energético de la organización y sus plantas, lo cual permite un análisis general y específico de cómo consume energía la organización.
3. Usos energéticos: en donde se determina cuáles son los equipos o sistemas que utilizan las distintas fuentes de energía dentro de la organización, para luego estimar el consumo e influencia energética de cada uno de estos equipos mediante mediciones, potencia nominal encontradas en placas, régimen de trabajo (cantidad de horas que se ocupan equipos/sistemas).
4. USE: en donde se determina que usos de la energía se pueden clasificar como “usos significativos de energía” (USE), esto considerando el previo análisis de influencia energética de cada uno de los usos considerados.

2.2 Determinación de indicadores de desempeño energéticos

Los Indicadores de Desempeño Energético (IDE) son herramientas fundamentales para medir y evaluar el desempeño energético de una organización. Al proponer un IDE, es necesario que cumpla, al menos, con las siguientes características:

1. Apropriados para la medición y el seguimiento: Los IDE deben ser adecuados para monitorear el desempeño energético de la organización. Por ello, deben basarse en información real, recopilada de manera confiable una vez que el Sistema de Gestión de Energía (SGE) esté implementado. Indicadores basados en datos estimados no serán considerados válidos.
2. Demostración de la mejora en el desempeño energético: Los IDE deben evidenciar mejoras concretas en aspectos como la eficiencia energética, el uso y el consumo de energía. Cualquier indicador que no contemple alguno de estos aspectos no será considerado como un IDE válido.

2.3 Generación de línea base y meta energéticas

La elaboración de una línea base energética constituye una referencia cuantitativa fundamental que permite comparar el desempeño energético a lo largo del tiempo. Por lo tanto, se generará una línea base que facilite la evaluación continua de los IDE propuestos previamente.

A partir de los mejores desempeños obtenidos en las líneas base generadas, se definirán líneas energéticas meta, las cuales proporcionarán objetivos energéticos cuantificables, los cuales podrán ser monitoreados y verificados por la organización.

A continuación, se detallan los pasos y consideraciones que serán adoptadas para la generación de las líneas base y las líneas metas:

2.3.1 Escoger el modelo de LBE

Como primer procedimiento, se debe seleccionar el modelo que se utilizará para generar la línea base energética de la organización. La elección del modelo se realiza considerando los siguientes criterios:

1. Facilidad de construcción e interpretación: El modelo debe ser comprensible y manejable para la organización, facilitando su implementación y análisis.
2. Comparabilidad de consumos: El modelo debe permitir la comparación entre el consumo energético del estado base y un estado diferente, ya sea anterior o posterior al base. Esto posibilita la identificación de desviaciones, sus causas y la aplicación de correcciones necesarias para retornar al estado óptimo, representado por el estado base.
3. Capacidad de simulación del estado base: El modelo debe ser capaz de estimar, bajo las condiciones actuales, el consumo que se habría registrado en el estado base, en lugar de limitarse a reflejar el consumo energético del estado actual.

2.3.2 Definir el periodo y las variables independientes de estudio

El período de estudio se define en función de los datos de consumo energético disponibles, asegurando que dicho período cubra una influencia significativa sobre los consumos de energía.

Para la selección de las variables independientes que se utilizarán en la generación de LBE, se deben considerar los siguientes aspectos:

1. Significancia: la variable debe ser significativa, lo cual debe haberse determinado previamente durante el levantamiento de información energética.
2. Independencia de la operación y el mantenimiento: la variable seleccionada no debe estar condicionada por los procesos operativos o las actividades de mantenimiento de la organización.

3. Inmutabilidad: la variable debe ser un factor sobre el cual no se pueda intervenir, funcionando como referencias para calcular los cambios en el consumo energético.

2.3.3 Creación de la línea base energética

Una vez definido el período y la variable independiente de estudio, es necesario establecer las LBE para el monitoreo y control del desempeño energético. Este procedimiento se lleva a cabo mediante el uso de herramientas estadísticas que permitan entregar como resultado el modelo de la LBE.

2.3.4 Validación estadística y determinación de propiedades del modelo LBE

Con el modelo de Línea Base Energética (LBE) completado, el último paso consiste en validar su conformidad de acuerdo con las siguientes propiedades estadísticas.

1. Coeficiente de determinación (R^2): este coeficiente mide la fortaleza de la relación entre las variables de estudio, además de indicar la dirección de dicha relación, es decir, si ambas variables crecen conjuntamente o si una disminuye cuando la otra aumenta. Según las recomendaciones proporcionadas por la Agencia SE [15], el modelo se considera aceptable si el valor de R^2 es superior a 0,75. En caso contrario, es necesario realizar un proceso de filtrado de datos en la muestra inicial hasta alcanzar un valor que cumpla con este umbral.
2. Significancia del modelo: esta propiedad se evalúa utilizando el p-value, una herramienta matemática que permite realizar una prueba de hipótesis para determinar si las variaciones del consumo energético no están explicadas por las variaciones de las variables independientes del modelo. Para validar el modelo, los resultados del p-value deben ser inferiores al nivel de significancia previamente definido. Adicionalmente, para verificar que el nivel de confianza cumple con los supuestos del modelo, se analiza el valor t-

student. Este valor debe superar el valor teórico establecido en la Tabla 2, según la cantidad de grados de libertad del modelo y el nivel de confianza esperado.

Tabla 2. Valores de T-student de acuerdo del nivel de confianza esperado. Fuente: [19].

Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970

3. Precisión del modelo: el cual tiene como objetivo determinar el intervalo de medidas dentro del cual se espera que se encuentren los valores reales del modelo, considerando el nivel de confianza definido. Para este propósito, se emplean la precisión absoluta y la precisión relativa.

La presión absoluta (PA) se calcula con la ecuación 2 y la precisión relativa (PR) se calcula con la ecuación 3:

$$PA = SE \cdot t \quad 2$$

$$PR = \frac{PA}{Y_{medio}} \quad 3$$

Siendo t el estadístico t-student, SE corresponde al error estándar de la estadística de la regresión lineal y Y_{medio} es el valor promedio del consumo de energía estimado por el modelo de la LBE.

2.3.5 Creación de líneas de metas energéticas

Con el propósito de definir un objetivo de mejora en el desempeño energético que sea cuantificable y verificable a lo largo del tiempo, se establece una línea meta energética. Esta se elabora siguiendo los mismos pasos utilizados para la creación de la línea base energética, con la diferencia de que se construye a partir de los valores de mejor desempeño energético identificados en el modelo de LBE, ya que estos reflejan el mejor rendimiento operacional ocurrido durante el periodo de estudio.

2.4 Propuestas de verificación y control energético.

Con los indicadores de desempeño energético, las líneas base y las metas ya establecidas, el siguiente paso es definir un método que permita a la organización verificar y controlar, de manera efectiva, la mejora del desempeño energético a lo largo del tiempo.

Para ello, se deberá desarrollar el siguiente conjunto de metodologías y actividades que debe desarrollar la organización:

- Método de comparación de valores teóricos con valores reales.
- Método de identificación de desviaciones de los valores teóricos con valores reales.
- Acciones por realizar ante desviaciones.
- Revisión programada y actualización de las líneas base.
- Documentación de actividades.
- Informes energéticos y comunicación.

2.5 Identificación, clasificación y análisis de oportunidades de mejora energética

Este trabajo tiene como objetivo mejorar la productividad y la competitividad económica de la organización a través de propuestas de mejoras energéticas. Para ello, resulta necesario implementar un plan que permita identificar y clasificar acciones destinadas a mejorar el desempeño energético, contribuyendo así al cumplimiento de los objetivos establecidos.

Las actividades que son necesarias realizar en la identificación y clasificación de mejoras energéticas son las siguientes:

1. Listar oportunidades de mejoras energéticas: las cuales deben estar alineadas con la revisión energética, los IDE y las líneas base.
2. Clasificación de oportunidades de mejoras energéticas: este proceso debe realizarse en base a criterios de priorización, los cuales deben ser propuestos y valorados.
3. Selección de oportunidades de mejoras energéticas: para este proceso se eligen las propuestas que se analizan detalladamente en Análisis de propuestas de mejoras energéticas, considerando lo siguiente:
 - La oportunidad obtiene un alto valor de priorización.
 - Existe experiencia en el área de aplicación de la oportunidad, lo que permite realizar un análisis detallado.
 - La organización ha identificado previamente la oportunidad de mejora, aunque esta aún no se ha desarrollado.
4. Análisis de oportunidades de mejoras energéticas: mediante una evaluación técnico-económico, permitiendo entregar un costo de implementación, ahorro energético proyectado, criterios de inversión (VAN, TIR, Payback) y plan de acción por cada una de estas.

3 Resultados y análisis.

En esta sección se presentan los resultados y el análisis del estudio, abarcando los siguientes temas:

1. Revisión energética: proporciona el contexto energético específico de la organización durante el período de estudio, permitiendo analizar los consumos energéticos y generando información relevante sobre su perfil energético, los tipos de energía utilizados y sus principales usos.
2. Propuestas de indicadores de desempeño energético (IDE) y línea base energética (LBE): diseñadas en base a la información recopilada durante la revisión energética, estas herramientas permiten establecer un período base con valores comparables para su análisis en otro período de tiempo.
3. Propuestas de medidas de verificación y control: las acciones que la organización deberá monitorear para garantizar la mejora continua de su desempeño energético.
4. Propuestas de mejoras energéticas: identificando, clasificando y analizando oportunidades de mejora energética, con el objetivo de dar cumplimiento a los objetivos y metas energéticas propuestas para la organización.

3.1 Revisión energética.

A continuación, se presentan los resultados y análisis obtenidos a partir de la revisión energética realizada en cada una de las plantas de la organización.

3.1.1 Fuentes de energía

La organización dispone actualmente de cinco tipos de fuentes de energía, los cuales se presentan en la Tabla 3 junto con propiedades relevantes que son utilizadas en análisis posteriores.

Tabla 3. Fuentes de energía y sus propiedades. Fuente: Organización.

Fuente de Energía	Densidad [kg/m ³]	Poder Calorífico [kcal/kg]
GLP	550	12.100
Fuel N°6	945	10.500
Combustible alternativo	872,2	10.519
Diesel	840	10.900
Electricidad	-	-

De los combustibles mencionados en la Tabla 3, el único que se considera poco común en el uso industrial es el combustible líquido alternativo (CAL), el cual se obtiene mediante la reutilización de aceites lubricantes usados [20].

La cantidad de energía consumida por cada una de estas fuentes fue proporcionada por la organización y reportada en el Sistema de Información Balance Nacional de Energía (SIBNE). La Figura 28 presenta la distribución del consumo energético anual por tipo de fuente de energía durante los años 2023.

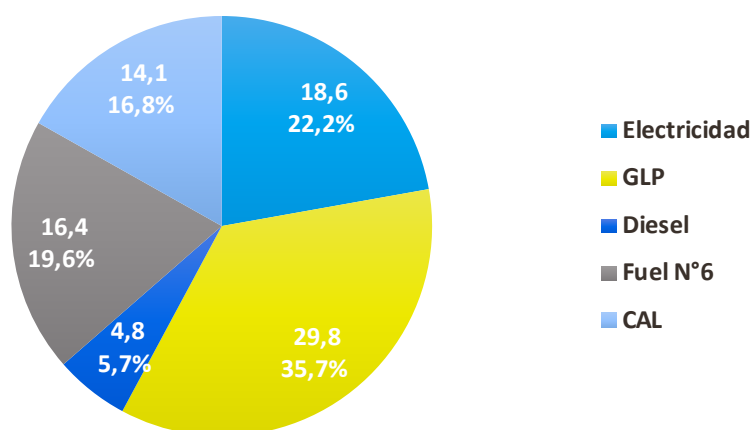


Figura 28. Matriz de consumo de la organización 2023. Fuente: Organización.

3.1.2 Perfil energético

El consumo total que tuvo la organización en el año 2023 fue de 83,69 [Tcal] (lo que es igual a 97,27 [GWh]).

La Figura 29 muestra el consumo total que utilizó cada planta de la organización en el año 2023, en donde se puede identificar que Pargua es la planta que mantiene el mayor consumo de energía en este año representando el 45,2% del total consumido por la organización, seguida de la planta de Castro con un 34,5% y finalizando con la planta de Ercilla que aporta el 20,3% del total.

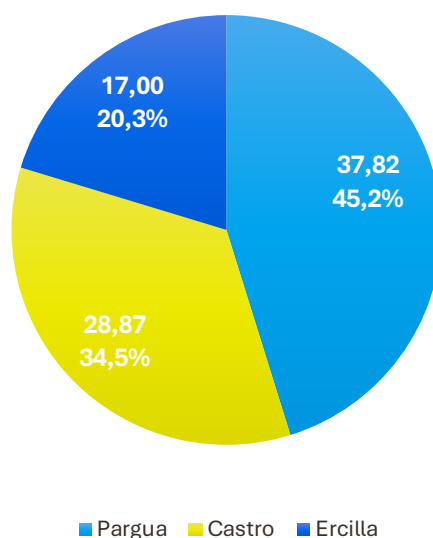


Figura 29. Distribución de Consumo totales en Tcal por planta productiva en 2023.
Fuente: Organización.

El consumo total en 2023 fue de 83,69 [Tcal], por lo que se puede confirmar que esta organización al consumir una cantidad de energía mayor a 50 [Tcal], si está bien categorizada como un CCGE dado el artículo 2 de la ley 21.305 de eficiencia energética.

Con la información contenida en las tablas del Anexo 3, se generó la curva de consumo anual correspondiente al año 2023 para la organización, la cual se presenta en la Figura 30, la cual muestra, de manera general, el consumo total de energía

considerando todas las plantas analizadas. Por otro lado, en la Figura 31, se muestra la cantidad de energía anual que tuvo cada una de las plantas.

En la Figura 30 y Figura 31 se visualiza el perfil energético de la organización y de sus plantas. Se observa que, durante la mayoría de los meses, el consumo energético tiende a mantenerse constante. Sin embargo, en los primeros y últimos meses del año, se registra una disminución de consumo únicamente en las plantas de Pargua y Ercilla.

Adicionalmente, se destaca que, en la mayoría de los meses, la planta de Pargua presenta el mayor consumo de energía, seguida por Ercilla y, finalmente, Castro. No obstante, en el mes de noviembre, este patrón se invierte, siendo Ercilla la planta con el mayor consumo energético.

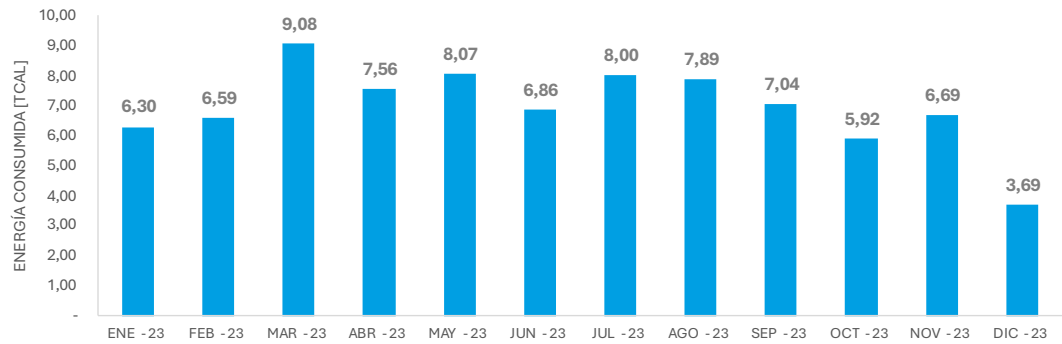


Figura 30. Consumo energético anual de la organización 2023. Fuente: Organización.

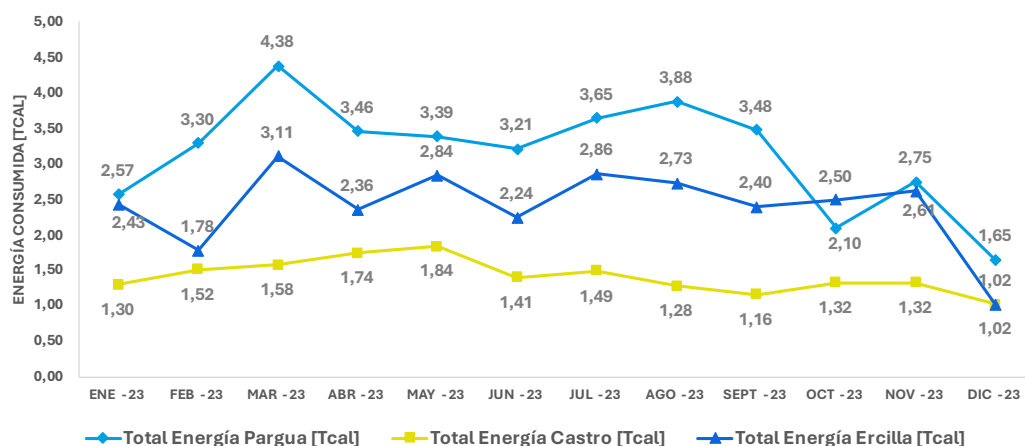


Figura 31. Consumo de energía anual por planta 2023. Fuente: Organización.

La Figura 28 presenta la cantidad de energía consumida por cada fuente de energía utilizada en las plantas de la organización. Esta información incluye el consumo energético total correspondiente a los doce meses del año de estudio. Esta información se desglosa mensualmente para cada fuente de energía, lo cual se refleja en el gráfico de la Figura 32. A partir de este desglose, se realizó un análisis detallado para cada fuente de energía utilizada durante el periodo de estudio, obteniendo los siguientes resultados:

- Electricidad: representa el 22,2% del total de energía utilizada, siendo una de las fuentes más utilizadas por la organización. Su uso se concentra en la mayoría de las máquinas involucradas en el proceso productivo. El uso de este energético es de carácter estático, por lo que, se mantiene constante su utilización a lo largo de los meses.
- GLP: es la fuente de energía con el mayor consumo, representando el 35,7% del total. Este combustible se utiliza principalmente en la planta de Pargua, donde alimenta la caldera que produce vapor para los procesos productivos. Además, se emplea en las tres plantas de la organización como fuente de energía para las grúas horquillas y los equipos del área de casino de cada instalación.

- Diesel: representa el 5,7% del total de la energía utilizada por la organización y se emplea como combustible para los generadores de las plantas productivas. Este combustible es utilizado de forma estacional durante los meses de abril y septiembre con el fin de realizar una gestión de potencia en hora punta, con lo cual la organización logra reducir los costos en la facturación de energía eléctrica durante todo el año.
- Fuel N°6: este combustible se utilizó exclusivamente en las plantas de Castro y Ercilla para alimentar sus calderas, representando un 19,6% del total de energía consumida en el año. Su uso finalizó en 2023 debido a sus altos niveles de contaminación, que no cumplían con las políticas ambientales de la organización. En Ercilla, se dejó de utilizar en marzo, mientras que en Castro se dejó su uso en agosto.
- CAL: este combustible reutilizado se emplea como sustituto del Fuel N°6 para las calderas de las plantas de Ercilla y Castro desde abril y septiembre de 2023 respectivamente. Representa el 18,6% del total de energía consumida en el año.

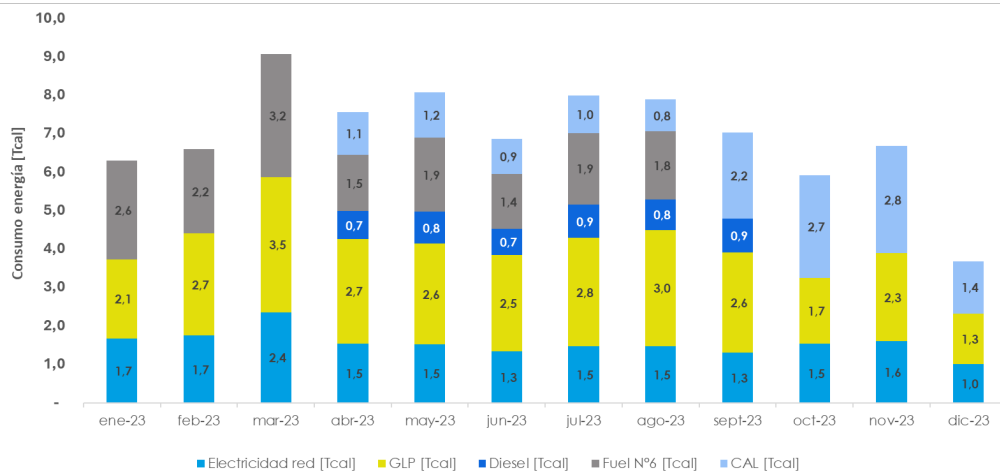


Figura 32. Energía consumida durante el año 2023 dividida por tipo de fuente energética. Fuente: Organización.

3.1.3 Usos finales de energía

Las fuentes de energía utilizadas por la organización tienen diversos usos dentro de las operaciones de la empresa.

Para identificar estos usos, se llevó a cabo un levantamiento de información energética mediante sesiones telemáticas con trabajadores del área de operación y mantenimiento.

La identificación de estos usos se detalla en la Tabla 4, siendo estos los sistemas o grupos de equipos principales que consumen la energía de las distintas fuentes.

Tabla 4. Usos de fuentes de energía en las plantas de estudio. Fuente: Organización.

Fuente de Energía	Castro	Ercilla	Pargua
GLP	Grúas horquillas y casino	Grúas horquillas y casino	Caldera, grúas horquillas y casino
Fuel N°6	Caldera	Caldera	-
Combustible alternativo liquido (CAL)	Caldera	Caldera	-
Diesel	Generadores	Generadores	Generadores
Electricidad red	Funcionamiento de equipos eléctricos	Funcionamiento de equipos eléctricos	Funcionamiento de equipos eléctricos

A principios del año 2023, las calderas de las plantas de Ercilla y Castro utilizaban Fuel N° 6 como fuente de energía. Sin embargo, en abril 2023 para Castro y en septiembre 2023 para Ercilla, es reemplazada esta fuente por el CAL. Este cambio no implicó modificaciones significativas en las calderas de las plantas, ya que este combustible mantiene propiedades similares a la que tiene el fuel N° 6, con la salvedad de que el CAL emite aproximadamente un tercio de CO₂ en comparación al combustible reemplazado [20].

La energía utilizada en cada uno de los usos identificados en la Tabla 4 se detalla en la Figura 33, en donde se puede apreciar que las calderas de organización son los equipos que más energía consumen dentro de la empresa, utilizando el 70% de toda la energía que la organización consume en 2023.

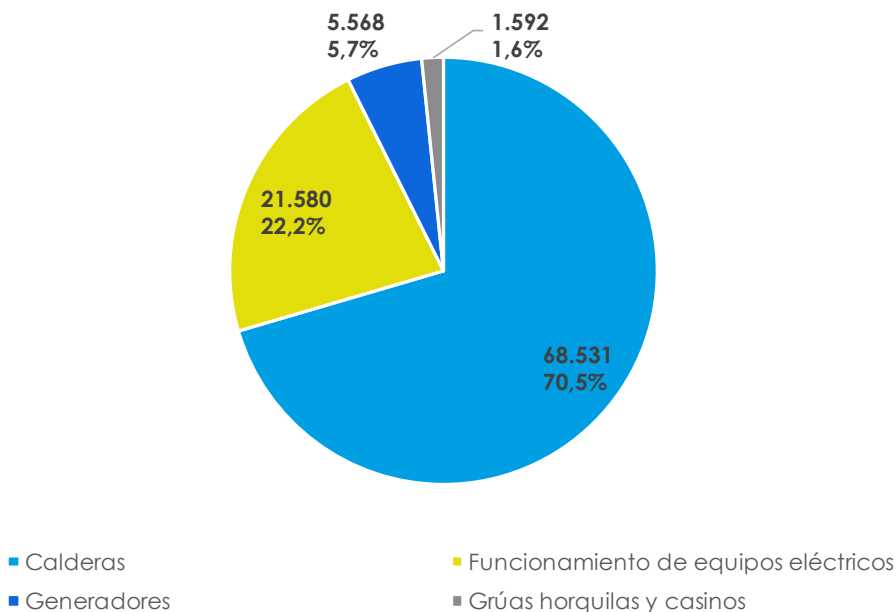


Figura 33. Consumo de energía en GWh por grupos de equipos de la organización.
Fuente: Organización.

Los grupos de equipos principales permiten el funcionamiento de otros equipos de consumo final dentro de la organización, los cuales fueron identificados mediante un levantamiento de información que se detalla a continuación:

3.1.3.1 Funcionamiento de equipos eléctricos

Durante la segunda y tercera semana de mayo de 2024, se realizó una visita a terreno a las plantas de estudio, en la cual se midieron los equipos y procesos que utilizan energía eléctrica proveniente de la red. A partir de las mediciones realizadas, junto con los consumos en intervalos de quince minutos proporcionados por la empresa distribuidora de energía eléctrica, las especificaciones de los equipos y las reuniones con el personal de la organización, se calculó el consumo energético estimado para cada equipo y/o sistema. Este análisis permitió determinar el porcentaje de consumo

de energía aproximado que utiliza cada uso final que requiere para su funcionamiento de energía eléctrica. El detalle de los consumos eléctricos estimados se encuentra en el Anexo 4.

Con los porcentajes obtenidos, se elaboró un diagrama de Pareto, que se pueden observar en las Figura 34, el cual muestra de mayor a menor los sistemas o equipos que más cantidad de energía eléctrica utiliza la organización. Además, se puede identificar que los equipos y sistemas identificados que más energía eléctrica utilizan son el extrusor, la molienda, el secador, el ventilador del enfriador y la iluminación, siendo este conjunto de equipos los que utilizan aproximadamente un 80% del consumo de energía eléctrica de cada una de las plantas.

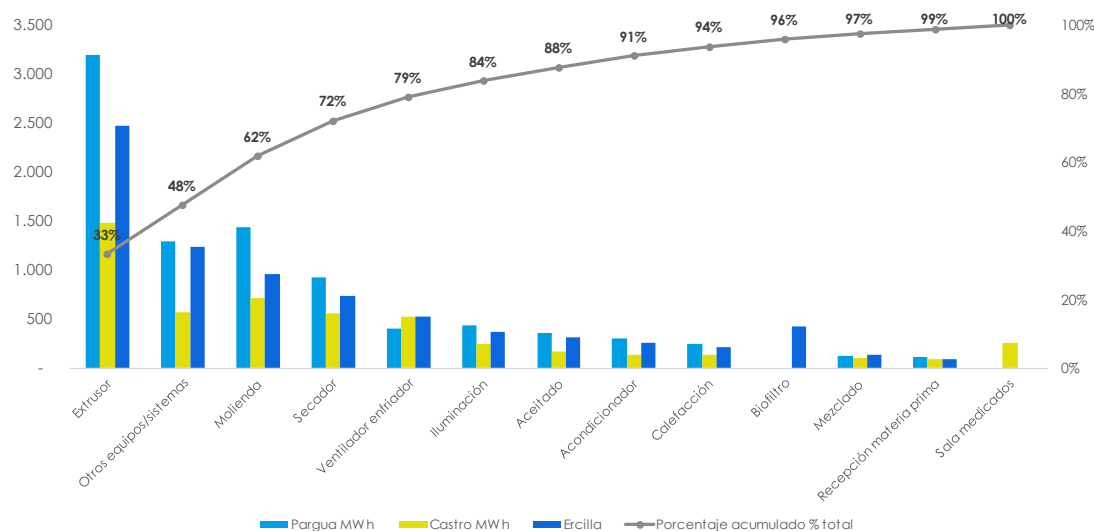


Figura 34. Usos finales de energía aportada por red eléctrica en plantas de la organización. Fuente: Elaboración propia.

3.1.3.2 Generadores

La organización tiene contratos de arrendamiento de generadores de energía eléctrica con una empresa externa, los cuales se utilizan principalmente para la generación de energía durante el período de punta. Estos generadores proporcionan toda la energía

eléctrica requerida por los equipos eléctricos de la organización durante dicho período.

De manera mensual, la organización registra de forma recurrente la cantidad de energía eléctrica entregada por los generadores. Esto permite cuantificar las pérdidas de energía derivadas del proceso de conversión del combustible diésel en energía eléctrica. En la Figura 35 se observa que el 37% de la energía que entrega el combustible es aprovechable para el funcionamiento de los equipos eléctricos de la organización, mientras que el 63% son pérdidas producto de la conversión energética.

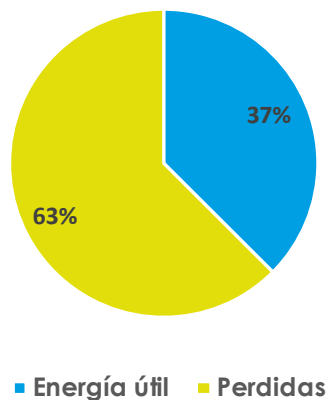


Figura 35. Energía útil y pérdidas en generación eléctrica. Fuente: Organización.

Con el objetivo de proyectar la cantidad real de energía entregada por los generadores a cada equipo o sistema de funcionamiento eléctrico, se aplica el mismo porcentaje de uso de energía eléctrica atribuido a estos equipos cuando operan con energía proveniente de la red. Dichos resultados de la proyección se observan en la Figura 36, en donde se observa la cantidad de energía que es necesaria para cada uno de los equipos o sistemas de funcionamiento eléctrico y se identifica cuáles de estos son los que mayor consumo eléctrico necesitan por parte de los generadores.

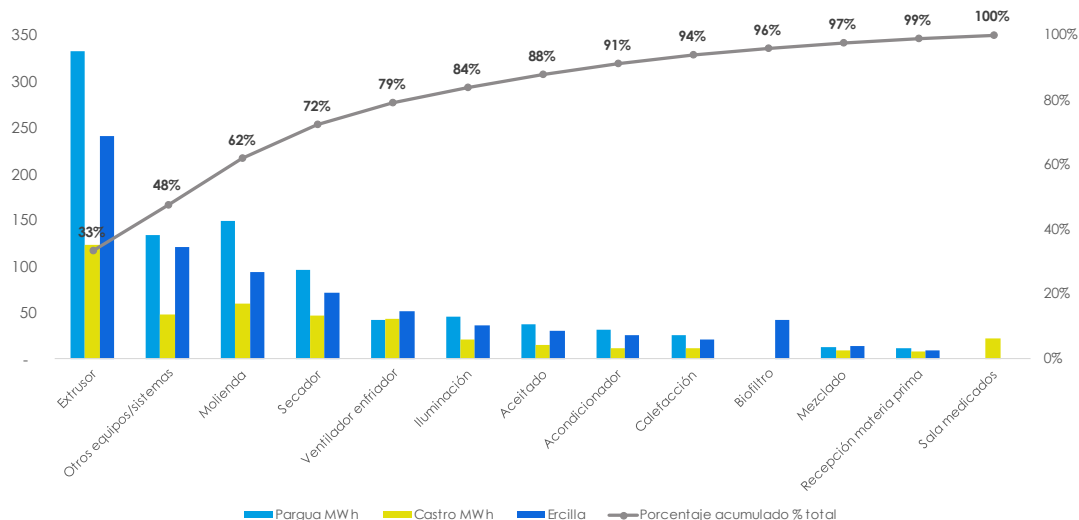


Figura 36. Usos finales de la energía producida por generadores en Pargua. Fuente: Elaboración propia.

3.1.3.3 Calderas

Las calderas utilizan GLP, Fuel N°6 y CAL como combustible, dependiendo de la planta en la que operan.

Para conocer el porcentaje de uso de energía proveniente de las calderas en los equipos de la organización, una empresa externa a la organización realizó un estudio con el objetivo de obtener el porcentaje de combustible que es utilizado en alguno de los equipos más relevantes dentro de la organización como son el secador, acondicionador y el extrusor en referencia al total de energía que consumió la caldera durante el año 2022. Los porcentajes del estudio son proyectados sobre los consumos de 2023 que registró la caldera de cada una de las plantas, obteniendo los resultados de la Tabla 5.

Tabla 5. Uso final de la energía proyectada usada en las calderas de la organización.
Fuente: Elaboración propia.

Equipos uso de vapor	Energía Caldera Pargua [MWh]	Energía Caldera Ercilla [MWh]	Energía Caldera Castro [MWh]
Secadores	13.760	10.136	9.449
Acondicionador	10.834	7.253	2.992
Extrusión	1.543	1.348	620
Otros equipos/sistema	6.012	4.510	74

La información de la Tabla 5 permite generar el diagrama de Pareto que se encuentra en la Figura 37. En este diagrama se observa que los dos equipos de consumo final con mayor demanda energética, derivada de la transformación de energía producida por la caldera, son los secadores y los acondicionadores, los cuales representan más del 80% de toda la energía que aportan el GLP, fuel N°6 y CAL.

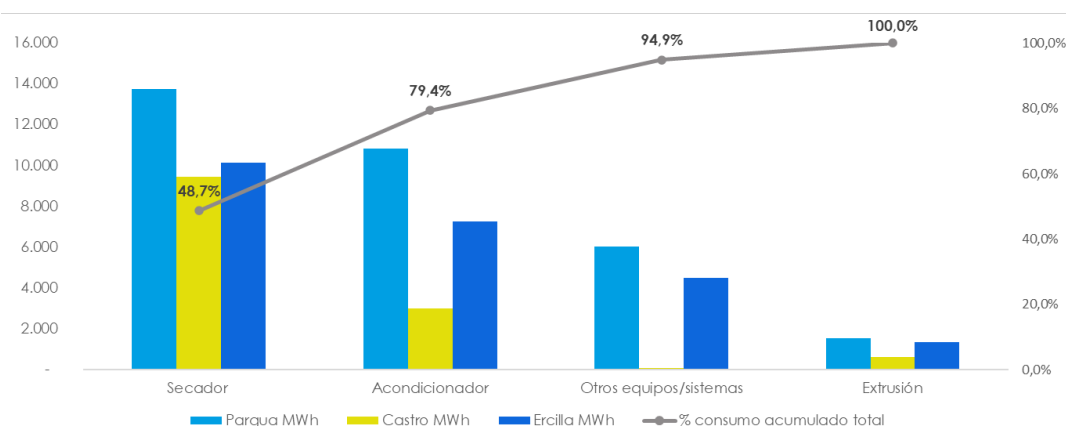


Figura 37. Usos finales de energía aportada por las calderas. Fuente: Elaboración propia.

3.1.3.4 Casinos y Grúas horquillas

Para el funcionamiento del casino y las grúas horquillas, la organización registra el consumo de GLP como si se tratara de un único sistema, combinando ambos usos en

sus registros mensuales de energía. Esto dificulta el análisis individual de estos dos sistemas, ya que tampoco se dispone de registros sobre las horas de operación del casino o de las grúas que permitan realizar una estimación detallada. Por lo tanto, se considera este consumo como un único sistema en el análisis.

El gasto de combustible GLP asociado al casino y las grúas horquillas durante el año 2023 fue de 1.592 MWh representando el 1,6 % de todo el consumo de energía que tuvo la organización.

Con la información de consumos finales cuantificada, se elabora el diagrama Pareto de la Figura 38, el cual considera toda la energía consumida durante 2023 por los equipos y sistemas analizados de la organización. A partir del diagrama se concluye que los equipos de uso final con mayor consumo energético son el secador, el acondicionador y el extrusor, que en conjunto representan aproximadamente el 80% de la energía total consumida por la organización.

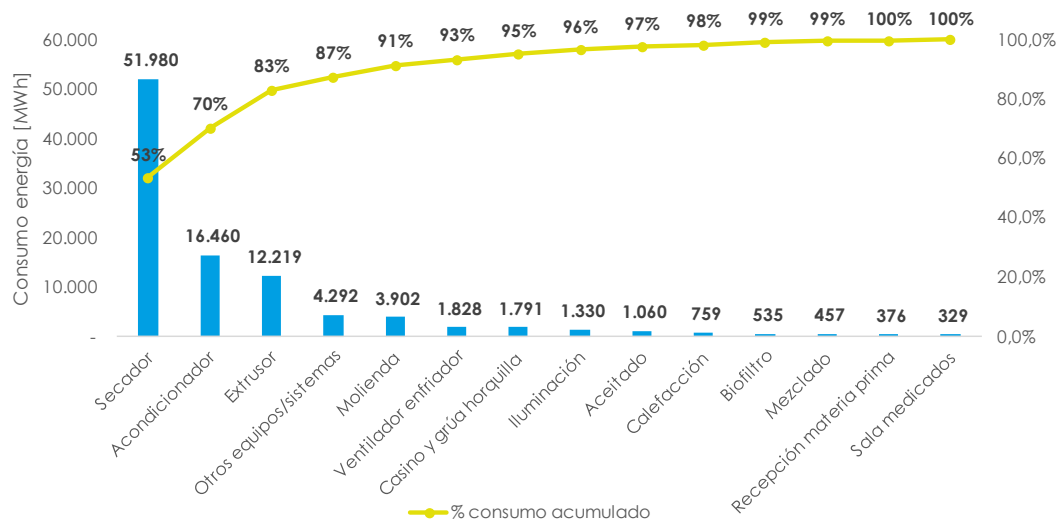


Figura 38. Consumo de energía total en equipos de usos finales. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, definida la cantidad de energía que tiene cada uso final de la energía, se crea el diagrama Sankey de la organización. Este diagrama descompone la energía suministrada por las diferentes fuentes en cada una de las plantas, hasta alcanzar el nivel más detallado, donde se presentan los equipos y/o sistemas de uso final junto con la cantidad de energía utilizada para el funcionamiento de cada uno de ellos.

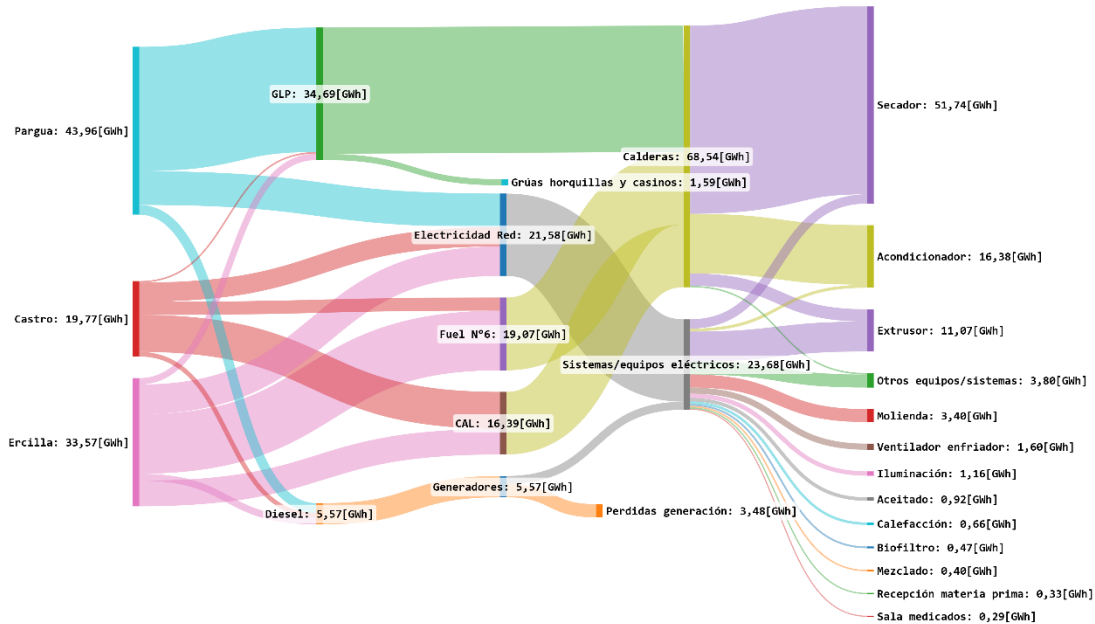


Figura 39. Diagrama Sankey del flujo energético de la organización. Elaboración propia.

3.1.4 Propuesta de usos significativos de energía (USE)

Para que un sistema o equipo sea categorizado como un uso significativo de energía (USE), debe cumplir con ofrecer un alto potencial de mejora en el desempeño energético y/o representar un consumo de energía sustancial.

En este trabajo de titulación, se consideran como USE aquellos sistemas o equipos que contribuyan al aumento del desempeño energético y cuya medición pueda realizarse de manera confiable por la organización.

Debido a la falta de información precisa sobre los consumos de ciertos equipos y la imposibilidad de medir de forma total y confiable su consumo energético con la tecnología disponible, se consideran como posibles USE los consumos energéticos asociados al funcionamiento de las calderas y los equipos y/o sistemas eléctricos de cada planta.

Con esto se genera el diagrama Pareto de la Figura 40. Este diagrama muestra que las calderas y los equipos eléctricos presentes en la planta de Pargua representan aproximadamente el 80% del consumo total de energía, por lo tanto, estos son los que serán categorizados como usos significativos de energía.

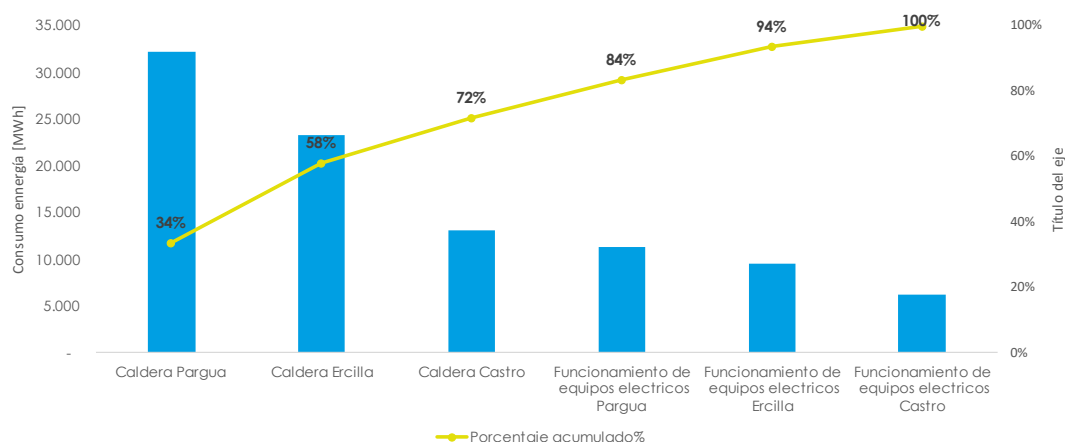


Figura 40. Diagrama Pareto USE. Fuente: Organización.

En cuanto a la identificación de variables relevantes que tienen estos USE, es necesario que la organización disponga de un seguimiento cuantificable de estas y que influya significativamente en el desempeño energético.

Para los propósitos de esta memoria de título, se considera como única variable relevante la producción de alimentos en toneladas por mes registrada en cada planta de la organización durante el año 2023. Esto se debe a que dicha información fue la única proporcionada al autor para la realización de los estudios y análisis posteriores.

Los datos de la producción total que registró cada planta en el año 2023 se presentan en Anexo 5.

Como conclusión del capítulo se recopila la información energética de la organización, dando a conocer el perfil energético y reconociendo la cantidad de energía que aporta cada planta de la organización. En la planta de Pargua, se presenta el mayor consumo energético, con un 45,2% del total, seguida de Castro, con un 34,5%, y Ercilla, con un 20,3%. En 2023, el consumo total por la empresa fue de 97,27 GWh, catalogándolos como un CCGE de acuerdo con la normativa vigente.

Se identifican las fuentes de energía que la organización utiliza en cada una de las plantas, donde el GLP representa el mayor porcentaje de consumo, con un 35,7%, seguido por la electricidad con un 22,2%, Fuel N°6 con un 19,6%, CAL con un 18,6% y Diesel con un 5,7%.

Cada fuente de energía se destina al funcionamiento de sistemas o equipos dentro de la organización. En este contexto, el consumo energético total se divide en cuatro grupos principales: las calderas, que representan un 70,5% del consumo anual; los equipos con funcionamiento eléctrico, que utilizan un 22,2%; los generadores, con un consumo del 5,7%; y las grúas horquillas junto con los casinos, que en conjunto representan un 1,6%.

El análisis de estos grupos principales permitió identificar los equipos de uso final de energía. Entregando como resultado que los equipos de secado, acondicionado y extrusión son los usos finales de energía que consumen mayor energía anual, representando el 80% del consumo total de energía de la organización.

Con los resultados de la revisión energética, se proponen como USE las calderas de las tres plantas de la organización y a los grupos de equipos de funcionamiento eléctrico de la planta de Pargua. Esta clasificación se fundamenta en la metodología 80/20 derivada del análisis con el diagrama de Pareto, considerando además que estos grupos cuentan con información energética medible.

3.2 Propuestas de Indicadores de desempeño energético y Líneas base energéticas.

En este capítulo se proponen los indicadores de desempeño energético y la línea base energética de acuerdo con los resultados obtenidos durante la revisión energética. Estos permitirán verificar la mejora en el tiempo del desempeño energético de la organización.

3.2.1 Propuestas de indicadores de desempeño energético

Los indicadores de desempeño energético (IDE) propuestos deben ser capaces de verificar las mejoras energéticas resultantes de las acciones implementadas por la organización y de las metas que se establezcan.

En primera instancia se definen las variables tanto dependientes como independientes que conformarán a los IDE, las cuales se observan en la Tabla 6.

Tabla 6. Variables de los IDE. Fuente: Elaboración propia.

Variables dependientes	Variables independientes
Consumo de energía en MWh total de la organización	Producción de alimento en toneladas de toda la organización
Consumo de energía en MWh por planta de la organización	Producción de alimento en toneladas por cada planta de la organización
Consumo de energía en MWh por calderas de la cada planta de la organización	
Consumo de energía en MWh por grupos de equipos con funcionamiento por energía eléctrica de cada planta de la organización	

A continuación, se presentan las propuestas de IDE:

3.2.1.1 Indicador consumo energético en Base 100

El cual permite verificar la mejora del desempeño energético de forma mensual a través de la comparación energética real con la referencia teórica obtenida de la línea base del año de estudio.

Esta referencia es calculada con la ecuación 4.

$$IB100 = \frac{E_t}{E_r} * 100 \quad 4$$

En donde el consumo real mensual E_r del elemento de análisis al que pertenece el indicador, es comparado con el consumo mensual teórico E_t obtenido de la ecuación de su línea base.

El consumo teórico, se divide con el consumo real, para luego ser multiplicado por 100 para entregar el valor que permite demostrar la mejora en el desempeño energético, el cual considera lo siguiente:

- Si $IB100 > 100$; se mejoró el desempeño energético en cuanto al periodo base.
- Si $IB100 < 100$; no se mejoró el desempeño energético en cuanto al periodo base.

Al terminar un año, se dispone de toda la energía real consumida por variable independiente de estudio, permitiendo así comparar este valor total con el total de energía que se proyectaba consumir, con lo que se logra verificar de manera cuantitativa la mejora del desempeño energético durante el año. Para este cálculo se considera la ecuación 5.

$$IB100_a = \frac{E_{t_a}}{E_{r_a}} * 100 \quad 5$$

En donde el consumo real anual E_{r_a} de la variable dependientes de análisis al que pertenece el indicador, es comparado con el consumo anual teórico E_{t_a} obtenido de la ecuación de su línea base.

El consumo teórico anual, se divide con el consumo real anual, para luego ser multiplicado por 100 para entregar el valor que permite demostrar la mejora en el desempeño energético, el cual considera lo siguiente:

- Si $IB100_a > 100$; se mejoró el desempeño energético en cuanto al año del periodo base.
- Si $IB100_a < 100$; no se mejoró el desempeño energético en cuanto al año del periodo base.

3.2.1.2 Indicador de tendencia del desempeño energético (CUSUM).

El CUSUM, se basa en la acumulación de desvíos de cada uno de los datos respecto a un valor de referencia. Con esto se logra monitorear la tendencia de consumo energético en el proceso y determinar la magnitud del ahorro y/o pérdidas producidas en el periodo actual en referencia al periodo base planteado por la LBE. Para la creación de este indicador se ocupa la ecuación 6:

$$CUSUM = \sum_{i=1}^n (E_{ri} - E_{ti}) [MWh] \quad 6$$

En donde E_{ri} será el consumo de energía real en el mes de estudio i y E_{ti} el consumo energía teórica de la LBE en el mes i . El consumo teórico, se resta del consumo real, para conocer cuál es la diferencia de consumo del mes, entregando un valor que puede ser positivo si el desempeño se encuentra dentro de los márgenes de operación cercanos al consumo esperado o negativo si el desempeño energético estuvo muy alejado del consumo esperado de forma mensual, para luego registrar la acumulación de estos valores mensuales y determinar si hay rangos de fechas en donde se sigue una tendencia en la mejora energética.

3.2.2 Línea base energética

Con los IDE definidos y la metodología descrita en el capítulo 2, se procede con la generación y validación de las líneas base energéticas.

3.2.2.1 Parámetros y supuestos iniciales

Como primer paso, se establece un período base de un año, utilizando un total de 12 datos correspondientes al consumo de energía mensual del año 2023. Además de esto se considera el uso de un modelo estadístico lineal de regresión simple para la creación de la línea base, esto debido a que este modelo cumple con los criterios descritos en la metodología que se adopta para el trabajo.

Las variables utilizadas para la generación de la línea base corresponden a aquellas definidas previamente en la Tabla 6.

3.2.2.2 Generación de las líneas base

Se entregan como resultado los gráficos de las LBE generadas, mostrando la ecuación del modelo de regresión lineal y el valor de su coeficiente de determinación.

1. Línea base energética general: La cual se observa en la Figura 41 y considera como variable dependiente los consumos de energía totales que registro la organización y como variable independiente la producción total de alimento.

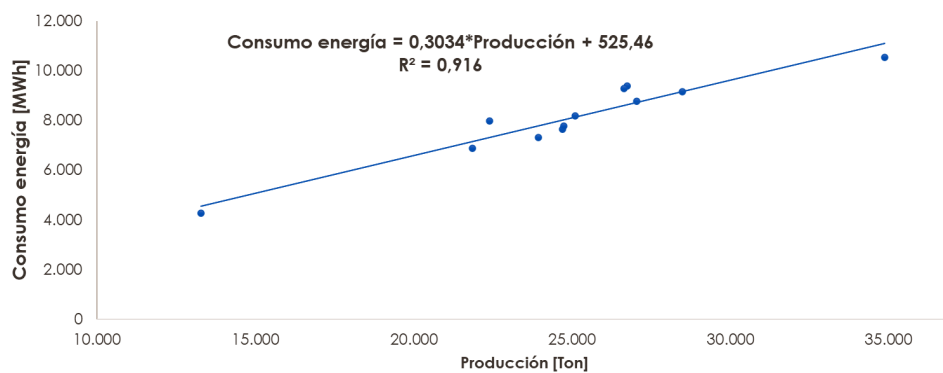


Figura 41. Líneas base de energía sobre consumo total de la organización. Fuente: Elaboración propia.

2. Líneas base energéticas por plantas: las cuales se presentan en la Figura 42 y consideran como variables dependientes los consumos de energía totales que registraron las plantas productivas y como variable independiente la producción total de alimento por cada una de las plantas.

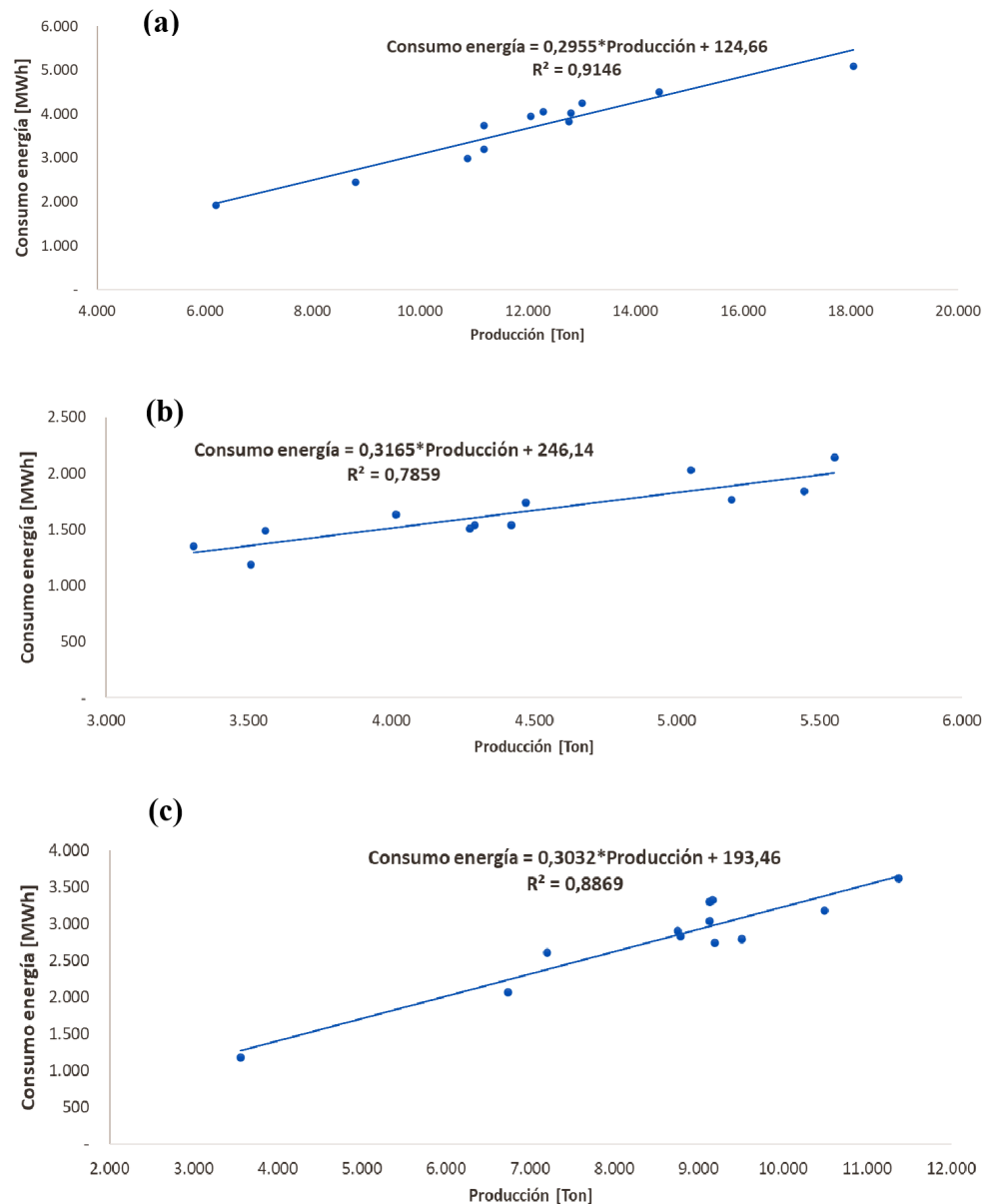


Figura 42. Líneas base de energía sobre consumo total de las plantas de la organización. (a) Planta de Parga, (b) Planta de Castro, (c) Planta de Ercilla. Fuente: Elaboración propia.

3. Líneas base energéticas por calderas: La cuales se presentan en la Figura 43 y consideran como variables dependientes los consumos de energía de cada una de las calderas que tiene la organización y como variable independiente la producción total de alimento por cada una de las plantas.

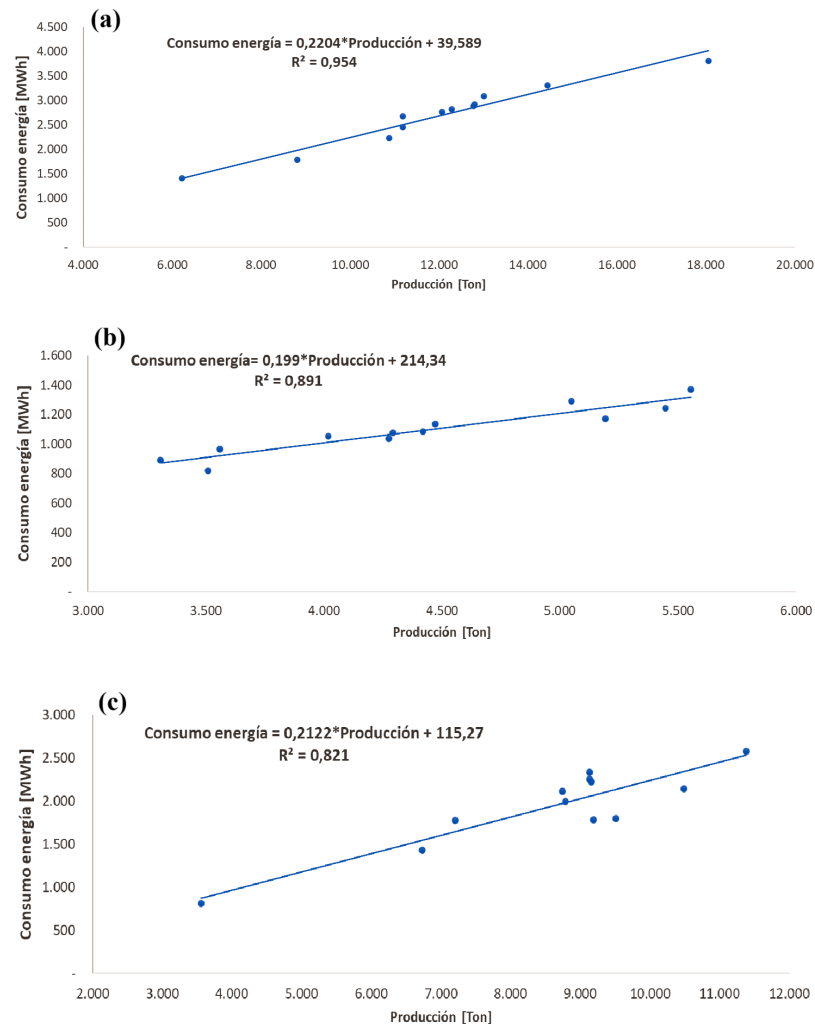


Figura 43. Líneas base de energía sobre consumo de calderas en las plantas de la organización. (a) Planta de Parga, (b) Planta de Castro, (c) Planta de Ercilla. Fuente: Elaboración propia.

4. Líneas base energéticas por sistemas o equipos con funcionamiento eléctrico: La cuales se presentan en la Figura 43 y consideran como variables dependientes los consumos de energía de cada sistema o equipo que funciona con energía eléctrica por planta productiva y como variable independiente la producción total de alimento por cada una de las plantas.

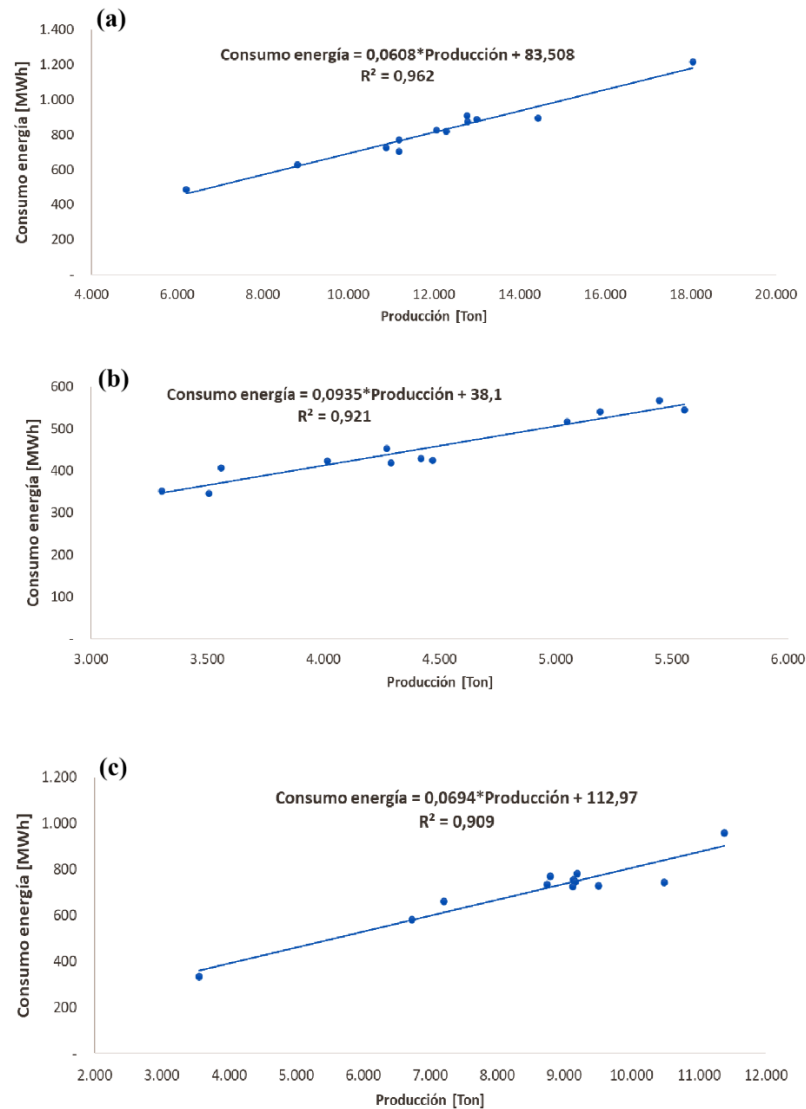


Figura 44. Líneas base de energía sobre consumos en los sistemas de equipos con funcionamiento por energía eléctrica en las plantas de la organización. (a) Planta de Parga, (b) Planta de Castro, (c) Planta de Ercilla. Fuente: Elaboración propia.

Para cada Línea Base Energética (LBE) generada, la pendiente de la recta representará la tasa de cambio del consumo de energía en función de la cantidad de producción generada, mientras que el intercepto indicará el consumo de energía fija asociado al proceso productivo.

3.2.2.3 Validación y determinación de propiedades del modelo LBE

a. Análisis del coeficiente de determinación:

Para lograr una validación inicial del modelo de línea base planteado, se verifica que el valor del coeficiente de determinación (R^2) que debe ser mayor a 0,75 de acuerdo con lo recomendado por la Agencia SE [15]. En la Tabla 7 se muestran los resultados de R^2 que se obtuvieron de las líneas base generadas.

Al analizar la información entregada por la Tabla 7 se concluye que las variables estudiadas como son el consumo energético y la producción tienen una alta relación lineal entre sí debido a que el coeficiente de determinación es superior a los 0,75 para cada una de las LBE generadas. Esto implica que, cuando una de las variables de las líneas base disminuye, la otra también lo hará, y viceversa.

Tabla 7. Coeficientes de determinación (R^2) de la LBE generadas. Fuente: Elaboración propia.

LBE	Plantas productivas	Coeficiente de determinación (R^2)
Línea base energética general	General	0,916
Línea base energética por plantas	Pargua	0,915
	Castro	0,786
	Ercilla	0,887
Línea base energética por caldera	Pargua	0,950
	Castro	0,891
	Ercilla	0,821
Línea base energética por sistemas o equipos eléctricos	Pargua	0,962
	Castro	0,921
	Ercilla	0,909

b. Significancia del modelo:

A continuación, se procede a realizar una validación más detallada del modelo y de la significancia estadística entre las variables estudiadas. Para ello, se emplean atributos estadísticos, como son el p-value y t-student, junto con la herramienta Excel, la cual entrega los resultados que se encuentran en la Tabla 8, obteniendo así que para cada modelo se dispone de un valor de p-value mucho menor a 0,05.

Esto indica que los diez modelos son significativos de acuerdo con la comparativa estadística y, por lo tanto, se acepta la hipótesis de que las variaciones en el consumo de energía en todos los casos son provocadas por las variaciones de la producción de toneladas de producto.

En el caso del estadístico t-student, considerando 12 datos mensuales para todos los modelos y un nivel de confianza del 95%, se obtiene un valor teórico de 2,201, de acuerdo con la Tabla 2.

Al comparar los valores de t-student obtenidos que se muestran en la Tabla 8, se observa que los diez valores son mayores al valor teórico, por lo tanto, el nivel de confianza seleccionado si se considera representativo para todos los modelos de línea base.

Tabla 8. Resultados de atributos estadísticos de validación del modelo de LBE. Fuente: Elaboración propia.

LBE	Plantas productivas	t-student	p-value
Línea base energética general	General	10,43	1,08E-06
Línea base energética por plantas	Pargua	10,35	1,16E-06
	Castro	6,06	1,22E-04
	Ercilla	8,85	4,80E-06
Línea base energética por caldera	Pargua	14,55	4,67E-08
	Castro	9,05	3,92E-06
	Ercilla	6,77	4,91E-05
Línea base energética	Pargua	16,07	1,80E-08
	Castro	10,79	7,88E-07

por sistemas o equipos	Ercilla	9,99	1,61E-06
------------------------	---------	------	----------

c. Precisión del modelo:

Los valores obtenidos de la precisión absoluta y relativa se calculan de acuerdo con la ecuación 2 y 3, obteniendo así los resultados de la Tabla 9.

Tabla 9. Determinación de presión absoluta y relativa. Fuente: Elaboración propia.

LBE	Plantas productiv	Error Típico [MWh]	Precisión absoluta [MWh]	Precisión relativa %
Línea base energética general	General	482,61	1.062,23	13,10%
Línea base energética por plantas	Pargua	272,76	600,35	16,39%
	Castro	131,63	289,71	17,60%
	Ercilla	227,92	501,64	17,94%
Línea base energética por caldera	Pargua	144,67	318,42	11,89%
	Castro	55,38	121,89	11,14%
	Ercilla	208,56	459,05	23,70%
Línea base energética por sistemas o equipos eléctricos	Pargua	36,15	79,57	9,80%
	Castro	21,84	48,07	10,64%
	Ercilla	46,25	101,79	14,36%

Con los valores de precisión de la Tabla 9, se obtiene el intervalo dentro del cual se espera que se encuentren los valores reales de acuerdo con el nivel de confianza del 95% considerado como supuesto.

Los valores de precisión obtenidos son moderadamente altos para todos los modelos de LBE. Se considera que una precisión relativa aceptable es del 10%. Esta situación podría atribuirse a que los modelos actuales sólo contemplan como variable relevante la producción total, sin diferenciar por tipo de producto. Esto se debe al modelo de negocio de la organización, que opera bajo pedidos personalizados con propiedades específicas solicitadas por los clientes, en lugar de producir un único tipo de producto.

Al analizar las propiedades matemáticas de los modelos de LBE, se puede concluir que las variables utilizadas para cada uno tienen una fuerte relación entre sí, bajo los supuestos de un 95% de confianza en los cálculos. Para mejorar las LBE en cuanto a la precisión en sus datos, se recomienda el uso de una regresión múltiple una vez se cuente con la información separada de todos los productos que la organización fabrica durante el mes.

3.2.3 Línea base energética meta

Las líneas meta se construyen a partir de los valores que representan los mejores desempeños energéticos obtenidos en los resultados de cada LBE, permitiendo establecer metas cuantitativas de energía basadas en comportamientos previos.

Las líneas metas se realizan para las calderas y sistemas/equipos eléctricos que tienen cada planta de la organización, para luego establecer una meta cuantitativa para la organización dependiendo de los resultados.

Los datos seleccionados para la construcción de las líneas meta se determinan en función de aquellos que cumplen con un buen desempeño energético, según lo establecido en la sección 3.2.1.1. Esto se basa en su valor de IB100, considerando un límite máximo del 2% de ineficiencia en el desempeño energético. Por lo tanto, solo se incluyen operaciones con un IB100 superior a 98 para la creación de las líneas meta.

A continuación, se entregan como resultado los gráficos de las líneas metas generadas, mostrando la ecuación del modelo de regresión lineal y el valor de su coeficiente de determinación. En el Anexo 6 se encuentran los valores que se utilizan para la construcción de cada línea meta.

1. Líneas metas energéticas por calderas: en la Figura 45 se muestra la representación gráfica de la comparación entre la LBE base y la LBE meta que utilizan como variable dependiente la energía consumida por las calderas

de cada planta productiva y como variable independiente la producción total por planta.

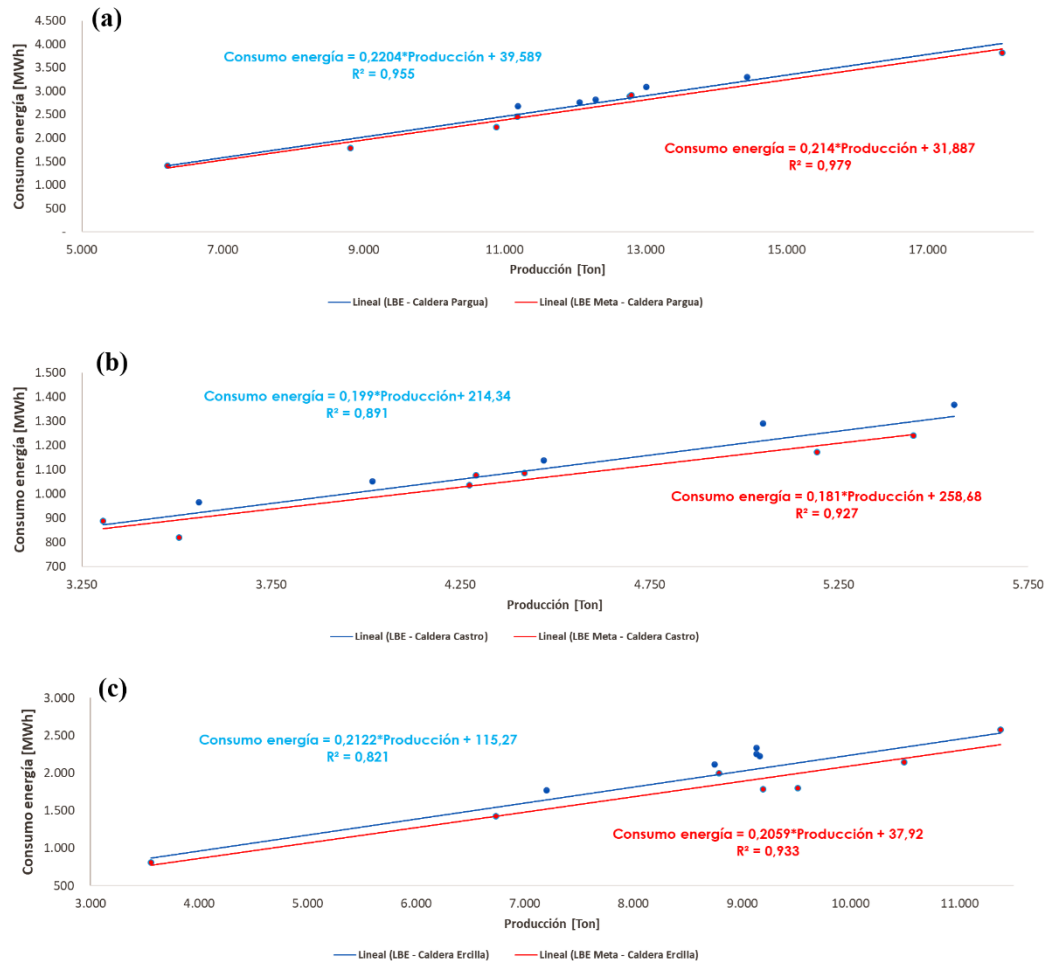


Figura 45. LBE meta de la Planta de Castro. Fuente: Elaboración propia.

2. Líneas metas energéticas por sistemas o equipos eléctricos: en la Figura 46 se muestra la representación gráfica de la comparación entre la LBE base y la LBE meta que utilizan como variable dependiente la energía consumida por los sistemas de equipos eléctricos de cada planta productiva y como variable independiente la producción total por planta.

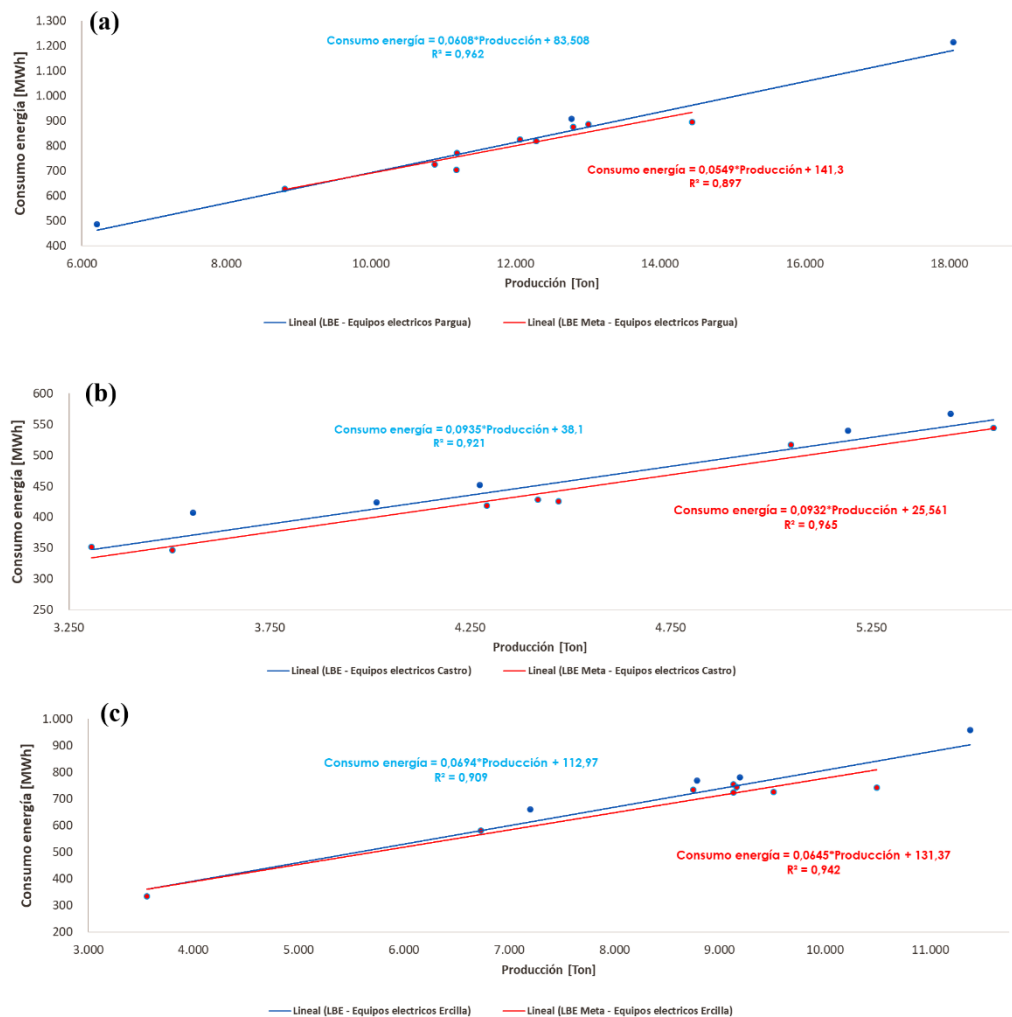


Figura 46. LBE meta de la Planta de Ercilla. Fuente: Elaboración propia.

Las propiedades estadísticas que permiten la validación de los modelos de líneas metas se presenta en la Tabla 10, en donde, se puede observar que el coeficiente de determinación es superior a 0,75 en todos los modelos, por lo que se puede concluir que existe una alta correlación entre las variables que se utilizan. Por otra parte, se consideró para estos modelos un nivel de confiabilidad del 95%, el cual se cumple para todos los modelos generados, ya que, el t-student obtenido es mayor a los valores que se presentan en la Tabla 2 de acuerdo con la cantidad de datos que se utilizó en la construcción de cada modelo. Por último, todos los modelos son

significativos ya que todos los p-value son menores a 0,05, esto considerando el nivel de confianza esperado del 95%.

Tabla 10. Propiedades estadísticas de validación LBE metas. Fuente: Elaboración propia.

LBE	Plantas productivas	Nº datos	Coefficiente de determinación	t-student	p-value
Caldera	Pargua	7	0,979	15,361	2,122E-05
	Castro	7	0,927	7,972	5,009 E-04
	Ercilla	7	0,933	8,331	4,074,E-04
Sistemas/equipos eléctricos	Pargua	9	0,897	7,815	1,058,E-04
	Castro	7	0,965	11,677	8,093,E-05
	Ercilla	8	0,942	9,870	6,242E-05

Ahora obtenido tanto los atributos como los parámetros de los modelos de líneas metas, se procede a analizar la diferencia entre el comportamiento de todas las operaciones (12 datos distribuidos a lo largo de un año) y el comportamiento de las mejores operaciones, separadas por planta de producción.

En primera instancia, se calcula el ahorro energético cuantitativo generado entre estos dos comportamientos. Esto se logra sustituyendo los valores mensuales de la producción real en las ecuaciones de los modelos teóricos de las LBE y en las ecuaciones de los modelos de las líneas metas. Posteriormente, se realiza una resta entre el valor teórico y el valor meta, obteniendo los resultados que se presentan en la Tabla 11 que reflejan el potencial de ahorro energético de cada caldera y grupo de equipos eléctricos de la organización.

Con estos resultados, se determina el potencial de ahorro energético de la organización por un valor de 3.624 MWh lo que equivale a un ahorro del 3,7% del consumo de energía total que presento la organización durante el año 2023.

Al considerar únicamente la suma de la energía consumida por las calderas de las tres plantas, estas tendrían un ahorro potencial de energía de 3028 MWh, lo que representa un 4,4% de ahorro en el consumo de energía asociado exclusivamente a estos equipos. Este ahorro corresponde a un 3,1% del consumo energético total de la organización.

En el caso de los equipos que consumen energía eléctrica en las tres plantas, el ahorro potencial estimado es de 593 MWh, equivalente a un 2,5% de ahorro energético respecto al consumo eléctrico de dichos equipos. Este ahorro se traduce en un 0,6% del consumo energético total de la organización.

Tabla 11. Resumen de resultados LBE v/s LBE meta. Fuente: Elaboración propia.

Modelos de LBE	Plantas productivas	Consumo teórico total [MWh]	Consumo meta total [MWh]	Potencial de ahorro anual [MWh]	Porcentaje de ahorro anual %
Caldera	Pargua	32.149	31.127	1.022	3,18%
	Castro	13.134	12.714	420	3,19%
	Ercilla	23.248	21.662	1.586	6,82%
Sistemas/equipos eléctricos	Pargua	9.740	9.589	151	1,55%
	Castro	5.421	5.256	165	3,05%
	Ercilla	8.506	8.226	281	3,30%

Como conclusión del capítulo, se logra realizar la propuesta de los indicadores de desempeño energético y línea base energética que permitirán la verificación en el tiempo el desempeño energético que presenta la organización.

Se confeccionan y se aprueban estadísticamente 10 líneas base que utilizan como variable independiente así los consumos energéticos generales de la empresa, de las tres plantas, de las calderas y de los sistemas y/o equipos eléctricos, junto a la

variable dependiente que es la producción de alimento mensual que se obtiene de las respectivas plantas.

Finalmente se seleccionan los meses que mejores resultados obtuvieron en cuanto al desempeño energético obtuvieron de manera mensual para las calderas y grupos de equipos de funcionamiento eléctrico para poder confeccionar líneas base metas que al ser comparadas con los modelos de líneas base energéticas entregan un valor cuantificable de potencial de ahorro energético para cada uno de estos equipos principales.

Estableciendo así que la organización tiene un potencial general de ahorro energético del 3,7% del consumo de energía total que presentó la organización durante el año 2023, mientras que el conjunto de calderas un 4,4% y los equipos que consumen energía eléctrica un 2,5% de potencial de ahorro solo considerando la energía que consumen dichos equipos.

3.3 Propuestas de medidas de verificación y control

Para monitorear la mejora en el desempeño energético de la organización, se propone implementar un plan de verificación y control de los IDE propuestos. Este plan incluye la revisión sistemática de los indicadores y su comparación con los resultados obtenidos a partir de las LBE.

El objetivo del plan es identificar y reportar las variaciones en el desempeño energético, lo que permitirá tomar acciones correctivas de manera sistemática en caso de que los indicadores no se encuentren dentro de los márgenes establecidos.

3.3.1 Definición de objetivos, metas y planes energéticos

Los objetivos que deberá considerar la organización serán los siguientes:

1. Mejorar el desempeño energético: lo que implica obtener resultados de mejora medibles relacionados con la eficiencia energética, el uso de la energía y el consumo de la energía.
2. Mejorar la gestión energética: en el marco de sensibilizar a los trabajadores de la organización implementando una cultura organizacional permitiendo transmitir la importancia de mejorar en el desempeño energético e implementando nuevas tecnologías, técnicas y/o metodologías que permitan mejorar la gestión de la energía.

Las metas que complementan a los objetivos se pueden observar en la Tabla 12. Estas están alineadas de acuerdo con los resultados de la revisión energética, USEs, indicadores de desempeño energético, líneas base y líneas metas.

Tabla 12. Metas y objetivos propuestos del SGE. Fuente: Elaboración propia.

Objetivos	Metas	IDEn asociados
Mejorar el desempeño energético.	Disminuir al menos en un 3,7% el consumo energético total con respecto al año base mediante recambio o renovación de equipos, instalación de aislación térmica, planificación y gestión de mantenimientos.	$IB100_{plantas}$ $CUSUM_{plantas}$

	Disminuir al menos en un 4,4% el consumo energético utilizando en el funcionamiento de las calderas de la organización.	$IB100_{calderas}$ $CUSUM_{calderas}$
	Disminuir al menos en un 2,5% el consumo energético utilizando en el funcionamiento de equipos eléctricos de la organización.	$IB100_{E.electricos}$ $CUSUM_{E.electricos}$
Mejorar la gestión energética	Implementación de al menos 3 medidores de energía en plantas integrados al sistema de control. Enfocándose en equipos que mayor influencia energética presenten en los USEs.	$IB100_{plantas}$ $CUSUM_{plantas}$
	Implementación de al menos 1 servicio de gestión de suministro de energía que implique el uso eficiente de las fuentes de energía en los equipos de la organización.	$IB100_{calderas}$ $CUSUM_{calderas}$
	Realizar 2 capacitaciones por año (semestral) referente a mejorar el desempeño energético de los USE. Enfocándose en instrucciones de uso y concientización eficiente de equipos y recursos energéticos de la planta.	$IB100_{E.electricos}$ $CUSUM_{E.electricos}$

Para alcanzar las metas establecidas, es necesario definir oportunidades de mejora en el desempeño energético que permitan lograr los resultados propuestos. Cada una de estas oportunidades debe contar con planes de acción detallados, los cuales deben incluir:

- Una descripción de las actividades necesarias para implementar la oportunidad.
- Los impactos positivos potenciales.
- El ahorro energético cuantificable que se proyecta alcanzar.
- Los requisitos legales que puedan influir en el desarrollo del proyecto.
- Los costos asociados a la implementación de la mejora.
- Las capacidades internas requeridas para llevar a cabo las acciones.

- Método de verificación del desempeño energético.

Como ejemplo, se observa en la Tabla 13 una plantilla diseñada para abordar un plan de acción que permita la mejora en el desempeño energético.

Tabla 13. Plantilla de plan de acción. Fuente: Elaboración Propia.

Plan de acción						
1. Datos del plan de acción						
Oportunidad de mejora	Responsable	Fecha final de implementación	Objetivo	Meta	Planta	USE
2. Impactos positivos potenciales						
3. Proyección ahorro potencial de energía contribuido a empresa						
4. Proyección ahorro potencial contribuido a USE						
5. Aspectos legales						
6. Principales costos asociados (recursos necesarios)						
7. Descripción del plan de acción						
8. Capacidades necesarias						
9. Método de verificación de desempeño energético						

3.3.2 Control y verificación operacional

Con el propósito de controlar el desempeño energético de la organización, es esencial contar con un conocimiento exhaustivo de las operaciones relacionadas con el consumo energético. Esto se logra mediante la instauración de un método sistemático para el levantamiento de información energética, la implementación de métodos de control que identifiquen y mitiguen los elementos operativos que puedan deteriorar el desempeño energético, y, finalmente, la ejecución de actividades de verificación que permitan evaluar el cumplimiento de las mejoras en el desempeño energético.

En relación con el levantamiento de información que debe llevar a cabo la organización, se considera lo siguiente:

- Contar con plan de recopilación de datos de variables energéticas y variables relevantes, en donde responsables de la gestión energética de la organización tenga que registrar dichos datos de forma mensual en planillas de recopilación de datos energéticos que posea la organización.
- Catastro de equipos que necesiten mantención y que involucren a los USE definidos por la organización. Registrar configuraciones que afectan el desempeño energético con una periodicidad mensual.
- Revisión de parámetros operativos o ambientales que influyan significativamente en el desempeño energético con una periodicidad mensual. Por ejemplo, la temperatura de humos o vapor de caldera que se encuentre en rangos aceptables de acuerdo con recomendaciones del fabricante.
- Catastro general de equipos y actualización de inventario de consumo de energía con una periodicidad anual.

En cuanto a los métodos de control, la organización deberá:

- Comunicar continuamente a los trabajadores implicados en el uso de los USE sobre los parámetros operativos que impactan en el desempeño energético.
- Actualizar los IDE de manera mensual de acuerdo con los datos que se registran sobre los consumos de energía de las distintas fuentes energéticas.

En cuanto a las actividades de verificación del desempeño energético, se debe considerar el monitoreo continuo de los IDE propuestos en la sección 3.2.1, comparándolos con los resultados obtenidos a partir de las LBE.

Para ello, se propone establecer acciones específicas que la organización debe realizar cuando las variaciones en el desempeño energético se desvíen de los límites establecidos, asegurando así la corrección y mejora del desempeño energético.

1. Indicador de desempeño en base 100 (IB100)

Este indicador permite generar alertas cuando la eficiencia del proceso presenta variaciones, tanto positivas como negativas, facilitando así la identificación de

observaciones, análisis y la formulación de planes para abordar los puntos de ineficiencia.

Para verificar que el indicador se mantiene dentro de parámetros normales de operación, se establecen límites de desviación de ± 5 unidades respecto al IB100 del consumo esperado. Este valor límite ha sido aprobado por la organización para su implementación.

De acuerdo con los límites establecidos, se definen los estados de operación en función del valor de IB100 obtenido durante un mes de operación:

- Operación ineficiente: valores menores o iguales a un IB100 de 95, por lo que, en un valor que demuestra ineficiencia en el proceso.
- Operación normal: valores entre 95 y 105 en el indicador IB100, siendo estos valores normales dentro del proceso.
- Operación eficiente: valores mayores o iguales a un IB100 de 105, lo que significa que este valor es eficiente dentro del proceso.

En el Anexo 7 se observan los gráficos que se obtienen del IB100 para los meses de estudio, mostrando en color verde los meses en donde se obtuvo una operación de carácter eficiente, de color amarillo los que tuvieron una operación normal y en rojo las operaciones que fueron ineficientes. Mientras que en la Tabla 14 se observan los porcentajes de los datos de consumo energético que están presentes en cada uno de los estados de operación energética.

Tabla 14. Estados de operación energética durante 2023. Fuente: Elaboración propia.

IDE	Plantas	Operación eficiente	Operación normal	Operación ineficiente
Energía general	Organización	25%	50%	25%
Energía total por plantas	Pargua	33%	33%	33%
	Castro	42%	25%	33%
	Ercilla	42%	33%	25%

Energía en caldera	Pargua	25%	58%	17%
	Castro	17%	75%	8%
	Ercilla	42%	17%	42%
Energía en sistemas o equipos eléctricos	Pargua	17%	75%	8%
	Castro	25%	67%	8%
	Ercilla	25%	50%	25%

En el caso de que en algún análisis mensual próximo se presenten operaciones en estado ineficiente o eficiente, la organización deberá dejar observaciones documentadas que permitan justificar la posible razón de que la operación no se encuentra bajo un estado de normalidad.

La organización deberá registrar anualmente el valor obtenido del IB100 anual, representado como el porcentaje de desempeño energético anual. Este valor incluirá el consumo energético total y la producción correspondiente que conforman el indicador.

2. Indicador de tendencia del desempeño energético (CUSUM)

El indicador CUSUM pretende hacer visible la acumulación de variaciones en el consumo de energía cuando esta supere los límites establecidos, lo cual logra entregar observaciones de eficiencia para poder analizar y justificar.

A modo de ejemplo en el Anexo 7 se observan los gráficos CUSUM que se forman en base a los resultados de las LBE generadas, en donde se observan líneas de color verde que indican que la acumulación de desviaciones provoco un aumento positivo en el desempeño energético, mientras que las líneas rojas marcan el límite que no deben cruzar las limitaciones, ya que esto significaría que los procesos que componen el estudio están trabajando en bajo desempeño energético de acuerdo con lo teóricamente proyectado.

Los límites de cada gráfico CUSUM se proponen de manera estimativa, considerando el comportamiento de consumo registrado en cada uno de los modelos analizados. Asimismo, en caso de que los límites establecidos sean superados durante un mes, será obligatorio registrar los meses involucrados y llevar a cabo un análisis de causa raíz para identificar y abordar las causas que originan esta situación.

De forma anual, la organización deberá revisar y redefinir estos límites si la desviación acumulada de los consumos deja de ser representativa en relación con los valores establecidos.

De los gráficos del Anexo 7 se analiza lo siguiente:

- En general, las plantas de Pargua y Ercilla tenían un periodo de mayor desempeño energético acumulado durante el primer y cuarto trimestre del año, mientras que, durante el segundo y tercer trimestre del año 2023, las plantas mantuvieron recurrentemente acumulación de ineficiencias. Esto último es atribuible a la planta de Pargua y Castro, mientras que en Ercilla el comportamiento es más eficiente durante el primer y tercer trimestre, y menos eficiente durante el segundo y cuarto trimestre.

- Las calderas de la organización tienen un comportamiento CUSUM similar al que se presentan en las plantas, esto es debido a que estos equipos son los que mayor consumo de energía mantienen dentro de cada una de las plantas, por lo que es coherente que estos equipos sean los mayores responsables de si un mes es ineficiente o eficiente.
- Con respecto al grupo de equipos eléctricos por planta, tienen un comportamiento CUSUM en donde se observa que los primeros meses del año, se acumulan valores que representan ineficiencias y durante el segundo semestre se presenta un comportamiento de eficiencias acumulativas.

3. Intensidad energética (IE).

A pesar de que la intensidad energética no es un IDE propuesto se debe llevar un registro, control y verificación de este indicador de manera anual debido al contexto energético que presenta la organización, el cual los posiciona como CCGE de acuerdo al artículo 2° de la ley de eficiencia energética, por lo que, están obligados a reportar anualmente al Ministerio de Energía sus consumos por uso de energía y su intensidad energética del año calendario anterior, estos son bajo un rol único tributario que en este caso incluye a las tres plantas de la organización.

La intensidad energética (IE) se calcula de acuerdo con la ecuación 7, en donde el consumo de energía total de un año se divide en el producto interno bruto (PIB) del mismo año para obtener el valor de este índice.

$$IE = \frac{E_{anual}}{PIB} \left[\frac{Tcal}{USD} \right] \quad 7$$

La información de energía consumida de forma anual deberá entregarla el área de gestión de energía de la organización, mientras que los valores del PIB es un valor que deberá ser entregado por el área de finanzas.

Con el fin de resguardar la información financiera de la organización, en esta memoria no se calcula, analiza y verifica el valor de la intensidad energética que presentan en los años de estudios.

Para llevar un control efectivo de los indicadores, se ha diseñado una plantilla que la organización debe utilizar para registrar los consumos mensuales. Esta herramienta permite calcular y reportar los IDE propuestos con una periodicidad mensual.

Como ejemplo, se presenta en la Tabla 15 la plantilla de control de los indicadores de desempeño energético de la organización, construida a partir de los consumos registrados durante el año 2023.

Tabla 15. Planilla de control de IDE de la empresa. Fuente: Elaboración propia.

Mes	Total Energía [MWh]	Producción Total [Ton]	Consumo Teorico [MWh]	IDE real (MWh_real/ton)	IDE teorico (MWh_teorico/ton)	IBM100	Desempeño %	Estado de operación	Consumo Real Consumo Teorico	CUSUM [MWh]	Desempeño anual %
ene-23	7.321	23.941	7.790	0,31	0,33	106	6%	Op.eficiente	-468	-468	0%
feb-23	7.663	24.695	8.019	0,31	0,32	105	4%	Op.normal	-355	-823	
mar-23	10.548	34.884	11.110	0,30	0,32	105	5%	Op.eficiente	-562	-1.385	
abr-23	8.787	27.038	8.730	0,33	0,32	99	-1%	Op.normal	58	-1.327	
may-23	9.383	26.745	8.641	0,35	0,32	92	-9%	Op.ineficiente	743	-585	
jun-23	7.975	22.404	7.323	0,36	0,33	92	-9%	Op.ineficiente	652	67	
jul-23	9.298	26.639	8.608	0,35	0,32	93	-8%	Op.ineficiente	690	757	
ago-23	9.171	28.491	9.170	0,32	0,32	100	0%	Op.normal	0	757	
sept-23	8.181	25.104	8.143	0,33	0,32	100	0%	Op.normal	39	796	
oct-23	6.882	21.846	7.154	0,32	0,33	104	4%	Op.normal	-272	524	
nov-23	7.775	24.730	8.029	0,31	0,32	103	3%	Op.normal	-254	270	
dic-23	4.284	13.278	4.554	0,32	0,34	106	6%	Op.eficiente	-270	0	

Como conclusión de este capítulo, se presentan las medidas de verificación y control energético que la organización deberá implementar para monitorear su desempeño energético de manera efectiva.

Se propusieron objetivos y metas cuantificables que la organización deberá cumplir en relación con la mejora continua en el desempeño y la gestión energética. Asimismo, se establecieron las directrices necesarias para verificar el cumplimiento de estas metas, basadas en el monitoreo mensual de los indicadores de desempeño energético propuestos.

Finalmente, se desarrolló una plantilla destinada al registro de los consumos energéticos de la organización. Esta herramienta además permite obtener resultados mensuales de los indicadores de desempeño energético, facilitando un proceso adecuado de control y verificación de los consumos energéticos.

3.4 Propuestas y análisis de mejoras energéticas

En este capítulo se presenta un listado de oportunidades de mejoras energéticas que permiten cumplir los objetivos y metas propuestas. Estas oportunidades son categorizadas y evaluadas de acuerdo con criterios propuestos, lo que permite luego seleccionar algunas de ellas para realizar un análisis técnico y económico de la misma.

Finalmente se evalúa el desempeño energético actual de la organización con información de consumo energético del año 2024, con lo que se pretende verificar la mejora en el desempeño energético luego de que la organización implementara una oportunidad de mejora energética.

3.4.1 Listado de oportunidades de mejoras energéticas.

A continuación, se presentan propuestas de oportunidades de mejora energética diseñadas para cumplir con las metas energéticas establecidas para la organización. Estas oportunidades han sido desarrolladas en conjunto por la organización, empresa externa especializada en asesoría energética y la bibliografía estudiada por el autor de este trabajo.

En primera instancia, estas propuestas se clasifican según los grupos de equipos que serían impactados por su implementación.

1. Propuestas de mejoras energéticas en equipos eléctricos:

- a. Aislación de extrusora: el extrusor es un elemento que utiliza una gran porción del vapor que genera la caldera y este mismo, se encuentra a descubierto generando transferencia de calor desde el proceso al ambiente provocando un desperdicio de energía. Una solución óptima es utilizar chaquetas aislantes que permiten reducir la transferencia de calor al ambiente y que este calor se mantenga dentro del proceso.
- b. Cambio de iluminarias a LED: actualmente la organización no cuenta con iluminación de alta eficiencia en sus instalaciones, por lo que el

cambio de iluminaria a led permitiría reducir los consumos de energía eléctrica que mantienen dentro de la organización.

- c. Detección y reparación de fugas de aire: la eliminación de fugas de aire comprimido y reparación de las pérdidas de aire en un sistema de compresión es crucial para optimizar el uso de la energía, ya que las fugas de aire comprimido obligan al compresor a trabajar más tiempo y a mayor capacidad para mantener la presión requerida, lo que aumenta significativamente el consumo de energía. Al eliminar estas fugas, se reduce la carga de trabajo del compresor, lo que disminuye su consumo energético y prolonga su vida útil. Este ahorro energético se traduce en menores costos operativos y una mayor eficiencia del sistema de aire comprimido, contribuyendo también a la reducción de las emisiones de carbono asociadas con la generación de electricidad.
- d. Precalentar aire al ingreso del secador: los gases de combustión de la caldera salen con una alta temperatura, lo que implica que contienen gran cantidad de calor, por lo que se puede implementar intercambiadores de calor que permitan recuperar este calor y poder utilizar esta energía en elevar la temperatura del aire que ingresa en el proceso de secado, permitiendo así tener un menor consumo de combustible.

2. Propuestas de gestión de energía:

- a. Gestión inteligente en el uso de generadores en periodo punta: lo cual consiste en utilizar los generadores de la organización solo en las horas punta en donde se presente una mayor probabilidad de que el sistema eléctrico zonal en donde se encuentra conectada la organización presente una mayor demanda de energía eléctrica. Realizar este servicio implica una disminución de las horas de funcionamiento de los generadores mejorando el uso de estos equipos y permitiendo

reducir el uso de combustibles en reemplazo por energía más eficiente como es la energía eléctrica.

3. Propuestas mejoras energéticas en caldera:

a. Recambio de caldera: la organización cuenta en la planta de Pargua con una caldera que cuenta con una capacidad que no se ajusta con las necesidades de la empresa (capacidad de caldera de 9.000 tv/h), produciendo que esta caldera trabaje en un punto de ineficiencia. Un estudio realizado por una empresa externa determinó que la cantidad de vapor que realmente necesitan todos los procesos de la empresa es de 5,2 tv/h. Se propone realizar un estudio para reemplazar esta caldera por una que tenga una menor capacidad de producción de vapor, la cual se ajustara a las necesidades reales y por ende sea más eficiente que el equipo anterior, generando ahorros económicos y energéticos.

b. Implementación de economizador de caldera: el cual consiste en agregar un intercambiador de calor con la finalidad de recuperar el calor residual de los gases de combustión que salen de la caldera. Este calor recuperado se reintegra en el proceso para que se pueda pretratar térmicamente el agua de alimentación de la caldera, con lo cual se logra elevar su temperatura antes de que entre al sistema principal de calentamiento.

Al elevar la temperatura del agua previo a la alimentación, la caldera necesitará una menor cantidad de combustible para alcanzar la temperatura deseada del vapor.

Esta eficiencia mejorada no solo reduce el consumo de combustible, sino que también optimiza el rendimiento general de la caldera y disminuye las emisiones de gases contaminantes.

- c. Recuperación de calor residual de compresor de aire: los compresores de aire durante su operación generan energía térmica que se disipa en el aire, este calor residual se puede redirigir y utilizar en otros procesos con el uso de un intercambiador de calor. Aprovechar esta energía implica la disminución del consumo de energía y por ende costos energéticos.
- d. Control de aire caldera con variador de frecuencia: Actualmente la empresa suministra el ingreso de aire necesario para la combustión de la caldera a una velocidad constante, lo que ocasiona que la cantidad de aire sea insuficiente o excesivo, lo que genera una combustión incompleta que es ineficientes, consume mayores cantidades de energía y aumenta los costos operativos. Para el control del aire, se propone la implementación de un variador de frecuencia, el cual permite un ajuste automático que permite mantener una proporción óptima de aire y combustible.
- e. Calorifugado de tuberías, tanques y válvulas: lo cual consiste en aplicar materiales aislantes térmicos sobre equipos o conductos para reducir la transferencia de calor entre el contenido de estos y el ambiente externo.
- f. Revisión de fugas de vapor: siempre que exista una fuga de vapor se tendrá una pérdida energética. Para poder realizar un ahorro energético en este aspecto se debe localizar y eliminar las fugas de vapor existentes.

3.4.2 Criterios de evaluación de oportunidades de mejora energética

Las oportunidades de mejora energética se clasifican aplicando distintos criterios, lo que permite priorizarlas y seleccionar aquellas que mejor se adapten a los objetivos y metas de la organización.

Los criterios de evaluación propuestos son los siguientes:

- Monto de inversión.
- Plazo de implementación.
- Impacto en eficiencia energética.

Los criterios de evaluación se detallan en la Tabla 16, donde se asignan categorías, rangos, puntajes y pesos a cada uno. Estos criterios permiten otorgar un valor numérico a las oportunidades de mejora energética, facilitando la selección óptima de las acciones a implementar.

Tabla 16. Criterios de evaluación de oportunidades de mejoras energéticas. Fuente: Elaboración propia.

Monto de inversión			
Categoría	Rango [USD]	Puntaje	Peso
Alta	> 1.000.000	1	30%
Media	100.000 a 1.000.000	2	
Baja	0 a 100.000	3	
Plazo de implementación			
Categoría	Rango meses	Puntaje	Peso
Largo	> 18 meses	1	20%
Medio	6 a 18 meses	2	
Corto	0 a 6 meses	3	
Aumento en Desempeño energético			
Categoría	Rango % ahorro	Puntaje	Peso
Alta	> a 6%	3	50%
Media	3% a 6%	2	
Baja	0% a 3%	1	

Los resultados de la evaluación de las oportunidades de mejora energética se presentan en la Tabla 17. Destacan como las mejor evaluadas el recambio de caldera y la implementación de economizadores para calderas, debido a su impacto positivo en el desempeño energético y su alineación con los criterios establecidos.

La evaluación de las oportunidades se llevó a cabo utilizando estimaciones proporcionadas por el autor, complementadas con recomendaciones del personal de la organización y de la empresa asesora en materia energética.

Tabla 17. Resultados de evaluación de oportunidades de mejora energética. Fuente: Elaboración propia.

N°	Descripción	Aumento en Desempeño energético	Plazo de implementación	Monto de inversión	Puntaje
		50%	30%	20%	
1	Aislación de extrusora	1	3	3	2,0
3	Cambio de iluminarias a LED	1	2	3	1,7
4	Detección y reparación de fugas de aire	1	3	3	2,0
5	Precalear aire al ingreso del secador	2	1	2	1,7
6	Gestión inteligente en el uso de generadores en periodo punta	1	3	3	2,0
7	Recambio de caldera	3	2	1	2,3
8	Implementación de economizador de caldera	2	3	2	2,3
9	Recuperación de calor residual de compresor de aire	1	3	3	2,0
10	Control de aire caldera con variador de frecuencia	1	3	3	2,0
11	Calorifugado de tuberías, taques y válvulas	1	3	3	2,0
12	Revisión de fugas de vapor	1	3	3	2,0

3.4.3 Análisis de propuestas de mejoras energéticas

Para el análisis de las propuestas de mejora energética se seleccionan algunas de estas de acuerdo con la evaluación de las oportunidades realizado en la sección 3.4.2, siendo estas las siguientes:

- Recambio de caldera (mejora desempeño energético).
- Implementación de economizadores en calderas (mejora desempeño energético).
- Gestión inteligente en el uso de generadores en periodo punta (mejora gestión de energía y mejora en desempeño energético).

3.4.3.1 Recambio de caldera

Una de las propuestas que la empresa está considerando implementar, con el objetivo de mejorar el desempeño energético, es el recambio de caldera en la planta de Pargua, esto debido a que la organización previamente había solicitado a una empresa contratista un estudio que permitiera determinar la cantidad de vapor que realmente estaba siendo utilizado en los procesos de la planta, lo cual entregó como resultado que era necesario 5,2 [ton_v/hr], mientras que la caldera que se tiene en Pargua tiene una capacidad de 9 [ton_v/hr], lo cual implica que este equipo no trabaje en un óptimo punto de eficiencia, produciendo así un sobreconsumo de combustible.

a. Análisis de ahorro energético.

La organización considera invertir a corto plazo en la compra de una nueva caldera que se adapte a la cantidad de vapor que se necesita producir para el correcto funcionamiento de los procesos.

Las características principales de la caldera actual y la caldera por analizar se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18. Características Caldera actual y Caldera por analizar. Fuente: [21].

Características de Caldera	Caldera actual	Caldera por analizar
Modelo	AS-9000-3P	FT600/12
Combustible	GLP	GLP
Producción de Vapor [ton _v /hr]	9	6
Eficiencia de la Caldera	90%	95%
Quemador	Blowtherm	ECOFLAM
Modelo quemador	GVPF 650/MCE	BLU 5000.1

La caldera por analizar presenta una mayor eficiencia térmica en comparación a la caldera actual, siendo un 5% más eficiente, además la nueva caldera tiene como parámetro máximo de producción de vapor 6 [ton_v/hr], lo que implica que el porcentaje de carga que registraría la nueva caldera bajo las condiciones actuales de producción aumente a un 87% en comparación al actual, el cual registra un 58% debido a que tiene una producción de vapor máximo de vapor de 9 [ton_v/hr].

Con el porcentaje de carga al que operan las calderas, se utiliza el gráfico de la Figura 47, el cual muestra la relación entre la eficiencia térmica de la caldera y el porcentaje de carga. Según el modelo de caldera presentado en la Figura 47, su eficiencia térmica máxima es del 91%.

Del análisis del gráfico se concluye que, si esta caldera opera al 87% de su carga, su eficiencia térmica disminuye aproximadamente un 1%. Por otro lado, si opera al 58% de carga, la disminución de su eficiencia térmica es cercana al 4%.

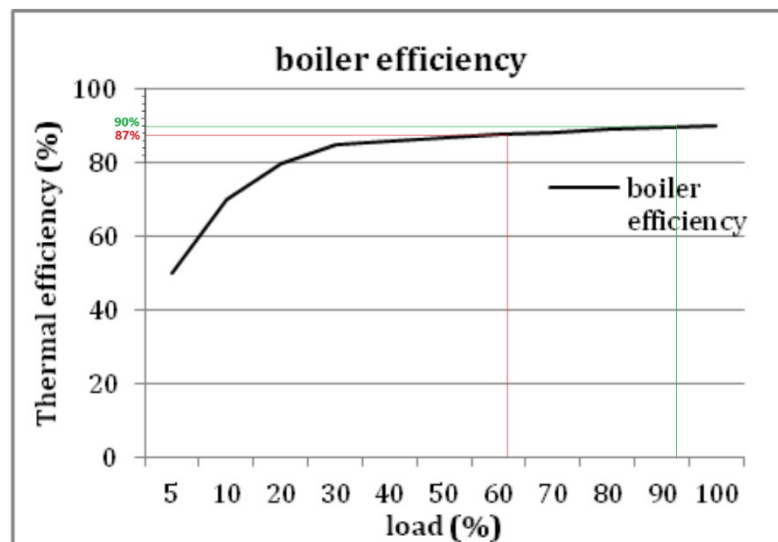


Figura 47. Eficiencia de caldera en función del porcentaje de carga. Fuente: [22].

Al considerar la eficiencia de la caldera de 9 [ton_v/hr], se puede suponer que su eficiencia térmica baja de 90% a un 86%, mientras que la eficiencia de la caldera de 6

[ton_v/hr] disminuye de 95% a un 94% dada las condiciones de carga a la que se utilizará cada una de estas calderas.

Por lo tanto, se obtiene como resultado que al realizar el cambio de caldera de 9 [ton_v/hr] por la nueva de 6 [ton_v/hr], se proyecta obtener un ahorro energético de aproximadamente un 8% para el sistema de caldera en la planta de Pargua, lo que representa un ahorro energético del 2,7% para toda la organización.

b. Análisis económico

Para el análisis económico se considera como inversión inicial un total de 336.000 USD, obteniendo este monto por parte de empresa consultora, el cual se divide en los siguientes costos:

- Costo caldera: 200.000 USD.
- Costo transporte: 40.000 USD.
- Costos por montaje: 96.000 USD considerando la colocación de la caldera en su sitio, fijación de componentes principales y preparación de conexiones.
- Costo por instalación: 50.000 USD lo cual considera la conexión de líneas, integración a los sistemas, configuración y ajuste de controles y sistemas de seguridad y pruebas de funcionamiento seguro.

Se considera el costo de mantenimiento anual como el 5% del costo de la caldera más el costo de transporte, obteniendo así un costo por mantenimiento de 12.000 USD/año.

Utilizando la información de costos y ahorros energéticos, se construye el flujo de caja del proyecto con un horizonte de 10 años. Este análisis asume que el consumo de la caldera de Pargua se mantiene constante en relación con los valores obtenidos durante la revisión energética.

El detalle del flujo de caja se encuentra en el Anexo 8.

Como resumen, se muestran en la Tabla 19 los parámetros e indicadores económicos obtenidos luego de la evaluación económica.

Tabla 19. Parámetros e indicadores económicos de proyecto recambio de caldera.

Fuente: Elaboración propia.

Parámetros/Indicadores económicos	Valor
Inflación anual %	9%
Inversión inicial [USD]	336.000
Costos de mantenimiento anual [USD]	12.000
Depreciación de caldera [años]	15
Impuesto a la renta [%]	27%
Costo GLP [USD/MWh] ([CLP/kg])	97 (720)
VAN [USD]	\$917.106
TIR [%]	56%
Payback [años]	1,6

c. Plan de acción

En la Tabla 20 se muestra el plan de acción de la oportunidad de recambio en caldera de la planta de Pargua.

Tabla 20. Plan de acción recambio de caldera de planta de Pargua. Fuente: Elaboración propia.

Plan de acción						
1. Datos del plan de acción						
Oportunidad de mejora	Responsable	Fecha final de implementación	Objetivo	Meta	Planta	USE
Recambio de caldera	Gerencia de producción y operaciones	Julio 2024	Mejorar el desempeño energético	Disminución de al menos 4,4% de consumo energía en calderas	Pargua	Caldera
2. Impactos positivos potenciales						
Disminución de consumo energético por aumento de eficiencia en caldera						
Disminución de consumo energético por mejora en el dimensionamiento de caldera						
3. Proyección ahorro potencial de energía contribuido a empresa						
2,7% anual						
4. Proyección ahorro potencial contribuido a USE						
8% anual						
5. Aspectos legales						
Cumplimiento de Decreto 10T el cual establece condiciones y requisitos de seguridad para calderas						
6. Principales costos asociados (recursos necesarios)						
Estudios de ingeniería para dimensionamiento de equipo						
HH y pago de honorarios por implementación						
Inversión de equipos						
Mantenimiento futuro						
7. Descripción del plan de acción						
Estudio de demanda de vapor (balance energético), dimensionamiento de equipo, chequeo de requisitos legales y organizacionales para						
Se selecciona tipo de caldera para el recambio.						
Definir fechas de implementación de equipo y gestión de permisos necesarios.						
Instalación del equipo, llevar a cabo y probar la puesta en marcha antes de dar por cerrado el proyecto.						
8. Capacidades necesarias						
Conocimiento y experiencia en proceso y dimensionamiento de calderas						
9. Método de verificación de desempeño energético						
Comprobación de IDE [kWh/Ton] y CUSUM de la organización de manera mensual						
Comprobación de IDE [kWh/Ton] y CUSUM de planta Pargua de manera mensual						
Comprobación de IDE [kWh/Ton] y CUSUM de caldera de planta Pargua de manera mensual						

3.4.3.2 Implementación de economizadores en calderas de la organización.

Los economizadores son intercambiadores de calor que se utilizan para aumentar la eficiencia energética de una caldera mediante la recuperación de calor de los gases de escape, que en condiciones actuales de operación se disipan en el ambiente. El calor recuperado permitirá reducir la cantidad de combustible necesario para elevar la temperatura del agua del proceso hasta una temperatura requerida y por lo tanto aumentar el desempeño energético de la caldera.

a. Análisis de ahorro energético.

Se realizará la evaluación de la implementación de economizadores para las tres plantas de la organización.

En la Tabla 21 se presentan los supuestos y parámetros previo al análisis de ahorro energético. En cuanto al tipo de combustible, en la planta de Ercilla y Castro se considera como único combustible de uso el Fuel N°6 para facilitar los cálculos de ahorro, además se considera como supuesto un exceso de aire de 15% con el cual se asegura la combustión completa y por último como parámetro de entrada las temperaturas de salida de gases y horas de usos de caldera, siendo estos últimos entregados por el personal de la organización como valores promedios de operación por planta.

La temperatura de salida de los gases de combustión depende del tipo de economizador que se desee implementar. Sin embargo, de acuerdo con la bibliografía [23], esta temperatura se establece en 135°C, de acuerdo con el tipo de combustible utilizado.

Tabla 21. Supuestos y parámetros necesarios en análisis de economizador de caldera.
Fuente: Organización.

Supuestos y parámetros	Pargua	Castro	Ercilla
Tipo de combustible	GLP	Fuel N°6	Fuel N°6
Composición elemental	C3H8 – 60% C4H10 – 40%	C – 87% H – 10% S – 0.7% N – 0.6% O – 1.7%	C – 87% H – 10% S – 0.7% N – 0.6% O – 1.7%
Exceso de oxígeno en combustión	15%	15%	15%
Temperatura de ingreso de gases de combustión	180°C	185°C	185°C
Temperatura de salida de gases de combustión	135°C	135°C	135°C
Horas de uso anuales de caldera [hr]	4.992	4.992	4.992
Consumo de combustible [kg/hr]	1.548	249	409

Para obtener el ahorro de energía con la implementación de economizador, se busca obtener el calor máximo que pueden ceder los gases de combustión. Esto se logra planteando un balance de energía en el economizador, la cual se observa en la ecuación 8.

$$Q_{out} = \dot{m}_{comb} \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right] * c_p * \Delta T \quad 8$$

En donde Q_{out} es el calor cedido al agua debido a la implementación del economizador, $\dot{m}_{comb}$ es el flujo másico del combustible, el c_p es el poder calorífico del combustible y ΔT es la diferencia de temperatura de entrada y salida de gases de combustión. En la Figura 48 se observa la representación gráfica del balance de energía que se realiza sobre el economizador.

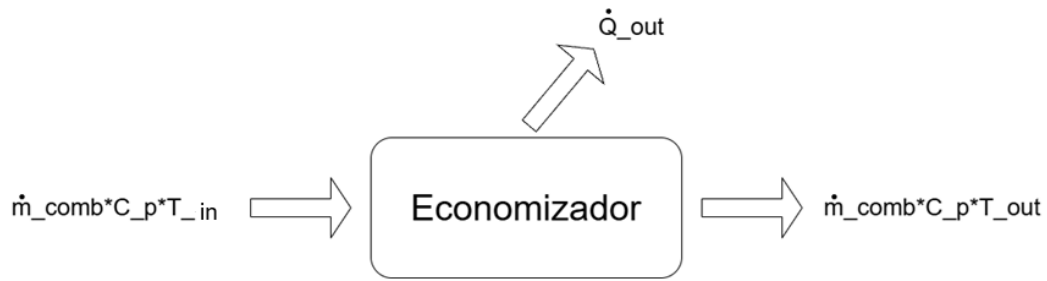


Figura 48. Balance de energía de economizador. Fuente: Elaboración propia.

Debido a que se conocen las composiciones elementales de los combustibles, se obtiene la ecuación 9:

$$Q_{out} = \sum_{n=1}^u (PM_n * \dot{M}_n * c_{p_n}) * \Delta T \quad 9$$

En donde PM es el peso másico y $\dot{M}$ es la cantidad de moles de los elementos n que componen a los gases de combustión.

Para obtener el valor de $\dot{M}$ de cada elemento, se realiza un análisis estequiométrico, en el cual se considera la ecuación general de la combustión, la cual se muestra en la Figura 49.

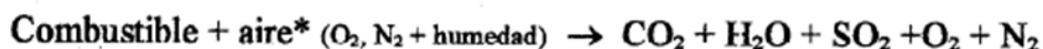
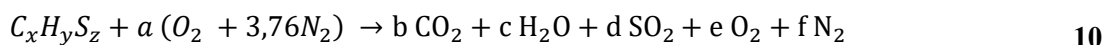


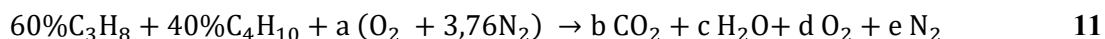
Figura 49. Ecuación general de la combustión. Fuente: [24].

Dado que se analizan dos tipos de combustibles, se desarrollan la ecuación 10 para el fuel N°6 y la ecuación 11 para el GLP. Estas ecuaciones se presentan con variables incógnitas para cada elemento, cuyos valores serán determinados mediante el análisis estequiométrico, permitiendo calcular el valor de $\dot{M}$ para cada combustible.

1. Ecuación Fuel N°6:



2. Ecuación GLP:



Los resultados del análisis estequiométrico se presentan en la Tabla 22. En esta, se detallan los valores de las variables incógnitas utilizadas en las ecuaciones 10 y 11, las cuales representan la cantidad de moles de cada elemento por kilogramo de combustible.

Tabla 22. Moles en reacción de combustión para las distintas plantas de la organización. Fuente: Elaboración propia.

Variables incógnitas	Pargua	Castro	Ercilla
x	-	18,06	29,65
y	-	24,93	40,93
z	-	0,05	0,09
u	-	0,11	0,18
v	-	0,26	0,43
a	6,44	27,85	45,72
b	3,40	18,06	29,65
c	4,40	12,47	20,47
d	0,84	0,05	0,09
e	24,21	3,63	5,96
f	-	104,77	171,99

El calor cedido al agua de ingreso de la caldera se calcula utilizando la ecuación 9. Los resultados de este cálculo, junto con el ahorro energético obtenido mediante la implementación de los economizadores, se presentan en la Tabla 23, obteniendo un ahorro energético total del 2,7% en relación con el consumo energético registrado por la organización durante el año 2023, en el caso de que los economizadores sean implementados en las tres plantas.

Tabla 23. Ahorro energético por implementación de economizadores en calderas.
Fuente: Elaboración propia.

Resultados	Pargua	Castro	Ercilla
Calor cedido [kWh/hr]	295	85	140
Calor cedido anual [kWh]	1.470.910	424.561	696.949
Consumo anual caldera sin economizador [kWh]	32.596.000	13.134.000	22.311.000
Consumo anual caldera con economizador [kWh]	31.125.090	12.709.439	21.614.051
Ahorro consumo energético %	4,5%	3,2%	3,1%

b. Análisis económico.

La inversión inicial para la implementación de economizadores varía según la capacidad requerida para cada caso. Basándose en las recomendaciones de una empresa consultora, se estiman los siguientes costos asociados a la inversión inicial:

Tabla 24. Inversión inicial de economizadores. Fuente: Empresa Asesora.

Inversión inicial	Pargua	Castro	Ercilla
Costo economizador [USD]	50.000	40.000	45.000
Costo transporte [USD]	10.000	8.000	9.000
Costo por montaje [USD]	12.500	10.000	11.250
Aislación térmica [USD]	1.500	1.000	1.250
Total [USD]	74.000	59.000	66.500

Se considera el costo de mantenimiento anual como el 5% del costo del economizador por planta más el costo de transporte.

Con los ahorros energéticos e inversiones, se construye el flujo de caja del proyecto en un horizonte de 10 años el cual considera a su vez que el consumo de la caldera de las 3 plantas se mantiene estáticas respecto a los valores obtenidos durante la revisión energética, el detalle de estos tres flujos de caja se encuentra en el Anexo 8.

A modo de resumen, se muestran en la Tabla 25 los parámetros e indicadores económicos obtenidos luego de la evaluación económica.

Tabla 25. Parámetros e indicadores económicos de proyecto implementación de economizadores en calderas. Fuente: Elaboración propia.

Parámetros/Indicadores económicos	Economizador Pargua	Economizador Castro	Economizador Ercilla
Inflación anual [%]	9%	9%	9%
Inversión inicial [USD]	85.000	60.000	44.000
Costos de mantenimiento anual [USD]	4.250	3.000	2.200
Depreciación de economizador [años]	15	15	15
Impuesto a la renta [%]	27%	27%	27%
Costo combustible [USD/MWh]	97	52	52
VAN [USD]	\$459.580	\$81.259	\$48.135
TIR [%]	95%	34%	30%
Payback [años]	0,9	2,5	2,8

c. Plan de acción.

En la Tabla 26 se muestra el plan de acción de la oportunidad de recambio en caldera de la planta de Pargua.

Tabla 26. Plan de acción implementación de economizadores en calderas. Fuente: Elaboración propia.

1. Datos del plan de acción						
Oportunidad de mejora	Responsable	Fecha final de implementación	Objetivo	Meta	Planta	USE
Implementación de economizadores en calderas	Gerencia de producción y operaciones	Pendiente	Mejorar el desempeño energético	Disminución de al menos 4,4% de consumo energía en calderas	Todas	Caldera
2. Impactos positivos potenciales						
Disminución de consumo energético en sistema de generación de vapor.						
Aprovechamiento de energía sin uso.						
3. Proyección ahorro potencial de energía contribuido a empresa						
2,7% anual						
4. Proyección ahorro potencial contribuido a USE						
Pargua: 4,5% Castro: 3,2% Ercilla: 3,1%						
5. Aspectos legales						
Cumplimiento de Decreto 10T el cual establece condiciones y requisitos de seguridad para calderas.						
6. Principales costos asociados (recursos necesarios)						
Estudio de propiedades de gases de combustión y agua de ingreso a caldera.						
HH y pago de honorarios por implementación.						
Inversión de equipos.						
Mantenimiento futuro.						
7. Descripción del plan de acción						
Estudio de demanda de vapor (balance energético), dimensionamiento de equipo, chequeo de requisitos legales y organizacionales para						
Selección de economizador que se adapte a necesidades de operación.						
Definir fechas de implementación, instalación y montaje de equipo y gestión de permisos necesarios.						
Instalación del equipo, llevar a cabo y probar la puesta en marcha antes de dar por cerrado el proyecto.						
8. Capacidades necesarias						
Conocimiento y experiencia en proceso que recuperación de calor.						
Conocimiento en el uso de caldera organizacional.						
9. Método de verificación de desempeño energético						
Comprobación de IDE [kWh/Ton] y CUSUM de la organización de manera mensual.						
Comprobación de IDE [kWh/Ton] y CUSUM de planta a implementar.						
Comprobación de IDE [kWh/Ton] y CUSUM de caldera de planta a implementar de manera mensual.						

3.4.3.3 Gestión inteligente en el uso de generadores en periodo punta

La organización cuenta en cada una de sus plantas con generadores diésel que tienen como objetivo ser usados para suplir la demanda de energía eléctrica durante el periodo punta, lo que implica que estos equipos trabajen 492 horas al año.

La gestión de demanda inteligente es un servicio innovador proporcionado por una empresa externa de asesoría energética. Este servicio utiliza un modelo predictivo que permite identificar los momentos en los que las líneas de transmisión de la concesión eléctrica a la que está conectada la organización experimentan un mayor retiro de energía y con esto estimar si conveniente económicamente prender los generadores eléctricos, teniendo como objetivo principal, la disminución de gasto de combustible reduciendo la cantidad de horas que el generador estaría en funcionamiento.

Esto se logra por la naturaleza del cálculo del cargo de potencia hora punta que le cobra el generador de energía a la organización en su facturación mensual de

electricidad, la cual se calcula como el promedio de las 52 máximas potencias horarias obtenidas durante el periodo de hora punta, las cuales deben ser coincidentes con las máximas de la zona de concesión eléctrica de distribución. Es decir, cuando el Coordinador Eléctrico Nacional (CEN) determina una máxima en la zona de concesión, verifica la potencia del cliente en ese instante.

En resumen, la empresa externa proporciona al cliente avisos predictivos indicando cuándo es probable que la zona de concesión registre grandes demandas horarias de energía. Con esta información, el cliente puede reducir su consumo de la red eléctrica durante esos periodos, asegurando que, cuando la zona de concesión registre su máxima demanda, el CEN calcule un menor valor de demanda en hora punta para el cliente, provocando una reducción del cargo de potencia en la facturación mensual.

Adicionalmente, este servicio permite sustituir el consumo energético generado por los equipos diésel por otras fuentes de energía, lo que disminuye las pérdidas asociadas a la transformación de energía en los generadores. Esto, a su vez, contribuye a reducir la cantidad de energía atribuible a la organización, mejorando la eficiencia energética.

a. Análisis de ahorro energético.

Para calcular el ahorro energético que entrega este servicio, se considera la reducción de las horas de uso del generador en un año natural, pasando de 492 a 100 horas, por lo que el generador se usará solo un 20% aproximadamente en relación con lo que se ocupaba en la situación actual.

La organización registra de manera mensual la cantidad de energía que es útil proveniente de los generadores, con lo que se puede obtener la eficiencia promedio a la que están funcionando los grupos electrógenos en las plantas de la organización. Dicha información se observa en la Tabla 27, en donde se destaca que la eficiencia a la que trabajan los generadores varía entre un 36% a un 41%, por lo que las pérdidas de energía son de un 59% a un 64% dependiendo de la planta.

Tabla 27. Balance energía en generadores de la organización. Fuente: Elaboración propia.

Balance energético generadores	Pargua	Castro	Ercilla
Energía total diésel [MWh]	2540,11	1207,44	1820,73
Energía útil [MWh]	917,06	414,96	755,25
Perdidas de energía [MWh]	1623,05	792,48	1065,48
Eficiencia mecánica %	36%	34%	41%

Como se espera utilizar solo el 20% del combustible usado durante el año 2023 con este servicio de gestión de energía, se reducirán las pérdidas de energía en un 80%, debido a que se utilizara la energía eléctrica proveniente de la red, la cual no genera pérdidas de energía atribuibles a la organización, para poder compensar el funcionamiento de los equipos eléctricos que utilizaban la energía eléctrica proveniente de los generadores.

La reducción de consumo de energía se detalla en la Tabla 28 de donde se puede obtener un ahorro energético total de 2.773 [MWh], lo que representa un 2,9% de la energía que consumió la organización durante 2023.

Tabla 28. Reducción de pérdidas energéticas con servicio GDI. Fuente: Elaboración propia.

Perdidas de energía	Pargua	Castro	Ercilla
Perdidas de energía 2023 [MWh]	1623,05	792,48	1065,48
Perdidas de energía con servicio GDI [MWh]	329,89	161,07	216,56
Reducción de perdidas [MWh]	1293,16	631,41	848,92
Ahorro energético organizacional %	1,3%	0,6%	0,9%

b. Análisis económico

Para el análisis económico, es necesario contar tanto con las tarifas y consumos de combustible diésel, como de la energía eléctrica que se consume desde la red.

Para el caso de diésel, el costo de este se considera como 890 \$/L de acuerdo con página web [25] que mantiene estos precios actualizados de manera recurrente y la cantidad de litros de diésel se obtiene de la revisión energética de la presente memoria.

Para el caso de la energía eléctrica, se extrae la información tarifaria que influye en el cálculo económico desde las facturas de energía eléctrica de la organización, la cual se presenta en la Tabla 29. Estas tarifas son iguales para cada planta, esto debido a que mantienen un contrato de suministro eléctrico que incorpora a las tres plantas productivas bajo las mismas condiciones energéticas y además las instalaciones se encuentran localizadas en lugares cercanos entre sí.

Tabla 29. Tarifas de suministro eléctrico. Fuentes: Organización.

Cargos de facturación eléctrica	Tarifa eléctrica	Unidad
Energía suministradora	46,665	\$/kWh
Energía distribuidora	1,865	\$/kWh
Cargos de transmisión	28,499	\$/kWh
Cargo por servicio publico	3,732	\$/kWh
Cargos seguridad sistema eléctrico	10,5	\$/kWh
Certificado IREC	0,463	\$/kWh
Demanda Máxima de Punta	3.618,03	\$/kW
Cargo por compras de potencia	109,158	\$/kW
Potencia HP	7.303,36	\$/kW

Se considera que para suplir la energía que entregan los generadores, la organización utilizara la energía proveniente de la red eléctrica, provocando así costos extra en su facturación eléctrica mensual por cargos que involucren aumento de energía en kWh.

Además, es necesario disponer de los retiros de potencia registrados actualmente sin el servicio propuesto y los proyectados que se obtendrán si se implementa la gestión inteligente de potencia en la organización. El detalle del cálculo para obtener los retiros de potencia proyectado al implementar GDI se entrega en el Anexo 9, mientras que los retiros de potencia actuales son extraídos de la última factura de suministro eléctrico entregada a la organización.

Los resultados de los retiros de potencia se observan en la Tabla 30 con los que se construye una matriz que permite evaluar los costos que supone la contratación del servicio versus los costos que se están pagando en la situación actual de la empresa y que influyen en la implementación del servicio de gestión. El detalle de esta evaluación se encuentra en el Anexo 8.

Tabla 30. Retiros de potencia de la organización en su situación actual y en bajo el supuesto proyectado de contratar el servicio de GDI. Fuente: Elaboración propia.

Plantas	Servicio	Demanda Máxima de Punta [kW]	Cargo por compras de potencia [kW]	Potencia HP [kW]
Pargua	Situación actual	170	15	31
	Con GDI	2.069	1.970	267
Castro	Situación actual	175	110	104
	Con GDI	1.212	1.152	141
Ercilla	Situación actual	132	44	42
	Con GDI	1.682	1.539	219

A modo de resumen, se muestran en la Tabla 31 los costos en los casos implementar el servicio de gestión, los costos por mantenerse en la situación actual y el ahorro anual que se obtendría si se implementa el servicio.

Tabla 31. Resumen de ahorro económico con la implementación de GDI. Fuente: Elaboración propia.

Parámetros/Indicadores económicos	Servicio GDI Pargua	Servicio GDI Castro	Servicio GDI Ercilla
Costo de combustible [\$/L]	890	890	890
Costo anual situación actual [\$]	\$222.562.939	\$117.842.331	\$161.748.488
Costo anual con servicio GDI [\$]	\$243.066.348	\$125.047.698	\$194.421.836
Ahorro anual [\$]	\$-20.503.409	\$-7.205.366	\$-32.673.347

Al analizar los resultados de la Tabla 31, se obtiene como conclusión que si se implementa el servicio dentro de la organización, no se generarían ahorros provocando pérdidas económicas para la empresa.

c. Plan de acción.

En la Tabla 32 se presenta el plan de acción para la implementación del servicio de gestión inteligente en el uso de generadores en periodo punta.

Tabla 32. Plan de acción implementación servicio de gestión inteligente en el uso de generadores en periodo punta. Fuente: Elaboración propia.

Plan de acción						
1. Datos del plan de acción						
Oportunidad de mejora	Responsable	Fecha final de implementación	Objetivo	Meta	Planta	USE
Gestión inteligente en el uso de generadores en periodo punta	Gerencia de producción y operaciones	Pendiente	Mejorar el desempeño energético.	Disminución de al menos 3,7% de consumo energía en la organización	Todas	-
			Mejorar la gestión energética	Implementación de 1 servicio de gestión de energía		
2. Impactos positivos potenciales						
Disminución de pérdidas de energía por uso de generador eléctrico.						
Aprovechamiento de energía sin uso.						
3. Proyección ahorro potencial de energía contribuido a empresa						
2,8% anual						
4. Proyección ahorro potencial contribuido a USE						
N/A						
5. Aspectos legales						
Cumplimiento de contrato de suministro de energía eléctrica.						
6. Principales costos asociados (recursos necesarios)						
HH para desconexión de red eléctrica						
Aumento en cantidad de energía sustituta						
7. Descripción del plan de acción						
Análisis proyección costos por facturación eléctrica						
8. Capacidades necesarias						
Metodología de avisos por empresa externa						
9. Método de verificación de desempeño energético						
Comprobación de IDE [kWh/Ton] y CUSUM de la organización de manera mensual.						
Comprobación de IDE [kWh/Ton] y CUSUM de planta a implementar.						

3.4.4 Análisis y verificación del desempeño energético actual

El año base de estudio fue el 2023, por lo que es necesario verificar si la empresa durante el año siguiente presentó mejoras en cuanto al desempeño energético. La organización en julio 2024 terminó de implementar la oportunidad de cambio de caldera en la planta de Pargua.

Para realizar esta verificación, se complementa la información de las planillas que se encuentran en el Anexo 7 con los datos de consumo de energía y producción que ha registrado la organización durante el año 2024.

Para efectos de esta memoria, solo se verificarán y analizarán los IDE que involucran al sistema de caldera de la planta de Pargua durante el periodo de enero a octubre 2024, esto último debido a que solo se dispone de esta información actualizada de consumos y producción hasta dicha fecha.

En la Figura 50 se observa los gráficos y planilla de control y verificación de los indicadores energéticos de la organización a nivel general, en la cual se puede observar que durante el año 2024 se ha consumido un total de 71.187 MWh de energía. De acuerdo con la proyección de consumo obtenida a partir de la línea base general de la organización, el consumo esperado era de 71.812 MWh, lo que representa un ahorro energético total de 625 MWh hasta la fecha.

El desempeño energético de la organización ha aumentado en un 0,9% con respecto a su consumo de referencia. Sin embargo, durante 2024, se identificaron dos meses con niveles de ineficiencia energética: mayo y junio, en contraste con el año anterior, donde julio también fue un mes con ineficiencias.

Desde julio hasta octubre de 2024, la organización ha acumulado únicamente operaciones que contribuyen a mejorar su desempeño energético. En particular, octubre de 2024 destaca como el mes con el mejor desempeño energético del año, alcanzando un IB100 de 108.

En cuanto a la meta de disminuir en un 3,7% el consumo energético respecto al consumo total de las tres plantas productivas aún es necesario mejorar en al menos un 2,8%. Al finalizar el año, la organización deberá realizar una nueva verificación de los IDE generales, ya que en ese momento se contará con el consumo total del año 2024. Esto permitirá cuantificar con mayor precisión la mejora real en el desempeño y el ahorro energéticos alcanzada durante el año.

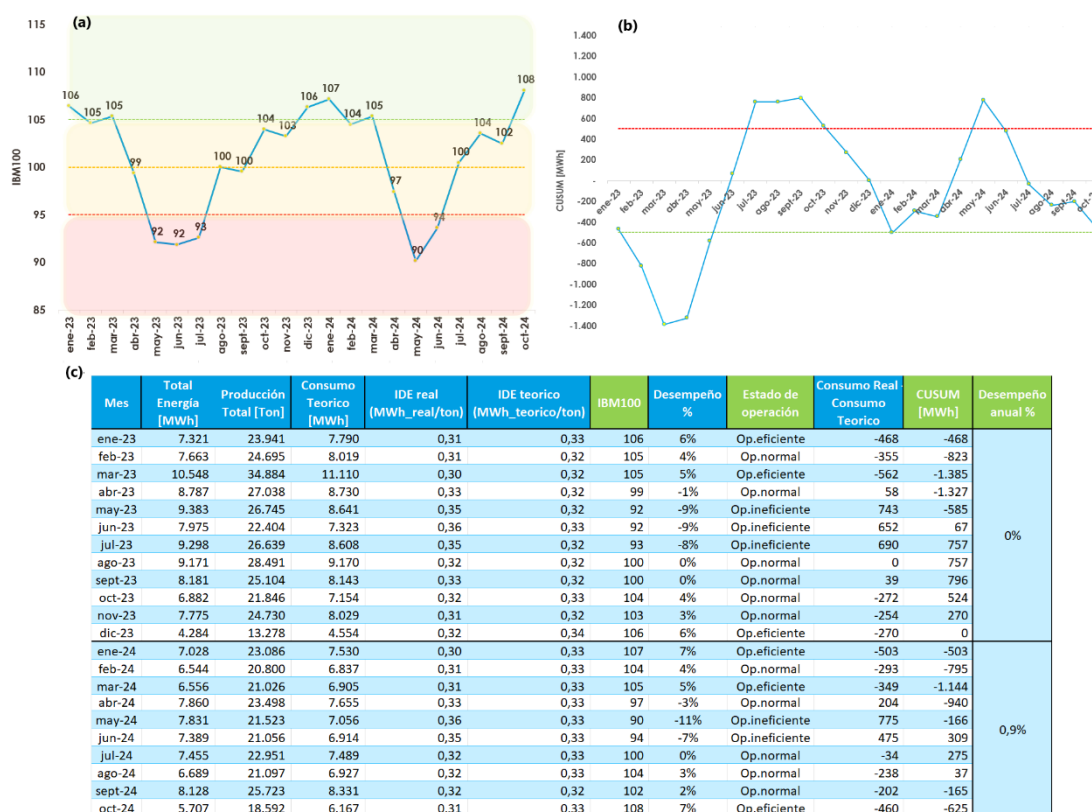


Figura 50. Verificación de IDE del consumo total de energía de la organización. Fuente: Elaboración propia.

La organización en julio 2024 pudo concluir con la implementación y puesta en marcha de la nueva caldera en la planta de Pargua. Observando los resultados de la Figura 51 la cual permiten el control y verificación de los indicadores energéticos de la caldera de Pargua, se ve que se ha logrado una mejora en el desempeño energético de este USE.

Además, se observa que desde julio de 2024 las operaciones energéticas han mantenido un estado de eficiencia, alcanzando su punto máximo en agosto de 2024 con un IB100 de 120. Según el gráfico CUSUM, durante este período se ha superado el límite de eficiencias acumuladas por un amplio margen, logrando en octubre una acumulación de ahorro energético de 935 MWh.

Al analizar los consumos de la caldera de Pargua durante todo el año 2024, se registra una mejora en el desempeño energético del 4,4% para este USE, en comparación con lo proyectado por su modelo base.

En cuanto al desempeño energético promedio, durante el período de julio a octubre de 2023 se registró un promedio del -2%. Sin embargo, para el mismo período en 2024, el promedio ha mejorado significativamente, alcanzando un 11%.



Figura 51. Verificación de IDE del consumo de la caldera de Pargua. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 52 y Figura 53 se encuentran las planillas y gráficos de control y verificación de los indicadores de desempeño para la caldera de Castro y Ercilla respectivamente, de las cuales se destaca que su desempeño energético no se ha visto modificado en comparación a Pargua, esto debido a que en estas plantas durante el año no han tenido ninguna implementación de oportunidad energética, obteniendo así hasta octubre 2024 un ahorro energético de 74 MWh para la planta de Castro representando un aumento en el desempeño energético del 0,8% y 36 MWh para la planta de Ercilla representando un aumento en el desempeño energético del 0,1%.

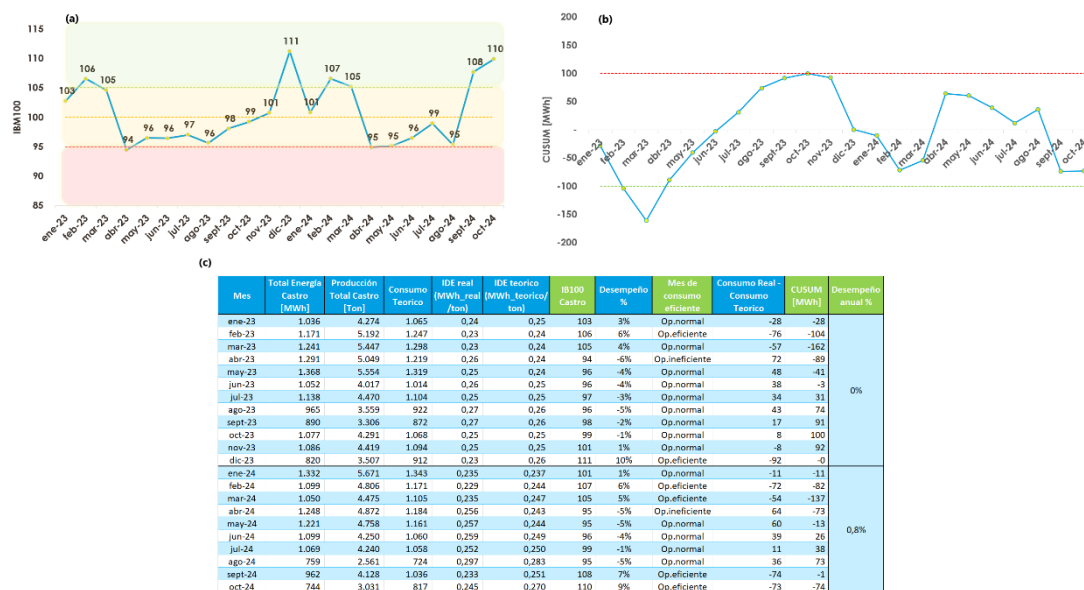


Figura 52. Verificación de IDE del consumo de la caldera de Castro. Fuente: Elaboración propia.

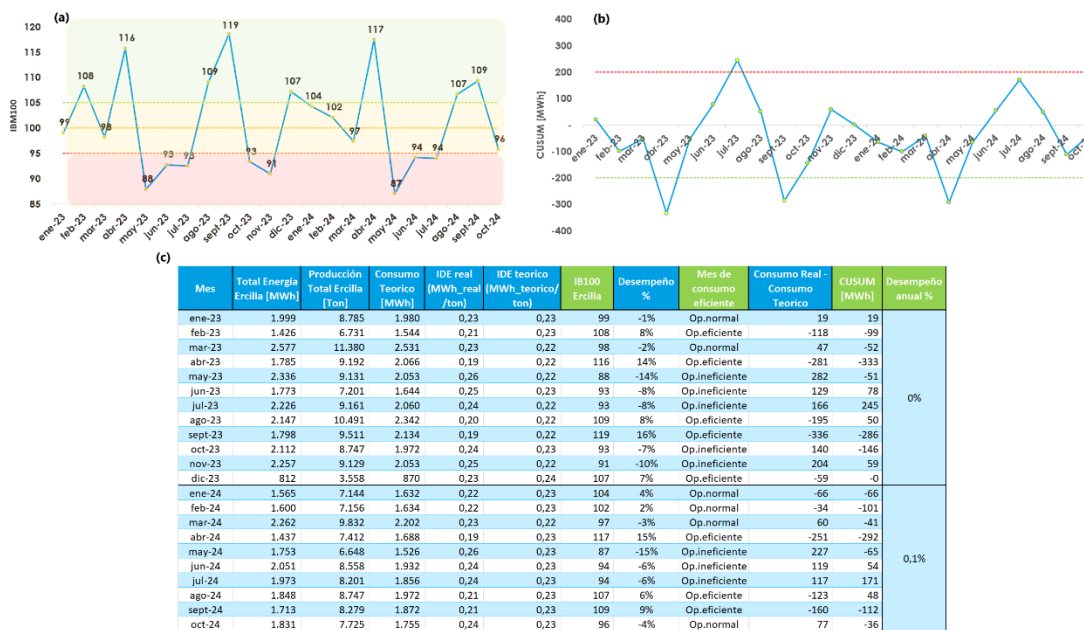


Figura 53. Verificación de IDE del consumo de la caldera de Ercilla. Fuente: Elaboración propia.

El consumo total de energía en las calderas de la organización hasta octubre 2024 es de un total de 49.428 MWh y la proyección teórica de consumo de energía hasta esta fecha es de 50.473 MWh. Esto representa un ahorro energético de 1.045 MWh, equivalente a un aumento en el desempeño energético del 2,1%.

Sin embargo, la meta establecida para el grupo de calderas es lograr un aumento en el desempeño energético del 4,4%. Por lo tanto, aún falta un 2,3% para alcanzar esta meta, lo que requerirá que la organización implemente nuevas oportunidades de mejora energética que permitan cumplir con este objetivo en su totalidad.

Además, es relevante que la organización realice una nueva verificación de los IDE de las calderas al completar un año de consumos con la implementación de la mejora energética. Esto permitirá cuantificar con precisión la mejora en el desempeño energético atribuida a esta oportunidad y comparar los resultados con los consumos proyectados por los modelos de líneas base energéticas.

Como resumen, durante este capítulo se seleccionan tres oportunidades de acuerdo con criterios propuestos por el autor de la memoria, las cuales son el recambio de caldera en la planta de Pargua, implementación de economizadores y gestión inteligente en el uso de generadores en periodo punta. Estas son analizadas a nivel técnico para conocer una proyección de ahorro energético que se obtendrá con la implementación y a nivel económico para saber si la implementación genera ahorros económicos para la organización a lo largo del tiempo.

De los análisis se obtuvo que todas las oportunidades logran ahorrar energía en el caso de que se implementen, destacando la oportunidad de recambio de caldera en la planta de Pargua, ya que esta oportunidad proyecta un ahorro del 8% del consumo que tiene el USE que mayor consumo tiene dentro de la organización, además de presentar un payback de 1,6 años y un VAN de \$917.106.

La empresa en julio 2024 termina de implementar la oportunidad de recambio de caldera, por lo que se analizan los indicadores de desempeño con los consumos de la

organización hasta octubre de 2024, obteniendo como resultado que este USE aumentó el desempeño energético en un 4,4% llegando a acumular un ahorro energético de 935 MWh. Además, se analizan los IDE de los consumos totales de la organización, con lo que se obtiene que este aumento el desempeño energético del 0,9% con una acumulación total de ahorro de 625 MWh.

Debido a estos valores positivos obtenidos del análisis y verificación actual los IDE, es que la organización está en camino de cumplir el objetivo y meta que se propone para la organización en cuanto a la mejora en el desempeño energético para el grupo de calderas de la organización y para el total de la organización.

CONCLUSIONES

Para dar término al presente trabajo de titulación se presenta la conclusión de este, dividiéndose en conclusiones generales, las cuales responden al objetivo general planteado al inicio del documento, y en conclusiones específicas, que dan respuesta a los objetivos específicos. Luego para finalizar entregando recomendaciones o sugerencias finales que se proponen para seguir con la mejora continua de este trabajo.

a. Conclusiones generales

El objetivo principal del trabajo de titulación se cumplió con éxito, al evaluar medidas de eficiencia energética orientadas a incrementar el desempeño energético de la organización objeto de estudio. Este logro se alcanzó mediante la realización de una revisión energética que permitió diagnosticar la situación actual de los consumos energéticos de la empresa, así como la implementación de líneas base e indicadores de desempeño energético (IDE), herramientas fundamentales para evaluar y verificar los ahorros energéticos y económicos derivados de las oportunidades de mejora identificadas.

Todo el desarrollo del trabajo se llevó a cabo en conformidad con los requisitos establecidos por la norma ISO 50001 sobre gestión de la energía, abarcando aquellos aspectos dentro del alcance definido para esta memoria de titulación. Este enfoque metodológico refuerza la solidez del trabajo realizado, al estar fundamentado en lineamientos internacionales reconocidos por su eficacia en la mejora del desempeño energético.

b. Conclusiones específicas

En el siguiente apartado se presentan las conclusiones específicas, las cuales buscan dar respuesta al cumplimiento de los objetivos específicos de este trabajo.

1. Revisión energética

Durante este capítulo se llevó a cabo la revisión energética, la cual consistió en analizar el perfil energético, las fuentes de energía, los procesos y los usos finales de energía de la organización a lo largo de un año de producción de alimentos en el sector de la acuicultura.

Como resultado, se determinó que el consumo energético total de la organización en 2023 fue de 97,27 GWh. Este consumo se distribuye entre tres plantas productivas, siendo Pargua la de mayor consumo energético con el 45,2% del total, seguida por Castro con un 34,5% y Ercilla con un 20,3%.

La organización emplea diversas fuentes de energía, destacando el GLP como la principal, representando el 35,7% del consumo total, seguido por la electricidad (22,2%), Fuel N°6 (19,6%), combustible alternativo líquido (18,6%) y diésel (5,7%).

Cada fuente de energía alimenta diferentes sistemas o equipos dentro de los procesos productivos. Estos se agrupan en cuatro sistemas principales, donde las calderas representan el mayor consumo energético, con un 70,5% del total. Les siguen los equipos que operan con electricidad (22,2%), los generadores (5,7%) y las grúas horquillas junto con los casinos (1,6%).

Se realizó un análisis detallado de estos sistemas principales, identificando los equipos de destino final de la energía y cuantificando su consumo. Se concluyó que los equipos de secado, acondicionado y extrusión son los mayores consumidores de energía, utilizando en conjunto el 80% del total anual.

Finalmente, se identificaron como usos significativos de energía, según el criterio 80/20 del diagrama de Pareto, las calderas de las tres plantas y los equipos eléctricos de la planta de Pargua.

2. Propuestas de IDE y LBE

Se logró desarrollar la propuesta de los indicadores de desempeño energético (IDE) y de la línea base energética (LBE), los cuales permitirán monitorear y verificar el desempeño energético de la organización a lo largo del tiempo.

Se confeccionaron y validaron estadísticamente 10 líneas base energéticas que utilizan como variables independientes los consumos energéticos generales de la empresa, de las tres plantas, de las calderas, y de los sistemas y/o equipos eléctricos. Estas líneas base se relacionan con una variable dependiente clave: la producción mensual de alimento obtenida en las respectivas plantas.

Además, se seleccionaron los meses con mejor desempeño energético mensual en las calderas y los equipos eléctricos. Esto permitió establecer líneas base meta que, al compararse con las líneas base energéticas existentes, proporcionan un valor cuantificable del potencial de ahorro energético asociado a estos equipos principales. Como resultado, se determinó que la organización tiene un potencial general de ahorro energético del 3,7% respecto al consumo total registrado en 2023. En particular, las calderas presentan un potencial de ahorro del 4,4%, mientras que los equipos eléctricos alcanzan un 2,5%, considerando exclusivamente la energía consumida por dichos sistemas.

3. Propuestas de medidas de verificación y control

Durante este capítulo, se lograron formular propuestas para las medidas de verificación y control energético que la organización deberá adoptar con el objetivo de monitorear y optimizar su desempeño energético de manera continua.

Se definieron objetivos y metas cuantificables orientados a mejorar tanto el desempeño como la gestión energética de la organización. Adicionalmente, se establecieron directrices fundamentadas en el monitoreo sistemático de los indicadores de desempeño energético propuestos, con el fin de verificar el cumplimiento de las metas planteadas.

Además, se desarrolló una plantilla estandarizada para registrar y analizar los consumos energéticos de la organización. Esta herramienta está diseñada para proporcionar un seguimiento continuo y sistemático de los indicadores de desempeño energético, generando reportes mensuales que facilitan la evaluación de los consumos y respaldan la toma de decisiones en la gestión energética.

4. Propuestas y análisis de mejoras energéticas

Como conclusión, durante este capítulo se seleccionaron tres oportunidades de mejora de acuerdo con los criterios definidos por el autor de la memoria: el recambio de caldera en la planta de Pargua, la implementación de economizadores y la gestión inteligente del uso de generadores durante los periodos punta. Estas oportunidades fueron analizadas técnica y económicamente para proyectar tanto los ahorros energéticos asociados a su implementación como su viabilidad económica a largo plazo.

Del análisis realizado, se concluyó que todas las oportunidades propuestas generan un ahorro energético significativo si se implementan. En particular, destaca el recambio de caldera en la planta de Pargua, que proyecta un ahorro del 8% en el consumo de este equipo catalogado como uso significativo de energía y que representa la demanda energética dentro de la organización. Además, presenta un payback de 1,6 años y un valor actual neto (VAN) de \$917.106, lo que refuerza su viabilidad económica.

En julio de 2024, la empresa finalizó la implementación del recambio de caldera, y se analizaron los indicadores de desempeño energético (IDE) con los consumos registrados hasta octubre de 2024. Este análisis reveló que el desempeño energético del USE correspondiente aumentó en un 4,4%, acumulando un ahorro de 935 MWh. Asimismo, el análisis de los IDE de los consumos totales de la organización mostró un incremento en el desempeño energético del 0,9%, con un ahorro acumulado de 625 MWh.

Estos resultados positivos, basados en el análisis y la verificación de los IDE, confirman que la organización avanza en el cumplimiento de los objetivos y metas propuestas para mejorar el desempeño energético, tanto para el grupo de calderas como a nivel global dentro de la organización.

c. Recomendaciones

En el siguiente apartado se presentan recomendaciones y sugerencias dirigidas tanto a la organización como a futuros memoristas, con respecto a aspectos no abordados en el presente trabajo de titulación debido a limitaciones en los objetivos planteados inicialmente o a la imposibilidad de tratarlos en profundidad durante el desarrollo de este trabajo.

1. Abordar aspectos adicionales de la norma ISO 50001: se recomienda trabajar en los elementos de la norma que quedaron fuera del alcance de esta memoria, poniendo especial énfasis en la identificación de las partes interesadas, el establecimiento del alcance del sistema, los requisitos y compromisos de la alta dirección, la formulación de una política energética, y la asignación de recursos necesarios. Asimismo, resulta fundamental profundizar en la comunicación, el diseño y la adquisición de procesos, equipos y servicios asociados a los usos significativos de energía, así como en la implementación de medidas de mejora continua. La incorporación de estos elementos permitirá a la organización cumplir con todos los requisitos de la ISO 50001, sentando las bases para una futura certificación.
2. Revisión energética más precisa: se sugiere realizar un estudio detallado para determinar con mayor exactitud el consumo energético de los equipos asociados a los usos finales de energía. Esto es particularmente relevante dado que, no se midieron los consumos energéticos de todos los equipos, debiéndose estimar estos en base a especificaciones técnicas o información aproximada proporcionada por el personal de la empresa mediante encuestas en reuniones recurrentes.
3. Verificación de ahorros energéticos: es recomendable recalcular los indicadores de desempeño energético y verificar los ahorros asociados a la implementación de la nueva caldera en la planta de Pargua, considerando un período mínimo de datos de doce meses posteriores a la puesta en marcha del proyecto. Esto permitirá obtener resultados más representativos, ya que el

análisis realizado en esta memoria se basó en mediciones de solo cuatro meses.

4. Redefinición de los USE: en caso de que la organización implemente medidores de energía en los usos finales propuestos y registre datos, se sugiere redefinir los usos significativos de energía para reflejar con mayor precisión las áreas de mayor consumo y priorizar estrategias de eficiencia.
5. Análisis de sensibilidad económica: para futuras oportunidades de mejora energética, se recomienda realizar análisis de sensibilidad económica considerando diferentes parámetros. Esto permitirá identificar los escenarios en los que las oportunidades puedan ser más o menos rentables según indicadores económicos.
6. Evaluación de oportunidades no seleccionadas: se propone realizar un análisis técnico y económico de las oportunidades de mejora energética que no fueron seleccionadas en este trabajo, con el fin de cuantificar su potencial de ahorro energético y evaluar su viabilidad económica.
7. Incorporación de variables adicionales en las líneas base energéticas: se recomienda integrar variables adicionales en los modelos de líneas base energéticas, tales como variables operativas, climáticas y ocupacionales, entre otras. La inclusión de estas variables, en el caso de una buena elección, permitirá fortalecer los modelos estadísticamente y mejorar su robustez para reflejar con mayor precisión las proyecciones de consumo energético.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ministerio de energía, «Ley 21305 Sobre eficiencia energética,» 13 febrero 2021. [En línea]. Available: <https://bcn.cl/2nn0s>.
- [2] The Energy Institute, «Statistical Review of World Energy,» 2024.
- [3] The Energy Institute, «Statistical Review of World Energy,» 2023.
- [4] Naciones Unidas, «¿Qué es el Acuerdo de París?,» [En línea]. Available: <https://unfccc.int/es/most-requested/que-es-el-acuerdo-de-paris>. [Último acceso: junio 2024].
- [5] Naciones Unidas, «Diálogo técnico del primer balance mundial - Informe de síntesis de los cofacilitadores del diálogo técnico,» Emiratos Árabes Unidos, 2023.
- [6] Visalia, «Innovaciones tecnológicas en el sector energético,» 7 mayo 2024. [En línea]. Available: <https://visalia.com.es/innovaciones-tecnologicas-en-el-sector-energetico/>. [Último acceso: junio 2024].
- [7] Enel X, «¿Qué es la eficiencia energética?,» [En línea]. Available: <https://corporate.enelx.com/es/question-and-answers/what-is-energy-efficiency>. [Último acceso: junio 2024].
- [8] Coordinador Eléctrico Nacional, «Reporte de sustentabilidad 2023,» 2024.
- [9] Aenor Internacional S.A.U, Sistemas de gestión de la energía Requisitos con orientación para su uso (ISO 50001:2018), Madrid, 2018.
- [10] J. L. Otero, «Qué es la eficiencia energética en la industria: ejemplos y medidas para mejorarla,» Cuerva, 25 enero 2024. [En línea]. Available: <https://cuervaenergia.com/es/comunidad/sostenibilidad/que-es-eficiencia-energetica->

industria/#:~:text=La%20eficiencia%20energ%C3%A9tica%20en%20la%20industria%20consiste%20en%20utilizar%20la,la%20calidad%20del%20servicio%20ofrecido.. [Último acceso: mayo 2024].

- [11] Ministerio de energía, «Fija listado de consumidores con capacidad de gestión de energía correspondiente al proceso de reporte de consumos energéticos del año 2022,» *Diario oficial*, 2 marzo 2023.
- [12] Ministerio de Energía, «Plan nacional de eficiencia energética 2022-2026,» Santiago, 2022.
- [13] Ministerio de energía, «Aprueba reglamento sobre gestión energética de los consumidores con capacidad de gestión de energía y de los organismos públicos, a que se refieren los artículos 2° y 5° de la ley N°21.305,» *Diario Oficial*, 22 junio 2021.
- [14] Organización Internacional de Normalización, «Sobre nosotros,» [En línea]. Available: <https://www.iso.org/es/sobre>. [Último acceso: mayo 2024].
- [15] Agencia de sostenibilidad energética, «Guía de Implementación de Sistemas de Gestión de Energía basados en ISO50001:2018,» Santiago, 2022.
- [16] Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (giz), «Guía técnica para la implementación de Sistemas de Gestión de la Energía en el marco de una Red de Aprendizaje,» Ciudad de México, 2017.
- [17] BioMar, «Procesos Biomar Chile,» 2024.
- [18] Caterpillar, «Grupos electrógenos marinos C32 Tier 4 / IMO III,» CAT, 2024. [En línea]. Available: https://www.cat.com/es_ES/products/new/power-systems/marine-power-systems/marine-generator-sets/1000032965.html. [Último acceso: Julio 2024].
- [19] Universidad nacional Feredico Villarreal, «Distribución "T" de estudent,»

2013.

- [20] PTH grupo ambiental, *MODELO de ECONOMÍA CIRCULAR*.
- [21] Bono Energía S.p.A, «Calderas de vapor pirotubulares,» Cannon Bono Energia.
- [22] A. F. F. L. G. C. M. G. S. Marco Camponeschi, «Winter thermal multi-objective optimization: a,» p. 3, 4 Julio 2015.
- [23] A. O. Behn, «Economizadores».
- [24] Universidad de sonora, «Gases de combustión».
- [25] Precio Bencina, «Precio Bencina,» [En línea]. Available: <https://preciobencina.cl/bencineras-en-region-de-los-lagos.php>. [Último acceso: 11 2024].
- [26] ERSI, «¿Qué es una puntuación z? ¿Qué es un valor P?,» [En línea]. Available: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/what-is-a-z-score-what-is-a-p-value.htm>. [Último acceso: julio 2024].

ANEXOS

Anexo 1. Norma ISO 50001 – Requisitos a tratar

Planificación:

Objetivos, metas energéticas y la planificación para lograrlos

La organización debe establecer objetivos en las funciones y los niveles pertinentes.

La organización debe establecer metas energéticas.

Los objetivos y las metas energéticas deben:

- a) Ser coherentes con la política energética;
- b) Ser medibles (si es factible);
- c) Tener en cuenta los requisitos aplicables;
- d) Considerar los USE;
- e) Considerar las oportunidades para mejorar el desempeño energético;
- f) Ser objeto de seguimiento;
- g) Comunicarse;
- h) Actualizarse según sea apropiado.

La organización debe conservar información documentada sobre los objetivos y las metas energéticas.

Al planificar la manera de alcanzar sus objetivos y sus metas energéticas, la organización debe establecer y mantener planes de acciones que incluyan: lo qué se hará; los recursos que se requerirán; las personas que serán responsables; cuándo se completará; la manera en que se evaluarán los resultados, incluyendo los métodos usados para verificar la mejora del desempeño energético.

Revisión energética

La organización debe desarrollar y llevar a cabo una revisión energética.

Para desarrollar la revisión energética, la organización debe:

a) Analizar el uso de la energía y el consumo de energía basados mediciones y otros datos, por ejemplo:

1. Identificar los tipos de presentes de energía;
2. Evaluar los usos y el consumo pasado y presente de energía;

b) Basándose en el análisis, identificar los USE;

c) Para cada USE:

1. Determinar las variables pertinentes;
2. Determinar el desempeño energético actual;
3. Identificar las personas que trabajan bajo su control que influyen o afectan a los USE;

d) Determinar y priorizar las oportunidades para mejorar el desempeño energético;

e) Estimar los usos y consumos de energía en el futuro.

La revisión energética se debe actualizar a intervalos definidos, así como en respuesta a cambios importantes en las instalaciones, los equipo, los sistemas o los procesos que utilizan energía.

La organización debe mantener actualizada como información documentada los métodos y los criterios utilizados para llevar a cabo la revisión energética, y debe conservar información documentada de sus resultados.

Indicadores de desempeño energético

La organización debe determinar IDE que:

- a) Sean apropiados para medir y hacer el seguimiento de su desempeño energético;
- b) permitan a la organización demostrar la mejora del desempeño energético.

El método para determinar y actualizar los IDE debe mantenerse actualizado como información documentada. Cuando la organización tiene datos que indican que

variables pertinentes afectan significativamente al desempeño energético, la organización debe considerar dichos datos para establecer los IDE apropiados.

Los valores de los IDE deben revisarse y compararse con sus respectivas LBE, según sea apropiado. La organización debe conservar información documentada de los valores de las LBE.

Línea de base energética

La organización debe establecer una o unas LBE utilizando la información de las revisiones energéticas, teniendo en cuenta un período de tiempo adecuado.

Cuando la organización tiene datos que indican que las variables pertinentes afectan significativamente al desempeño energético, la organización debe llevar a cabo una normalización de los valores de los IDE y de las LBE correspondientes.

Las LBE deben revisarse en caso de uno o más de los siguientes puntos:

- a) Los IDE ya no reflejan el desempeño energético de la organización;
- b) Ha habido cambios drásticos en los factores estáticos;
- c) De acuerdo con un método predeterminado.

La organización debe conservar la información sobre las LBE, sobre los datos de las variables pertinentes y sobre las modificaciones a las LBE como información documentada.

Seguimiento, medición, análisis y evaluación del desempeño energético y del SGE

La organización debe determinar para el desempeño energético y para el SGE:

- a) de qué necesario hacer el seguimiento y la medición, incluyendo como mínimo, las siguientes características clave:
 - 1) La eficacia de los planes de acción para alcanzar los objetivos y las metas energéticas;
 - 2) Los IDE;

- 3) La operación de los USE;
- 4) El consumo de energía real versus el consumo esperado;
- b) Los métodos de seguimiento, medición, análisis y evaluación, según corresponda, para asegurar resultados válidos;
- c) Cuándo se deben realizar el seguimiento y la medición;
- d) Cuándo se deben analizar y evaluar los resultados del seguimiento y la medición.

La organización debe evaluar su desempeño energético y la eficacia del SGE.

La mejora en el desempeño energético se debe evaluar comparando los valores de los IDE con respecto a las correspondientes LBE.

La organización debe investigar y responder a las desviaciones significativas en el desempeño energético. La organización debe conservar la información documentada sobre los resultados de la investigación y la respuesta.

La organización debe conservar la información documentada sobre el seguimiento y las mediciones.

Anexo 2: FODA organización.

Tabla 33. FODA - características internas. Fuente: Organización.

CUESTIONES INTERNAS	
Fortalezas	Debilidades
Existencia de objetivos de reducción de la huella de carbono	Baja competencia y cultura de la gestión de la energía
Recambio de combustibles fósiles de alto impacto ambiental por combustibles más limpios	Baja madurez de la tecnología existente
Adquisición de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables	Falta de capacitación en personal directo relacionado a la operación de los principales equipos consumidores de energía
Planes de mantenimiento anual para plantas y plan a largo plazo para el recambio de equipos	Poca cercanía de personal de soporte a los equipos de generación
Existencia de equipos de respaldo ante cortes de suministro	Cambios en formulación de las recetas que impacten en el factor energético
Sistema de medición de energía en línea (Pargua)	

Tabla 34. FODA - características externas. Fuente: Organización.

CUESTIONES EXTERNAS	
Oportunidades	Amenazas
Nuevo marco normativo relacionado a la eficiencia energética	Mal tiempo climático, bajas temperaturas y constantes temporales.
Nuevos requisitos de clientes relacionados con eficiencia energética y sostenibilidad	Desabastecimiento producto de paros y/o conflictos sociales
Innovación tecnológica para mejorar la eficiencia, bajo impacto de los recursos energéticos	Alzas en costo por escasez de combustible debido a conflictos externos (guerras, conflictos políticos, emergencias sanitarias)
Creación de parámetros productivos incorporando el enfoque de eficiencia energética.	Mortandad de peces (por aumento de temperatura, enfermedades), disminuye producción afectando a los IDE
	Baja disponibilidad de fuentes de energía renovable
	Ubicación geográfica (Castro)
	Quiebre de stock en insumos de materia prima para producción

Anexo 3. Consumos de energéticos 2023

Tabla 35. Consumos de energía por fuente de energía planta Pargua 2023. Fuente: Organización.

Pargua					
Mes	Electricidad red [MWh]	Diesel [MWh]	GLP [MWh]	Total [MWh]	Total [Tcal]
ene-23	724	-	2.261	2.985	2,57
feb-23	909	-	2.923	3.832	3,30
mar-23	1.215	-	3.879	5.094	4,38
abr-23	720	341	2.960	4.021	3,46
may-23	687	454	2.800	3.941	3,39
jun-23	661	354	2.718	3.734	3,21
jul-23	731	394	3.119	4.243	3,65
ago-23	743	426	3.339	4.508	3,88
sept-23	614	571	2.861	4.047	3,48
oct-23	628	-	1.814	2.442	2,10
nov-23	705	-	2.494	3.198	2,75
dic-23	485	-	1.428	1.914	1,65

Tabla 36. Consumos de energía por fuente de energía planta Castro 2023. Fuente: Organización.

Castro						
Mes	Electricidad red [MWh]	GLP [kWh]	Diesel [MWh]	Fuel N°6 [MWh]	CAL [MWh]	Total [Tcal]
ene-23	452	21	-	1.036	-	1,30
feb-23	540	50	-	1.171	-	1,52
mar-23	567	29	-	1.241	-	1,58
abr-23	427	45	264	-	1.291	1,74
may-23	449	58	265	-	1.368	1,84
jun-23	348	23	212	-	1.052	1,41
jul-23	357	39	202	-	1.138	1,49
ago-23	361	24	141	-	965	1,28
sept-23	311	25	123	-	890	1,16
oct-23	419	44	-	-	1.077	1,32
nov-23	429	24	-	-	1.086	1,32
dic-23	346	24	-	-	820	1,02

Tabla 37. Consumos de energía por fuente de energía planta Ercilla 2023. Fuente: Organización.

Ercilla						
Mes	Electricidad red [MWh]	GLP [MWh]	Diesel [MWh]	Fuel N°6 [MWh]	CAL [MWh]	Total [Tcal]
ene-23	768	114	-	1.945	-	2,43
feb-23	582	122	-	1.366	-	1,78
mar-23	957	177	-	2.482	-	3,11
abr-23	649	147	245	1.699	-	2,36
may-23	637	179	245	2.241	-	2,84
jun-23	550	160	231	1.665	-	2,24
jul-23	617	123	416	2.163	-	2,86
ago-23	604	161	350	2.057	-	2,73
sept-23	594	138	334	-	1.719	2,40
oct-23	733	134	-	-	2.034	2,50
nov-23	724	145	-	-	2.169	2,61
dic-23	334	76	-	-	770	1,02

Anexo 4. Usos de energía eléctrica

Tabla 38. Proyección de consumo eléctrico en equipos de la planta de Pargua. Fuente: Elaboración Propia.

Planta Pargua - Energía eléctrica			
Equipo/sistema	Tipo de registro	Promedio consumo por hora [kWh]	Porcentaje de incidencia al consumo total
Secador	Medición terreno	63	6%
Ventilador enfriador	Medición terreno	50	5%
Ventilador secador	Estimación segun especificación	50	5%
Extrusor	Estimación segun especificación	391	36%
Acondicionador	Estimación segun especificación	37	3%
Calefacción	Estimación segun especificación	30	3%
Molienda	Estimación segun especificación	175	16%
Recepción hora prima	Estimación segun especificación	13	1%
Aceitado	Estimación segun especificación	44	4%
Iluminación	Estimación personal empresa	53	5%
mezclado	Estimación segun especificación	15	1%

Tabla 39. Proyección de consumo eléctrico en equipos de la planta de Castro. Fuente: Elaboración Propia.

Planta Castro - Energía eléctrica			
Equipo/sistema	Tipo de registro	Promedio consumo por hora [kWh]	Porcentaje de incidencia al consumo total
Dosificado	Medición terreno	11	2%
molienda	Medición terreno	102	15%
extrusor	Medición terreno	213	31%
Sala medicados	Medición terreno	52	7%
Ventilador secador	Medición terreno	77	11%
Recepción materia prima	Estimación segun especificación	13	2%
Tamizado	Estimación segun especificación	2	0,3%
Bomba aceite	Estimación segun especificación	24	3%
Ventilador Enfriador	Estimación segun especificación	72	10%
Iluminación	Estimación personal empresa	34	5%

Tabla 40. Proyección de consumo eléctrico en equipos de la planta de Ercilla. Fuente: Elaboración Propia.

Planta Ercilla - Energía eléctrica			
Equipo/sistema	Tipo de registro	Promedio consumo por hora [kWh]	Porcentaje de incidencia al consumo total
Biofiltro	Medición terreno	61	5%
Secador	Medición terreno	30	3%
Extrusor	Medición terreno	352	32%
molienda	Medición terreno	136	12%
Recepción materia prima	Estimación segun especificación	13	1%
mezclado	Estimación segun especificación	20	2%
Tamizado	Estimación segun especificación	2	0,2%
Aceitado	Estimación segun especificación	44	4%
Ventilador Enfriador	Estimación segun especificación	75	7%
Ventilador secador	Estimación segun especificación	75	7%
Iluminación	Estimación personal empresa	53	5%

Anexo 5. Datos de producción de alimentos 2023

Tabla 41. Producción de alimento 2023 por plantas de la organización. Fuente: Organización.

Mes	Producción Total Pargua [Ton]	Producción Total Ercilla [Ton]	Producción Total Castro [Ton]
ene-23	10.882	8.785	4.274
feb-23	12.772	6.731	5.192
mar-23	18.057	11.380	5.447
abr-23	12.797	9.192	5.049
may-23	12.060	9.131	5.554
jun-23	11.186	7.201	4.017
jul-23	13.008	9.161	4.470
ago-23	14.441	10.491	3.559
sep-23	12.287	9.511	3.306
oct-23	8.808	8.747	4.291
nov-23	11.182	9.129	4.419
dic-23	6.213	3.558	3.507

Anexo 6. Línea Base Meta

Tabla 42. Mejores operaciones 2023 Pargua. (a) Caldera. (b) Grupo de equipos eléctricos. Fuente: Organización.

(a) Pargua - Mejores operaciones	
Total Energía Pargua [MWhe]	Producción Total Pargua [Ton]
2.231	10.882
2.888	12.772
3.814	18.057
2.918	12.797
1.788	8.808
2.449	11.182
1.405	6.213

(b) Pargua - Mejores operadones	
Total Energía Pargua [MWhe]	Producción Total Pargua [Ton]
724	10.882
875	12.797
826	12.060
770	11.186
887	13.008
895	14.441
819	12.287
628	8.808
705	11.182

Tabla 43. Mejores operaciones 2023 Castro. (a) Caldera. (b) Grupo de equipos eléctricos. Fuente: Organización.

(a) Castro - Mejores operaciones	
Total Energía Castro [MWhe]	Producción Total Castro [Ton]
1.036	4.274
1.171	5.192
1.241	5.447
890	3.306
1.077	4.291
1.086	4.419
820	3.507

(b) Castro - Mejores operaciones	
Total Energía Castro [MWhe]	Producción Total Castro [Ton]
517	5.049
544	5.554
425	4.470
351	3.306
419	4.291
429	4.419
346	3.507

Tabla 44. Mejores operaciones 2023 Ercilla. (a) Caldera. (b) Grupo de equipos eléctricos. Fuente: Organización.

(a) Ercilla - Mejores operaciones	
Total Energía Ercilla [MWhe]	Producción Total Ercilla [Ton]
1.999	8.785
1.426	6.731
2.577	11.380
1.785	9.192
2.147	10.491
1.798	9.511
812	3.558

(b) Ercilla - Mejores operaciones	
Total Energía Ercilla [MWhe]	Producción Total Ercilla [Ton]
582	6.731
753	9.131
745	9.161
743	10.491
727	9.511
733	8.747
724	9.129
334	3.558

Anexo 7. IDE y LBE

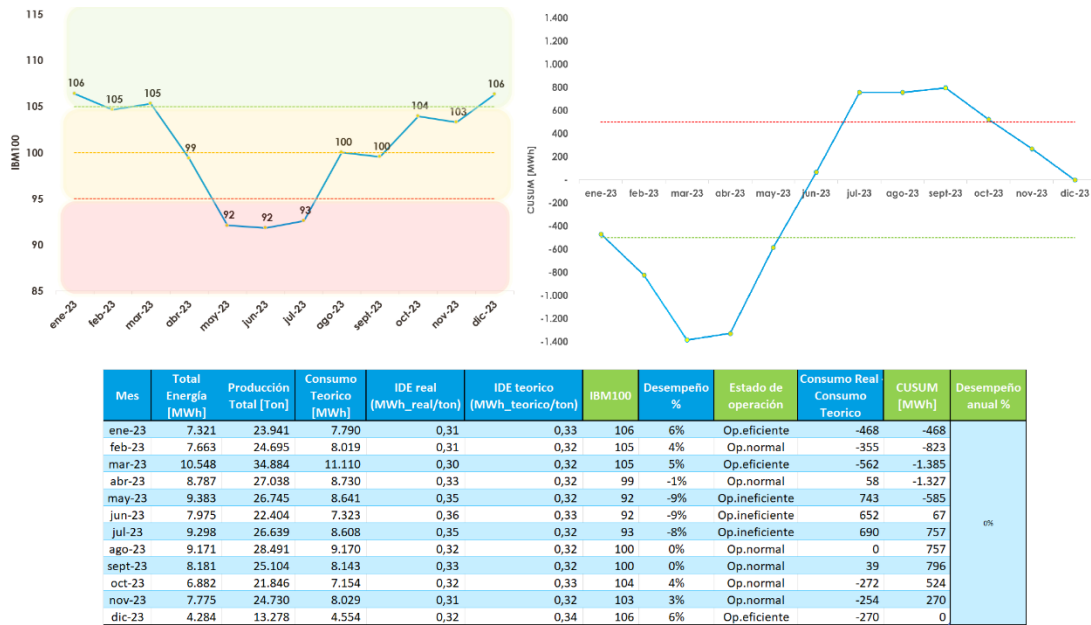


Figura 54. IDE y LBE consumos de energía totales de la organización. Fuente: Elaboración Propia.

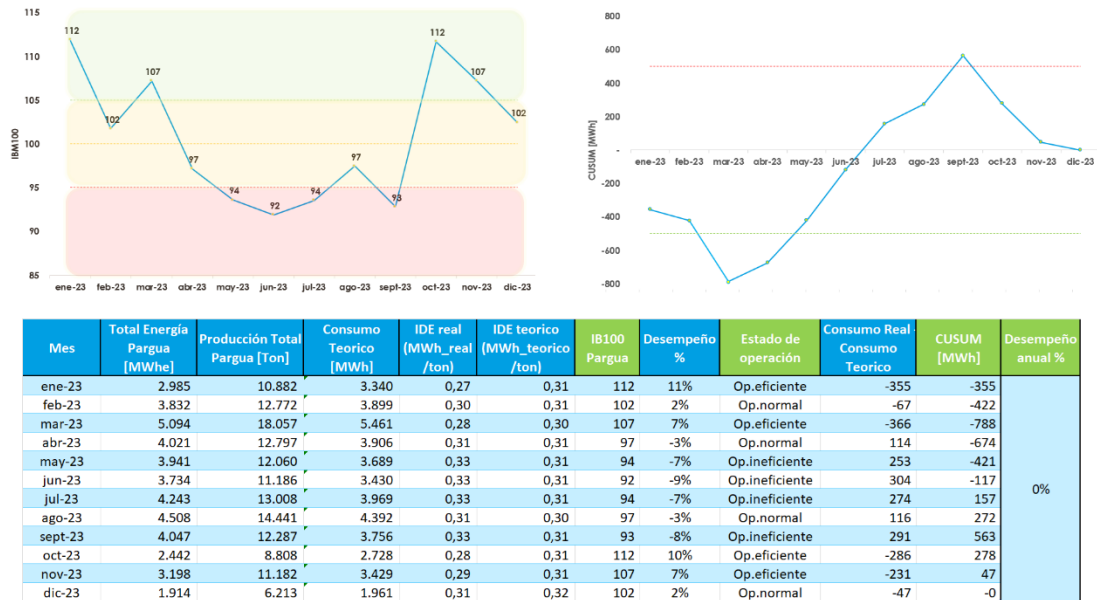


Figura 55. IDE y LBE consumos de energía totales de la planta de Parga. Fuente: Elaboración Propia.



Figura 56. IDE y LBE consumos de energía totales de la planta de Castro. Fuente: Elaboración Propia.

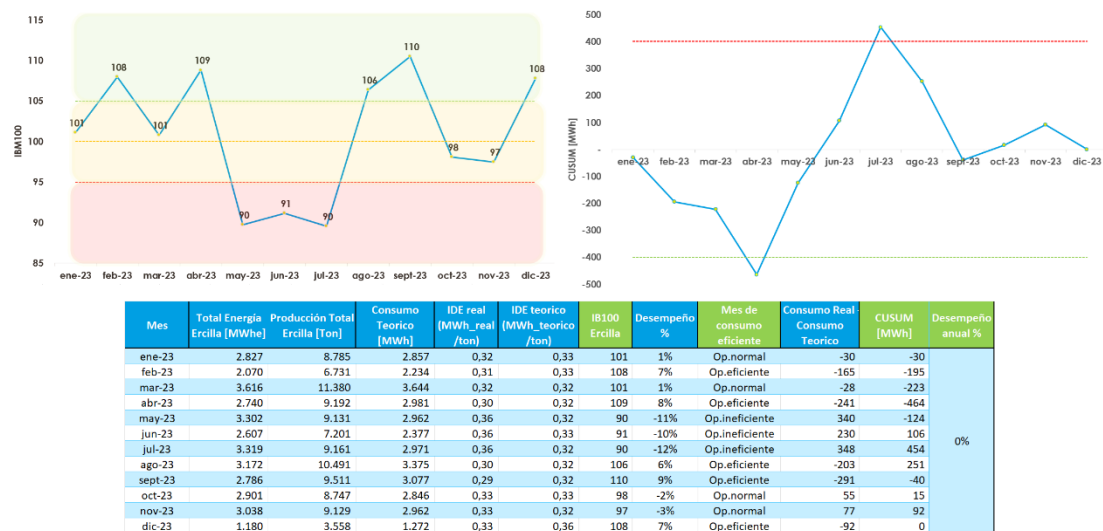


Figura 57. IDE y LBE consumos de energía totales de la planta de Ercilla. Fuente: Elaboración Propia.

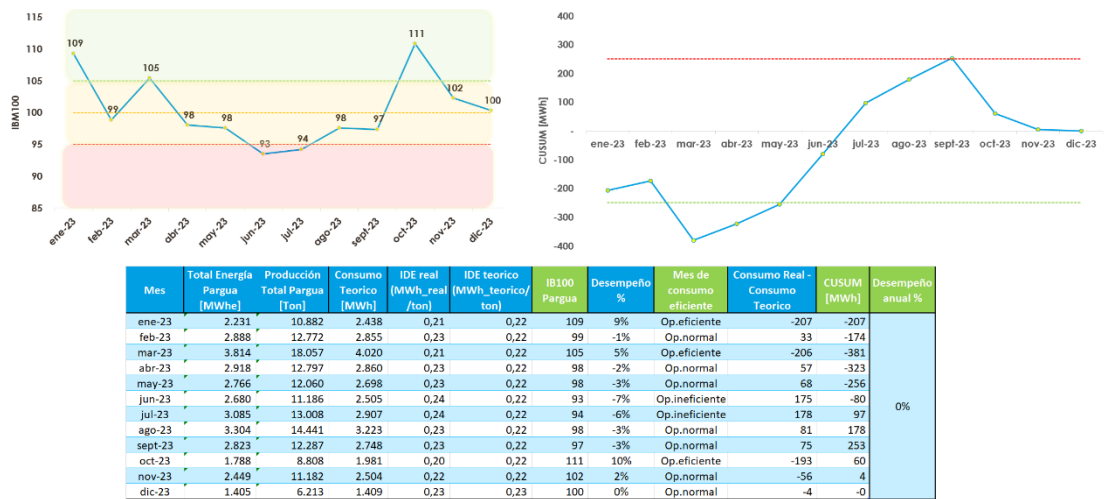


Figura 58. IDE y LBE consumos de energía caldera de la planta de Pargua. Fuente: Elaboración Propia.

Caldera Castro

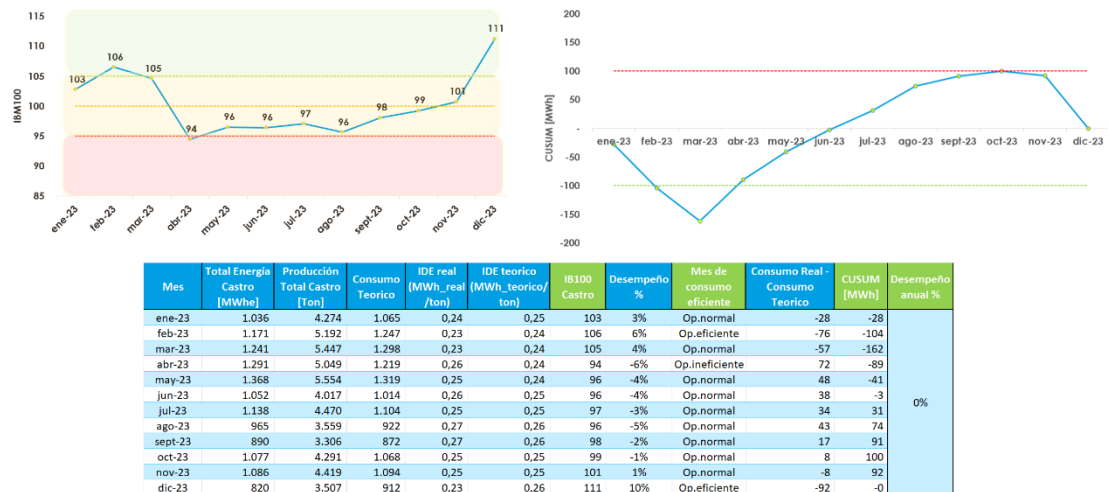


Figura 59. IDE y LBE consumos de energía caldera de la planta de Castro. Fuente: Elaboración Propia.

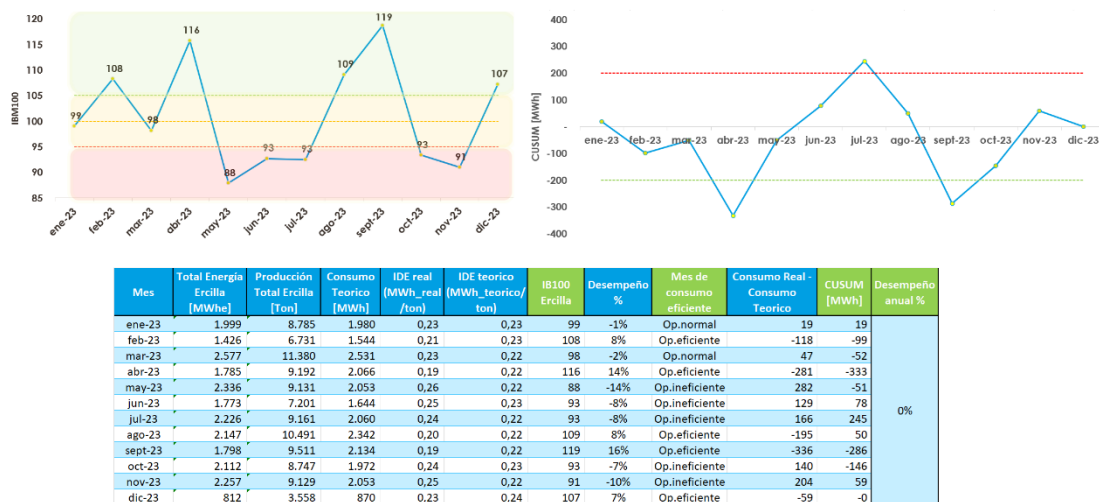


Figura 60. IDE y LBE consumos de energía caldera de la planta de Ercilla. Fuente: Elaboración Propia.

Grupo de equipos eléctricos Pargua

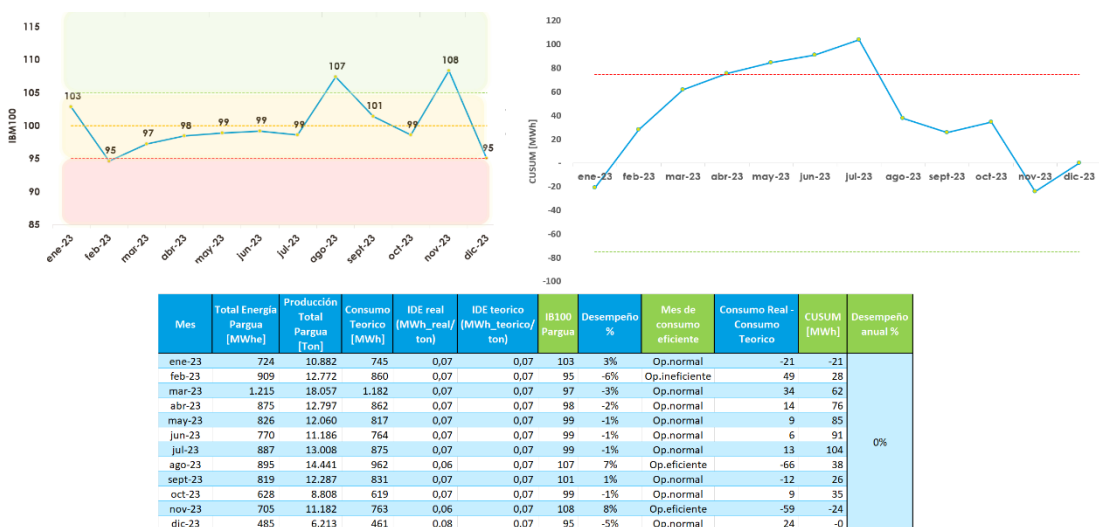


Figura 61. IDE y LBE consumos de energía grupo de equipos eléctricos de la planta de Pargua. Fuente: Elaboración Propia.

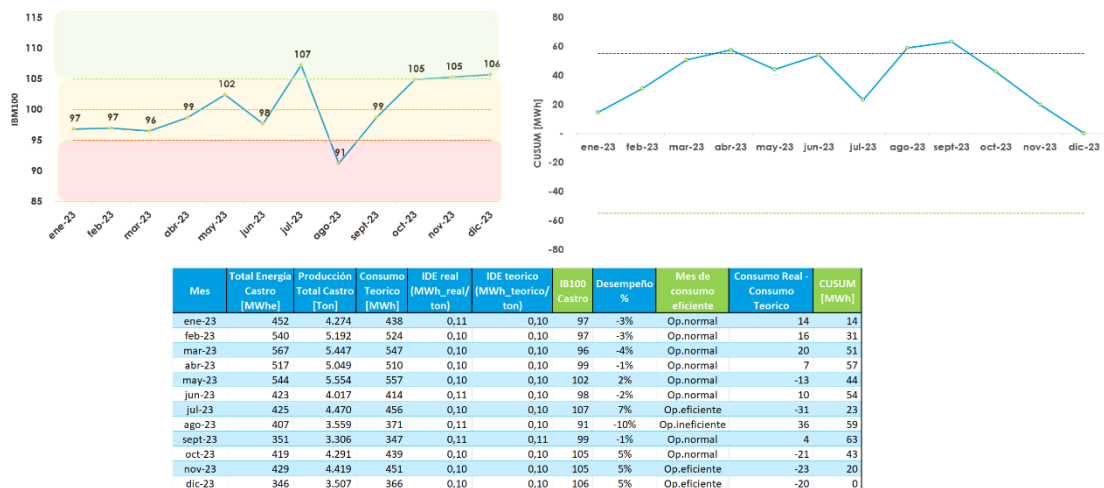


Figura 62. IDE y LBE consumos de energía grupo de equipos eléctricos de la planta de Castro. Fuente: Elaboración Propia.

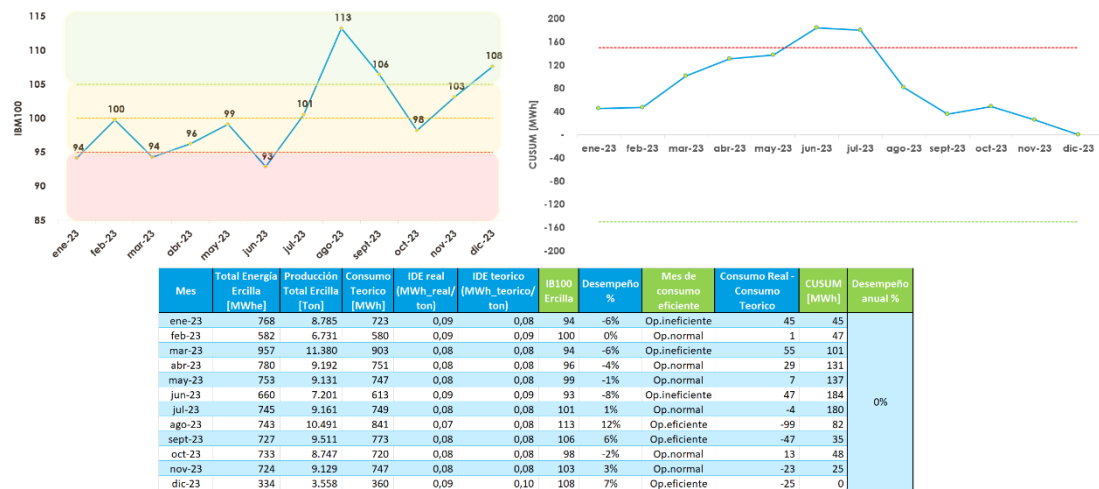


Figura 63. IDE y LBE consumos de energía grupo de equipos eléctricos de la planta de Ercilla. Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 8. Detalle de análisis económicos de oportunidades de mejoras energéticas.

Tabla 45. Flujo de caja de recambio de caldera en planta de Pargua. Fuente: Elaboración propia.

Flujo de caja - Recambio de caldera en planta de Pargua													
		Interés %	9%	104%	104%	104%	104%	104%	104%	104%	104%	104%	104%
		Inflación %	104%	108%	112%	117%	122%	127%	132%	137%	142%	148%	154%
Horizonte de 10 años		Inflación Acumulada	%										
		Año	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Inversión	Costo caldera	USD	-USD 200.000	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0
	Costo mano de obra	USD	-USD 40.000										
	Costos por montaje e instalación	USD	-USD 96.000										
	TOTAL	USD	-USD 336.000										
Costos	GLP	USD	USD 0	-USD 3.419.838	-USD 3.556.631	-USD 3.698.897	-USD 3.846.853	-USD 4.000.727	-USD 4.160.756	-USD 4.327.186	-USD 4.500.273	-USD 4.680.284	-USD 4.867.496
	TOTAL	USD	USD 0	-USD 3.419.838	-USD 3.556.631	-USD 3.698.897	-USD 3.846.853	-USD 4.000.727	-USD 4.160.756	-USD 4.327.186	-USD 4.500.273	-USD 4.680.284	-USD 4.867.496
Ahorros	GLP	USD	USD 0	USD 273.587	USD 284.531	USD 295.912	USD 307.748	USD 320.058	USD 332.860	USD 346.175	USD 360.022	USD 374.423	USD 389.400
	TOTAL	USD	USD 0	USD 273.587	USD 284.531	USD 295.912	USD 307.748	USD 320.058	USD 332.860	USD 346.175	USD 360.022	USD 374.423	USD 389.400
Costos operacionales	Mantenimiento	USD	USD 0	-USD 12.000	-USD 12.000	-USD 12.000	-USD 12.000	-USD 12.000	-USD 12.000	-USD 12.000	-USD 12.000	-USD 12.000	-USD 12.000
	TOTAL	USD	USD 0	-USD 12.000	-USD 12.000	-USD 12.000	-USD 12.000	-USD 12.000	-USD 12.000	-USD 12.000	-USD 12.000	-USD 12.000	-USD 12.000
Depreciación	Caldera (15 años)	USD	USD 0	-USD 22.400	-USD 22.400	-USD 22.400	-USD 22.400	-USD 22.400	-USD 22.400	-USD 22.400	-USD 22.400	-USD 22.400	-USD 22.400
	TOTAL	USD	USD 0	-USD 22.400	-USD 22.400	-USD 22.400	-USD 22.400	-USD 22.400	-USD 22.400	-USD 22.400	-USD 22.400	-USD 22.400	-USD 22.400
Resultados	Utilidad antes de impuesto	USD	-USD 336.000	USD 239.187	USD 250.131	USD 261.512	USD 273.348	USD 285.658	USD 298.460	USD 311.775	USD 325.622	USD 340.023	USD 355.000
Impuestos	Impuesto a la renta (27%)	USD	USD 0	-USD 64.580	-USD 67.535	-USD 70.608	-USD 73.804	-USD 77.128	-USD 80.584	-USD 84.179	-USD 87.918	-USD 91.806	-USD 95.850
Resultados	Utilidad despues de impuesto	USD	-USD 336.000	USD 174.607	USD 182.595	USD 190.904	USD 199.544	USD 208.530	USD 217.876	USD 227.596	USD 237.704	USD 248.217	USD 259.150
Resultados	Flujo de caja acumulado	USD	-USD 336.000	-USD 161.393	USD 21.202	USD 212.305	USD 411.650	USD 620.180	USD 838.056	USD 1.065.652	USD 1.303.356	USD 1.551.572	USD 1.810.722

VAN	\$917.106 (USD)
TIR	56%
Payback	1,6 años

Tabla 46. Flujo de caja de implementación de economizador en planta de Pargua. Fuente: Elaboración propia.

Flujo de caja - Implementación de economizador en planta de Pargua													
		Interés %	9%	104%	104%	104%	104%	104%	104%	104%	104%	104%	104%
		Inflación %	104%	108%	112%	117%	122%	127%	132%	137%	142%	148%	154%
Horizonte de 10 años		Inflación Acumulada	%										
		Año	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Inversión	Costo economizador	USD	-USD 50.000	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0
	Costo mano de obra	USD	-USD 15.000										
	Costos por montaje e instalación	USD	-USD 20.000										
	TOTAL	USD	-USD 85.000										
Costos	GLP	USD	USD 0	-USD 3.419.838	-USD 3.556.631	-USD 3.698.897	-USD 3.846.853	-USD 4.000.727	-USD 4.160.756	-USD 4.327.186	-USD 4.500.273	-USD 4.680.284	-USD 4.867.496
	TOTAL	USD	USD 0	-USD 3.419.838	-USD 3.556.631	-USD 3.698.897	-USD 3.846.853	-USD 4.000.727	-USD 4.160.756	-USD 4.327.186	-USD 4.500.273	-USD 4.680.284	-USD 4.867.496
Ahorros	GLP	USD	USD 0	USD 115.591	USD 120.214	USD 125.023	USD 130.024	USD 135.225	USD 140.634	USD 146.259	USD 152.109	USD 158.194	USD 164.521
	TOTAL	USD	USD 0	USD 115.591	USD 120.214	USD 125.023	USD 130.024	USD 135.225	USD 140.634	USD 146.259	USD 152.109	USD 158.194	USD 164.521
Costos operacionales	Mantenimiento	USD	USD 0	-USD 4.250	-USD 4.250	-USD 4.250	-USD 4.250	-USD 4.250	-USD 4.250	-USD 4.250	-USD 4.250	-USD 4.250	-USD 4.250
	TOTAL	USD	USD 0	-USD 4.250	-USD 4.250	-USD 4.250	-USD 4.250	-USD 4.250	-USD 4.250	-USD 4.250	-USD 4.250	-USD 4.250	-USD 4.250
Depreciación	Caldera (15 años)	USD	USD 0	-USD 5.667	-USD 5.667	-USD 5.667	-USD 5.667	-USD 5.667	-USD 5.667	-USD 5.667	-USD 5.667	-USD 5.667	-USD 5.667
	TOTAL	USD	USD 0	-USD 5.667	-USD 5.667	-USD 5.667	-USD 5.667	-USD 5.667	-USD 5.667	-USD 5.667	-USD 5.667	-USD 5.667	-USD 5.667
Resultados	Utilidad antes de impuesto	USD	-USD 85.000	USD 105.674	USD 110.297	USD 115.306	USD 120.307	USD 125.308	USD 130.717	USD 136.342	USD 142.193	USD 148.277	USD 154.605
Impuestos	Impuesto a la renta (27%)	USD	USD 0	-USD 28.532	-USD 29.780	-USD 31.079	-USD 32.429	-USD 33.833	-USD 35.294	-USD 36.812	-USD 38.392	-USD 40.035	-USD 41.743
Resultados	Utilidad despues de impuesto	USD	-USD 85.000	USD 77.142	USD 80.517	USD 84.027	USD 87.678	USD 91.475	USD 95.423	USD 99.530	USD 103.801	USD 108.242	USD 112.861
Resultados	Flujo de caja acumulado	USD	-USD 85.000	-USD 7.858	USD 72.659	USD 156.686	USD 244.365	USD 335.839	USD 431.263	USD 530.792	USD 634.593	USD 742.835	USD 855.697

VAN	\$459.580 (USD)
TIR	95%
Payback	0,9 años

Tabla 47. Flujo de caja de implementación de economizador en planta de Castro.
Fuente: Elaboración propia.

Flujo de caja - Implementación de economizador en planta de Castro													
Interés	%	9%	104%	104%	104%	104%	104%	104%	104%	104%	104%	104%	104%
Inflación	%	104%	104%	108%	112%	117%	122%	127%	132%	137%	142%	148%	154%
Inflación Acumulada	%	104%	108%	112%	117%	122%	127%	132%	137%	142%	148%	154%	160%
Horizonte de 10 años		Año	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Inversión	Costo economizador	USD	-USD 25.000	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0
	Costo mano de obra	USD	-USD 9.000	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0
	Costos por montaje e instalación	USD	-USD 10.000	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0
	TOTAL	USD	-USD 44.000	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0
Costos	GLP	USD	USD 0	-USD 739.198	-USD 768.766	-USD 799.517	-USD 831.497	-USD 864.757	-USD 899.348	-USD 935.321	-USD 972.734	-USD 1.011.644	-USD 1.052.109
	TOTAL	USD	USD 0	-USD 739.198	-USD 768.766	-USD 799.517	-USD 831.497	-USD 864.757	-USD 899.348	-USD 935.321	-USD 972.734	-USD 1.011.644	-USD 1.052.109
Ahorros	GLP	USD	USD 0	USD 22.028	USD 22.909	USD 23.826	USD 24.779	USD 25.770	USD 26.801	USD 27.873	USD 28.987	USD 30.147	USD 31.353
	TOTAL	USD	USD 0	USD 22.028	USD 22.909	USD 23.826	USD 24.779	USD 25.770	USD 26.801	USD 27.873	USD 28.987	USD 30.147	USD 31.353
Costos operacionales	Mantenimiento	USD	USD 0	-USD 2.200	-USD 2.200	-USD 2.200	-USD 2.200	-USD 2.200	-USD 2.200	-USD 2.200	-USD 2.200	-USD 2.200	-USD 2.200
	TOTAL	USD	USD 0	-USD 2.200	-USD 2.200	-USD 2.200	-USD 2.200	-USD 2.200	-USD 2.200	-USD 2.200	-USD 2.200	-USD 2.200	-USD 2.200
Depreciación	Caldera (15 años)	USD	USD 0	-USD 2.933	-USD 2.933	-USD 2.933	-USD 2.933	-USD 2.933	-USD 2.933	-USD 2.933	-USD 2.933	-USD 2.933	-USD 2.933
	TOTAL	USD	USD 0	-USD 2.933	-USD 2.933	-USD 2.933	-USD 2.933	-USD 2.933	-USD 2.933	-USD 2.933	-USD 2.933	-USD 2.933	-USD 2.933
Resultados	Utilidad antes de impuesto	USD	-USD 44.000	USD 16.895	USD 17.776	USD 18.692	USD 19.645	USD 20.636	USD 21.667	USD 22.739	USD 23.854	USD 25.014	USD 26.220
	TOTAL	USD	-USD 44.000	USD 16.895	USD 17.776	USD 18.692	USD 19.645	USD 20.636	USD 21.667	USD 22.739	USD 23.854	USD 25.014	USD 26.220
Impuestos	Impuesto a la renta (27%)	USD	USD 0	-USD 4.562	-USD 4.799	-USD 5.047	-USD 5.304	-USD 5.572	-USD 5.850	-USD 6.140	-USD 6.441	-USD 6.754	-USD 7.079
	TOTAL	USD	USD 0	-USD 4.562	-USD 4.799	-USD 5.047	-USD 5.304	-USD 5.572	-USD 5.850	-USD 6.140	-USD 6.441	-USD 6.754	-USD 7.079
Resultados	Utilidad después de impuesto	USD	-USD 44.000	USD 12.333	USD 12.976	USD 13.645	USD 14.341	USD 15.065	USD 15.817	USD 16.600	USD 17.414	USD 18.260	USD 19.140
	TOTAL	USD	-USD 44.000	USD 12.333	USD 12.976	USD 13.645	USD 14.341	USD 15.065	USD 15.817	USD 16.600	USD 17.414	USD 18.260	USD 19.140
Resultados	Flujo de caja acumulado	USD	-USD 44.000	-USD 31.667	-USD 18.880	-USD 5.045	USD 9.296	USD 24.361	USD 40.178	USD 56.777	USD 74.191	USD 92.451	USD 111.591
	TOTAL	USD	-USD 44.000	-USD 31.667	-USD 18.880	-USD 5.045	USD 9.296	USD 24.361	USD 40.178	USD 56.777	USD 74.191	USD 92.451	USD 111.591
VAN			\$48.135	[USD]									
TIR			30%										
Payback			2,8	años									

Tabla 48. Flujo de caja de implementación de economizador en planta de Ercilla.
Fuente: Elaboración propia.

Flujo de caja - Implementación de economizador en planta de Ercilla													
Interés	%	9%	104%	104%	104%	104%	104%	104%	104%	104%	104%	104%	104%
Inflación	%	104%	104%	108%	112%	117%	122%	127%	132%	137%	142%	148%	154%
Inflación Acumulada	%	104%	108%	112%	117%	122%	127%	132%	137%	142%	148%	154%	160%
Horizonte de 10 años		Año	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Inversión	Costo economizador	USD	-USD 35.000	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0
	Costo mano de obra	USD	-USD 12.000	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0
	Costos por montaje e instalación	USD	-USD 13.000	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0
	TOTAL	USD	-USD 60.000	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0	USD 0
Costos	GLP	USD	USD 0	-USD 1.255.691	-USD 1.305.919	-USD 1.358.156	-USD 1.412.482	-USD 1.468.981	-USD 1.527.740	-USD 1.588.850	-USD 1.652.404	-USD 1.718.500	-USD 1.787.240
	TOTAL	USD	USD 0	-USD 1.255.691	-USD 1.305.919	-USD 1.358.156	-USD 1.412.482	-USD 1.468.981	-USD 1.527.740	-USD 1.588.850	-USD 1.652.404	-USD 1.718.500	-USD 1.787.240
Ahorros	GLP	USD	USD 0	USD 33.150	USD 34.476	USD 35.855	USD 37.290	USD 38.781	USD 40.332	USD 41.946	USD 43.623	USD 45.368	USD 47.183
	TOTAL	USD	USD 0	USD 33.150	USD 34.476	USD 35.855	USD 37.290	USD 38.781	USD 40.332	USD 41.946	USD 43.623	USD 45.368	USD 47.183
Costos operacionales	Mantenimiento	USD	USD 0	-USD 3.000	-USD 3.000	-USD 3.000	-USD 3.000	-USD 3.000	-USD 3.000	-USD 3.000	-USD 3.000	-USD 3.000	-USD 3.000
	TOTAL	USD	USD 0	-USD 3.000	-USD 3.000	-USD 3.000	-USD 3.000	-USD 3.000	-USD 3.000	-USD 3.000	-USD 3.000	-USD 3.000	-USD 3.000
Depreciación	Caldera (15 años)	USD	USD 0	-USD 4.000	-USD 4.000	-USD 4.000	-USD 4.000	-USD 4.000	-USD 4.000	-USD 4.000	-USD 4.000	-USD 4.000	-USD 4.000
	TOTAL	USD	USD 0	-USD 4.000	-USD 4.000	-USD 4.000	-USD 4.000	-USD 4.000	-USD 4.000	-USD 4.000	-USD 4.000	-USD 4.000	-USD 4.000
Resultados	Utilidad antes de impuesto	USD	-USD 60.000	USD 26.150	USD 27.476	USD 28.855	USD 30.290	USD 31.781	USD 33.332	USD 34.946	USD 36.623	USD 38.368	USD 40.183
	TOTAL	USD	-USD 60.000	USD 26.150	USD 27.476	USD 28.855	USD 30.290	USD 31.781	USD 33.332	USD 34.946	USD 36.623	USD 38.368	USD 40.183
Impuestos	Impuesto a la renta (27%)	USD	USD 0	-USD 7.061	-USD 7.419	-USD 7.791	-USD 8.178	-USD 8.581	-USD 9.000	-USD 9.435	-USD 9.888	-USD 10.359	-USD 10.849
	TOTAL	USD	USD 0	-USD 7.061	-USD 7.419	-USD 7.791	-USD 8.178	-USD 8.581	-USD 9.000	-USD 9.435	-USD 9.888	-USD 10.359	-USD 10.849
Resultados	Utilidad después de impuesto	USD	-USD 60.000	USD 19.090	USD 20.058	USD 21.064	USD 22.111	USD 23.200	USD 24.333	USD 25.510	USD 26.735	USD 28.009	USD 29.334
	TOTAL	USD	-USD 60.000	USD 19.090	USD 20.058	USD 21.064	USD 22.111	USD 23.200	USD 24.333	USD 25.510	USD 26.735	USD 28.009	USD 29.334
Resultados	Flujo de caja acumulado	USD	-USD 60.000	-USD 40.910	-USD 20.853	USD 212	USD 22.323	USD 45.523	USD 69.856	USD 95.366	USD 122.101	USD 150.110	USD 179.444
	TOTAL	USD	-USD 60.000	-USD 40.910	-USD 20.853	USD 212	USD 22.323	USD 45.523	USD 69.856	USD 95.366	USD 122.101	USD 150.110	USD 179.444
VAN			\$81.259	[USD]									
TIR			34%										
Payback			2,5	años									

Tabla 49. Análisis económico de GDI planta de Pargua. Fuente: Elaboración propia.

Parámetros generador:	
Costo combustible \$/L	890
Rendimiento Generador L/h	485

Tarifas de energía y potencia	
Energía (\$/kWh)	91.72
Costo Psuf \$/kW	7303
Costo Php Dx (\$) \$/kW	3618,03
Compra de Potencia (\$/kW)	109

Situación actual:	
Demanda Máxima de Punta [kW]	170
Cargo por compras de potencia [kW]	15
Potencia HP [kW]	31

Situación actual												
Retiros de potencia	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Demanda Máxima de Punta [kW]	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
Cargo por compras de potencia [kW]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Potencia HP [kW]	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Cobros por potencia												
Demanda Máxima de Punta [\$]	\$ 615.065	\$ 615.065	\$ 615.065	\$ 615.065	\$ 615.065	\$ 615.065	\$ 615.065	\$ 615.065	\$ 615.065	\$ 615.065	\$ 615.065	\$ 615.065
Cargo por compras de potencia [\$]	\$ 1.637	\$ 1.637	\$ 1.637	\$ 1.637	\$ 1.637	\$ 1.637	\$ 1.637	\$ 1.637	\$ 1.637	\$ 1.637	\$ 1.637	\$ 1.637
Potencia HP [\$]	\$ 226.404	\$ 226.404	\$ 226.404	\$ 226.404	\$ 226.404	\$ 226.404	\$ 226.404	\$ 226.404	\$ 226.404	\$ 226.404	\$ 226.404	\$ 226.404
Horas de uso generador [hr]	0	0	0	88	84	76	88	84	72	0	0	0
Costo combustible	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 37.998.411	\$ 36.271.210	\$ 32.816.809	\$ 37.998.411	\$ 36.271.210	\$ 31.089.609	\$ -	\$ -	\$ -
Costo total	\$ 843.107	\$ 843.107	\$ 843.107	\$ 38.841.517	\$ 37.114.317	\$ 33.659.916	\$ 38.841.517	\$ 37.114.317	\$ 31.932.715	\$ 843.107	\$ 843.107	\$ 843.107
												\$ 222.562.939

Situación con Servicio GDI												
Retiros de potencia	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Demanda Máxima de Punta [kW]	2134	2134	2134	2134	2134	2134	2134	2134	2134	2134	2134	2134
Cargo por compras de potencia [kW]	1970	1970	1970	1970	1970	1970	1970	1970	1970	1970	1970	1970
Potencia HP [kW]	266,55	266,55	266,55	266,55	266,55	266,55	266,55	266,55	266,55	266,55	266,55	266,55
Cobros por potencia												
Demanda Máxima de Punta [\$]	\$ 7.720.876	\$ 7.720.876	\$ 7.720.876	\$ 7.720.876	\$ 7.720.876	\$ 7.720.876	\$ 7.720.876	\$ 7.720.876	\$ 7.720.876	\$ 7.720.876	\$ 7.720.876	\$ 7.720.876
Cargo por compras de potencia [\$]	\$ 215.041	\$ 215.041	\$ 215.041	\$ 215.041	\$ 215.041	\$ 215.041	\$ 215.041	\$ 215.041	\$ 215.041	\$ 215.041	\$ 215.041	\$ 215.041
Potencia HP [\$]	\$ 1.946.711	\$ 1.946.711	\$ 1.946.711	\$ 1.946.711	\$ 1.946.711	\$ 1.946.711	\$ 1.946.711	\$ 1.946.711	\$ 1.946.711	\$ 1.946.711	\$ 1.946.711	\$ 1.946.711
Horas de uso generador	0	0	0	6	30	24	24	12	4	0	0	0
Costo combustible	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 2.590.801	\$ 12.954.004	\$ 10.363.203	\$ 10.363.203	\$ 5.181.601	\$ 1.727.200	\$ -	\$ -	\$ -
Energía eléctrica extra [kWh]	-	-	-	155.476	139.277	108.617	156.652	152.281	204.762	-	-	-
Costo energía eléctrica extra [kWh]	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 14.260.874	\$ 12.775.035	\$ 9.962.745	\$ 14.368.750	\$ 13.967.832	\$ 18.781.629	\$ -	\$ -	\$ -
Costo total	9.882.628	9.882.628	9.882.628	26.734.303	35.611.667	30.208.576	34.614.581	29.032.061	30.391.457	9.882.628	9.882.628	9.882.628
												\$ 245.888.411

Ahorro anual	\$ 23.325.473
--------------	---------------

Tabla 50. Análisis económico de GDI planta de Castro. Fuente: Elaboración propia.

Parámetros generador:	
Costo combustible \$/L	890
Rendimiento Generador L/h	231

Tarifas de energía y potencia	
Energía (\$/kWh)	91,724
Costo Psuf \$/kW	7303
Costo Php Dx (\$) \$/kW	3618,03
Compra de Potencia (\$/kW)	109

Situación actual	
Demanda Máxima de Punta [kW]	175
Cargo por compras de potencia [kW]	110
Potencia HP [kW]	104

Situación actual												
Retiros de potencia	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Demanda Máxima de Punta [kW]	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175
Cargo por compras de potencia [kW]	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Potencia HP [kW]	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104
Cobros por potencia												
Demanda Máxima de Punta [\$]	\$ 633.155	\$ 633.155	\$ 633.155	\$ 633.155	\$ 633.155	\$ 633.155	\$ 633.155	\$ 633.155	\$ 633.155	\$ 633.155	\$ 633.155	\$ 633.155
Cargo por compras de potencia [\$]	\$ 12.007	\$ 12.007	\$ 12.007	\$ 12.007	\$ 12.007	\$ 12.007	\$ 12.007	\$ 12.007	\$ 12.007	\$ 12.007	\$ 12.007	\$ 12.007
Potencia HP [\$]	\$ 759.549	\$ 759.549	\$ 759.549	\$ 759.549	\$ 759.549	\$ 759.549	\$ 759.549	\$ 759.549	\$ 759.549	\$ 759.549	\$ 759.549	\$ 759.549
Horas de uso generador	0	0	0	88	84	76	88	84	72	0	0	0
Costo combustible	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 18.062.498	\$ 17.241.476	\$ 15.599.430	\$ 18.062.498	\$ 17.241.476	\$ 14.778.408	\$ -	\$ -	\$ -
Costo total	\$ 1.404.712	\$ 1.404.712	\$ 1.404.712	\$ 19.467.210	\$ 18.646.188	\$ 17.004.142	\$ 19.467.210	\$ 18.646.188	\$ 16.183.120	\$ 1.404.712	\$ 1.404.712	\$ 1.404.712
												\$ 117.842.331

Situación con Servicio GDI												
Retiros de potencia	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Demanda Máxima de Punta [kW]	1212	1212	1212	1212	1212	1212	1212	1212	1212	1212	1212	1212
Cargo por compras de potencia [kW]	1152	1152	1152	1152	1152	1152	1152	1152	1152	1152	1152	1152
Potencia HP [kW]	140,7	140,7	140,7	140,7	140,7	140,7	140,7	140,7	140,7	140,7	140,7	140,7
Cobros por potencia												
Demanda Máxima de Punta [\$]	\$ 4.385.052	\$ 4.385.052	\$ 4.385.052	\$ 4.385.052	\$ 4.385.052	\$ 4.385.052	\$ 4.385.052	\$ 4.385.052	\$ 4.385.052	\$ 4.385.052	\$ 4.385.052	\$ 4.385.052
Cargo por compras de potencia [\$]	\$ 125.750	\$ 125.750	\$ 125.750	\$ 125.750	\$ 125.750	\$ 125.750	\$ 125.750	\$ 125.750	\$ 125.750	\$ 125.750	\$ 125.750	\$ 125.750
Potencia HP [\$]	\$ 1.027.583	\$ 1.027.583	\$ 1.027.583	\$ 1.027.583	\$ 1.027.583	\$ 1.027.583	\$ 1.027.583	\$ 1.027.583	\$ 1.027.583	\$ 1.027.583	\$ 1.027.583	\$ 1.027.583
Horas de uso generador	0	0	0	6	30	24	24	12	4	0	0	0
Costo combustible	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 1.231.534	\$ 6.157.670	\$ 4.926.136	\$ 4.926.136	\$ 2.463.068	\$ 821.023	\$ -	\$ -	\$ -
Energía eléctrica extra [kWh]	-	-	-	89.933	94.966	75.922	67.767	46.052	40.317	-	-	-
Costo energía eléctrica extra [kWh]	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 8.249.014	\$ 8.710.661	\$ 6.963.843	\$ 6.215.860	\$ 4.224.074	\$ 3.698.057	\$ -	\$ -	\$ -
Costo total	5.538.385	5.538.385	5.538.385	15.018.934	20.406.716	17.428.364	16.680.381	12.225.527	10.057.465	5.538.385	5.538.385	5.538.385
												\$ 125.047.698

Ahorro anual	\$ 7.205.366
--------------	--------------

Tabla 51. Análisis económico de GDI planta de Ercilla. Fuente: Elaboración propia.

Parametros generador												
Costo combustible \$/L	890											
Rendimiento Generador L/h	348											
Tarifas de energía y potencia												
Energía \$/kWh	91,724											
Costo Psuf \$/kW	7303											
Costo Pmp Dx \$/kW	3618,03											
Compra de Potencia (\$/kW)	109											
Situación actual												
Retiros de potencia	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Demanda Máxima de Punta [kW]	132	132	132	132	132	132	132	132	132	132	132	132
Cargo por compras de potencia [kW]	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
Potencia HP [kW]	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
Cobros por potencia												
Demanda Máxima de Punta [\$]	\$ 477.580	\$ 477.580	\$ 477.580	\$ 477.580	\$ 477.580	\$ 477.580	\$ 477.580	\$ 477.580	\$ 477.580	\$ 477.580	\$ 477.580	\$ 477.580
Cargo por compras de potencia [\$]	\$ 4.803	\$ 4.803	\$ 4.803	\$ 4.803	\$ 4.803	\$ 4.803	\$ 4.803	\$ 4.803	\$ 4.803	\$ 4.803	\$ 4.803	\$ 4.803
Potencia HP [\$]	\$ 306.741	\$ 306.741	\$ 306.741	\$ 306.741	\$ 306.741	\$ 306.741	\$ 306.741	\$ 306.741	\$ 306.741	\$ 306.741	\$ 306.741	\$ 306.741
Situación con Servicio GDI												
Horas de uso generador	0	0	0	88	84	76	88	84	72	0	0	0
Costo combustible	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 27.236.894	\$ 25.998.854	\$ 23.522.772	\$ 27.236.894	\$ 25.998.854	\$ 22.284.732	\$ -	\$ -	\$ -
Costo total	\$ 789.124	\$ 789.124	\$ 789.124	\$ 28.026.018	\$ 26.787.978	\$ 24.311.896	\$ 28.026.018	\$ 26.787.978	\$ 23.073.856	\$ 789.124	\$ 789.124	\$ 789.124
Situación con Servicio GDI												
Retiros de potencia	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Demanda Máxima de Punta [kW]	1682	1682	1682	1682	1682	1682	1682	1682	1682	1682	1682	1682
Cargo por compras de potencia [kW]	1539	1539	1539	1539	1539	1539	1539	1539	1539	1539	1539	1539
Potencia HP [kW]	218.55	218.55	218.55	218.55	218.55	218.55	218.55	218.55	218.55	218.55	218.55	218.55
Cobros por potencia												
Demanda Máxima de Punta [\$]	\$ 6.085.526	\$ 6.085.526	\$ 6.085.526	\$ 6.085.526	\$ 6.085.526	\$ 6.085.526	\$ 6.085.526	\$ 6.085.526	\$ 6.085.526	\$ 6.085.526	\$ 6.085.526	\$ 6.085.526
Cargo por compras de potencia [\$]	\$ 167.994	\$ 167.994	\$ 167.994	\$ 167.994	\$ 167.994	\$ 167.994	\$ 167.994	\$ 167.994	\$ 167.994	\$ 167.994	\$ 167.994	\$ 167.994
Potencia HP [\$]	\$ 1.596.149	\$ 1.596.149	\$ 1.596.149	\$ 1.596.149	\$ 1.596.149	\$ 1.596.149	\$ 1.596.149	\$ 1.596.149	\$ 1.596.149	\$ 1.596.149	\$ 1.596.149	\$ 1.596.149
Horas de uso generador	0	0	0	6	30	24	24	12	4	0	0	0
Costo combustible	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 1.857.061	\$ 9.285.305	\$ 7.428.244	\$ 7.428.244	\$ 3.714.122	\$ 1.238.041	\$ -	\$ -	\$ -
Energía eléctrica extra [kWh]	-	-	-	131.827	116.238	109.430	127.569	138.143	132.045	-	-	-
Costo energía eléctrica extra [kWh]	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 12.091.700	\$ 10.661.814	\$ 10.037.370	\$ 11.701.139	\$ 12.671.029	\$ 12.111.729	\$ -	\$ -	\$ -
Costo total	7.849.670	7.849.670	7.849.670	21.798.431	27.796.789	25.315.284	26.979.053	24.234.820	21.199.440	7.849.670	7.849.670	7.849.670
Ahorro anual		\$ 32.673.347										

Anexo 9. Proyección de potencias con servicio GDI

En esta sección se detalla la metodología para poder estimar las potencias que se verán modificadas en la facturación eléctrica mensual de la organización en el caso de que esta decida implementar el servicio de GDI.

A continuación, se definen la forma de cálculo de retiros de potencias según la normativa vigente:

1. Cargo demanda máxima punta: para el periodo punta corresponde a la demanda máxima leída del mes de manera quinceminutal. Para los meses fuera de horario punta, este cargo se obtiene multiplicando el promedio de las dos más altas demandas máximas registradas en los meses de hora punta anterior.
2. Cargos por compra de potencia: promedio de las 52 demandas máximas quinceminutal leídas en el periodo de hora punta. Para este cálculo se consideran los retiros de los últimos 6 meses de hora punta.
3. Cargo demanda HP: promedio de las 52 demandas máximas horarias obtenidas durante el periodo HP por el cliente, las cuales deben ser coincidentes con las máximas de la zona de concesión. Es decir, cuando el Coordinador Eléctrico Nacional determina una máxima en la zona de concesión, verifica la potencia del cliente en ese instante.

Se tiene disponible las mediciones quinceminutal 2024 que entrega la distribuidora de energía eléctrica por cada una de las plantas de la organización, de las cuales se consideran solo los datos que están dentro de los meses de hora punta exceptuando los fines de semanas y festivos.

Como la hora punta es de 18:00 a 22:00 hrs y durante este tiempo se utilizan los generadores que provoca que las mediciones que entrega la distribuidora de energía eléctrica tiendan a 0 kWh, se considera para los cálculos de potencia proyectada las mediciones que se encuentran entre las 16:00 a 18:00 y de 22:00 a 24:00 hrs teniendo así un total de 1.968 datos por planta.

Con el servicio de GDI se estima que la reducción de la demanda en HP es de aproximadamente un 85% en referencia a la demanda en HP proyectada. Esto quiere decir que el servicio considera que el 85% de los avisos de reducción de consumo sean máximas en la zona de concesión y el otro 15% sean máximas que el modelo predictivo no notifique.

Con los datos de medición se procede a calcular las potencias involucradas de acuerdo con sus definiciones y con la ayuda de la herramienta Excel. En la Tabla 52 a modo de resumen se observan los valores de potencia proyectada para cada una de las plantas y la metodología para obtener este valor.

Tabla 52. Potencias proyectadas considerando el uso de servicio de GDI. Fuente: Elaboración propia.

Cargos de Potencia	Método de cálculo potencia proyectado	Pargua	Castro	Ercilla
Demanda Máxima de Punta [kW]	Máxima demanda quinceminutal registrada entre las 16:00 a 18:00 y de 22:00 a 24:00 hrs sin considerar los fines de semanas y festivos	2.134	1.212	1.682
Cargo por compras de potencia [kW]	Promedio 52 demandas máximas quinceminutal registradas entre las 16:00 a 18:00 y de 22:00 a 24:00 hrs sin considerar los fines de semanas y festivos	1.970	1.152	1.539
Cargo demanda HP [kW] (demanda HP sin reducción del 85%)	Promedio 52 demandas máximas horaria registradas entre las 16:00 a 18:00 y de 22:00 a 24:00 hrs sin considerar los fines de semanas y festivos. Con reducción del 85% de acuerdo con coincidencia estimada	267 (1.777)	141 (938)	219 (1.457)

