

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE QUÍMICA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería
Ambiental

“Optimización del consumo energético en una empresa de alimentos aplicando los
conceptos de la Norma ISO 50001:2018”

Isenny Yaritza Salas Salgado

CARTAGO, mayo, 2021



“Optimización del consumo energético en una empresa de alimentos aplicando los conceptos de la Norma ISO 50001:2018”

Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental con el grado de licenciatura.

Miembros del tribunal

Lic. Carlos Roldán Villalobos
Director

MSc. Luis Guillermo Valerio
Lector 1

Bach. Sofía Ruíz Esquivel
Lector 2

MSc. Mary Luz Barrios Hernández
Coordinador COTRAFIG

M.G.A Ricardo Coy Herrera,
Director Escuela de Química

MSc. Ana Lorena Arias Zúñiga
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental

DEDICATORIA

A Dios, quien me mostró su amor a través de gente linda, que me inspiraron y me alentaron a ser una mejor persona. Por darme la sabiduría y las fuerzas para poder completar el proceso.

A mi papá, Fernando, por darme tanto amor y chineos, porque su corazón es muy puro.
A mi mamá, Brenda, por haberse esforzado todos los días para que sus hijos salieran adelante.

A mi hermano, Luis, por ser ese hogar y pilar en quien siempre puedo refugiarme.
A mi hermana, Zui, por ser el motivo de querer superarme y ser mejor cada día.

“Porque el Señor da la sabiduría; conocimiento y ciencia brotan de sus labios”

Proverbios 2:6 (NVI)

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Luis por haberme apoyado de tantas formas durante la carrera, por motivarme siempre a terminar mis metas y a soñar en grande. A Richard, mi compañero de aventuras, por su gran amor, por siempre creer en mí y motivarme a ser mejor.

A Susana Araya y Don Luis Acuña, por ser mi segunda familia, por abrirme sus puertas y darme tanto amor. A Susan Acuña, quien ha sido mi confidente, porque cuando pienso en ella pienso en fidelidad y lealtad.

Agradezco a Abigail Álvarez, por creer siempre en mí, por cuidarme y motivarme; por tantos años de amistad que sé que durarán para toda la vida. A Aaron, por motivarme a ser mejor en muchos aspectos (aunque al final nos cansemos y desistamos), gracias por tantas tertulias y por su disposición a ayudar. A Kenneth Martínez por su bondad, por su buen corazón y siempre estar dispuesto a ayudar a los demás.

Agradezco a Carmen Cerdas, por haberme abierto las puertas cuando más lo necesitaba.

A Gaby (Gabriela Chaves), mi amiga de la carrera, porque sin ella no hubiese disfrutado tanto la “U”; por tantas risas, bromas, visitas a resi y por transmitirme su espíritu de paz y tranquilidad. A Vale (Valeria Tames), con quien guardo tantos recuerdos, desde risas hasta llantos, agradezco por tantas historias y anécdotas contadas; por su carisma y por ser una motivación para aprender cosas nuevas.

A July (Julissa Bosque) y a Ara (Arantxa Rodríguez), que más que mis compañeras de resi fueron mis hermanas, por tantas risas y vivencias compartidas, porque a pesar de la distancia sé que siempre puedo contar con ellas.

A la empresa, en especial a María Marta Ramírez, por ser una excelente jefa, por su amabilidad y energía que contagia a los demás

A mi tutor, el profesor Carlos Roldán, por todo el apoyo brindado, por su paciencia y pasión para enseñar. A la profesora Diana Zambrano, por su vocación a enseñar y por inspirar a tantos estudiantes y motivarnos a dar lo mejor. Al TEC por haberme dado la oportunidad de estudiar y adquirir conocimientos.

.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVOS	3
2.1	<i>Objetivo general</i>	3
2.2	<i>Objetivos específicos</i>	3
3	REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1	<i>Situación energética Nacional</i>	4
3.1.1	Matriz eléctrica nacional	4
3.1.2	Consumo nacional de combustibles fósiles	5
3.2	<i>Sector industrial a nivel nacional</i>	6
3.3	<i>Gestión de la energía</i>	11
3.3.1	Implementación de la norma ISO 50001:2018	12
4	MATERIALES Y MÉTODOS	15
4.1	<i>Enfoque de la investigación</i>	15
4.2	<i>Área de estudio</i>	15
4.2.1	Área de producción de Polvos	16
4.2.2	Área de producción de líquidos	17
4.3	<i>Determinación de la línea base y la situación actual de la empresa</i>	19
4.4	<i>Comparación entre consumo energético teórico y real</i>	20
4.5	<i>Recomendaciones de mejora de desempeño energético</i>	22
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
5.1	<i>Situación energética inicial</i>	23
5.1.1	Usos significativos de la energía	34
5.2	<i>Comparación de consumo eléctrico teórico y consumo eléctrico real</i>	36

5.2.1	Compresores	39
5.2.2	Chiller	42
5.2.3	Motores de la Planta de Tratamiento de agua residual (PTAR)	44
5.2.4	Producción polvos: Mezcladoras	44
5.2.5	Aires acondicionados	46
5.2.6	Producción: Líquidos Calientes	48
5.2.6.1	Equipos producción	48
5.2.6.2	Caldera de Gas Licuado de Petróleo	49
5.3	<i>oportunidades de mejora en el desempeño energético</i>	51
5.3.1	Compresores	51
5.3.2	Caldera	55
5.3.3	Sistemas Refrigerantes	63
5.3.3.1	Aires acondicionados	63
5.3.3.2	Chiller	73
5.3.4	Equipos de producción	74
6	CONCLUSIONES	82
7	RECOMENDACIONES	84
8	REFERENCIAS	86
	APÉNDICES	97
	Apéndice 1: Formato utilizado para el levantamiento del inventario energético	99
	Apéndice 2: Cuestionario sobre el consumo energético aplicado al departamento de mantenimiento	97
	Apéndice 3: Análisis causa raíz en el consumo de energía de gas licuado de petróleo de caldera y electricidad	100

Apéndice 4: Formato utilizado para el levantamiento del inventario energético	102
Apéndice 5: Principales características de los aires acondicionados de la empresa	105
Apéndice 6: Formato para el levantamiento de aires acondicionados con sus principales especificaciones técnicas	108
Apéndice 7: Balances de reacción realizados para la simulación de la caldera glp	109
Apéndice 8: Simulación de la caldera de GLP	111
Apéndice 9: Características de los aires acondicionados cotizados para sustituir	112
Apéndice 10: Análisis financiero de la implementación de un economizador para la caldera y nuevos aires acondicionados	113
ANEXOS	115
Anexo 1: Evolución del uso del refrigerante en Costa Rica	116
Anexo 2: Requisitos de eficiencia energética de aires acondicionados según la norma inte 28-01-13	117
Anexo 3: potenciales de calentamiento global de gases	118
Anexo 4: Características principales de algunos gases refrigerantes	120
Anexo 5 : Características de los compresores según estudio realizado en la organización	121

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1.1. Matriz eléctrica nacional para el año 2019.	5
Figura 3.2.1. Distribución porcentual de las actividades económicas en Costa Rica para el 2017.	6
Figura 3.2.2. Consumo de energía a nivel nacional para el año 2015.	7
Figura 3.2.3. Venta de energía por sector de consumo en Costa Rica.	8
Figura 3.2.4. Precio promedio de la electricidad en Costa Rica entre el periodo 2003-2020.	9
Figura 3.2.5. Peso porcentual de la electricidad en el valor de la producción para productos industriales, 2011.	10
Figura 3.3.1. Estructura de la ISO 50001:2018.	13
Figura 4.2.1. Mapa de los procesos de la empresa.	16
Figura 4.2.2. Componentes de una mezcladora horizontal.	17
Figura 4.2.3. Geometría de válvulas de homogenización.	18
Figura 4.2.4. Componentes de una unidad de mezcla y dispersión al vacío Fryma.	19
Figura 5.1.1. Diagrama de los procesos energéticos presentes en la empresa.	24
Figura 5.1.2. Costos del consumo de energía de la organización por fuente.	25
Figura 5.1.3. Consumo de electricidad de la empresa en comparación al consumo de electricidad esperado por la línea base de electricidad.	29
Figura 5.1.4. Consumo real de GLP de la caldera en comparación al consumo de GLP de la caldera esperado por la línea base.	31
Figura 5.1.5. Línea base energética del consumo eléctrico y de GLP en la caldera con respecto a la producción total.	32
Figura 5.1.6. Consumo real de electricidad y GLP de la caldera vs. el consumo de electricidad y GLP de la caldera esperado por la línea base.	33

Figura 5.2.1. Cantidad de equipos energéticos en la organización distribuidos por departamento.	37
Figura 5.2.2. Distribución del consumo eléctrico en la empresa para el año 2019.	38
Figura 5.2.3. Consumo eléctrico por equipos en la organización.....	39
Figura 5.2.4. Distribución porcentual del consumo eléctrico en el área de los compresores.	42
Figura 5.2.5. Distribución porcentual del consumo eléctrico en el área de las mezcladoras.	45
Figura 5.3.1. Demanda de los compresores de la organización bajo diferentes flujos de aire.	54
Figura 5.3.2. Incremento de la eficiencia de la caldera por precalentamiento del aire.	60
Figura 5.3.3. Variaciones en la eficiencia de la combustión con la temperatura de los gases de combustión para varios niveles de aire en exceso.	61
Figura 5.3.4. Cantidad de aires acondicionados según el tipo de refrigerante.	65
Figura 5.3.5. Resultados de la evaluación de los aires acondicionados de la organización.	69
Figura A.3.1. Análisis de Causa Raíz para el consumo de energía eléctrica.....	100
Figura A.3.2. Análisis de Causa Raíz para el consumo de energía de GLP en la caldera..	101
Figura A.8.1. Simulación de la caldera de GLP.	111
Figura AN.1.1. Evolución de usos de refrigerantes de Costa Rica.	116
Figura AN.5.1. Caudal de aire comprimido requerido por días.	121

LISTA DE CUADROS

Cuadro 5.1.1. Diferencia porcentual de los registros elaborados en comparación con los registros de la empresa.	26
Cuadro 5.1.2. Consumo de diésel anual de la empresa por área.	27
Cuadro 5.1.3. Valores de la línea base para la electricidad en comparación con las toneladas y horas de producción totales	29
Cuadro 5.1.4. Valores de la línea base energética del consumo de GLP en la caldera con respecto a las horas y toneladas de producción total.	30
Cuadro 5.1.5. Criterios de evaluación para establecer los Usos Significativos de Energía.	35
Cuadro 5.1.6. Usos Significativos de la Energía según procesos y equipos.	36
Cuadro 5.2.1. Especificaciones técnicas de los compresores y secadores de la organización.	40
Cuadro 5.2.2. Principales características técnicas del sistema de Chiller de la organización.	43
Cuadro 5.2.3. Especificaciones de las mezcladoras de la organización.	46
Cuadro 5.2.4. Potencia de los equipos de producción de líquidos calientes en la organización.	48
Cuadro 5.2.5. Características de la caldera de GLP utilizada en la organización.	49
Cuadro 5.3.1. Costo estimado de pérdidas por fugas.	52
Cuadro 5.3.2. Flujo de aire que ingresan a los compresores.	53
Cuadro 5.3.3. Parámetros utilizados en la simulación de la caldera considerando datos teóricos y datos de la organización.	56
Cuadro 5.3.4. Características de operación para los equipos de producción de líquidos calientes de la empresa.	58

Cuadro 5.3.5. Eficiencia energética brindada por diferentes instituciones.	67
Cuadro 5.3.6. Criterios de evaluación con sus definiciones para establecer la priorización de oportunidades de mejora en aires acondicionados.	68
Cuadro 5.3.7. Escala de puntuación del estado crítico de los aires acondicionados.	68
Cuadro 5.3.8. Características de los aires acondicionados en estado crítico de la organización.	70
Cuadro 5.3.9. Consumo eléctrico de los aires en estado crítico en comparación a los aires acondicionados propuestos.	72
Cuadro 5.3.10. Oportunidades de mejora en la organización.....	77
Cuadro A.1.1. Formato utilizado para el levantamiento energético de una empresa de alimentos.....	99
Cuadro A.4.1. Registro del uso de aires acondicionados por sector en la organización. ...	104
Cuadro AN.4.1. Propiedades de los principales gases refrigerantes.	120

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ICE	Instituto Costarricense de Electricidad
CNFL	Compañía Nacional de Fuerza y Luz
ESPH	Empresa de Servicios Públicos de Heredia
JASEC	Junta Administrativa de Servicios Públicos de Cartago
RECOPE	Refinadora Costarricense de Petróleo
SGE	Sistema de Gestión Energético
USE	Uso Significativo de la Energía
IDEn	Indicadores de Desempeño Energético
PHVA	Planear, Hacer, Verificar, Actuar
GLP	Gas Licuado de Petróleo
MJ	Megajulios
I+D	Investigación y Desarrollo
COCO	Cape Open to Cape Open
PTAR	Planta de tratamiento de agua residual
DAF	Flotación por aire disuelto
ACOGRACE	Asociación Costarricense de Grandes Consumidores de Energía
SEER	Seasonal Energy Efficiency Ratio
EER	Energy Efficiency Ratio
HCFCs	Hidroclorofluorocarburos
HCF	Hidrofluorocarburos
HFO	Hidrofluoroolefinas
PAO	Potencial de agotamiento de ozono

AHRI	Air-Conditioning, Heating and Refrigeration Institute
AA	Aires acondicionados
TIR	Tasa Interna de Retorno
IPLV	Valor integrado a carga parcial

RESUMEN

En las últimas décadas el consumo energético ha incrementado considerablemente. En Costa Rica, aproximadamente el 70% de energía proviene de fuentes no renovables, donde los sectores hogar, transporte y manufactura y minas son los mayores consumidores de combustibles fósiles. Estos ocasionan un exceso de gases de efecto invernadero que influyen negativamente en el cambio climático. Actualmente, la industria es uno de los mayores consumidores de combustibles fósiles en el país, además muy pocas cuentan con programas de gestión que ayuden a mejorar su desempeño energético. Este documento presenta la situación actual de una empresa de alimentos de condimentos salsas y aderezos. Así mismo muestra recomendaciones para mejorar su eficiencia energética según lo que establece la Norma ISO 50 001. Se elaboró una línea de base del año 2019 para el consumo de electricidad y gas licuado de petróleo de la caldera. Además, se registraron 2 223 equipos energéticos donde los principales consumidores de energía son los presentes en el departamento de mantenimiento y producción. Finalmente, se elaboraron 18 propuestas de mejora a los equipos y máquinas que representan un Uso Significativo de la Energía, con el fin de optimizar el consumo en la organización.

Palabras clave: Industria alimentaria, Norma ISO 50 001, línea de base, eficiencia energética.

ABSTRACT

In recent decades, energy consumption has increased considerably. In Costa Rica, more than 70% of energy comes from non-renewable sources where the residential sector, transportation and manufacturing and mining sectors are the biggest consumers of fossil fuels. These cause an excess of greenhouse gases that negatively influence climate change. Currently, the industry is one of the largest consumers of fossil fuels in the country. Furthermore, very few of these industries have management programs that help improve their energy performance. This document presents the current situation of a food industry that prepares condiments, sauces and dressings and recommendations to improve its energy efficiency according to what is established by the ISO 50001 Standard. A baseline for 2019 was prepared for the consumption of electricity and liquefied petroleum gas from the boiler. Likewise, 2 223 energy equipment was registered, where the main energy consumers are those located in the maintenance and production department. Finally, 18 improvement proposals were made for the equipment and machines that represent a significant use of energy, to optimize consumption in the organization.

Key words: food industry, ISO 50001 Standard, baseline, energy efficiency

1 INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, la energía se ha convertido en un pilar fundamental para la vida del ser humano. Se ha encontrado evidencia que muestra una estrecha relación entre el consumo energético con el desarrollo económico, social e industrial de un país (Esen & Bayrak, 2017). Se proyecta, que el sector energía e industria serán los mayores contribuyentes de emisiones por los siguientes 100 años, lo cual influye directamente en el incremento del calentamiento global (IPCC, 2013). Así mismo, la industria, se encarga del 29% del consumo global de la energía y el 36% de las emisiones de CO₂ (Dobrotkova, Aditya & Singh, 2018).

A pesar de que Costa Rica ha incentivado un consumo eficiente de energía para sus diferentes sectores; todavía quedan muchas barreras que afrontar para poder conseguirlo. En el caso del área de la industria se consume aproximadamente el 24% de energía en el país, donde un 33% del total corresponde a aquella utilizada para la producción de vapor o calor por medio de combustibles fósiles (Grupo ICE, 2017). Así mismo, estudios muestran que las industrias generan aproximadamente un 15% de las emisiones de gases de CO₂ equivalente en el territorio nacional (Blanco et al., 2015).

En cuanto a la industria de alimentos, estas son las responsables de consumir más del 50% de energía del total del sector (Blanco et al., 2015), por lo cual es importante contemplar aquellas áreas donde se pueda mejorar su eficiencia energética.

Con el fin de promover el consumo óptimo y eficiente de la energía, Costa Rica ha promovido la creación del Plan Nacional de Energía 2015-2030, el Plan Nacional de Descarbonización y la implementación de la tarifa eléctrica TMT-b la cual promueve la implementación de la norma ISO 50001 (ICE, 2020b).

El presente trabajo se realiza en una empresa de alimentos que elabora principalmente condimentos, salsas y aderezos la cual utiliza diversas fuentes de energía para la generación de sus productos. Es por esto, que se decide determinar la situación energética inicial de la organización, de igual forma se realizarán recomendaciones que ayuden a optimizar el consumo energético del lugar. Para lograrlo, se trabajará acorde a lo contemplado en la Norma ISO 50001:2018.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Establecer propuestas para mejorar el consumo energético de una empresa de alimentos basadas en la Norma ISO 50001:2018.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la línea base y la revisión energética actual según el apartado 6.3 de la norma ISO 50001:2018 en una empresa de alimentos.
- Evaluar el desempeño energético de la organización basado en datos de línea de base y datos reales para el periodo de enero 2019 a diciembre del 2019.
- Establecer recomendaciones que ayuden a mejorar el desempeño energético de la organización.

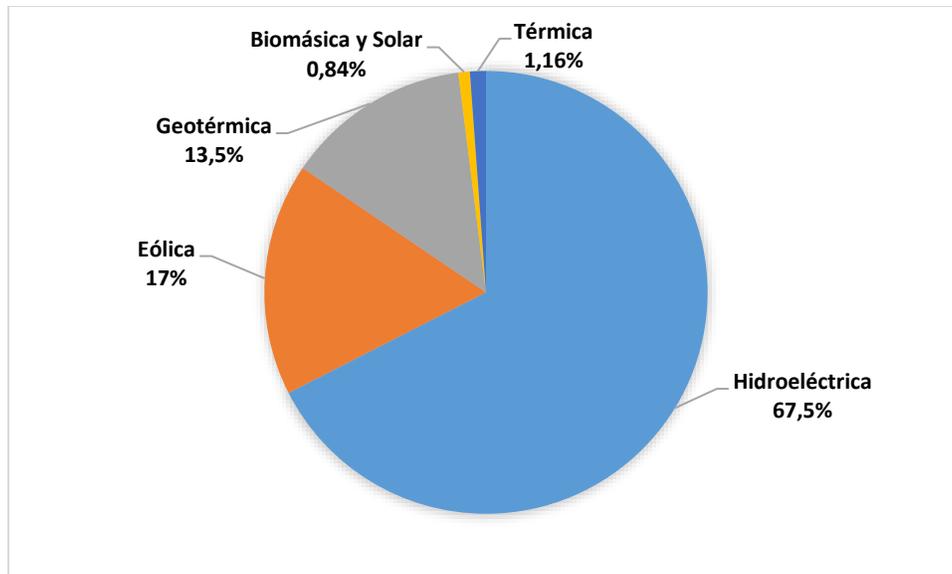
3 REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 SITUACIÓN ENERGÉTICA NACIONAL

3.1.1 Matriz eléctrica nacional

Costa Rica presenta un amplio alcance del servicio eléctrico. En la actualidad, se estima que tiene una cobertura del 99,4% del territorio nacional (ICE, 2019). Existen diversas empresas que se encargan de satisfacer la demanda eléctrica del país, estas son: Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH), Junta Administrativa de Servicios Públicos de Cartago (JASEC); así como algunas cooperativas: COOPESANTOS, COOPEALFARORUIZ, COOPEGUANACASTE y COOPELESCA (CNFL, 2020).

En cuanto al sistema eléctrico, el país se abastece de energía hidroeléctrica, geotérmica, eólica, biomásica, solar y térmica. En la actualidad, un 98,84% de la generación nacional corresponde a fuentes renovables. En la Figura 3.1.1 se muestra el porcentaje utilizado de cada fuente de energía (ICE, 2020a).



*Figura 3.1.1. Matriz eléctrica nacional para el año 2019.
Adaptado de Instituto Costarricense de Electricidad, 2020.*

3.1.2 Consumo nacional de combustibles fósiles

La Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE) es la encargada de la importación y la distribución de los combustibles en el territorio nacional. Sus principales productos son: gasolina, diésel, queroseno, gas licuado de petróleo, búnker, Jet A-1, Av-Gas, cementos asfálticos y gasóleo (RECOPE, 2019).

En Costa Rica, el 73,5% del consumo de energía proviene de productos derivados del petróleo, siendo el sector transporte quien consume la mayor parte (Programa Estado de la Nación, 2019). Así mismo, la demanda nacional de estos hidrocarburos para el año 2019 creció un 2,3% en comparación al 2018, lo cual indica una diferencia de 77 441 000 litros (RECOPE, 2020a).

3.2 SECTOR INDUSTRIAL A NIVEL NACIONAL

En la Figura 3.2.1 se muestra el aporte de los diferentes sectores a la economía costarricense. En esta, se observa que la mayor cantidad de empresas corresponden a las dedicadas a servicios y comercio, mientras que el sector industria representa un 5,32% (MEIC, 2019).

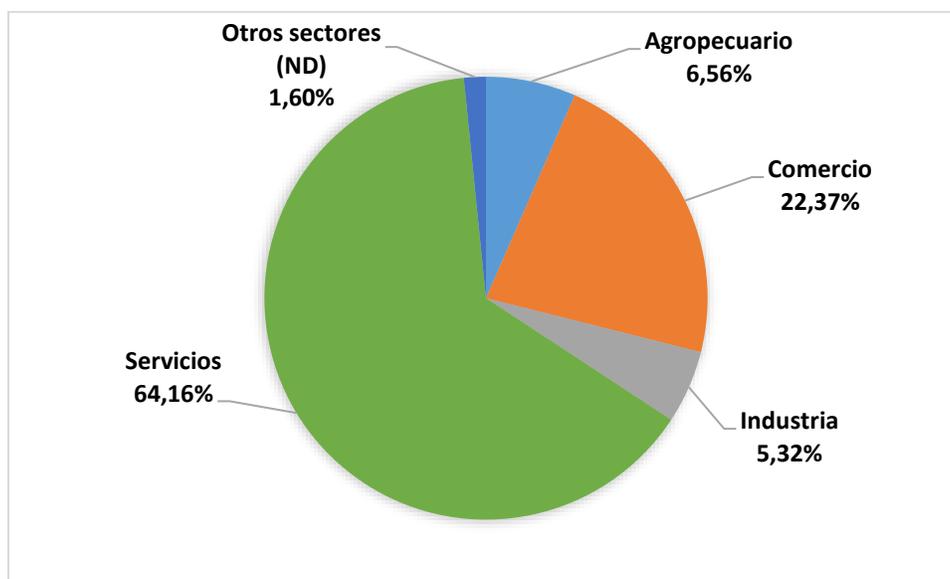


Figura 3.2.1. Distribución porcentual de las actividades económicas en Costa Rica para el 2017.
Adaptado del (MEIC, 2019)

A pesar, de que la industria representa solo un 5,32% de las actividades económicas es la encargada de emplear al 23% de la población total (INEC, 2019). Además, al considerar las exportaciones, se muestra que un 70,3% de todos los productos exportados son gracias a la industria, con un 22% de productos exportados específicamente por parte del área alimentaria (PROCOMER, 2018). Lo anterior muestra la importancia de este sector para el desarrollo y la economía del país.

En cuanto al consumo total de energía, la industria utiliza el 24,1% como se muestra en la Figura 3.2.2. Cabe resaltar que, del total de energía consumida por el sector industrial, el 33% equivale a la utilizada por combustibles fósiles para la generación de calor y vapor, el 50%

al aprovechado por medio de la biomasa y un 17% corresponde al consumo de electricidad (Grupo ICE, 2017).

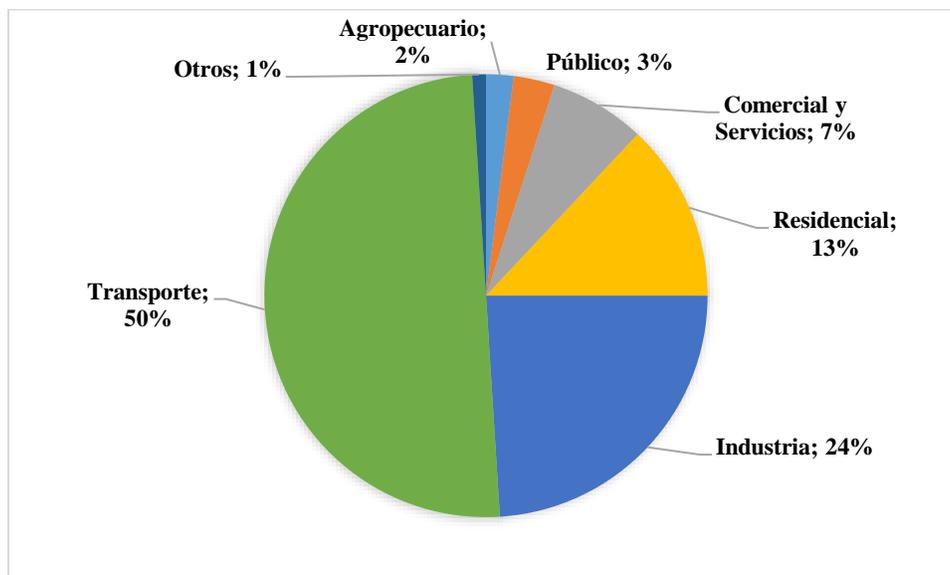


Figura 3.2.2. Consumo de energía a nivel nacional para el año 2015.
Adaptado de Instituto Costarricense de Electricidad, 2017

Para el 2015, la electricidad vendida a las industrias correspondía al 20% de la demanda nacional; donde un 7% pertenecía a la gran industria, mientras que el restante 13% se vendía a las industrias menores, como se observa en la Figura 3.2.3 (Grupo ICE, 2017).

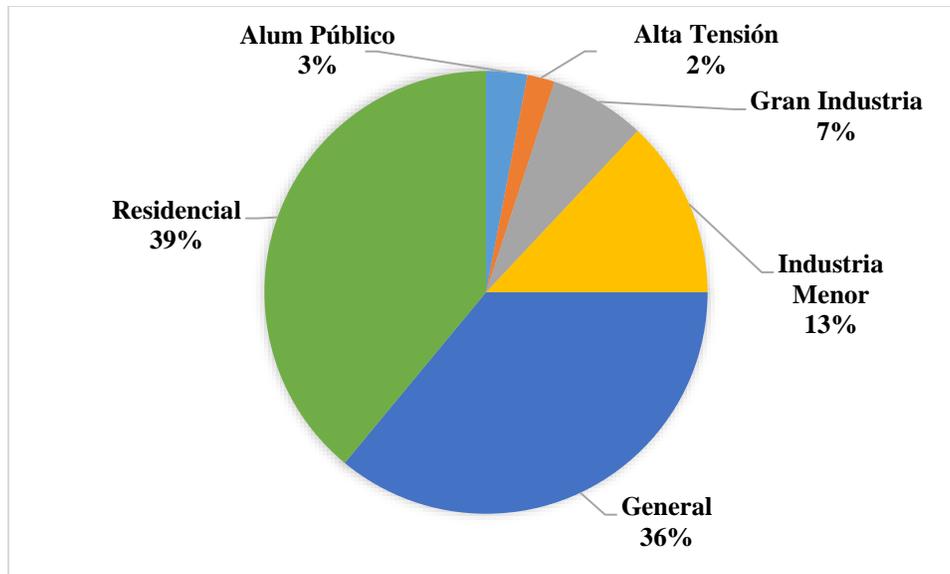


Figura 3.2.3. Venta de energía por sector de consumo en Costa Rica.
 Adaptado de (Instituto Costarricense de Electricidad, 2017)

Al considerar el precio de la electricidad para la industria conectada a mediana tensión (Tarifa TMT), la Asociación Costarricense de Grandes Consumidores de Energía (2021) realizó un estudio donde se contempla el costo de la electricidad de 26 países con los cuales Costa Rica realiza intercambios comerciales. Dicho estudio determinó que Costa Rica se encuentra en la posición 9 al analizar el precio de mayor a menor; mientras que Estados Unidos, Paraguay, Canadá y Argentina corresponden a los países con el costo más bajo de la electricidad, siendo el precio de Estados Unidos 43% más bajo que el de Costa Rica y el de Canadá un 64% más barato (Asociación Costarricense de Grandes Consumidores de Energía, 2021). Según la Cámara de Industrias de Costa Rica (2019b) los elevados precios inciden negativamente en la competitividad de las empresas afectando así la economía. Así mismo, se menciona que uno de los factores a tratar para disminuir el desempleo, es el bajar los costos de operación en la industria (Cámara de Industrias de Costa Rica, 2019a).

Para el último cuatrimestre del 2019 el desempleo se había incrementado a un 12,4% (INEC, 2020). Cabe mencionar que una de las consecuencias presentadas por la pandemia de la COVID-19 se dio para el trimestre móvil de noviembre-diciembre 2020 y enero del 2021 donde la tasa de desempleo incrementó a un 19,1% (INEC, 2021). Es por esto, que uno de los retos que deben plantearse a nivel país es el de mejorar estas deficiencias en el sector industria, donde una de las formas de lograrlo es planteando nuevas tarifas eléctricas e incentivando al uso eficiente de la energía. Lo anterior, basándose en información que relaciona la cantidad de empresas en la industria con el consumo de electricidad y la generación de empleo (Marroquín et al., 2015).

En la Figura 3.2.4 se muestra el promedio del precio de la electricidad en Costa Rica para el periodo 2003-2020. En esta se percibe que ha habido un incremento en el precio de la electricidad, ya que en un periodo de 10 años la tarifa se ha duplicado. Además, se muestra una variación promedio del precio anual del 5,6% (Cámara de Industrias de Costa Rica, 2020).

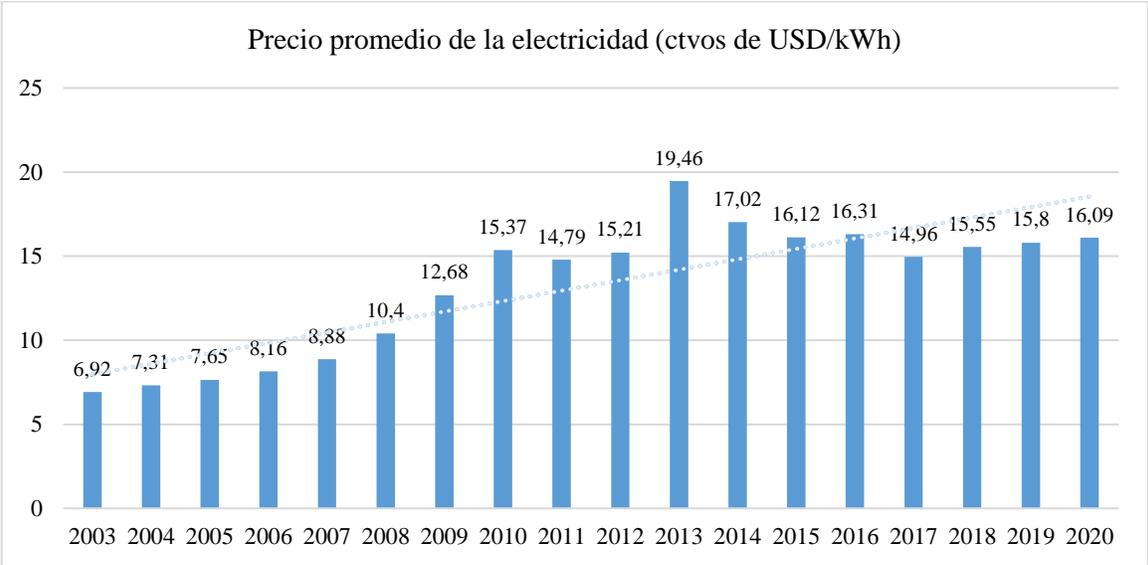


Figura 3.2.4. Precio promedio de la electricidad en Costa Rica entre el periodo 2003-2020. Tomado de (Cámara de Industrias de Costa Rica, 2020)

En la Figura 3.2.5 se muestra el valor porcentual del consumo eléctrico para las diferentes actividades productivas, donde el promedio ponderado de los productos industriales se encuentra en el 1,4%, siendo el proceso de “otros productos alimenticios” quien se encuentra debajo del promedio (MINAE, 2015).

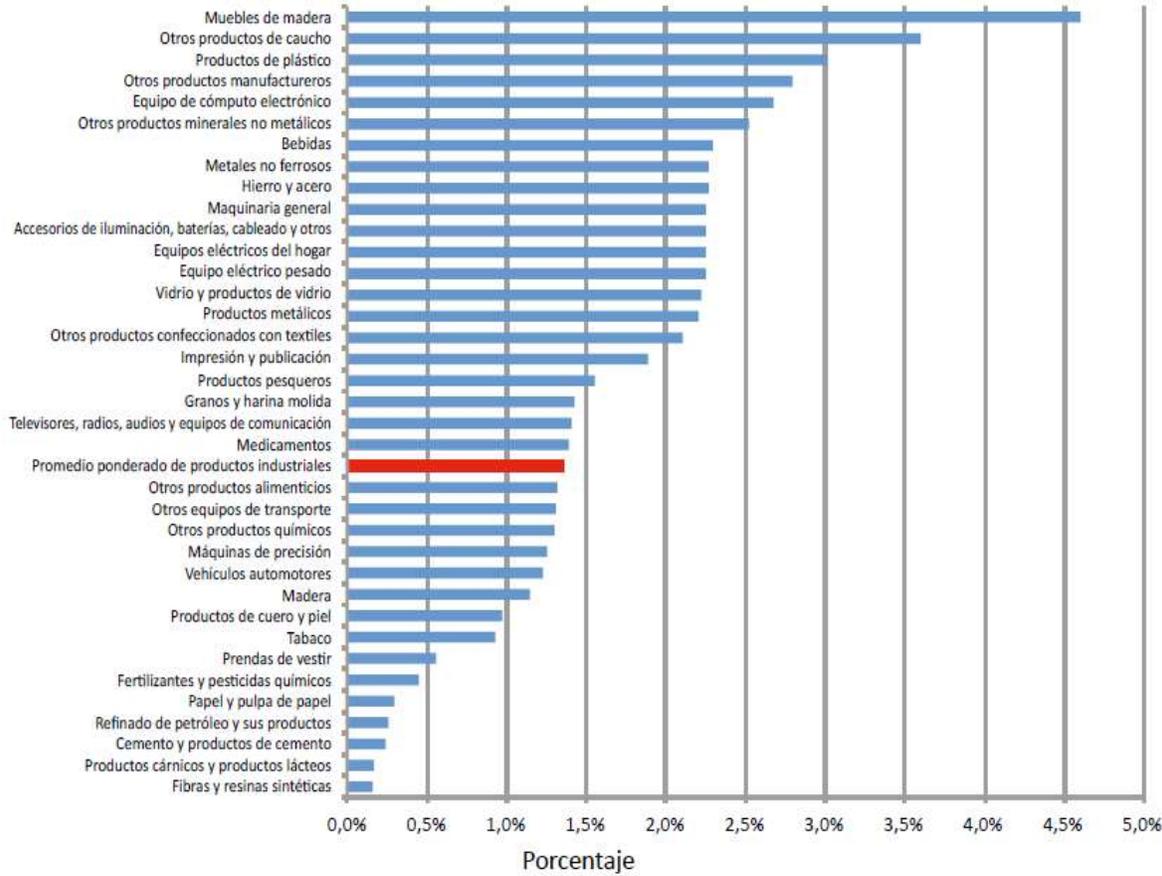


Figura 3.2.5. Peso porcentual de la electricidad en el valor de la producción para productos industriales, 2011. Tomado de MINAE, 2015.

3.3 GESTIÓN DE LA ENERGÍA

Actualmente existen dos enfoques para manejar la energía que se consume en una empresa. El primero, consiste en realizar cambios puntuales y tareas específicas que permitan reducir costos. No obstante, estas no son viables a largo plazo ya que no obedece a un plan sistemático de mejora continua. El segundo, pone en práctica la implementación de un sistema de gestión energético donde se involucra a la alta dirección y a los responsables del cumplimiento de los diferentes objetivos y metas establecidos. En este segundo enfoque, la metodología inicial utilizada consiste en establecer una línea base, realizar una revisión energética y realizar una evaluación de eficiencia energética (Mills & Paik, 2012).

Por lo tanto, un sistema de gestión energético (SGE) consiste en una base cuantitativa y permite comparar el desempeño energético de la organización (ISO-UNE, 2018). Así mismo, procura tener un control de la energía y establecer planes de acción a partir de sus resultados (Rubio, 2017).

Es importante aclarar, que la gestión energética no se enfoca solo en la energía sino en la prevención de la contaminación y la conservación de los recursos. Esto al trabajar con tecnologías más eficientes y limpias, lo que provoca una disminución en el consumo de recursos y en el impacto ambiental (Vásquez et al., 2017). Por lo tanto, al implementarse de una forma correcta puede reducir costos de energía de la organización, generar estrategias a largo plazo para ahorros energéticos y aumentar la seguridad de la energía (Field, 2019).

A nivel internacional, existen normas que permiten la implementación de un sistema de gestión energético. Por su parte, una de las más reconocidas, es la Norma ISO 50001, creada por la Organización Internacional de Normalización (Cañizares et al., 2014).

Con el fin de activar la economía nacional y mejorar el empleo en las empresas que tienen altos consumos de energía, se creó una tarifa eléctrica preferencial (Ministerio de Ambiente y Energía, 2017). Para poder aplicar a esta tarifa, el usuario debe tener registros con un consumo mínimo de 1 000 000 Wh/mes, además de una potencia mayor o igual de 2 000 kW/mes. En caso de no cumplir con estos requisitos, pueden ingresar todos los clientes que cuenten con la certificación de la norma ISO 50001 (ICE, 2020b). La propuesta para la creación de esta fue presentada por el ICE, y tuvo una vigencia temporal de 21 meses (del 1 de abril del 2019 al 31 de diciembre del 2020) (Presidencia De la República de Costa Rica, 2019). A partir del año 2021 fue renovada por ARESEP quien promovió la implementación a los diferentes entes que abastecen de energía eléctrica al país (ARESEP, 2020).

3.3.1 Implementación de la norma ISO 50001:2018

La ISO 50001:2018 se basa en un sistema de mejora continua utilizado en otras normas conocidas tales como la ISO 9001 y la ISO 14001. Esto promueve la integración de las normas en los sistemas de la organización. Cabe destacar que la ISO 50001 no presenta ningún criterio de rendimiento sino que trabaja con el marco de planear-hacer-verificar y actuar (PHVA) (Kanneganti et al., 2017).

Su estructura está formada por 10 apartados. Los capítulos 1, 2 y 3 se basan en delimitar el alcance, la normativa y las definiciones; es decir, son solo puntos informativos los cuales no contienen requisitos. En cuanto a los capítulos del 4 al 7 correspondientes a contexto, liderazgo, planificación y apoyo los cuales responden al principio de “planear”. El capítulo 8 de operación se relaciona con el principio de “hacer”; mientras que el capítulo 9 de evaluación de desempeño corresponde al principio de “verificar”. Finalmente, el capítulo 10 brinda un enfoque con el fin de mejorar el sistema bajo los parámetros de “Conveniencia”,

“Adecuación” y “Eficiencia” (Poveda-Orjuela et al., 2019). En la Figura 3.3.1 se muestra un esquema que permite comprender de una mejor manera la estructura de la norma.

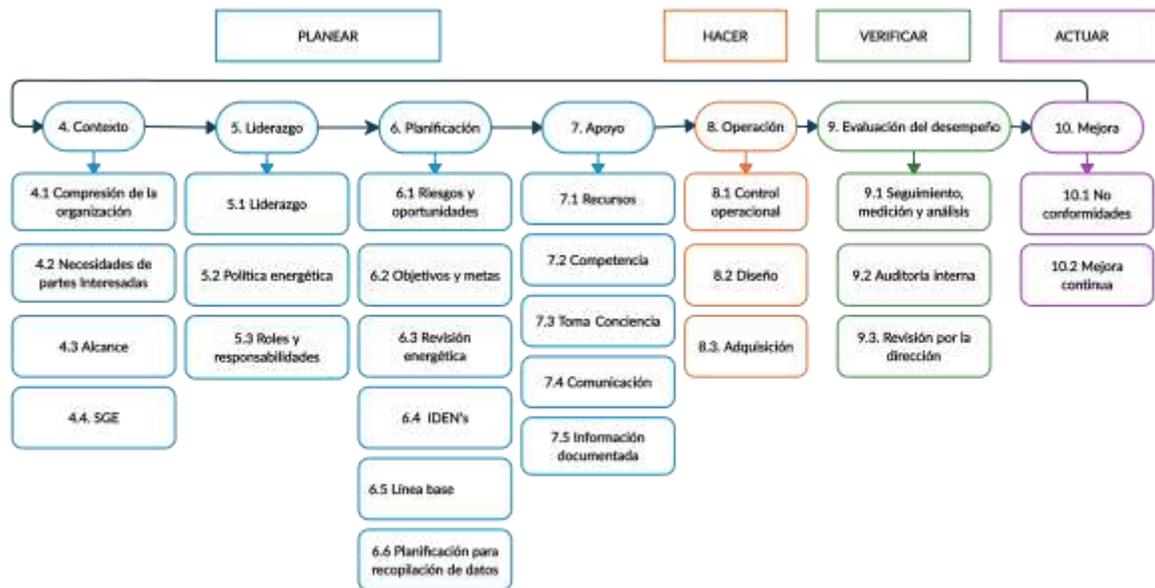


Figura 3.3.1. Estructura de la ISO 50001:2018.
Adaptado de ISO-UNE, 2018

Al analizar la figura anterior, se puede definir que el apartado que requiere de una mayor atención consiste en el apartado 6 de planificación. Esto porque indica la forma correcta de abordar los objetivos y las metas, la revisión energética, los indicadores de desempeño energético y el establecimiento de la línea base que definirá la organización.

Según INTECO, (2018) para el apartado 6.3 de la revisión energética, la norma INTE/ISO 50001:2018 señala que la organización debe:

- Analizar el tipo de energía, así como el uso y consumo actual de esta.
- Establecer los Usos Significativos de Energía (USE) considerando variables relevantes e identificado las personas que trabajan bajo su control.
- Determinar oportunidades para mejorar el desempeño energético.
- Estimar el uso y consumo de energía en el futuro.

Como se mencionó, al iniciar con este proceso se deben conocer los USE's de la organización, mediante los cuales se identifican las áreas que representan un consumo energético considerable y se puede mejorar el desempeño energético en estas áreas. (ISO-UNE, 2018). Cabe destacar que los USE elegidos deben ser controlados, monitoreados y medidos (Valerio, 2020).

Una forma de medir los resultados que tenga la empresa, después de la implementación del sistema es por medio del apartado 6.4 de indicadores de desempeño energético (IDEn) (ISO-UNE, 2018). Estos permiten monitorear el avance de la organización (García, 2011). Así mismo, es importante que cumplan con diversas características tales como: basarse en los procesos realizados, medir cambios que ocurran en las actividades de la organización, ser confiables, transparentes y verificables (Ibarguen et al., 2017).

Así mismo, según el apartado 6.5 se debe establecer una o varias líneas de base energéticas, utilizando los datos recolectados en la revisión energética. Además, se deben considerar las variables relevantes que afecten significativamente, seguidamente se debe de realizar una normalización de los valores de la línea base y de los IDEn (INTECO, 2018).

4 MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se describirán los principales procedimientos o actividades que se realizaron para la recolección e interpretación de información. Esto con el fin de definir la situación actual energética de la empresa y poder realizar propuestas de mejora.

4.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Existen diferentes tipos de enfoque en el que se puede desarrollar una investigación. Para el caso del presente documento el enfoque de la investigación corresponde al mixto. Esto se debe a que se involucran procesos relacionados con la recolección y análisis de datos, de una forma cuantitativa y cualitativa, con el fin de buscar maneras para optimizar el consumo energético en la empresa (Hernández, Fernández, & Baptista 2014).

4.2 ÁREA DE ESTUDIO

El trabajo se realizó en una industria de alimentos de aderezos y condimentos. El alcance del SGE considera los diferentes procesos presentes en la empresa los cuales se muestran en la Figura 4.2.1. Como se puede observar, producción se divide en polvos y líquidos.

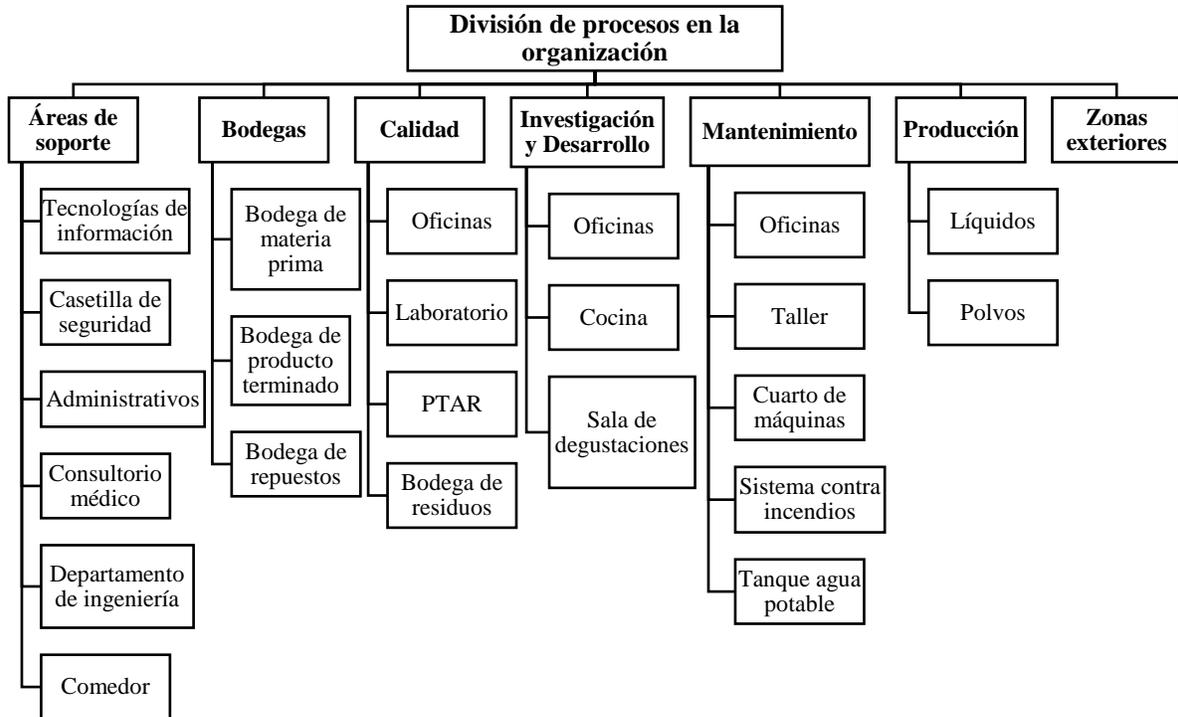


Figura 4.2.1. Mapa de los procesos de la empresa.

4.2.1 Área de producción de Polvos

Área encargada de la fabricación de condimentos de la organización compuesta principalmente por el siguiente equipo:

- Mezcladoras: Su principal función consiste en desplazar las partículas para lograr una homogeneización entre ellas. Por lo cual, entre mayor sea el movimiento de las partículas, su mezclado será más eficiente (Renjifo & Benalcázar, 2018). Las mezcladoras horizontales tienden a mezclar su producto en un intervalo de 2 a 4 minutos, debido a su tipo de estructura logra que el 100% de sus partículas se encuentre en movimiento (Fernández & Quintero, 2014). Según Rincón (2017) las partes principales de una mezcladora consisten en un soporte estructural, un sistema

generador de potencia, un sistema de control automático, un conjunto de las bandas y poleas y el eje mezclador.

A continuación, se muestra en la Figura 4.2.2 los componentes principales que presenta una mezcladora horizontal helicoidal:

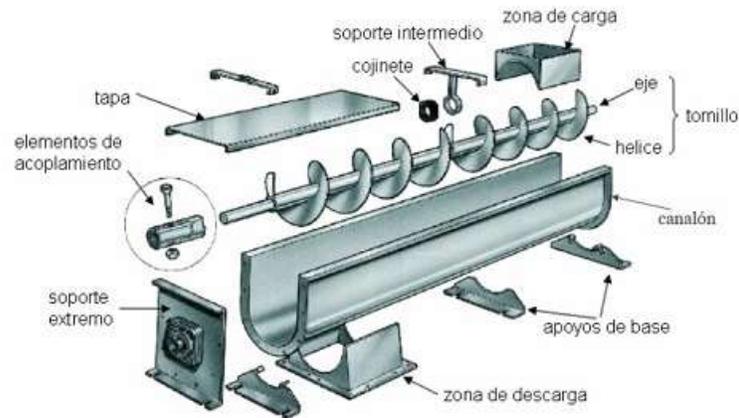


Figura 4.2.2. Componentes de una mezcladora horizontal.
Fuente: (Gaytán & Cuevas, 2019)

4.2.2 Área de producción de líquidos

El área de líquidos contempla los siguientes principales equipos para la fabricación de aderezos y salsas:

- Marmita: Se define como una olla de presión con tapa atornillada, la cual genera una presión interna que permite la cocción rápida de los alimentos. Debido a que el punto de ebullición del agua aumenta con la presión, genera que los productos puedan aumentar su temperatura rápidamente (Enriquez et al., 2019). El calentamiento se da gracias a una “chaqueta” que recubre la olla, la cual posibilita el paso de calor al producto por medio de vapor de agua (Manrique, 2015).

- Homogeneizador Stork: Consiste en un equipo que homogeneiza y esteriliza los alimentos, por lo cual se debe velar porque todos los elementos que interactúen con el producto se mantengan en un ambiente aséptico (Medina, 2004). Se encargan, además, de otras funciones tales como reducir el tamaño de las partículas, ayudar con la disolución, mezcla, encapsulación y emulsificación (Osorio et al., 2021).

En la Figura 4.2.3 se muestran ejemplos de geometrías de las válvulas de homogeneización, donde se observa el proceso en el que se compactan las partículas.

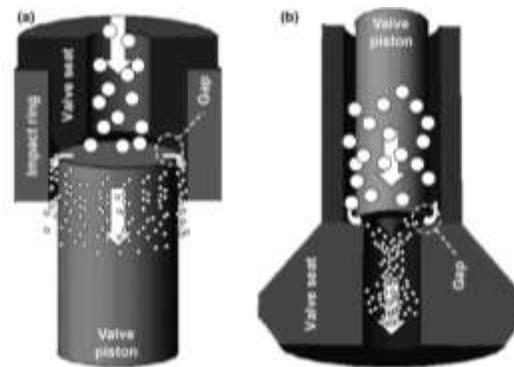


Figura 4.2.3. Geometría de válvulas de homogeneización.
Fuente: (Zamora y Guamis 2014)

- Frymas: Consisten en mezcladoras al vacío de sustancias líquidas y semi líquidas que contienen un alto grado de viscosidad (ROMACO FrymaKoruma, 2020). En estos equipos se agregan los ingredientes, los cuales son procesados para producir emulsiones, dispersiones o suspensiones (Perugachi, 2012). Dentro de sus principales aplicaciones se encuentra la preparación de mezclas líquidas para pasteles, quesos procesados, rellenos, concentrados de sopas, entre otros (ROMACO FrymaKoruma, 2020).

A continuación, en la Figura 4.2.4 se muestran los principales componentes de este sistema:

1. Producto de entrada
2. Descarga del producto
3. Disolventor
4. Agitador
5. Sistema al vacío
6. Enfriamiento/ calentamiento
7. Sistema CIP

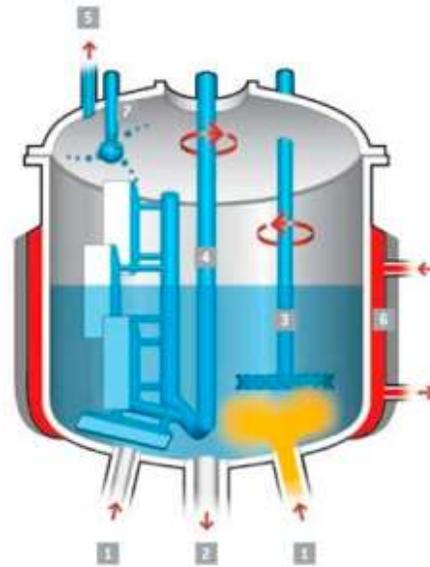


Figura 4.2.4. Componentes de una unidad de mezcla y dispersión al vacío Fryma.
Fuente: (ROMACO FrymaKoruma, 2020)

4.3 DETERMINACIÓN DE LA LÍNEA BASE Y LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

Para la creación de la línea base de la organización, se recopilaron los datos de energía mensual consumidos para el periodo 2019, estos se dividieron en consumo de gas licuado de petróleo (GLP), consumo de electricidad y consumo de gasolina y diésel. Seguidamente se procedió a determinar su consumo en megajulios (MJ) para analizar las áreas que requerían mayor consumo por medio de un análisis de Pareto.

Para la creación de las líneas base se trabajó con aquella energía que representa un 80% del total de la empresa y se procedió a hacer un análisis causa-raíz con el fin de determinar aquellas variables relevantes que pueden afectar su consumo. Los datos fueron sometidos a diferentes modelos tanto lineales como no lineales con el fin de determinar cuál de ellos

presentaba un mejor ajuste de los datos. Para esto se trabajó con el programa de Microsoft Excel y el software de Minitab 17.1.0.

Para elegir la línea de base que mejor se adecuara a la organización se consideraron diversos factores siguiendo las recomendaciones de Superior Energy Performance 50001 (2019) los cuales se mencionan a continuación:

- Se estableció un periodo de recolección de datos mínimo de 12 meses.
- Se trabajó con un nivel de confianza del 95%
- Se verificó que los datos presentaran un comportamiento normal.
- El R^2 aceptado debe tener una correlación fuerte, por lo cual, según Hernández et al. (2018) debía estar entre valores de R^2 de 0,5 y 1. No obstante, para mejorar la correlación se decidió trabajar con valores de al menos un R^2 de 0,75.
- Al menos una variable relevante debe tener el valor de probabilidad (p-value) menor a 0,1 para aceptar la hipótesis nula que indica la significancia entre las variables

4.4 COMPARACIÓN ENTRE CONSUMO ENERGÉTICO TEÓRICO Y REAL

Se llevó a cabo un recorrido por toda la organización con el fin de determinar la situación actual. En este, se realizó un inventario energético que permitió recolectar información de todos los equipos. La misma se organizó por medio de Microsoft Excel considerando sus principales características tales como modelo, ubicación, potencia, tiempo de uso, entre otros (ver Apéndice 1). Debido a que los funcionarios administrativos de la organización se encontraban laborando con modalidad de teletrabajo, se le solicitó información al departamento de finanzas para que brindaran el inventario de los equipos de oficina tales como computadoras portátiles, monitores y CPU. Cabe resaltar que no todos los equipos tenían una placa con la información energética que se requería, por lo cual se tuvo que

elaborar una búsqueda bibliográfica utilizando los modelos de equipos para encontrar las fichas técnicas o manuales de usuario de cada uno.

Así mismo, se realizaron entrevistas a los funcionarios encargados del área de mantenimiento con el fin de conocer las características y el funcionamiento de los equipos. Los equipos que se consultaron corresponden a las calderas, compresores, sistemas refrigerantes, luminaria, maquinaria de transporte, motores y maquinaria industrial (ver Apéndice 2).

La empresa no cuenta con medidores de energía en las diferentes áreas por lo cual solo se pudo realizar una estimación teórica del consumo de los equipos. Para el caso del combustible se determinó su consumo por medio de la cantidad de litros consumidos al mes en los diferentes equipos; información que es llevada a cabo por el departamento de finanzas.

Una vez recolectada la información inicial de la organización, se procede a calcular el consumo eléctrico de cada equipo considerando la ecuación 1:

$$\text{Consumo eléctrico (kWh)} = \text{Potencia} * \text{horas de uso al día} * \text{días uso al mes} * \text{factor de uso} \text{ (ec.1)}$$

Para el caso de los equipos que contenían la potencia nominal en sus especificaciones, no fue necesario considerar la tensión y la corriente, sino que se utilizó la potencia directamente.

Una vez que se obtuvieron los resultados del consumo para todas las áreas se procedió a asignarlas a las áreas de soporte, bodegas calidad, investigación y desarrollo (I+D), mantenimiento, producción y zonas verdes. Con esta información, al igual que como se hizo anteriormente, se realizó un diagrama de Pareto para cada área y se obtuvo el análisis de consumo eléctrico por departamento y por tipo de dispositivos.

Al finalizar de recolectar toda la información se realizó una comparación con el consumo eléctrico mensual promedio real de la organización para el año 2019. Esto con el fin de corroborar la información presentada.

4.5 RECOMENDACIONES DE MEJORA DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO

Se realizó una búsqueda bibliográfica de publicaciones, manuales, fichas técnicas, entre otros con el fin de identificar las principales medidas de ahorro en los equipos y de conocer la forma en mejorar el desempeño energético en aquellos que obtenían un mayor consumo energético en la organización. Para esto se contemplaron dos fuentes la eléctrica y el GLP específicamente aquel que proviene de la caldera.

Una vez definidas las áreas con las que se trabajaría más a fondo, se procedió a definir las oportunidades de mejora. Para priorizar las medidas se trabajó primeramente con aquellas que generaban un mayor consumo de energía en la organización. Además, se utilizó el programa Cape Open to Cape Open (COCO) versión 3.5.0.0 con el fin de determinar el comportamiento que podrían los equipos con mayor consumo.

En caso de que se requiriera, se realizó un análisis económico para determinar el ahorro que generaba la oportunidad de mejora. Cabe destacar que el estudio no se realizó en todos los casos ya que no se contaba con la información necesaria para generarlo.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este capítulo se presentan los resultados que corresponden a los objetivos planteados en esta investigación, abordando los temas referentes a la situación energética actual de la organización, así como principales oportunidades de mejora.

5.1 SITUACIÓN ENERGÉTICA INICIAL

Para determinar la situación energética actual en la empresa de alimentos, se procedió primeramente a analizar todas las fuentes de energía utilizadas para el año 2019. La norma ISO 50001:2018 indica que la organización debe incluir todas aquellas fuentes que se encuentren dentro de su alcance y sus límites (INTECO, 2018). Por lo tanto, con la anterior información se detallan las fuentes encontradas:

- Electricidad
 - Procesos eléctricos
- Energía fotovoltaica
 - Iluminación de zonas verdes
- Gas licuado de petróleo
 - Procesos en laboratorio de calidad
 - Procesos en investigación y desarrollo
 - Montacargas
 - Caldera
- Diésel
 - Montacargas
 - Vehículos

- Planta eléctrica y Caldera
- Gasolina
 - Vehículos
 - Hidrolavadoras
 - Corta de césped

Los procesos energéticos significativos, se muestra en la Figura 5.1.1.

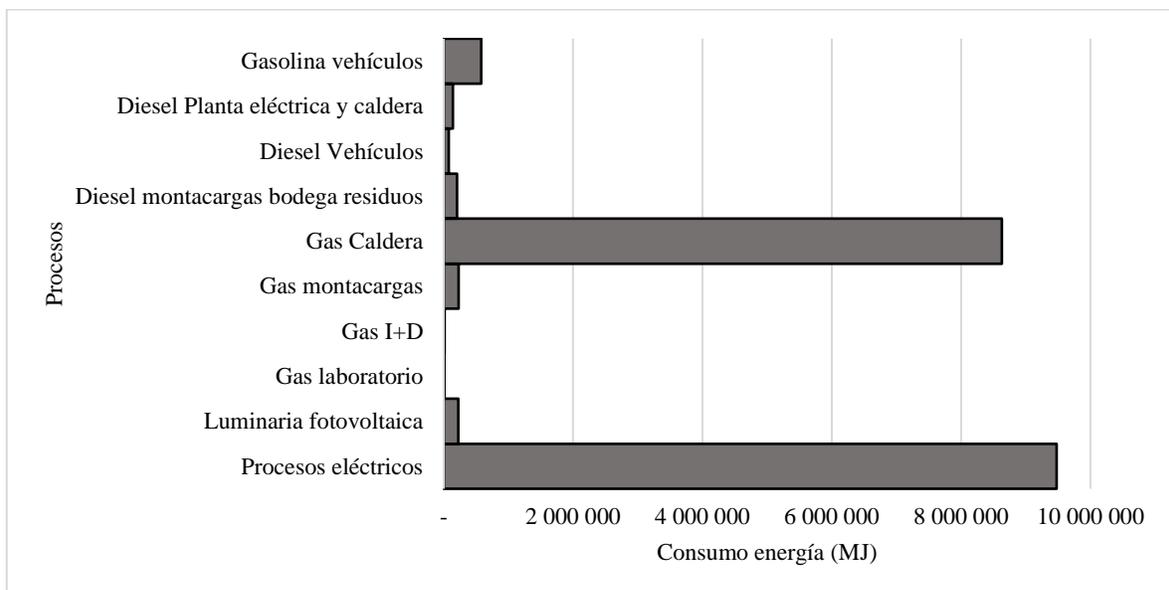


Figura 5.1.1. Diagrama de los procesos energéticos presentes en la empresa

Los procesos que requieren electricidad representan un 48% del consumo energético total de la empresa, mientras que el gas licuado de petróleo utilizado en la caldera representa un 44%. De lo anterior, y al observar la Figura 5.1.1 estas son las fuentes de energía a las que hay que considerar para controlar adecuadamente, ya que según Superior Energy Performance, (2019) los tipos de energía que representen un consumo anual del 5% o menos del total del consumo se pueden considerar como insignificantes por lo que pueden ser omitidas.

Así mismo, se decide analizar los costos asociados que representó el consumo de energía en la organización los cuales se observan en la Figura 5.1.2; en esta se refleja que la electricidad es quien mayor gasto conlleva, seguido del gas LP. Cabe destacar que el costo del gas utilizado de la caldera es el 23% del total. Con esto se puede interpretar, que a pesar de que el consumo de GLP de la caldera corresponde al 44%, solo genera un 23% en el gasto, mientras que el consumo de electricidad que es de un 48%, representa el 70% del costo.

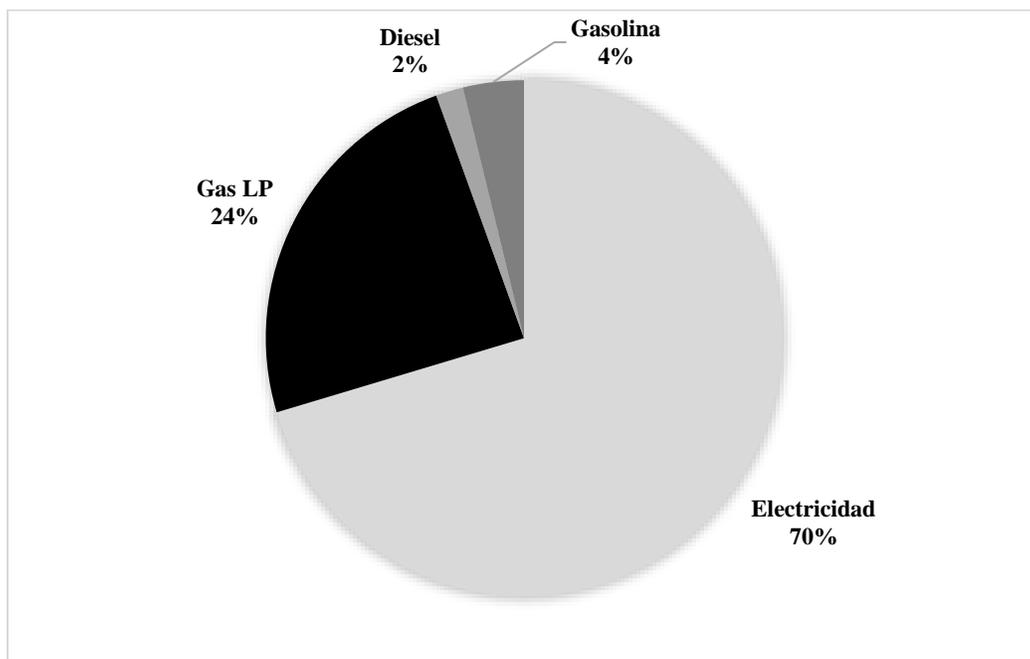


Figura 5.1.2. Costos del consumo de energía de la organización por fuente.
Adaptado de datos de la organización.

La información de la energía consumida según su fuente se recolectó consultando cada departamento que consumía o que llevaba el registro y a partir de ahí se realizaron los cálculos. Para el caso de la empresa, una persona del departamento de financiero es quien lleva los registros generales, por lo cual el personal debe reportar los movimientos referentes a los consumos de energía. Sin embargo, al comparar los datos que se recolectaron con los

que maneja el departamento de financiero, se encontraron inconsistencias las cuales se muestran en el Cuadro 5.1.1.

Cuadro 5.1.1. Diferencia porcentual de los registros elaborados en comparación con los registros de la empresa.

Fuente	Consumo anual reportado por organización (MJ)	Consumo anual obtenido del estudio (MJ)	Diferencia
Electricidad	9 475 200	9 475 200	0%
Gas Licuado Petróleo	8 608 261	8 884 856	3%
Diesel caldera y planta	141 032	141 032	0%
Gasolina		636 231	100%

Como se observa en el cuadro anterior, la electricidad no presenta ninguna diferencia entre los consumos recolectados, esto se debe a que para ambos casos se obtuvo con el medidor de electricidad. Para el caso de GLP existe una diferencia del 3%, mientras que para el caso de diésel consumido por la caldera y la planta eléctrica se muestra el mismo registro por lo cual no hay diferencia. No obstante, cuando se recolectó información del consumo de diésel en la organización, se determinó que existía además consumo por parte de vehículos y del montacargas de residuos. Sin embargo, la organización se concentra en las compras de combustibles principales como el consumo del diésel para la caldera y la planta eléctrica. Por lo cual, en el registro no se contemplan diversos sectores como los mencionados anteriormente, ya que estos reportan la compra por medio de otra metodología. A continuación, se muestra en el Cuadro 5.1.2 el desglose del consumo de diésel de la organización, considerando todos los sectores donde se utiliza.

Cuadro 5.1.2. Consumo de diésel anual de la empresa por área.

Área	Consumo anual obtenido en el estudio (MJ)
Planta eléctrica y caldera	141 032
Bodega residuos	205 816
Vehículos	76 322

Una vez establecidas las fuentes de energía significativas, se procede a elaborar la línea base. La norma indica que se pueden utilizar una o más líneas de base, según decida la organización, además se deben incluir las variables relevantes que afecten el desempeño energético (INTECO, 2018). Basándose en esta información se procede a elaborar tres líneas base. La primera se realiza con base en el consumo eléctrico, la segunda con el consumo de GLP utilizado en la caldera, mientras que la tercera se trabaja tanto con el consumo de electricidad como de GLP. Se decidió trabajar con estas ya que son las que representan el 92% del consumo de la organización.

Para establecer la línea base energética se debieron analizar las variables significativas en la empresa. Por lo cual, se estableció un análisis causa raíz en los factores que influyen en el consumo energético como se observa en el Apéndice 3: Análisis causa raíz en el consumo de energía de gas licuado de petróleo de caldera y electricidad. Las variables relevantes encontradas son: toneladas producidas en líquidos, toneladas producidas en polvos, toneladas producidas totales, temperatura, humedad, tiempo de producción de las máquinas en polvos, tiempos de producción en las máquinas en líquidos, así como la suma de tiempos de producción de las máquinas.

Al obtener estas variables, se procedió a analizar su comportamiento por medio de análisis estadísticos. Así mismo, se sometieron a diferentes modelos lineales y no lineales. Cabe destacar que las regresiones a las que se sometieron los datos podían ser multivariantes o bien univariantes. A continuación, se detallan los modelos utilizados con el fin de determinar el modelo que mejor se ajustaba a los datos:

- Regresión asintótica
- Modelo exponencial
- Modelo logarítmico
- Modelo potencial
- Modelo lineal generalizado con enlace logarítmico
- Modelo lineal
- Método de Dividas de Newton
- Método de Lagrange

Cabe destacar que los primeros 3 modelos no lineales se realizaron por medio del programa de Minitab mientras que los últimos tres modelos fueron realizados por medio del programa de Excel.

Finalmente, el modelo que mejor se ajustó a los datos para las tres líneas base fue el de regresión lineal, utilizando la variable de toneladas de producción total y de horas totales de producción.

A continuación, se observa en el Cuadro 5.1.3 los resultados para la línea base de electricidad con respecto a la producción total y horas de producción. La selección de este modelo se dio debido a que es el que presentó un mejor coeficiente de determinación (R^2), el cual indica que existe un 80% de relación lineal entre las variables. Así mismo, se obtiene al menos un

valor de probabilidad menor a 0,1 lo que indica que sí hay significancia de esta con respecto al consumo eléctrico a un 95% de confianza (Superior Energy Performance 50001, 2019).

Cuadro 5.1.3. Valores de la línea base para la electricidad en comparación con las toneladas y horas de producción totales

Variable	Coficiente de determinación	P-value	Coficientes
Intercepción		0,00005	452 875,04
Producción Total	0,8	0,06868	52,05
Horas Producción Total		0,45401	52,05

A continuación, se muestra la Figura 5.1.3, donde se observa el desempeño energético del consumo eléctrico de la empresa en comparación con el consumo mostrado por el modelo de la línea de base de electricidad. Cabe destacar que ambas comparaciones se realizan para el año 2019 con el fin de mostrar el comportamiento del modelo.

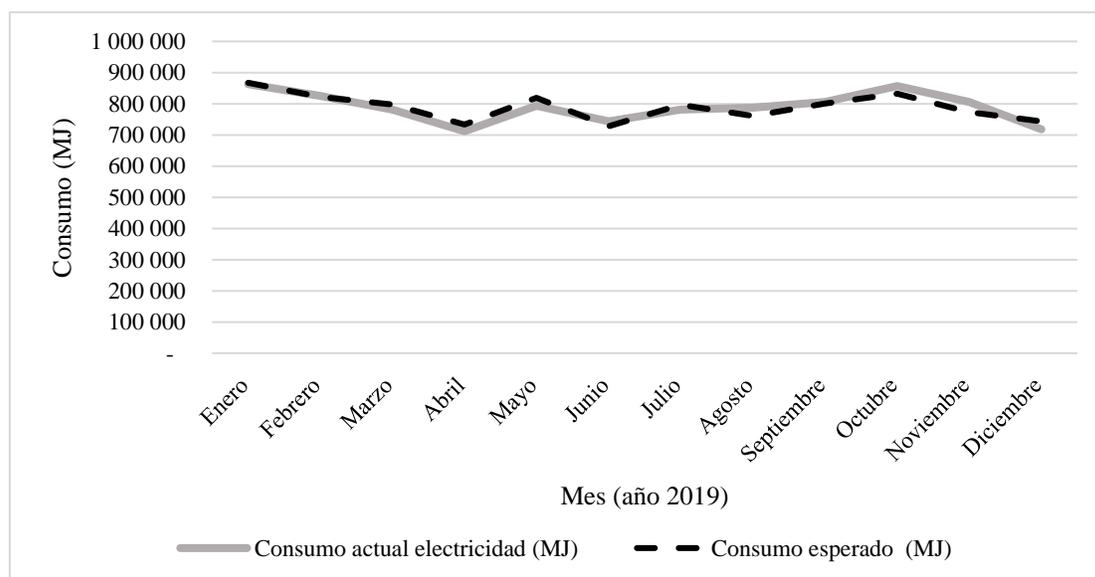


Figura 5.1.3. Consumo de electricidad de la empresa en comparación al consumo de electricidad esperado por la línea base de electricidad.

A partir de los datos anteriores, se decide obtener el IDEn para la línea de base de electricidad. Cabe destacar que el IDEn se muestra de forma de proporción por lo cual va a mostrar el

porcentaje de ahorro que genera según los objetivos propuestos previamente por la organización. A continuación, se muestra el IDEN de electricidad en la ecuación 2:

$$IDEN \text{ electricidad} = \frac{(\text{Consumo electricidad esperado por el modelo} - \text{Consumo electricidad real})}{\text{Consumo electricidad esperado por el modelo}} \times 100$$

(ec.2)

Para el caso de la línea base del consumo de GLP en la caldera con respecto a la producción total, se puede observar en el Cuadro 5.1.4 que el R^2 dio un valor de 0,75 es decir, se presenta una relación lineal entre las variables del 75%. Mientras se obtiene al menos un valor de probabilidad menor a 0,1 lo que indica que sí hay significancia en las variables con respecto al consumo de GLP a un 95% de confianza (Superior Energy Performance 50001, 2019).

Cuadro 5.1.4. Valores de la línea base energética del consumo de GLP en la caldera con respecto a las horas y toneladas de producción total.

Variable	Coefficiente de determinación	P-value	Coefficientes
Intercepción		0,71	50 335,22
Producción Total	0,75	0,09	263,19
Horas Producción Total		0,59	29,83

En la siguiente Figura, se muestra el comportamiento del consumo real de GLP en la caldera para el año 2019 en comparación al consumo esperado por el modelo de la línea de base.

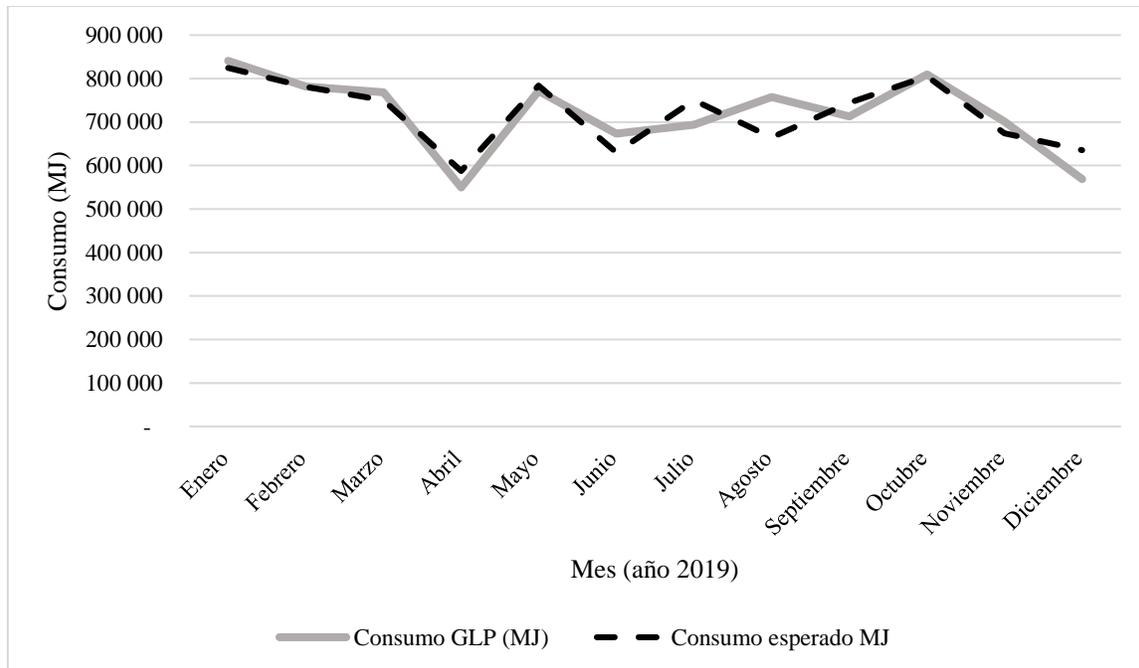


Figura 5.1.4. Consumo real de GLP de la caldera en comparación al consumo de GLP de la caldera esperado por la línea base.

A partir de los datos anteriores, se decide obtener el IDEN para la línea de base de GLP de la caldera. Al igual que el IDEN de electricidad, este se muestra de forma de proporción por lo cual va a mostrar el porcentaje de ahorro que genera según los objetivos propuestos previamente por la organización para mejorar el desempeño energético en la caldera. A continuación, se muestra el IDEN de GLP de la caldera en la ecuación 3:

$$IDEN \text{ GLP de la caldera} = \frac{(\text{Consumo GLP de la caldera esperado} - \text{Consumo GLP de la caldera real})}{\text{Consumo de la caldera esperado}} \times 100 \quad (\text{ec. 3})$$

Finalmente, al analizar la tercera línea base en la Figura 5.1.5 se evidencia que al aplicar la regresión lineal el R^2 obtenido es de 0,76, es decir, se da un 76% de relación lineal entre las variables. Mientras que el p-valor corresponde a 0,00021 por lo cual, al ser menor a 0,1 se

acepta la hipótesis nula indicando que existe significancia entre las variables, esto a un 95% de confianza.

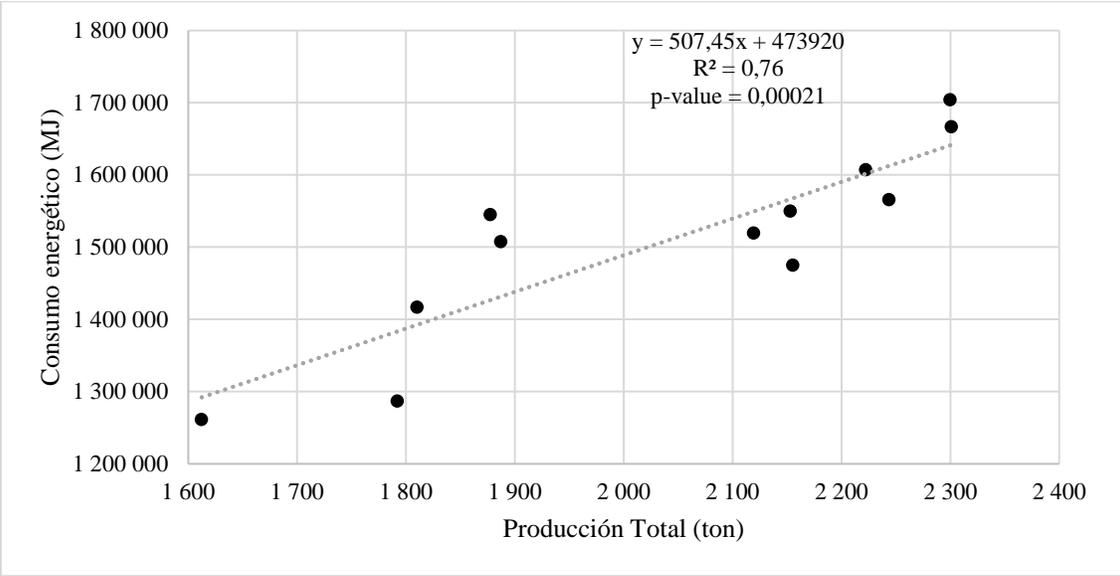


Figura 5.1.5. Línea base energética del consumo eléctrico y de GLP en la caldera con respecto a la producción total.

En la Figura 5.1.6 se muestra el comportamiento real del consumo de electricidad y de GLP de la caldera en comparación al consumo esperado por el modelo de la línea base mostrado en la Figura 5.1.5

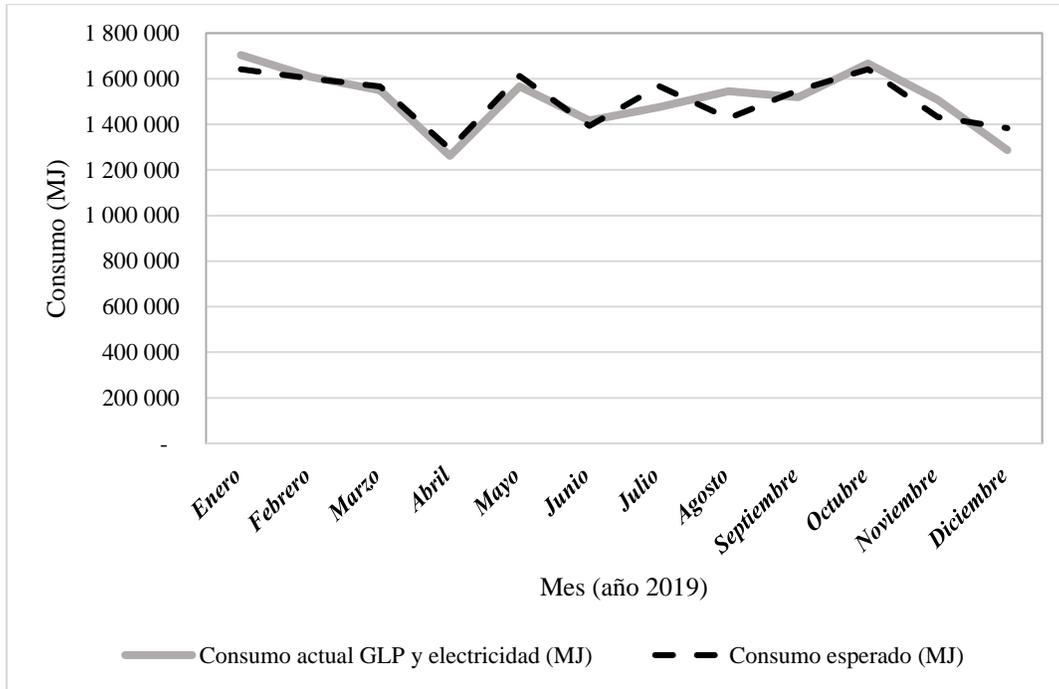


Figura 5.1.6. Consumo real de electricidad y GLP de la caldera vs. el consumo de electricidad y GLP de la caldera esperado por la línea base.

A partir de los datos anteriores, se decide obtener el IDEn para la línea de base de electricidad y GLP de la caldera. Como se mencionó anteriormente, el IDEn se muestra en forma de proporción por lo cual va a mostrar el porcentaje de ahorro que genera según los objetivos propuestos previamente por la organización para mejorar el desempeño energético en el consumo de electricidad y de la caldera. A continuación, se muestra el IDEN de GLP de la caldera en la ecuación 4:

IDEn electricidad y GLP de la caldera =

$$\frac{(\text{Consumo de electricidad y GLP de la caldera esperado} - \text{Consumo GLP de la caldera real})}{\text{Consumo de electricidad y CLP la caldera esperado}} \times 100 \quad (\text{ec. 4})$$

Al analizar la magnitud del coeficiente de relación de Pearson en las 3 regresiones anteriores, Hernández et al. (2018) mencionan a Cohen (1988) quien sugiere que existe una correlación

fuerte si los valores de R^2 se encuentran entre 0,50 y 1. Con esto, se puede afirmar que las tres líneas base presentadas tienen una correlación fuerte, siendo la del consumo eléctrico quien tiene la mayor correlación con un 0,80 por lo cual, es la más recomendada para utilizar. No obstante, también es recomendable utilizar la tercera línea de base con una correlación de 0,76 ya que incluye la electricidad y el gas licuado de petróleo.

Cabe destacar que es importante que esta línea de base sea revisada y actualizada al momento que la organización decida comenzar a implementar las oportunidades de mejora, ya que los datos y variables relevantes pueden resultar no representativos debido al tiempo transcurrido.

5.1.1 Usos significativos de la energía

Con el fin de priorizar las acciones que realiza la empresa en aras de mejorar el desempeño energético, se deben categorizar aquellos consumos que generan un impacto significativo. Según INTECO (2018) la organización debe definir los usos significativos de la energía (USE) y establecer los criterios de evaluación. Contemplando esto, se definieron los criterios para elegir los USE, cabe destacar que estos están solo a modo de ejemplo para la organización, por lo cual, la empresa puede modificarlos según considere conveniente y acorde a sus objetivos.

Cuadro 5.1.5. Criterios de evaluación para establecer los Usos Significativos de Energía.

N°	Criterio de Significancia	Rúbrica	Porcentaje de Importancia
1	Consumo de energía anual	-Si el consumo es menor al 5% = 0 -Si el consumo es entre el 5% y el 10% =0,5 -Si el consumo es mayor al 10% =1	35%
2	Costo de fuente de energía anual	-Si el costo es menor al 5%=0 -Si el costo es entre el 5% y el 10%=0,5 -Si el costo el mayor al 10%=1	50%
3	Origen de la fuente de energía	-Si la fuente es renovable=0 -Si la fuente es proveniente de combustibles fósiles=1	15%

Como se puede mostrar en el Cuadro 5.1.5 se establecieron 3 criterios para elegir los USE, así mismo, se decidió establecer mayor porcentaje en el costo de la energía ya que este aspecto es el de mayor relevancia para la empresa. Para establecer los USE se decidió evaluar los consumos de dos formas diferentes, la primera se aplicó para los procesos de la organización según su fuente y la segunda se aplicó a los equipos. Esto con el fin de dar más disponibilidad a la empresa de elegir los USE que mejor se adhiera a su disponibilidad para controlarlos y monitorearlos. En el Cuadro 5.1.6 se observan los USE seleccionados a ser evaluados. Cabe destacar que para la columna 2 de los equipos, los motores de la planta de tratamiento de agua residual se encontraban en calificación número 3, no obstante, al ser equipos con poco potencial para la mejora del desempeño energético, debido al periodo de su vida útil y al tipo de diseño que presenta la planta de tratamiento, no fueron considerados, sino que se contemplaron los siguientes más altos en calificación.

Cuadro 5.1.6. Usos Significativos de la Energía según procesos y equipos.

N°	USE's según procesos	USE's según equipos
1	Gas Caldera	Caldera GLP
2	Mantenimiento	Compresores
3	Producción	Sistemas refrigerantes (chiller-aires acondicionados)
4	Áreas de soporte	Mezcladoras

5.2 COMPARACIÓN DE CONSUMO ELÉCTRICO TEÓRICO Y CONSUMO ELÉCTRICO REAL

Para la comparación del consumo eléctrico teórico, se elaboró una base de datos en Excel, la cual permitió recabar información referente a los dispositivos eléctricos de la organización (ver apéndice 1). Para obtener la potencia de los equipos, se procedió a recolectar la tensión y la corriente eléctrica que se indicaban a través de las placas de los dispositivos o bien en sus fichas técnicas. Así mismo, se le preguntó al personal de cada área el tiempo de funcionamiento de cada equipo, así como aquellos que se encontraban en desuso o mal estado.

Después de inventariar las diferentes áreas mencionadas, se realizó una comparación en cuanto al consumo eléctrico real de la organización para el 2019 con el consumo calculado. El consumo promedio para el año 2019 consistió en 219 333 kWh, mientras que el consumo calculado fue de 216 487 kWh, es decir, existe una diferencia de casi el 2% entre ambos valores, lo cual indica que presenta una buena exactitud entre ambos. Así mismo, esa diferencia es congruente con la recolección de los datos ya que algunos equipos no contaban con ficha técnica, ni con la placa de características de equipos energéticos ni con el modelo del dispositivo, datos que permitirían determinar la potencia de estos, por lo cual no fue

posible determinar su consumo. Así mismo, las horas de uso promedio podían variar ya que al no existir un registro del uso real de los equipos se debió utilizar el tiempo que el personal consideraba correcto y la potencia nominal de los equipos considerando un factor de carga del 80%.

Al contabilizar los dispositivos, se encontraron 2 223 equipos energéticos. Como se observa en la Figura 5.2.1, la mayor cantidad de equipos de la organización corresponden a los presentes en las áreas de soporte con 803 dispositivos. Estos se componen principalmente de CPU, monitores, computadoras portátiles, impresoras, entre otros equipos de oficina. Mientras que la menor cantidad de equipos corresponden a los presentes en el departamento de mantenimiento con un total de 97.

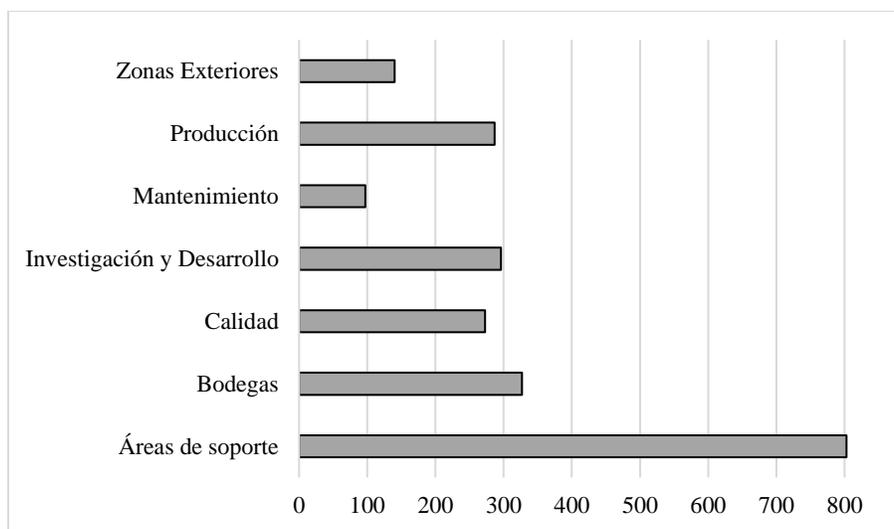


Figura 5.2.1. Cantidad de equipos energéticos en la organización distribuidos por departamento.

Seguidamente se analizó cada área según su ubicación, con el fin de obtener el consumo eléctrico por sector como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Cabe destacar que estos resultados corresponden a aquellas áreas que contenían más de un 4% en el consumo eléctrico.

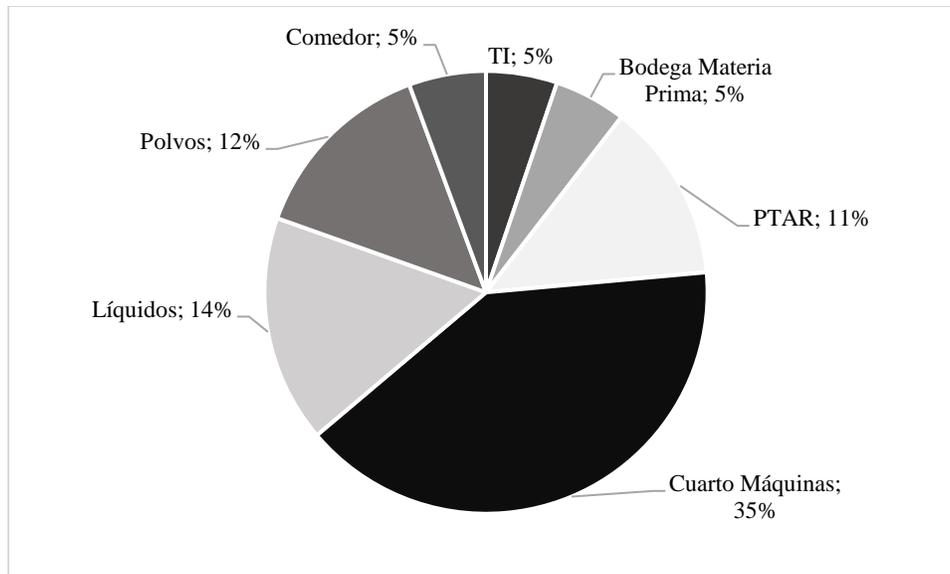


Figura 5.2.2. Distribución del consumo eléctrico en la empresa para el año 2019.

Con esto, se encontró que el área con mayor consumo de energía eléctrica corresponde al cuarto de máquinas con un 35% del consumo total; seguidamente el área de producción con un consumo del 26% (povos y líquidos), mientras que la planta de tratamiento de aguas residuales representa la tercera área con mayor consumo con un 11%. Por lo tanto, estos tres sectores representan el 72% de la electricidad total consumida.

Además, es importante evidenciar el consumo por equipo, con el fin de poder tener una idea más clara a la hora de considerar opciones de mejora. Debido a la alta cantidad de equipos energéticos presentes en la organización se muestran solo aquellos que representen más de un 1% en el consumo eléctrico, los equipos que representen menos de este porcentaje se verán reflejados como “otros”. Es importante aclarar que la categoría de “otros” corresponde aproximadamente al 82% de los equipos presentes en la organización.

En la Figura 5.2.3 se muestra el consumo de los diferentes equipos. Observando que los que consumen más de un 5% son los compresores, el chiller, motores de PTAR, mezcladoras y aires acondicionados (AA).

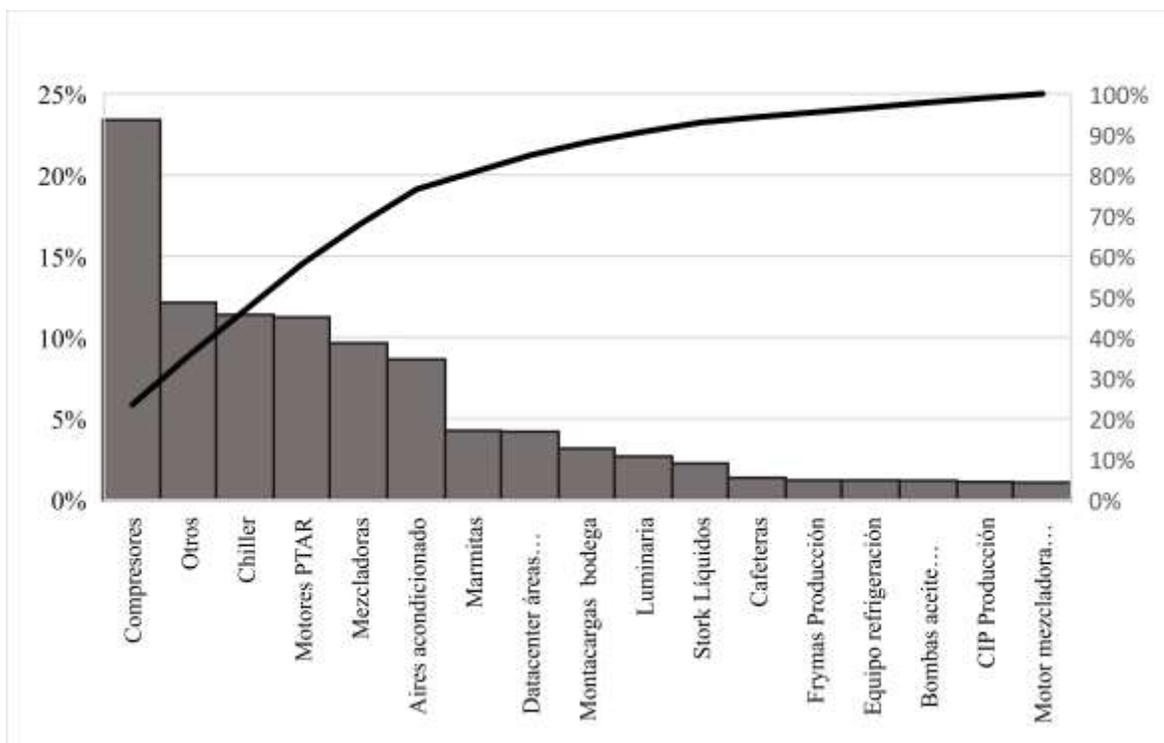


Figura 5.2.3. Consumo eléctrico por equipos en la organización.

A continuación, se referirá con mayor detalle cada equipo o departamento que consume el mayor porcentaje en la organización tanto del consumo eléctrico como del consumo de GLP.

5.2.1 Compresores

Los compresores se evidencian como los equipos de mayor consumo eléctrico con un 23,40%, estos son los encargados de abastecer de aire comprimido a toda el área de producción, es decir, líquidos y polvos.

Actualmente la empresa cuenta con 3 compresores de tornillo, los modelos de estos son Atlas Copco Ga45, Atlas Copco GA75VSD y Kaeser CSD75. Para el abastecimiento semanal de aire comprimido en la planta, se utilizan los compresores GA45 y GA75VSD, mientras que los fines de semana, debido a que la carga de trabajo disminuye, se opera solo con el CSD75. Estos trabajan de manera automática, por lo cual suministran aire hacia los tanques de

almacenamiento de los compresores cuando es necesario y de allí son transportados por medio de tuberías hacia la maquinaria que lo requiere. En el Cuadro 5.2.1 se observan las especificaciones técnicas de los compresores y los secadores.

Cuadro 5.2.1. Especificaciones técnicas de los compresores y secadores de la organización.

Equipo	Año	Potencia (kW)	Flujo (m³/min)	Presión de trabajo (Pa)	Velocidad (r/min)
Compresor GA 45	1998	45	3,48	910,11	3 600
Compresor GA 75	2015	75	15,09	1 303,11	3 000
Compresor CSD 75	-	65	9,77	861 845	-
Secador TE 91	2002	1,575	10,19	1 585 975	-
Secador Donaldson DC 1350 AX	-	4,340	22,51	1 599 584	-

Fuente: Adaptado a partir de datos brindados por la organización.

Los compresores cuentan con dos tanques de almacenamiento, lo cual brinda una mayor seguridad en cuanto a la disponibilidad de aire, esto también permite que los compresores no tengan que trabajar todo el tiempo ya que solo deben encargarse de que los tanques permanezcan con aire. Los tanques pueden guardar aire comprimido de hasta 150 °C y manejar temperaturas de 230 °C.

Cabe destacar, que la organización requiere un flujo promedio de aire comprimido de 550 cfm (15,57 m³/min) mientras que la producción promedio de los compresores es de 870 cfm (24,64 m³/min), es decir la producción abastece sin inconvenientes el funcionamiento de las máquinas. No obstante, estudios realizados recientemente por la empresa mostraron que el

promedio de fugas es de 1,42 m³/min, es decir casi un 6% de la producción de aire comprimido total.

La organización no maneja un registro de la cantidad de horas que opera cada compresor, sino que se realiza una medición por parte de la empresa que brinda el mantenimiento al equipo, donde se especifica el horímetro de carga y la marcha de cada uno. Así mismo, cuentan con un estudio realizado en el año 2020 por la misma empresa en la cual se obtienen el consumo eléctrico diario, semanal, mensual y anual de los tres compresores. Los valores obtenidos de este estudio son los utilizados en el inventario eléctrico con el fin de trabajar con valores más cercanos al comportamiento real de la organización. A pesar de esto, el estudio indica que el consumo mensual del compresor GA45 es mayor de lo que la potencia que indica la placa puede brindar, por lo cual se asume que el equipo trabaja a su potencia máxima de 54 kW y no de 45 kW.

Con el fin de mejorar el desempeño energético de la organización, el departamento de mantenimiento ha establecido una serie de medidas que han permitido controlar de una mejor manera el consumo de estos. Se ha reducido la presión de los compresores por lo cual actualmente se trabajan presiones de los 97 psi hasta los 110 psi y no a las presiones de trabajo que indican las fichas técnicas. Además, para el año 2020, se realizó una remodelación en las instalaciones donde se ubican los compresores con el fin de controlar la temperatura interior y ventilación.

En la Figura 5.2.4 se muestra la distribución porcentual del consumo de los compresores, donde el compresor Atlas Copco Ga45 es el responsable del 71% del consumo eléctrico de los compresores, seguido por el GA75VSD con un 23%. Como se puede observar, estos valores reflejan que el Kaeser CSD75 solo sea utilizado los fines de semana que se requiera.

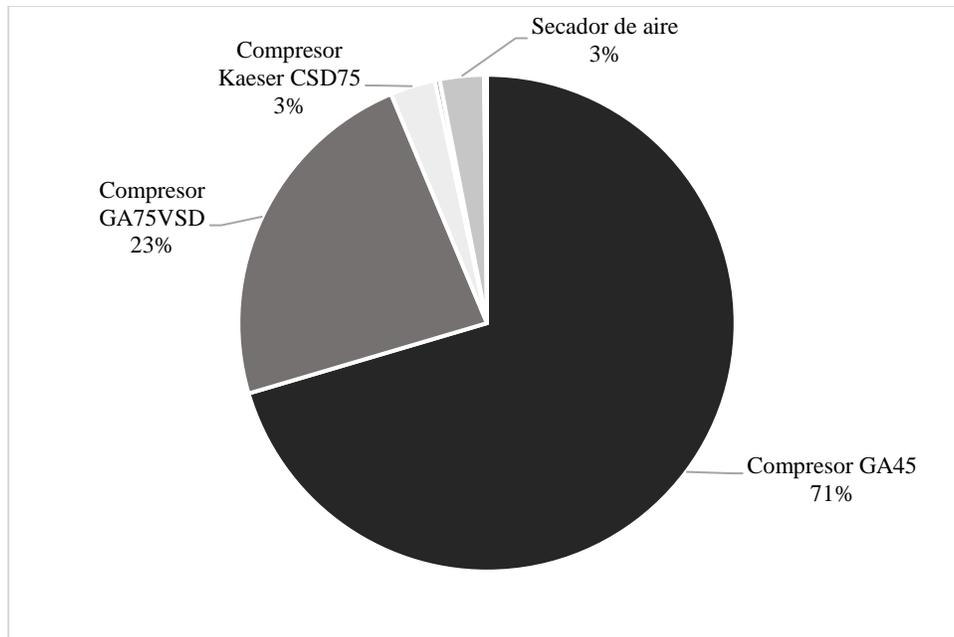


Figura 5.2.4. Distribución porcentual del consumo eléctrico en el área de los compresores.

5.2.2 Chiller

El segundo equipo con mayor consumo corresponde al chiller 30GXR106 de marca Carrier, quien representa el 11,39%. Para el momento del estudio se utilizó este como referencia debido a que se manejaron consumos del año 2019, no obstante, en la actualidad la organización cuenta con un segundo chiller marca York modelo YLAA0135. La empresa decidió rotarlos, por lo cual trabajan de semana por medio A continuación, se muestra el Cuadro 5.2.2 con las principales características de los chiller.

Cuadro 5.2.2. Principales características técnicas del sistema de Chiller de la organización.

Chiller	Tensión (Voltios)	Corriente (Amperios)	Presión (kPa)	Sistema Refrigerante	COP	EER	IPLV
30GXR106 Carrier	460-506	217,3-300	1 517-2 413	R134 ^a	2,9	9,9	12,1
YLAA0135	207-253	581-700	-	R410A	-	9,7	15,8

*EER: Energy Efficiency Ratio

*COP: Coefficient of Performance

*IPLV: Integrated Part-Load value

Fuente: Adaptado a partir de datos brindados por la organización.

Ambos chiller son utilizados para satisfacer la demanda de agua fría que requieren las Frymas, las cuales se encarga de producir aderezos en la línea de “líquidos fríos”. A pesar de que este equipo solo representa el 1,20% del consumo eléctrico, es muy importante ya que es quien define o no el uso del chiller por lo cual se encuentran directamente vinculados. Otro equipo que utiliza el agua del chiller para la preparación de los productos, consiste en el Stork, el cual consume aproximadamente el 2,23% de electricidad en la organización, ya que después de realizar su proceso a alta temperatura se somete a un enfriamiento del producto. Una vez utilizada el agua en las Frymas es devuelta al chiller con el objetivo de volver a enfriarse y continuar con su ciclo, por lo cual su trayectoria se da por medio de una tubería aislada que permite satisfacer el requerimiento de temperatura de producción de 10 °C aproximadamente.

5.2.3 Motores de la Planta de Tratamiento de agua residual (PTAR)

El tercer grupo con mayor consumo corresponde al conjunto de bombas y motores distribuidos en la planta de tratamiento con un 11,24%. Este porcentaje se debe a que la planta necesita electricidad en la mayor parte de las etapas en la que se le da tratamiento a las aguas residuales de producción.

Los principales equipos encontrados consisten en sopladores, bombas agitadoras y dosificadoras, bombas sumergibles y motores. Estos están distribuidos en los diferentes sistemas principales los cuales son homogeneizadores, sistema de floculación y coagulación, sistema de flotación por aire disuelto (DAF por sus siglas en inglés), sedimentadores, digester y reactores aeróbicos.

5.2.4 Producción polvos: Mezcladoras

El cuarto equipo con mayor consumo eléctrico corresponde a las mezcladoras del área de producción de polvos con un 9,64%. En este sector se obtienen productos en polvo como condimentos o sazonadores. Actualmente, la organización cuenta con 6 mezcladoras que pueden manejar de 100 kg a 3000 kg de producto. Cabe destacar que la mezcladora con mayor consumo corresponde a la de 3000 kg quien utiliza el 56% como se observa en la Figura 5.2.5, seguido por la mezcladora de 2000 kg y 1000 kg, las cuales consumen el 25% y el 11% respectivamente. Con el fin de utilizar responsablemente las máquinas, la organización planifica las órdenes de producto utilizando la capacidad máxima de cada una de las mezcladoras.

Cabe destacar que, con el fin de lograr ambientes inocuos en el área de producción, las mezcladoras utilizan del vapor de la caldera con el fin de realizar una adecuada desinfección en las superficies.

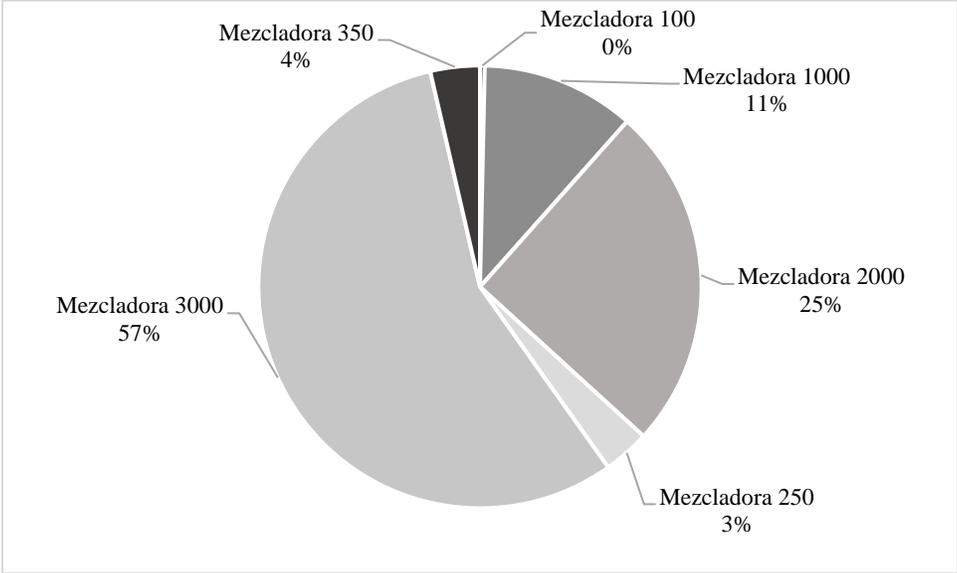


Figura 5.2.5. Distribución porcentual del consumo eléctrico en el área de las mezcladoras.

A continuación, se muestra en el Cuadro 5.2.3 las características principales de las mezcladoras de producción.

Cuadro 5.2.3. Especificaciones de las mezcladoras de la organización.

Mezcladoras (kg)	Potencia (kW)	Revolución por minuto
3000	60	1 775
2000	33,56	1 770
1000	22,37	1 755
350	12	1 755
250	9,7	1745
100	1,5	1435

Fuente: Adaptado a partir de datos brindados por la organización.

5.2.5 Aires acondicionados

Finalmente, los aires acondicionados corresponden al quinto grupo que consumen más energía eléctrica en la organización, con un 8,64%. Para el año 2019, la empresa contaba con 36 aires acondicionados distribuidos en todas sus instalaciones, donde los principales tipos corresponden a Split, mini Split y de paquete. En cuanto a los gases de refrigerantes los equipos utilizan el gas R-22 y el R410. En el Apéndice 6 se muestra la lista de aires acondicionados con sus principales características.

Cabe destacar, que no se encontró información para algunos aires acondicionados, ya que no contaban con placas eléctricas o con información en fichas técnicas, por lo cual no se tiene la recopilación de las características básicas de estos.

Así mismo, existen algunos aires acondicionados que se contemplan en el inventario energético, no obstante, estos ya no se encuentran instalados en la organización ya que para

el año 2020 se realizaron diversas remodelaciones estructurales, por lo cual hubo un reordenamiento en algunos departamentos tales como seguridad ocupacional, departamento de ingeniería, centro médico, departamento de calidad y oficinas de bodega de materia prima y producto terminado. De igual forma, se instalaron otros aires acondicionados debido a remodelaciones realizadas; por lo cual, aunque se contemplaron para la información brindada a la empresa, no se consideran para efectos del presente estudio.

En cuanto al tiempo de utilización de aires acondicionados, la organización no cuenta con un registro del tiempo que estos se encuentran en funcionamiento. Además, debido a que la recolección de datos se realizó en el año 2020, no se logró observar el comportamiento normal que tenía la empresa, ya que la mayoría de sus funcionarios se encontraba en modalidad de teletrabajo a causa de la pandemia asociada a la COVID-19; por lo cual se manejaron valores promedio según el departamento en el cual se ubicara el equipo.

Para la recolección de datos, la empresa maneja registros de aires acondicionados y los clasifican según ubicación, tipo (Split, paquete, mini Split y piso cielo), tipo de refrigerante, marca y modelo. De esta información existen algunos que no contienen estas especificaciones, por lo cual generó inconvenientes en el levantamiento de equipos. Así mismo, tampoco manejan un registro de características técnicas principales tales como: capacidad nominal (kW), capacidad de enfriamiento (BTU/h), SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio), por sus siglas en inglés y el EER (Energy Efficiency Ratio), por sus siglas en inglés.

5.2.6 Producción: Líquidos Calientes

5.2.6.1 Equipos producción

Si bien es cierto los equipos de líquidos calientes no consumen por sí solos más del 5% de la electricidad de la organización, sí representan un mayor impacto al considerarse como un conjunto. Las marmitas y el Stork, maquinaria principal utilizada en líquidos calientes al elaborar salsas, representan un 6,5% del consumo de electricidad en la organización. Además de este consumo de electricidad utilizan vapor de la caldera para poder elaborar sus productos, por lo cual indirectamente se relacionan con el gasto de GLP en el área de las calderas y de ahí su importancia de mantener un monitoreo constante a estos equipos.

A continuación, se muestra en el Cuadro 5.2.4 las potencias de los equipos de líquidos calientes.

Cuadro 5.2.4. Potencia de los equipos de producción de líquidos calientes en la organización.

Equipo	Potencia (kW)
Marmita 1	26
Marmita 2	26
Marmita 3	5
Marmita 4	5
Marmita 5	11
Marmita 6	26
Stork	20

No se pudo obtener más información de estos equipos ya que no cuentan con manuales ni con fichas técnicas. Las marmitas, pueden resistir trabajar bajo presiones de 150 psi y temperaturas de 176 °C. No obstante, para la preparación actual de los alimentos las marmitas

trabajan en temperaturas de 50 °C y 90 °C. Los motores por su parte operan entre 1700 rpm y 3600 rpm.

5.2.6.2 *Caldera de Gas Licuado de Petróleo*

Como se mencionó en la Figura 5.1.1, el consumo de gas licuado de petróleo para el proceso de la caldera representa el segundo mayor consumo de energía total de la empresa, es por esto lo que se deben analizar las oportunidades de ahorro del equipo.

La caldera utilizada es el modelo 548-SPHV-80-N/2 York Shipley, de forma horizontal y tipo igneotubular. La empresa no cuenta con registros del tiempo de utilización de la caldera, sino que la misma permanece encendida durante todo el día y allí arranca las veces que sea necesario. Tampoco se llevan registros del flujo producido sino solo se tiene de referencia los valores teóricos. Al analizar el consumo de combustible promedio que utiliza la caldera se obtiene que esta consume aproximadamente 1 077 litros GLP/día. En el Cuadro 5.2.5 se muestran las especificaciones técnicas de la caldera.

Cuadro 5.2.5. Características de la caldera de GLP utilizada en la organización.

Modelo	y548-SPHV-80-N/2 YORK
Año instalación	2003
Tipo de combustible	GLP
Potencia (BHP)	80
Flujo vapor (kg/h)	1 252
Presión (Pa)	1 034 214
Velocidad de combustión (quemador) m3/h	95

Fuente: Adaptado a partir de datos brindados por la organización.

A pesar de que la presión de operación de caldera es de 100 psi, la organización regula la misma con el objetivo de disminuir el consumo de GLP, por lo cual en la actualidad se trabaja a una presión de 75 psi. Así mismo, a través de intercambiadores de calor, se regula que la temperatura a la que regresa el condensado de la línea de producción se mantenga entre 60 °C y 80 °C.

En cuanto al agua que ingresa a la caldera para convertirse en vapor, no se cuenta con un medidor del caudal que se emplea, de igual forma, al contar con un tanque de condensados el agua es reutilizada a menos que se le deba hacer algún mantenimiento al equipo o sea necesario purgar.

5.3 OPORTUNIDADES DE MEJORA EN EL DESEMPEÑO ENERGÉTICO

Para determinar las oportunidades de mejora en el desempeño energético de la organización, se debe dar prioridad a aquellos equipos o sectores que representen un mayor consumo eléctrico en la empresa. Con base en esto, se explican a continuación los principales hallazgos encontrados.

5.3.1 Compresores

Como se mencionó anteriormente, la empresa cuenta con diferentes medidas aplicadas a los compresores que han ayudado a disminuir su consumo energético. Por lo cual, las recomendaciones que se puedan realizar en esta área están siendo implementadas al menos en un porcentaje en la organización.

La empresa utiliza los 3 compresores de tornillo, los cuales cuentan con una eficiencia de trabajo mayor hasta en un 20% que otros tipos de compresores tales como los reciprocantes (Šešlija et al., 2011). Además, la empresa encargada de brindar el mantenimiento llega mensualmente, por lo cual se les da reparación preventiva y correctiva a las máquinas continuamente.

Según Kaeser (2019) uno de los problemas más comunes en el aire comprimido consiste en las fugas, las cuales pueden representar hasta un 30% de la generación total. Así mismo, cuando existen fugas, el caudal en el punto de consumo de aire baja, por lo cual se aumenta la presión de los compresores generando solo más fugas y mayor cantidad de aire desperdiciado (Palacios, 2019).

Según un estudio realizado en la organización para el año 2020, se encontró un desperdicio de 1,42 m³/min (50 cfm), lo que equivale aproximadamente a un 6% del total generado. Si

bien es cierto, se encuentran por debajo del promedio de fugas, aun representa una pérdida de aire comprimido y de costo eléctrico. Con el fin de tener un mejor control se debe realizar una constante revisión a las principales fuentes donde se pueden originar como válvulas, reguladores, conexiones rápidas, herramientas neumáticas y conexiones entre tuberías y mangueras (Kaeser, 2019).

A continuación, se muestra en el Cuadro 5.3.1 los costos asociados a las fugas.

Cuadro 5.3.1. Costo estimado de pérdidas por fugas.

kWh/m³	0,21
Flujo mensual (m³)	223 917
Flujo en fugas mensuales (m³)	13 435
Colones/kWh (promedio para el año 2019)	
	₡ 90,51
Consumo mensual en fugas (kWh)	2 844
Costo mensual en fugas (colones)	₡ 257 367
Costo anual en fugas (colones)	₡ 3 088 409

Fuente: Adaptado a partir de datos de la organización.

Cabe destacar, que para el caso de las fugas que se presenten en la organización, siempre debe realizarse un estudio de costos previo donde se justifique la reparación de estas, ya que en algunos casos el gasto de invertir en materiales y reparaciones puede ser mayor a lo que la fuga genera. Además, el porcentaje de fugas presente en la línea puede cambiar constantemente por lo cual, se deben realizar revisiones de forma periódica.

Otra medida que permite un ahorro significativo en el uso de aire comprimido consiste en disminuir la presión del equipo. La empresa incorporó un proyecto en el año 2020 en el cual se redujo de forma empírica la presión a un intervalo de operación de 97 psi a 110 psi, se

determinaron estos valores debido a que no se veía afectado el rendimiento en la organización.

Finalmente se simuló el comportamiento de los compresores por medio del programa de COCO versión 3.5.0.0. Se simularon dos escenarios los cuales se muestran en la Figura 5.3.1; para el primer escenario se trabajó con el flujo reportado por la empresa, mientras que en el segundo escenario se muestra el flujo reportado por las fichas técnicas, estos se pueden observar en el Cuadro 5.3.2. Flujo de aire que ingresan a los compresores. Además, se comparan estos resultados con los obtenidos por el estudio realizado en el 2020 por la empresa que les brinda mantenimiento a los equipos.

Cuadro 5.3.2. Flujo de aire que ingresan a los compresores.

	Caudal GA45 FF (cfm)	Caudal CSD75 (cfm)	Caudal GA75 VSD (cfm)
Datos de la organización/Proveedor	123	361	386
Datos de fabricante	275	345	533

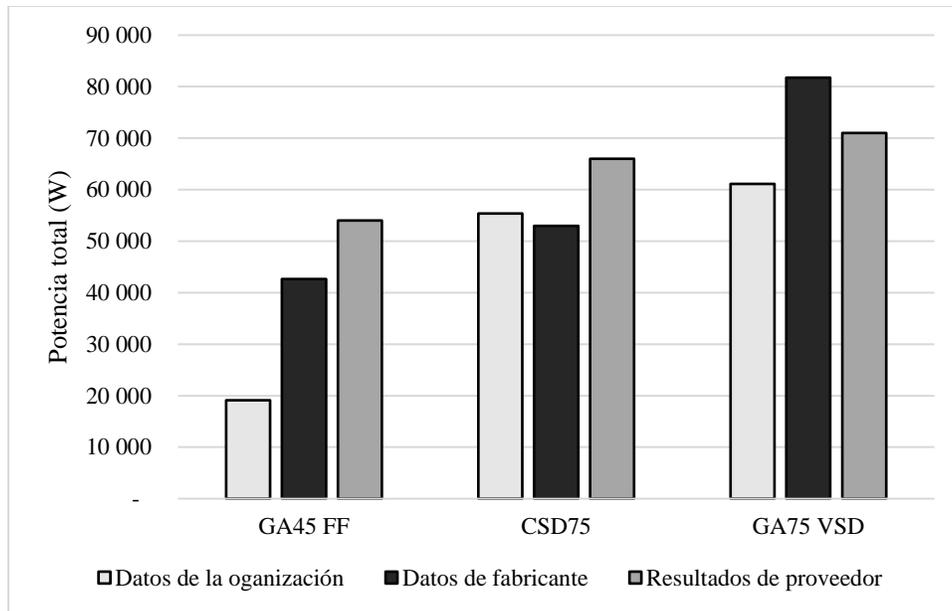


Figura 5.3.1. Demanda de los compresores de la organización bajo diferentes flujos de aire.

Para el caso de los datos de la organización y del fabricante se trabajan con presiones de salida de 703 265 Pa (102 psi). Además, se obtuvieron temperaturas de salida del aire comprimido de 50 °C. Van Bommel (2016) menciona que los compresores de tornillo trabajan principalmente a una eficiencia del 70%, por lo cual se decide trabajar con esta.

Como se observa en la Figura 5.3.1 cuando se simulan los datos con los que la organización trabaja, se obtiene una potencia de los equipos menor a la obtenida en el estudio brindado por la empresa que ofrece el mantenimiento. Es decir, según la simulación, los compresores deberían consumir una menor cantidad de energía. Así mismo, al utilizar los valores de las fichas técnicas, solo el compresor GA75 VSD presenta una demanda mayor a los datos obtenidos del estudio que realizó la organización. Con esto, se observa que la potencia en la empresa es mayor a lo que el estudio en la simulación recomienda.

De lo anterior, se evidencia que el consumo de energía eléctrica de los compresores puede disminuir, ya que los equipos están generando un exceso de hasta 9,06 m³/min (320 cfm) de

lo que la empresa requiere. El estudio del porcentaje de ahorro que podía generarse al disminuir el flujo no se realizó ya que la compañía ya había contratado a un ente externo para que realizara este análisis. No obstante, el ahorro que puede obtenerse si se redujera el flujo de aire corresponde a un consumo aproximado de 113 MWh por año, lo que equivale a un ahorro anual de ¢ 10 000 000.

5.3.2 Caldera

A pesar de que existen dos calderas, solo la que utiliza GLP genera un consumo representativo en la empresa por lo cual es la única a la que se hará referencia. Como se mencionó anteriormente, la caldera que utiliza GLP tiene una capacidad de flujo de vapor de 1252 kg/h, por lo cual, según la legislación vigente se categoriza como caldera tipo C y se excluyen de presentar el reporte operacional de emisiones (Reglamento Sobre Emisión de Contaminantes Atmosféricos Provenientes de Calderas y Hornos de Tipo Indirecto, 2012). Se realizó la simulación por medio del programa de COCO, para determinar el comportamiento que debía presentar. Debido a que la empresa no contaba con todas las características que se requerían para la simulación, se tuvieron que considerar diversos supuestos teóricos. A continuación, se muestra en el Cuadro 5.3.3, los valores utilizados para desarrollar la simulación. Cabe destacar que el flujo del aire y el flujo del combustible se obtuvieron valorando lo que se menciona en el permiso de la caldera de la empresa el cual especifica que se trabaja durante 18 horas al día y 6 días a la semana.

Cuadro 5.3.3. Parámetros utilizados en la simulación de la caldera considerando datos teóricos y datos de la organización.

Parámetro	Datos teóricos	Datos de la organización	Datos obtenidos por la simulación
Demanda de agua (litro/minuto)	21		
Tamaño de Tanque (m ³)	1		
Poder combustión inferior del GLP (MJ/kg)	48		
Densidad GLP (kg/m ³)	535		
Presión (Pa)	90 250		
Temperatura promedio (°C)	23		
Exceso del aire del 22% (kg/h)	531		
Flujo de combustible (kg/h)		32	
Presión de trabajo de la caldera (psi)		75	
Caída de Presión de la caldera (psi)		2	
Temperatura de agua de retorno °C		60-80	
Temperatura en quemador (°C)			1 787
Gases de chimenea (°C)	209-229	210-240	200
Temperatura de vapor (°C)			161
Flujo de gases de chimenea (Kg/h)			640
Porcentaje de CO ₂	11%		9,63%
Porcentaje de Nitrógeno			72,90%
Porcentaje de O ₂	2,7%-3%		2,70%
Porcentaje de agua			14,61%

Fuente: Ortiz 2003; RECOPE 2020b; Instituto Meteorológico Nacional 2020b y Garro 2011.

Como se muestra, la organización no maneja el dato real de la cantidad de aire o de agua que ingresa a la caldera. Por esta razón, se realizó la simulación con los valores que indica la teoría, no obstante, no se puede asegurar que se trabaja específicamente con estas características. Para el caso del porcentaje de los gases de chimenea que salen, se puede observar que los porcentajes de CO₂ y de O₂ simulados coincide con los recomendados por Garro (2011).

Además, para los gases de chimenea presentan una temperatura de salida en un valor aceptado. Esto debido a que el rango máximo permitido se da cuando los gases llegan a una temperatura de 209 °C hasta los 229 °C; un mayor valor indicaría que existen problemas con la eficiencia de la caldera, por lo cual no se estaría transmitiendo el calor de los gases del combustible de una forma adecuada hacia el flujo de agua (Garro, 2011).

Al analizar la temperatura de salida del flujo de vapor, se obtiene un valor de 161 °C, no obstante, como se presenta en el Cuadro 5.3.4 las marmitas requieren una temperatura máxima de 90 °C para calentar sus productos. Por esta razón, se decidió analizar en el simulador la cantidad de vapor que puede generar la caldera con las condiciones establecidas y se obtuvo que para obtener una temperatura de 95 °C en la salida del flujo de vapor se requiere un flujo de 8000 kg/h. Es decir, con las condiciones actuales de funcionamiento de la empresa se podría calentar hasta 6,3 veces más la cantidad de agua que se está calentando, ya que el flujo actual es de 1252 kg/h. Lo anterior afecta significativamente la eficiencia de la caldera ya que se está utilizando una mayor cantidad de GLP que el necesario.

Se decidió determinar la eficiencia global de la caldera, es decir, analizar la cantidad de calor que las marmitas requieren para calentar su producto y la cantidad de calor que desprende el GLP en el proceso de combustión. A continuación, se muestra en el Cuadro 5.3.4 las características requeridas para analizar la eficiencia global.

Cuadro 5.3.4. Características de operación para los equipos de producción de líquidos calientes de la empresa.

Parámetro	Unidad	Valor
Temperatura ambiente	°C	23
Temperatura de trabajo promedio de las marmitas	°C	90
Diferencial de temperatura	°C	67
Calor específico del agua	kJ/kg	4,18
Cantidad de producción de marmitas	kg/año	11 190 573
Consumo de combustible	litros/año	336 103
Consumo de combustible	kg/año	179 815
Calor de combustión del GLP	kJ/kg	46 000

Fuente: Adaptado a partir de datos del (Instituto Meteorológico Nacional, 2020b) y (RECOPE, 2020b).

De los datos anteriores, se calcula la cantidad de calor que necesita el agua de las marmitas para trabajar a 90 °C en la ecuación 5:

$$Q = 11\,190\,573 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \times 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times (90 - 22,9)^\circ \text{C} = 3\,138\,709\,405 \frac{\text{kJ}}{\text{año}} \quad (\text{ec. 5})$$

Seguidamente se procede a determinar el calor que desprende el GLP en el proceso de combustión en la ecuación 6:

$$Q = 179\,815 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \times 46\,000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 8\,271\,489\,170 \frac{\text{kJ}}{\text{año}} \quad (\text{ec. 6})$$

Finalmente, se procede a determinar el porcentaje del combustible efectivo que es utilizado para calentar las marmitas en la ecuación 7:

$$Eficiencia = \frac{3\ 138\ 709\ 405}{8\ 271\ 489\ 170} \times 100 = 38\% \quad (ec.7)$$

Como se observa, el porcentaje de calor de GLP utilizado por las marmitas corresponde aproximadamente a un 38%, lo cual indica que un 62% se está perdiendo en los diferentes procesos que se presentan en la caldera.

Según Garro (2011) existen diferentes medidas para mejorar el rendimiento de la caldera así como el lograr un ahorro en el consumo energético, entre estas se encuentran:

- Aumentar la temperatura a la cual ingresa el aire al quemador
- Disminuir el exceso de aire de la caldera
- Disminuir la temperatura de los gases de chimenea
- Disminuir la presión de operación de la caldera
- Utilizar intercambiadores de calor
- Aumentar la temperatura a la cual ingresa el flujo de alimentación

Como se mencionó, una forma de mejorar el desempeño energético en la organización es al aumentar la temperatura a la cual ingresa el aire al quemador de la caldera; ya que esto reduce la cantidad de energía que se debe emplear en calentar el aire. Estudios mencionan que por cada 25 °C que se aumente de la temperatura del aire se ahorrará 1% de combustible (Montaño, 2007). Además, como se muestra en la Figura 5.3.2, la eficiencia de la caldera aumentará un 2% por cada 45 °C de aumento en el aire. Así mismo, el retorno de la inversión del equipo se puede recuperar en aproximadamente 2 años, no obstante, se recomienda principalmente para producciones mayores a 5 ton/h, por lo cual se debe hacer un estudio para corroborar que se logre recuperar la inversión y mantenimiento (Bosh, 2021).

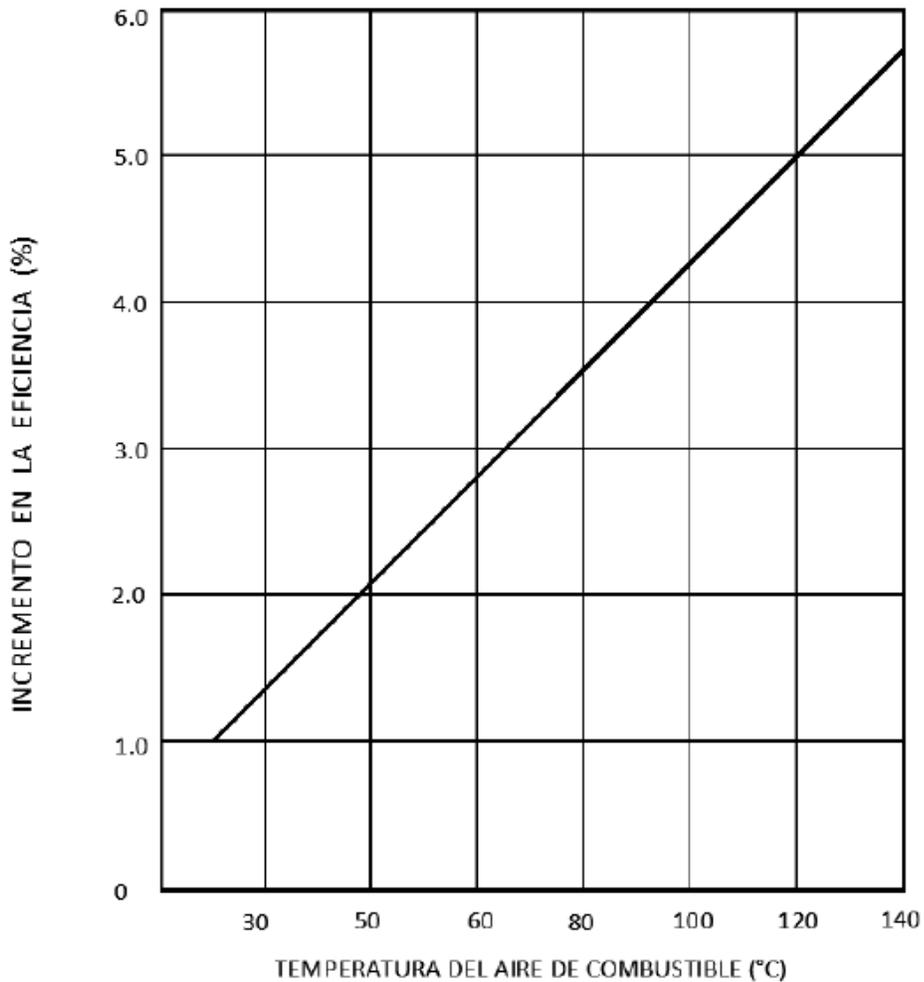


Figura 5.3.2. Incremento de la eficiencia de la caldera por precalentamiento del aire.
Fuente: (Garro, 2011).

En caso de que la instalación del precalentador sea adecuado para la instalación de la caldera, se pueden lograr ahorros de hasta un 2% de combustible (Bosh, 2021), lo cual corresponde a un promedio anual de ₡1 400 000.

La empresa no cuenta con un control específico del flujo del aire de la caldera, sino que en la simulación se trabajó con valores teóricos que se encuentran en un rango normal de trabajo; por consiguiente, la temperatura a la cual salen los gases de la chimenea, así como su composición se encuentran en valores adecuados. Es por esto, por lo que la organización

debe realizar análisis a los gases de chimenea periódicamente, con el fin de determinar el correcto funcionamiento del equipo ya que una temperatura o composición anormal de los gases puede significar una mala eficiencia de la caldera.

Cuando la organización tenga un registro de las características de los gases de chimenea se deben tomar diversas medidas según lo que indiquen sus valores, entre estas se encuentra el controlar o disminuir el exceso de aire, además de monitorear la temperatura de salida de la chimenea ya que esto va a incidir directamente en la eficiencia de la caldera. Para efectos de este estudio, no se logrará trabajar en estas medidas ya que primero se deben de realizar la recolección de información, no obstante, se mostrarán los porcentajes de ahorros aproximados según lo que indica la teoría.

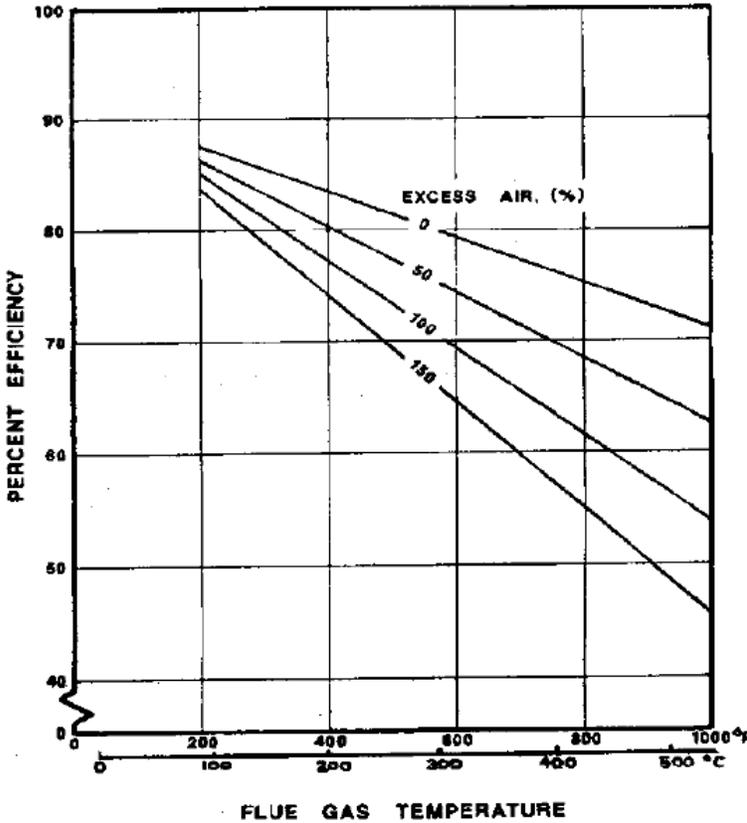


Figura 5.3.3. Variaciones en la eficiencia de la combustión con la temperatura de los gases de combustión para varios niveles de aire en exceso.
Fuente: ENERCON (2014)

Al analizar la Figura 5.3.3, se evidencia que la eficiencia de la caldera aumenta proporcionalmente conforme disminuye la temperatura de los gases de chimenea y el exceso de aire suministrado. Al manejar temperaturas de 200 °C con un exceso de aire del 50% la eficiencia térmica puede ser mayor al 80%. Así mismo, Oelker (2010) menciona que por cada 50 °C que se reduzca en la temperatura de los gases de chimenea se logra un incremento de la eficiencia del 1,5% y ahorros de combustibles del 2%.

Si se considera como valor real la temperatura de los gases de chimenea de la caldera, se puede buscar la forma de reducir la temperatura de los gases de salida controlando el exceso de aire, así como realizando mantenimiento constante con el fin de regular que existe una correcta transferencia de calor. Con esto se podría lograr un ahorro anual aproximado en la organización de ¢1 400 000 a ¢2 800 000.

Otra medida que se recomienda consiste en disminuir la presión de la caldera, la cual aunque no afecta la eficiencia específicamente, si ayuda a disminuir de 1% a 2% el costo del combustible (es decir, aproximadamente un ahorro anual de ¢700 000 a ¢1 400 000) (Bosh, 2021). La empresa ha realizado medidas en torno a esta propuesta por lo cual ha disminuido la presión de trabajo de 100 psi a 75 psi.

En cuanto a la temperatura del agua de alimentación, Garro (2011) menciona que por cada 6 °C que se aumente existirá un aumento del 1% en la eficiencia de la caldera. Actualmente, la caldera trabaja con temperaturas de ingreso de 60 °C hasta 80 °C, según sea el regreso de condensados en la organización. Para el caso del diseño del intercambiador de calor no se hará mención en esta investigación debido ya que la organización primero debe recolectar y registrar información de la caldera para poder realizar los cálculos correspondientes. No obstante, la teoría indica que la inversión de los economizadores puede rondar los \$20 000

(C\$12 500 000) mientras que los ahorros generados del combustible son de hasta un 5% (ATTSU, 2016).

Es por esto por lo que se decidió analizar la información para conocer si esta inversión es o no rentable. Al calcular el ahorro anual de GLP al implementar el economizador se obtiene un total de C\$3 877 342 con un incremento promedio del 3%. Mientras que al calcular la TIR para un periodo de 10 años se obtiene un valor del 31%. Lo anterior indica que el proyecto es rentable para realizarse, además, se obtiene que el retorno de la inversión se comenzará a ver reflejado para el año 4 del proyecto (ver apéndice 10).

Es significativo mencionar que la caldera se encuentra instalada desde el año 2003, por lo cual lleva 18 años en operación. Esto es importante analizar para determinar su estado una vez cumpla su vida útil. Por lo cual, es sustancial considerar todas las recomendaciones que brinde la empresa externa encargada de brindar el mantenimiento con el fin de determinar cuándo es recomendable realizar un cambio en el equipo.

5.3.3 Sistemas Refrigerantes

Como se mencionó anteriormente, los aires acondicionados consumen el 8,64% del consumo eléctrico del lugar mientras que el chiller consume el 11,39%. Es por esto por lo que es muy importante llevar un control en la operación de estos sistemas en la organización. Ya que en total consumen el 20% del consumo energético.

5.3.3.1 Aires acondicionados

Al entrevistar a los empleados sobre el uso de aires acondicionados, se encontró que no todos cuentan con una conciencia ambiental en este tema, a pesar de que la organización posee un procedimiento general para el uso eficiente de dispositivos eléctricos.

No existe un protocolo en el encendido y apagado de los AA, por lo cual en ocasiones se han dejado en funcionamiento cuando el personal termina su jornada laboral. Así mismo, se observó que algunos equipos permanecen en funcionamiento cuando existen ventanas y puertas abiertas, en otros casos la temperatura se encuentra en constante cambio ya que las personas ajustan regularmente su valor. De lo anterior, se decide crear un procedimiento que permita controlar de una manera más efectiva el uso de los aires acondicionados, el mismo fue presentado a la organización y se muestra en el apéndice 4.

Con el fin de determinar la eficiencia de los AA, se debe considerar la creación y actualización de una base de datos que contenga todas las características técnicas que el proveedor brinde sobre los dispositivos ya instalados, así como el año en el cual fueron adquiridos. Para esto, se puede continuar modificando la base de datos que es entregada a la organización (ver apéndice 5) y agregarle más características en caso de que la empresa distribuidora lo facilite.

Cabe destacar que lo anterior, es importante de realizar con el fin de determinar si la capacidad del equipo es la indicada para el área que se debe de refrigerar; además de poder agilizar procesos en el momento de cambiar un aire acondicionado por otro, o bien de decidir si debe continuar en funcionamiento o si ya cumplió con su vida útil.

Al observar los refrigerantes utilizados en la Figura 5.3.4 se muestra que 47% corresponden a aquellos que utilizan el gas R-410, mientras que 50% utilizan el R-22.

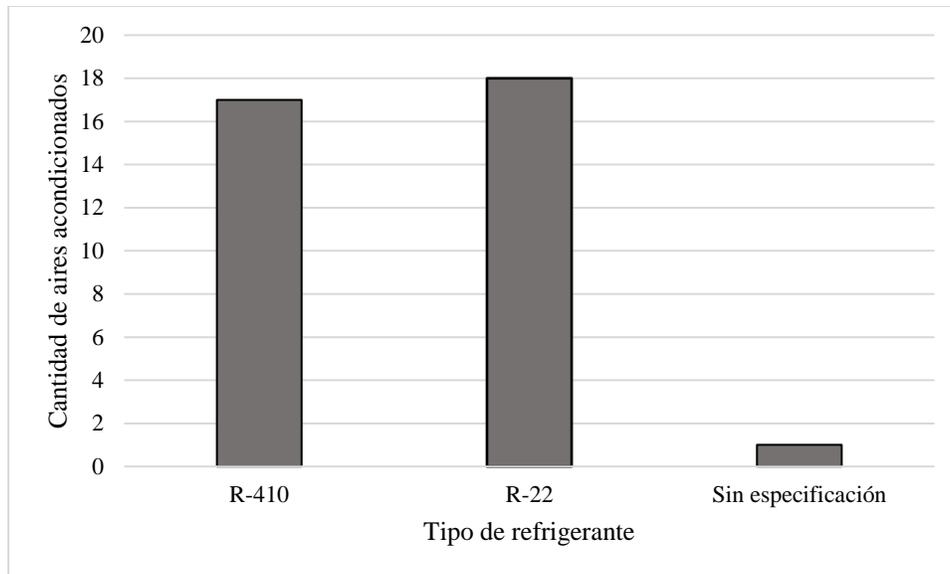


Figura 5.3.4. Cantidad de aires acondicionados según el tipo de refrigerante.

La elección del tipo de refrigerante es muy importante de considerar, ya que el consumo de gases que agotan la capa de ozono se encuentra prohibido debido a acuerdos alcanzados en el Protocolo de Montreal, el cual fue ratificado por Costa Rica a través de la Ley:7223 (Aprobación Del Protocolo de Montreal, Relativo a Las Sustancias Agotadoras de La Capa de Ozono N° 7223, 1991). En el mismo, se permitió que países en vías de desarrollo fuesen eliminando las sustancias que se indican en el Protocolo hasta el año 2030, tiempo en el cual deben prohibirse completamente. Dentro de las sustancias que deben evitarse se encuentran los hidroclorofluorocarburos (HCFCs), donde se encuentra el gas R-22 o HCFC-22 (CAF Banco de Desarrollo de América Latina, 2018).

Una vez identificadas las sustancias en el Protocolo de Montreal, se presentó una tendencia de utilizar generalmente los hidrofluorocarburos (HCF) y las hidrofluoroolefinas (HFO) ya que no contaban con potencial de agotamiento de ozono (PAO), no obstante, se ha descubierto que estos sí tienen un alto potencial de calentamiento global, además de ser menos eficientes energéticamente. Es por esto, que las tecnologías actuales arrojan que la

mejor solución en el uso de refrigerantes se dan cuando se emplean naturales siempre y cuando se cumplan estrictamente todas las indicaciones de seguridad y salud ocupacional (MINAE, 2014).

Otra característica importante de analizar es la eficiencia energética de los aires acondicionados, la cual se relaciona con los valores proporcionados por el EER (Energy Efficiency Ratio) y el SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio).

El EER consiste en la relación entre la potencia de enfriamiento del equipo y la potencia eléctrica, es decir por una unidad de energía eléctrica consumida se produce una unidad de energía térmica, por lo cual entre mayor sea el valor se muestra un mejor rendimiento (CAF Banco de Desarrollo de América Latina, 2018).

El SEER por su parte, se relaciona con el factor EER por lo cual, también indica que a mayor SEER su eficiencia será mayor; no obstante, en este caso el SEER contempla la capacidad de carga por lo cual da un valor más preciso de eficiencia (Robles, 2019). Así mismo, para el cálculo se toman en consideración los parámetros de la unidad funcionando a diferentes temperaturas interiores y diferentes capacidades, incluido cuando el equipo se encuentra apagado o en la función “standby” (Valerio, 2019).

A continuación, se muestra en el Cuadro 5.3.5 los valores de SEER mínimos requeridos para que un equipo de aire acondicionado se considere eficiente energéticamente, cabe destacar que se visualiza desde tres entes reguladores diferentes con el fin de obtener un medio de comparación.

Cuadro 5.3.5. Eficiencia energética brindada por diferentes instituciones.

Fuente	Valores mínimos de SEER
Energy Star	≥ 15
Air-Conditioning, Heating and Refrigeration Institute (AHRI)	≥ 13
INTECO	Para capacidades $\leq 7\ 038\ W$ a $\leq 10\ 553\ W$ Split: 12,2 Para capacidades $> 10\ 553\ W$ a $17\ 589\ W$ Paquete: 11

Fuente: Adaptado a partir de datos de Air Conditioning Heating and Refrigeration Institute (AHRI) 2010, Energy Star 2015 e Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) 2015.

De lo anterior, se deciden establecer diferentes criterios de selección con el fin de priorizar las medidas que deben realizarse a nivel institucional para mejorar la eficiencia de energía en el área de aires acondicionados, las mismas se muestran a continuación en el Cuadro 5.3.6.

Cuadro 5.3.6. Criterios de evaluación con sus definiciones para establecer la priorización de oportunidades de mejora en aires acondicionados.

Criterios de evaluación	Condición	Puntaje	Porcentaje de importancia
Impacto legal	Cumple con la Ley: 7223 la cual aprueba el Protocolo de Montreal sobre el uso de sustancias agotadoras de la capa de ozono	0	35%
	<u>NO</u> Cumple con la Ley: 7223 la cual aprueba el Protocolo de Montreal sobre el uso de sustancias agotadoras de la capa de ozono	2	
Impacto al ambiente	El potencial de calentamiento global del refrigerante se encuentra por debajo de 1000	0	15%
	El potencial de calentamiento global del refrigerante <u>NO</u> se encuentra por debajo de 1000	2	
Impacto eficiencia energética	Cumplen con los Índices de Eficiencia Energética, por lo cual consumen menor consumo de energía	0	50%
	No cumplen con los Índices de Eficiencia Energética, por lo cual consumen menor consumo de energía	2	

Además, se establece una rúbrica para abordar las diferentes oportunidades de mejora en los aires acondicionados, por lo cual, se deben priorizar aquellos con mayor estado crítico.

Cuadro 5.3.7. Escala de puntuación del estado crítico de los aires acondicionados.

Escala	Puntuación
Muy crítico	$\geq 1,5$ y ≤ 2
Moderadamente crítico	>1 y $\leq 1,4$
Levemente crítico	≤ 1

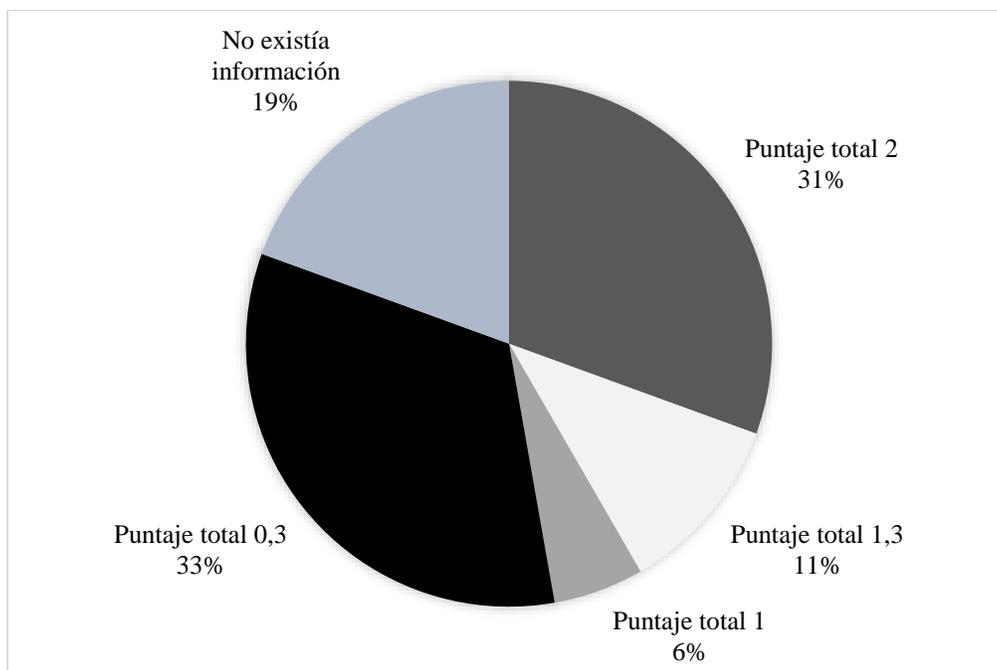


Figura 5.3.5. Resultados de la evaluación de los aires acondicionados de la organización

Con base en el Cuadro 5.3.7 y en Figura 5.3.5 se puede evidenciar que según los criterios establecidos un total de 11 aires acondicionados se encuentran en estado crítico, 6 en estado moderadamente crítico, 12 en estado levemente crítico y 7 no mostraban información suficiente para poder evaluarlos. Los equipos en estado crítico se encuentran principalmente en el área administrativa, mientras que 4 se distribuyen en el departamento de Calidad y de Investigación y Desarrollo

Los AA de estado crítico son aquellos que utilizaban gas refrigerante R-22, con una eficiencia energética baja según lo recomendado por INTECO. Cabe destacar que, si se hubiesen considerado los límites de eficiencia establecidos por AHRI o Energy Star, la cantidad de mobiliario en estado crítico sería mayor. Los modelos encontrados se enlistan a continuación en el Cuadro 5.3.8.

Cuadro 5.3.8. Características de los aires acondicionados en estado crítico de la organización.

Modelo	Tipo	Ubicación	Refrigerante	Potencia (W)	BTU/h	SEER	EER
Carrier 38CKC048300	Split	Administrativos/ Recepción	R-22	5 120	47 500	10,5	9
Carrie 38CKC060	Split	Administrativos/ Contabilidad	R-22	6 300	57 000	10,0	9
Carrier 38CKC024330	Split	Administrativos/ Data Center 1	R-22	2 750	25 600	10,0	9
Carrier 38CKC048300	Split	Importaciones-Logística-Centro Médico	R-22	5 120	47 500	10,5	9
LG LS-K1822CM	Mini Split	Administrativos/ Sala Principal 2	R-22	1 900	18 000	9,0	9
Carrier 38CKC036	Split	Administrativos/ Gerencia	R-22	3 840	33 400	10,0	-
Carrier 38CKC060300	Split	Administrativos/ Secretaría Gerencia	R-22	6 300	57 000	10,0	9
Carrier 38CKC036	Split	Oficinas Calidad	R-22	3 940	35 500	10,0	9
Carrier 38CKC036	Split	Laboratorio Calidad/Fisicoquímico	R-22	3 940	35 500	10,0	9
Carrier 38CKC048	Split	Cubículos I+D	R-22	5 120	47 500	10,0	9
Goodman CKL49-18/ a48-00-2	Split	Cocina I+D/ PLANTA PILOTO	R-22	4 500	45 000	10,0	9

A partir de la información anterior, se decide analizar la situación de cambiar los aires acondicionados de estado crítico por unos más eficientes energéticamente. Se buscaron equipos que no utilizaran gases refrigerantes que afectaran la capa de ozono y con SEER mayor a 13. Así mismo, se realizó la búsqueda de AA que utilizaran refrigerantes con potencial de calentamiento global inferiores a 1000, no obstante, a nivel nacional no se cuenta con equipos con esta característica, sino que en su mayoría se trabaja con R410, por lo cual no se pudo contemplar dentro de los requerimientos.

En el apéndice 9 se observan algunos posibles modelos que pueden sustituir a los de estado crítico, la información se obtuvo a partir de diversas fichas técnicas y datos obtenidos a partir de diferentes páginas de refrigeración industrial. Cabe destacar que la compañía tiene un contrato con una empresa en específico que les brinda el servicio de mantenimiento, por lo cual, para realizar la compra e instalación de aires acondicionados se procedería directamente con ellos. A pesar de que se intentó realizar el análisis directamente con la empresa de aires acondicionados no fue posible concretar la información total, por lo cual, solo se manejará en el análisis económico el costo de los aires acondicionados y no de la instalación de estos. Se realizó un análisis para determinar la factibilidad económica de los aires acondicionados. Se contempló realizar el análisis para un total de 10 años y se trabajó con un incremento porcentual del valor de la electricidad de un 5%. A continuación, se muestra en el Cuadro 5.3.9 los principales valores obtenidos al comparar el consumo actual de los aires acondicionados en estado crítico con el consumo energético de los aires propuestos.

Cuadro 5.3.9. Consumo eléctrico de los aires en estado crítico en comparación a los aires acondicionados propuestos.

Condición	Valor
Consumo mensual actual (kWh)	7 001
Consumo anual actual (kWh)	84 015
Consumo mensual (AA nuevos) (kWh)	3 464
Consumo anual (AA nuevos) (kWh)	41 566
Ahorro anual (kWh)	42 449
Ahorro anual (colones)	¢ 3 541 379
Costo de la inversión	¢ 12 070 002
Costo de instalación	¢ 1 327 700
Retorno de la inversión	Año 4

Como se observa, sí es factible realizar un cambio en los aires acondicionados críticos ya que al cambiarlos por equipos más eficientes se lograría un ahorro de aproximadamente 42 500 kWh al año, lo que equivale a ¢3 718 448 para el año 1, lo anterior al considerar el incremento de un 5% en el costo anual de la energía. Así mismo, debido a que la inversión de los AA corresponde a ¢12 070 002, se recupera la inversión a partir del año 4. Cabe destacar que para el caso de la instalación no se pudo obtener un valor real ya que para esto se requiere una visita técnica por parte de la empresa que brinda el servicio, sino que se trabajó con un

valor teórico de 11% (Mejías, 2019). Finalmente, se obtuvo el valor de la tasa interna de retorno (TIR) a partir de la fórmula que brinda el programa Microsoft Excel y se obtuvo un valor de 29%, lo cual muestra que el proyecto es rentable. Para analizar de una mejor manera el comportamiento del flujo neto efectivo, se puede observar el apéndice 10.

Así mismo, otra medida que se considera es el de sustituir los equipos refrigerantes actuales por otros que cuenten con un potencial de calentamiento global bajo. Dentro de las opciones más favorables por sus características se encuentra el refrigerante r-290 donde algunos estudios mencionan que se pueden obtener ahorros del consumo eléctrico del 10% al 30% (Rosillo & Rondón, 2011). Mientras que otros estudios más recientes indican que el ahorro en el consumo energético puede ser de poco más del 20% al cambiar de refrigerante (Herrera, 2019). Con base en esto se recomienda realizar un estudio para cambiar directamente los equipos refrigerantes por unos que utilicen refrigerante R290 logrando un ahorro anual de hasta ¢4 500 000.

5.3.3.2 Chiller

Es muy importante mencionar que el chiller en muchas ocasiones es utilizado con fines de acondicionar habitaciones, por lo cual, esto se puede considerar en caso de que la empresa decida cambiar toda su red de aires acondicionados, cambiándolos por solo un sistema conectado, que en este caso estaría funcionando por medio del chiller. Así mismo, al establecer este sistema se podría monitorear y regular de una mejor manera las características como temperatura y tiempo que se utiliza el AA en las oficinas.

Debido a que la empresa no lleva un control de las condiciones de operación del chiller, tales como temperatura, eficiencia, flujo de agua, horas de funcionamiento, entre otras. Se recomienda que se realicen mediciones de la potencia del equipo para determinar el consumo

durante diferentes horas del día y diferentes días a la semana con el fin de obtener una curva de carga de los equipos y conocer el comportamiento que presenta el equipo. Es importante que se realicen registros continuos con el fin de conocer cualquier variación que presente el equipo.

Para conocer la eficiencia del equipo se puede determinar por medio de su EER o bien por su valor integrado a carga parcial (IPLV por sus siglas en inglés). El IPLV es un valor utilizado para evaluar la eficiencia energética a cargas nominales de 100%, 75%, 50 y 25% (AHRI, 2016). Por lo cual al observar el Cuadro 5.2.2 mencionado anteriormente para referirse a las características de los chiller, se muestra que el equipo chiller modelo YLAA marca York presenta una mejor eficiencia al obtener un IPLV de 15,59 en comparación al chiller 30GXR106 marca Carrier, donde su IPLV es de 12,1, por lo tanto, es más recomendable utilizar la mayor parte del tiempo el equipo chiller marca York.

5.3.4 Equipos de producción

Como se ha mencionado, la mayoría de los equipos de producción de líquidos y producción de polvos utilizan el chiller y la caldera para poder trabajar correctamente, es por esto por lo que se deben cuidar las prácticas a partir del consumo de estos. Así mismo, en caso de que la organización decida trabajar con los USE's de procesos, debe medir y controlar el consumo energético que se presente en el área de producción.

Se debe considerar trabajar en las capacidades óptimas de los equipos con sus máximas capacidades con el fin que se prepare la mayor cantidad de producto con el menor consumo eléctrico. De igual forma, debido a que existe producción en líquidos calientes y fríos, se deben unificar la mayor cantidad de tandas que se trabajen en caliente y las que operan en frío por aparte. Lo anterior, debido a que cada vez que se deja de preparar un producto, la

caldera o el chiller de la organización entran en modalidad de reposo, por lo cual una vez que se vuelvan a utilizar para las máquinas deben volver arrancar sus equipos consumiendo mayor potencia, así mismo, deben invertir más energía en volver a obtener la temperatura óptima de los flujos de agua.

Debido a que la organización no cuenta con la información recopilada de todos los equipos donde se indiquen diversas condiciones de operación tales como temperatura, presión, horas de funcionamiento, entre otras. Es importante comenzar a realizar registros con el fin de poder determinar nuevas oportunidades de mejora.

Finalmente, la norma ISO 50 001 indica que se deben medir y controlar los USE's, por lo que se deben colocar medidores en los lugares donde se genera un mayor consumo de energía. Entre estos se encuentran los compresores, cuarto de calderas y área de producción. La inversión de los medidores para implementar el control de los USE's ronda aproximadamente los \$16 000 (C\$10 000 000).

Al gestionar y medir la energía que se utiliza en la organización se logran ahorros de hasta un 5% por lo cual, con esto se lograría un ahorro anual promedio de la energía eléctrica de C\$11 000 000 y un ahorro anual promedio de C\$3 800 000 para el consumo de gas licuado de petróleo.

Además, debido a que la empresa cuenta con un medidor eléctrico no horario, no se pudo realizar un análisis para determinar si se presenta un ahorro al trasladarse a la tarifa TMT-b, por lo cual, se recomienda que la empresa hable con la compañía encargada de proporcionarles el servicio eléctrico con el fin de que se instale un medidor horario provisional y se realice el estudio. No obstante, la Cámara Costarricense de la Industria Alimentaria (2021) menciona datos brindados por la Asociación Costarricense de Grandes consumidores, la cual indica que se pueden generar ahorros de un 20% a un 30% al

trasladarse a esta tarifa y optar por la certificación de la Norma ISO 50001:2018 lo que equivale a un aproximado de ¢66 000 000. Además, al implementar esta tarifa eléctrica se recomienda trabajar con los equipos eléctricos que presentan un mayor consumo de electricidad durante las noches con el fin de lograr un mayor porcentaje de ahorro.

A continuación, se muestra el Cuadro 5.3.10 en el cual se muestran las principales oportunidades de mejora en la organización de forma resumida.

Cuadro 5.3.10. Oportunidades de mejora en la organización.

N°	Oportunidad de mejora	Ubicación	Área	Ahorro anual potencial (colones)		Inversión	Observaciones
				<i>Electricidad</i>	<i>Gas LP</i>		
1	Reparar fugas periódicamente	Cuarto compresores	Mantenimiento	₡3 088 409		Varía dependiendo de fugas	
2	Disminuir flujo de aire brindado	Cuarto compresores	Mantenimiento	₡10 000 000		NA	
3	Controlar y registrar comportamiento de los compresores	Cuarto compresores	Mantenimiento				Medida administrativa
4	Aumentar temperatura a la cual ingresa el aire	Cuarto calderas	Mantenimiento		₡1 400 000	Se debe realizar análisis	Retorno inversión aproximadamente 2 años Consiste en una medida preventiva para poder controlar de una manera más eficiente los problemas que pueda tener la caldera
5	Monitorear gases de chimenea periódicamente	Cuarto calderas	Mantenimiento		NA	Se debe realizar cotización de estudio	Se logra teniendo una adecuada combustión e intercambio térmico
6	Controlar temperatura de gases de chimenea	Cuarto calderas	Mantenimiento		₡1 400 000- ₡2 800 000	NA	

Continuación del Cuadro 5.3.10.

N ^o	Oportunidad de mejora	Ubicación	Área	Ahorro anual potencial (colones)		Inversión	Observaciones
				<i>Electricidad</i>	<i>Gas LP</i>		
7	Disminuir presión de la caldera	Cuarto calderas	Mantenimiento		¢700 000- ¢1 400 000		Ya se ha implementado, se ha logrado disminuir de 110 a 75
8	Colocar intercambiador de calor en agua	Cuarto calderas	Mantenimiento		¢ 4 500 000	¢12 500 000	Se debe realizar estudio, costo aproximado. Retorno de la inversión en 4 años
9	Implementar procedimiento para uso y apagado de aires acondicionados	Cuarto calderas	Mantenimiento	¢950 000			
10	Cambiar aires acondicionados con R22	Toda la empresa	Mantenimiento	¢4 000 000		¢12 070 002	Retorno inversión aproximadamente 4 años
11	Cambiar aires acondicionados por R290	Toda la empresa	Mantenimiento	¢4 500 000		Se debe realizar estudio	
12	Llevar registros en chiller	Techo	Mantenimiento	NA			Medida administrativa
13	Realizar mediciones al chiller	Techo	Mantenimiento	NA			Medida de control

Continuación del Cuadro 5.3.10.

N ^o	Oportunidad de mejora	Ubicación	Área	Ahorro anual potencial (colones)		Inversión	Observaciones
				<i>Electricidad</i>	<i>Gas LP</i>		
14	Instalar medidor en USES para controlar consumo	Cuarto de máquinas/ producción	Mantenimiento	Se refleja en punto 17 de “Medición y gestión de la energía”	Se refleja en punto 17 de “Medición y gestión de la energía”	€ 10 000 000	
15	Realizar estudio al cambiarse a tarifa TMT-b y certificarse con ISO 50001	NA	Toda la empresa	€66 000 000			
16	Agrupar producción a preparar por tipo y cantidad	Producción	Producción				
17	Medición y gestión de la energía	USE	Toda la empresa	€ 11 000 000	€ 3 800 000		

Al analizar todas las oportunidades propuestas se encuentra que existe un ahorro aproximado anual en la energía eléctrica de ¢89 538 409 (\$143 261), mientras que para las medidas que utilizan energía de GLP se obtiene un ahorro de ¢12 850 000 (\$20 500), por lo tanto, se presenta un ahorro anual aproximado de ¢102 388 409 (\$163 821). Mientras que la inversión aproximada inicial es de ¢34 600 000 (\$55 300). Cabe destacar que estos son ahorros aproximados ya que varían del consumo que se presente, Además para el caso de las inversiones no se contemplan todas y quedan sujetas a revisión en el estudio que se realice. De igual forma, al ejecutar las recomendaciones de monitoreo, registro y control de información, se podrán determinar nuevas proposiciones

6 CONCLUSIONES

- La organización utiliza 4 fuentes diferentes de energía (diésel, GLP, gasolina y electricidad) para desarrollar sus actividades económicas. Las fuentes que representan un mayor consumo de energía son la electricidad con un 48% y el GLP de la caldera con un 44%. Además, el estudio demostró que el consumo energético que representa un mayor gasto económico corresponde a la electricidad con un 70%.
- El modelo para establecer la línea de base que mejor se ajustó a los datos corresponde al modelo lineal multivariable, donde se consideró el consumo de energía eléctrica en función de la horas y toneladas de producción total de la organización.
- El inventario teórico de equipos energéticos presenta valores menos precisos que aquellos registros de consumo que se han realizado por medio de equipo de medición calibrado. Debido a que la empresa no cuenta con medidores de energía internos dificulta la recolección de datos en la organización.
- Se determinó que la empresa no cuenta con la recolección de información energética necesaria para controlar y medir sus usos significativos de la energía.
- Se encontraron 2 223 equipos o dispositivos energéticos donde aquellos con mayor consumo corresponden a la caldera de GLP, los compresores, las mezcladoras, los chiller y los equipos de aire acondicionado.
- Las áreas con mayor consumo eléctrico en la organización corresponden a departamento de mantenimiento y a producción.
- El chiller modelo YLAA marca York presentó una mejor eficiencia energética que el chiller 30GXR106 marca Carrier, por lo cual es más conveniente, en términos energéticos, utilizar con mayor frecuencia el chiller YLAA.

- Se encontró que el 31% de equipos de aires acondicionados en la organización no son eficientes energética ni ambientalmente, por lo cual es viable reemplazar el equipo por otro con una mayor eficiencia energética.
- Se encontraron oportunidades de mejora en diferentes equipos eléctricos tales como compresores, chiller, aires acondicionados y en la caldera de GLP. Los estudios realizados a estos equipos indican que la empresa podría ahorrarse anualmente ¢89 600 000 al implementar las medidas en los equipos eléctricos y ¢ 12 850 000 al implementar medidas de mejora en la caldera de GLP, es decir, en total se lograría un ahorro aproximado del 30%.
- Se estima que el ahorro en la factura eléctrica al implementar la ISO 50001:2018 y trasladarse a la tarifa T-MTb varía entre un 20% y un 30%.

7 RECOMENDACIONES

- Se puede considerar hacer un estudio con el medidor de consumo eléctrico horario para determinar la viabilidad económica al trasladarse a la tarifa eléctrica T-MTb.
- Es importante que se lleven registros de los principales equipos consumidores de energía de la organización.
- Se recomienda actualizar la línea de base energética con datos más recientes por parte de la organización.
- Para poder obtener más información sobre oportunidades de ahorro en la organización se debe tener más registro y control de datos.
- Instalar medidores calibrados en los procesos con mayor consumo energético permitirá obtener un mayor control en la organización, así como favorecer la toma de decisiones en esa área.
- Es muy importante que el área de ambiente de la organización se involucre en la compra de equipos y cambios de infraestructura con el fin que se tomen consideraciones ambientales.
- Se recomienda que la empresa realice un estudio de las emisiones totales que genera con el fin de establecer un análisis más completo
- Se recomienda realizar auditorías a las empresas que brindan el mantenimiento de los equipos considerados como USE's (sistemas refrigerantes, sistemas de aire comprimido y caldera)
- Se debe establecer un control detallado sobre el consumo de energía según su fuente y su ubicación con el fin de evitar diferencias en cuanto al consumo energético.

- Es importante que se creen registros de las características operacionales de los equipos con mayor consumo con el fin de llevar un mejor control.
- La organización deberá establecer Indicadores de Desempeño Energético una vez comience a implementar medidas de ahorro.

8 REFERENCIAS

- AHRI. (2016). Standard for Performance Rating of Water-chilling and Heat Pump Water-heating Packages Using the Vapor Compression Cycle. *Rating Requirements*, 590(9), 106. Recuperado de https://www.ahrinet.org/App_Content/ahri/files/STANDARDS/AHRI/AHRI_Standard_550-590_I-P_2015_with_Errata.pdf
- Air Conditioning Heating and Refrigeration Institute (AHRI). (2010). *Seasonal energy efficiency ratio*. Energy. Recuperado de <https://www.ahrinet.org/homeowners/save-energy/seasonal-energy-efficiency-ratio>
- ARESEP. (2020). *ARESEP promueve mayor flexibilidad tarifaria*. Recuperado de <https://aresep.go.cr/noticias/3148-aresep-promueve-mayor-flexibilidad-tarifaria>
- Aprobación del Protocolo de Montreal, relativo a las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono N° 7223, (1991). Recuperado de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=55361&nValor3=0&strTipM=FN
- Asociación Costarricense de Grandes Consumidores de Energía. (2021). *INFORME DE LA PRESIDENCIA PERIODO 2020 - 2021*.
- ATTSU. (2016). *¿Para qué sirve el economizador ECO de ATTSU?* Recuperado de <https://www.attsu.com/es/faqs/para-que-sirve-el-economizador-eco-de-attsu.html>
- Blanco, K., Chacón, A., Jiménez, G., Montenegro, J., & Sasa, J. (2015). Inventario nacional de emisiones por fuentes y absorción por sumideros de gases de efecto invernadero en Costa Rica. *Ministerio de Ambiente y Energía, Instituto Meteorológico Nacional, Departamento de Climatología e Investigaciones Aplicadas*. Recuperado de

<https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2020/10/NIR-2015-InventarioGEI.pdf?x50040>

Bosh. (2021). *Pre calentador de aire de combustión APH*. Componentes Para Calderas de Vapor y Para Tratamiento de Agua. Recuperado de <https://www.bosch-thermotechnology.com/es/es/ocs/comercial-e-industrial/precalentador-de-aire-de-combustion-aph-669552-p>

CAF Banco de Desarrollo de América Latina. (2018). *Guía para la Evaluación de Elegibilidad de Financiación de Proyectos de Eficiencia Energética*. (Dirección Corporativa de Ambiente y Cambio Climático & Dirección Sectores Productivo y Financiero Región Norte. Recuperado de [http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1303/GUIA - Iluminacion de Alta Eficiencia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1303/GUIA%20-%20Iluminacion%20de%20Alta%20Eficiencia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Cámara Costarricense de la Industria Alimentaria. (2021). *Grandes Consumidores de Energía (ACOGRACE) invita a asociados de CACIA a aprovechar nueva tarifa TMT-b que reduce costo entre 20% y 30%*. Recuperado de <http://www.cacia.org/grandes-consumidores-de-energia-acograce-invita-a-asociados-de-cacia-a-aprovechar-nueva-tarifa-tmt-b-que-reduce-costos-entre-20-y-30/>

Cámara de Industrias de Costa Rica. (2019a). *Desempleo continúa creciendo y alcanza a 296 mil personas*. Recuperado de <https://cicr.com/cicr-desempleo-continua-creciendo-y-alcanza-a-296-mil-personas/>

Cámara de Industrias de Costa Rica. (2019b). *Perspectivas empresariales y Valoración de Factores de competitividad del sector industrial 2019*. Recuperado de <https://cicr.com/cicr-presenta-estudio-anual-perspectivas-empresariales-y-valoracion-de-factores-de-competitividad-del-sector-industrial-2019/>

- Cámara de Industrias de Costa Rica. (2020). *Servicios de Cámara de Industrias de Costa Rica. Apoyo para la Certificación en ISO 50001:2018*. Recuperado de <https://cicr.com/wp-content/uploads/2021/05/ISO-50001-2018.pdf>
- Cañizares, G., Rivero, M. F., Pérez, R., & González, E. (2014). La gestión energética y su impacto en el sector industrial de la provincia de Villa Clara, Cuba. *Tecnología Química, XXXIV*(1).
- CNFL. (2020). *Electricidad para Costa Rica: Renovable, solidaria y de calidad*. Recuperado de <https://www.cnfl.go.cr/transparencia-empresarial/informacioninstitucional/electricidad-para-costa-rica>
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (Second). Lawrence Erlbaum Associates.
- Dobrotkova, Z., Aditya, L., & Singh, J. (2018). Energy Efficiency in Industry. *Live Wire*.
- ENERCON. (2014). IMPROVING STEAM BOILER OPERATING EFFICIENCY. *National Energy Conservation Centre*.
- Energy Star. (2015). *ENERGY STAR® Program Requirements for Residential Air Source Heat Pump (ASHPs) and Central Air Conditioner Equipment*. Recuperado de [https://www.energystar.gov/sites/default/files/ENERGY STAR CAC-ASHP V5.0.pdf](https://www.energystar.gov/sites/default/files/ENERGY_STAR_CAC-ASHP_V5.0.pdf)
- Enriquez, A., Gaibor, A., Guillén, V., Haón, I., Macas, R., & Marcaya, J. (2019). *Diseño de un sistema automático de una marmita de vapor para la elaboración de nectar de la naranjilla (Solanum quitoense)*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Esen, Ö., & Bayrak, M. (2017). Does more energy consumption support economic growth in net energy-importing countries? *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*.
- Fernández, C., & Quintero, V. (2014). *Diseño y construcción de una mezcladora de*

- balanceado para pollos parrilleros. Máquina con una capacidad de 1000Kg/h.* Escuela Politécnica Nacional.
- Field, A. (2019). *ISO 50001: A strategic guide to establishing an energy management system.* IT Governance Publishing.
- Franklin, J., Castro, E., Rodriguez, J. E., Karina, M., Torrado, A., Milena, S., & Sierra, C. (2018). Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica.*
- García, I. (2011). *Línea base del uso final de la energía eléctrica en edificios comerciales y de servicios de la República Mexicana: indicadores energéticos. December 2011*, 148.
- Garro, A. (2011). *Calderas.*
- Gaytán, J., & Cuevas, P. (2019). *Diseño de dispositivo automático para fabricación de tornillo sin fin, empresa ANDRITZ.* Universidad Técnica Federico Santa María Sede de Concepción- Rey Balduino de Bélgica.
- Grupo ICE. (2017). *Plan de expansión de la generación eléctrica 2016-2035.* www.grupoice.com
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6th ed.). McGRAW-Hill.
- Herrera, Á. (2019). *Reconversión con R-290.* Mundo HVAC&R. Recuperado de <https://www.mundohvacr.com.mx/2019/09/reconversion-con-r-290/>
- Hundy, G., Trott, A., & Welch, T. (2008). *Refrigeration and Air Conditioning* (4th ed.). Elsevier.
- Ibarguen, J., Angulo, J., Rodríguez, J., & Prías, O. (2017). Indicators of energetic performance: A path to sustainability. “a case study of a high-roasting industry of coffee.” *DYNA* (Colombia), 84(203), 184–191.

<https://doi.org/10.15446/dyna.v84n203.65336>

- ICE. (2019). Índice de cobertura eléctrica 2019. In *Dirección General de Energía*. Recuperado de <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/10261169-f251-465d-9b95-0b17c7baa49e/Índice+de+Cobertura+Eléctrica+2019.pdf?MOD=AJPERES&CVID=n1u6RVf>
- ICE. (2020a). *Somos electricidad renovable y solidaria*. Recuperado de https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/7a3172c0-b703-4bbf-9d61-b363e822f1c1/Fasciculo_Electricidad_2020_compressed.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m.pLjj8
- ICE. (2020b). *Tarifas Actuales Grupo ICE*. 10. Recuperado de <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/669c79e9-84c9-4682-b63b-136238ebc7e2/Tarifas+abril++alcance+60+de+gaceta+N°+26++del+20+marzo++2018.pdf?MOD=AJPERES&CVID=maQR6hq>
- INEC. (2019). *Encuesta Nacional a Empresas 2018*. Recuperado de <http://inec.cr/sites/default/files/documentos-biblioteca-virtual/reenae2017.pdf>
- INEC. (2020). *Encuesta Nacional de Puestos de Trabajo en los Sectores Agropecuario, Manufactura y Construcción 2019 Resultados Generales*.
- INEC. (2021). *Trimestre móvil Noviembre-Diciembre-2020 y Enero 2021 Encuesta Continua de Empleo: Principales Indicadores* (Vol. 6). Recuperado de <https://www.inec.cr/sites/default/files/documentos-biblioteca-virtual/reecende2020-2021.pdf>
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO). (2015). *Inte 28-01-13: 2015 Eficiencia Energética. Acondicionadores de aire tipo ventana, dividido y paquete*.

Requisitos (INTECO; 2nd ed.).

Instituto Meteorológico Nacional. (2020a). *Factores de emisión de gases de efecto invernadero* (Décima). Recuperado de <http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publications/factores-de-emision-gei-decima-edicion-2020/>

Instituto Meteorológico Nacional. (2020b). *Promedios mensuales de datos climáticos (estaciones automáticas)*.

INTECO. (2018). *INTE/ISO 50001:2018 Sistemas de Gestión Energética-Requisitos con orientación para su uso*.

IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. In V. B. and P. M. M. (eds.). *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia (Ed.), *Researchgate.Net*. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Abha_Chhabra2/publication/271702872_Carbon_and_Other_Biogeochemical_Cycles/links/54cf9ce80cf24601c094a45e/Carbon-and-Other-Biogeochemical-Cycles.pdf

IPCC. (2018). Informe aceptado por el Grupo de Trabajo I del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático pero no aprobado en detalles. *Cuarto Informe de Evaluación*. Recuperado de http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4_wg1_full_report.pdf

ISO-UNE. (2018). *Norma Española UNE-ISO 50001-2018: Requisitos con orientación para su uso*. Recuperado de www.une.org

Kaeser. (2019). *Fugas en un sistema de aire comprimido*. Kaeser Compresores. Recuperado

de <https://airecomprimidokaeser.com/index.php/2016/09/26/fugas-en-un-sistema-de-aire-comprimido/>

Kanneganti, H., Gopalakrishnan, B., Crowe, E., Al-Shebeeb, O., Yelamanchi, T., Nimbarde, A., Currie, K., & Abolhassani, A. (2017). Specification of energy assessment methodologies to satisfy ISO 50001 energy management standard. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 23(August 2016). <https://doi.org/10.1016/j.seta.2017.09.003>

Manrique, V. (2015). Desarrollo tecnológico e innovación en marmitas autogeneradoras de vapor como alternativa para promover sistemas de calentamiento descentralizado en aplicaciones de procesamiento de alimentos. *Met&Flu*, 50–59.

Marroquín, J., Neme, O., & Valderrama, A. (2015). Producción Manufacturera , Consumo Un Análisis Por Clases Manufactureras. *Cuadernos de Economía*. <https://doi.org/10.15446/cuad.econ.v34n65.48623>.Este

Medina, M. (2004). *Diseño electromecánico de un proceso de Limpieza en Sitio (CIP) para lavado y desinfección de tuberías sanitarias del área de líquidos. Elaboración de un programa de mantenimiento relacionado con la seguridad de alimentos, para cumplir con los requisitos* . Instituto Tecnológico de Costa Rica.

MEIC. (2019). Estudio Situacional de la PYME. *Ministerio de Economía, Industria y Comercio*. Recuperado de <http://reventazon.meic.go.cr/informacion/estudios/2019/pyme/INF-012-19.pdf>

Mejías, R. (2019). “ *Diseño de un sistema de acondicionamiento de aire y extracción mecánica para la sucursal del Instituto Nacional de Seguros de Jacó , Puntarenas* ” [Instituto Tecnológico de costa Rica]. Recuperado de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10920/disenosistemaacondicio>

namiento_aire_ventilacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mills, K., & Paik, Y. (2012). *ISO 50001: How Manufacturers Manage Energy*. *Penton Publishing*.

MINAE. (2014). *Acciones implementadas por Costa Rica para la preservación de la capa de ozono*. Recuperado de https://www.undp.org/content/dam/costa_rica/docs/undp_cr_ozono_2014.pdf

MINAE. (2015). Plan Nacional de Energía 2015-2030. In *Plan Nacional De Plan Nacional De Observación* (1 ed). Recuperado de <https://minae.go.cr/recursos/2015/pdf/VII-PNE.pdf>

PLAN INTERSECTORIAL PARA EL ESTABLECIMIENTO DE UNA TARIFA ELÉCTRICA PREFERENCIAL PARA LA CONSERVACIÓN Y MEJORA DEL EMPLEO EN EMPRESAS ELECTRO-INTENSIVAS, (2017). Recuperado de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_articulo.aspx?param1=NRA&nValor1=1&nValor2=84622&nValor3=110386&nValor5=2

Montaño, R. (2007). *Calculo de precalentadores para calderas del aire primario y secundario de la caldera 5 del ingenio Castilla S.A.* [Universidad Autónoma de Occidente]. Recuperado de <https://red.uao.edu.co/bitstream/10614/6104/1/T04107.pdf>

Oelker, A. (2010). *Ventajas de un economizador*. Economizadores. Recuperado de <http://avibert.blogspot.com/2010/05/ventajas-de-un-economizador.html>

Ortiz, C. (2003). *Reingeniería del sistema de vapor para el Hospital Naval*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Osorio, J., Vega, Ó., & Martínez, S. (2021). 3.15 - Fundamentals of High-Pressure Homogenization of Foods. In K. Knoerzer & K. Muthukumarappan (Eds.), *Innovative Food Processing Technologies* (pp. 244–273). Elsevier.

- Palacios, J. (2019). *Análisis de eficiencia energética en sistemas de aire comprimido para industrias* [Universidad de Chile]. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/170205>
- Perugachi, M. (2012). *Plan de mejora en el proceso de elaboración de salsas de tomate y mayonesas en una planta de alimentos*. Universidad de las Américas.
- Reglamento sobre Emisión de Contaminantes Atmosféricos Provenientes de Calderas y Hornos de Tipo Indirecto, (2012). Recuperado de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=70715&nValor3=0&strTipM=FN
- Poveda-Orjuela, P. P., García-Díaz, J. C., Pulido-Rojano, A., & Cañón-Zabala, G. (2019). ISO 50001: 2018 and Its Application in a Comprehensive Management System with an Energy-Performance Focus. *Energies*, 12(24), 4700. <https://doi.org/10.3390/en12244700>
- Presidencia De la República de Costa Rica. (2019). *ICE IMPLEMENTA TARIFA INDUSTRIAL PREFERENCIAL PARA REACTIVAR ECONOMÍA Y GENERAR EMPLEO*. Recuperado de <https://www.presidencia.go.cr/comunicados/2019/03/ice-implementa-tarifa-industrial-preferencial-para-reactivar-economia-y-generar-empleo/>
- PROCOMER. (2018). Costa Rica - Estadísticas de Comercio Exterior 2017. In *Promotora del Comercio Exterior*. Recuperado de https://procomer.com/downloads/estudios/estudio_estadistico_2017/Estadisticas2017.pdf
- Programa Estado de la Nación. (2019). *Informe Estado de la Nación en* (25th ed.). Servicios Gráficos AC. Recuperado de <https://estadonacion.or.cr/informe/?id=5f2e98c1-f88c-4f51-a151-475c342583ed>

- RECOPE. (2019). *Productos que expende RECOPE*.
- RECOPE. (2020a). *Demanda de combustibles creció un 2,3%*.
- RECOPE. (2020b). *Gas licuado de petróleo (GLP)*. Recuperado de https://www.recope.go.cr/wp-content/uploads/2020/10/FDS-Gas-LP-V-3-2020_1.pdf
- Renjifo, C., & Benalcázar, M. (2018). *Diseño y simulación de una mezcladora-amasadora para preparar 12 kg/h de pasta alimenticia*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito.
- Rincón, J. (2017). *Diseño de una máquina mezcladora, automática, de materias primas para la elaboración de jabones líquidos, suavizantes y desengrasantes industriales, para la empresa Químicos Zorel*. Fundación Universidad de América Bogotá, D.C.
- Robles, K. (2019). *Modelo de Gestión Energética para los Sistemas de Aires Acondicionado del Campus Tecnológico Central Cartago del Instituto Tecnológico de Costa Rica* [Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Recuperado de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10886/modelo_gestion_energetica_sistemas_aire_acondicionado_campus_tecnologico_central.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ROMACO FrymaKoruma. (2020). *FrymaKoruma InMixx: Vacuum mixing and dispersing unit*. Direct Industry. Recuperado de <https://pdf.directindustry.com/pdf/frymakoruma-gmbh/inmixx/67556-178920.html>
- Rosillo, F., & Rondón, V. (2011). *Metodología para la sustitución del refrigerante R-22 por el propano R-290 en un aire acondicionado de ventana*. Cerogradoscelsius. Recuperado de <https://0grados.com.mx/metodologia-para-la-sustitucion-del-refrigerante-r-22-por-el-propano-r-290-en-un-aire-acondicionado-de-ventana/>
- Rubio, R. (2017). *LÍNEA BASE ENERGÉTICA PARA LA UNIDAD U-200 DE LA GRB:*

ANÁLISIS Y REGRESIÓN UTILIZANDO ESTADÍSTICA MULTIVARIADA.

Universidad Industrial de Santander. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Šešlija, D., Ignjatovi, I., Dudi, S., & Lagod, B. (2011). Potential energy savings in compressed air systems in Serbia. *African Journal of Business Management*, 5(14), 5637–5645. <https://doi.org/10.5897/AJBM10.1340>

Superior Energy Performance. (2019). Guidance for the SEP 50001™ Program Measurement & Verification Protocol: 2019. In *Superior Energy Performance 50001™(SEP 50001™)*.

https://betterbuildingssolutioncenter.energy.gov/sites/default/files/attachments/SEP_50001_MV_Protocol_2019_Guidance.pdf

Superior Energy Performance 50001. (2019). *Protocolo de medición y verificación del programa Desempeño Energético Superior 50001 (2019)*.

Valerio, L. (2019). *Oportunidades de Ahorro eléctrico en la Industria: Refrigeración Industrial*.

Valerio, L. (2020). *Sistemas de Gestión de la Energía Según la Norma ISO 50001:2018 6.3 Revisión energética*.

Van Bommel, L. L. (2016). *Thermodynamic Model of a Screw Compressor* (Issue August). Delf University of Technology.

Vásquez, C., Carillo, A., Tona, M. E., Galíndez, M., Macias, K., & Esposito de Díaz, C. (2017). Sistema de gestión energética y ambiental de Productos Alimex CA. *Suma de Negocios*, 8, 115–121. <https://doi.org/10.1016/j.sumneg.2017.11.003>

Zamora, A., & Guamis, B. (2014). Opportunities for Ultra-High-Pressure Homogenisation (UHPH) for the Food Industry. *Springer Science+Business Media*. <https://doi.org/10.1007/s12393-014-9097-4>

APÉNDICES

APÉNDICE 2: CUESTIONARIO SOBRE EL CONSUMO ENERGÉTICO APLICADO AL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

El siguiente documento es de gran importancia para la realización del Trabajo Final de Graduación “Optimización del consumo energético en una empresa de alimentos aplicando los conceptos de la Norma ISO 50001” realizado por la estudiante en Ingeniería Ambiental Isenny Salas Salgado. La información solicitada ayudará a conocer el consumo de energía en la organización con el fin de brindar propuestas para mejorar la eficiencia energética de la organización y obtener un ahorro.

1. Caldera

- 1.1. ¿Cuáles son los tipos de calderas presente en la empresa?
- 1.2. ¿Cuáles son las potencias de las calderas?
- 1.3. ¿Cuál es el flujo de la caldera (Kg vapor/litro de combustible)?
- 1.4. ¿Cuál es la frecuencia de mantenimiento?
- 1.5. ¿Se maneja información del costo de mantenimiento y reparación que se le da al equipo?
- 1.6. ¿Cuántas son las horas promedio al día que operan las calderas?
- 1.7. ¿La caldera cuenta con economizador, precalentadores o recuperación de condensados?
- 1.8. ¿Las tuberías de distribución de vapor de las calderas cuentan con aislamiento térmico?
- 1.9. ¿Qué se hace con el vapor de agua una vez cumple su función?
- 1.10. ¿Se encuentran reportadas las fugas de agua caliente?
- 1.11. Adjuntar reportes operacionales de la caldera del 2018 y 2019.
- 1.12. Indicar consumo anual y mensual de combustible empleado en la caldera del año 2018-2020.
- 1.13. Brindar el costo de energía que se utiliza en la caldera del año 2018-2020.

2. Compresores

- 2.1. ¿Cuál es el tipo de compresores que posee la empresa?
- 2.2. Indique la cantidad de compresores.
- 2.3. ¿Cuál es la potencia que tiene cada compresor?
- 2.4. ¿Cuál es el tiempo de operación (horas/día que se utilizan)?
- 2.5. ¿Cuál es el flujo generado de los compresores (CFM)?
- 2.6. ¿Cuál es el flujo requerido (CFM)?
- 2.7. Indique la presión en la que operan los compresores actualmente.
- 2.8. ¿Existe una lista o diagrama de los equipos que utilizan aire comprimido?
- 2.9. Adjuntar fichas técnicas de compresores.
- 2.10. ¿Existen fugas registradas de las tuberías de aire comprimido?

3. Sistemas refrigerantes

- 3.1. Indique los tipos de aires acondicionados presentes en la empresa, así como la cantidad y la ubicación exacta.
- 3.2. ¿Cuál es el tipo de gas refrigerante que utiliza el chiller y los aires acondicionados? Brindar lista con equipos.
- 3.3. ¿Cada cuánto tiempo se les da mantenimiento a los sistemas refrigerantes (aires acondicionados y chiller)?
- 3.4. Brindar la ficha técnica del chiller.
- 3.5. Indique la potencia y la cantidad de BTU para cada aire acondicionado y para el chiller.
- 3.6. ¿Existe recirculación del agua empleada en el chiller?
- 3.7. ¿Existe sistema de aislamiento para las tuberías de agua fría?

4. Luminaria

- 4.1. ¿Cuáles son los tipos de luminaria que existen en la organización (led, fluorescentes, incandescentes, lámparas de Tungsteno Halógeno, de Mercurio, de Halogenuro metálico o de sodio)?
- 4.2. Según el tipo de luminaria existente, indique la cantidad y la ubicación respectiva.

4.3. Indique las especificaciones de cada lámpara tales como flujo luminoso, CRI, potencia, entre otros (ficha técnica).

5. Maquinaria de transporte

5.1. Brindar información sobre la lista de maquinaria que funciona con gas licuado de petróleo (GLP) y la maquinaria que funciona con electricidad. Indicar cantidad de cada tipo.

5.2. Para el caso los equipos eléctricos, indicar potencia de batería.

5.3. Para el caso de los equipos eléctricos, indicar cantidad horas/día que se carga maquinaria.

5.4. Para el caso de GLP, indicar cantidad de veces (al día/semana o mes) que se cambian cilindros.

6. Motores

6.1. Indique la cantidad de principales motores presentes en la empresa y su ubicación.

6.2. Indique la capacidad nominal de cada uno.

6.3. Adjunte las fichas técnicas de los principales motores.

6.4. ¿Cuál es el tiempo de operación de los motores en cada zona?

7. Maquinaria industrial

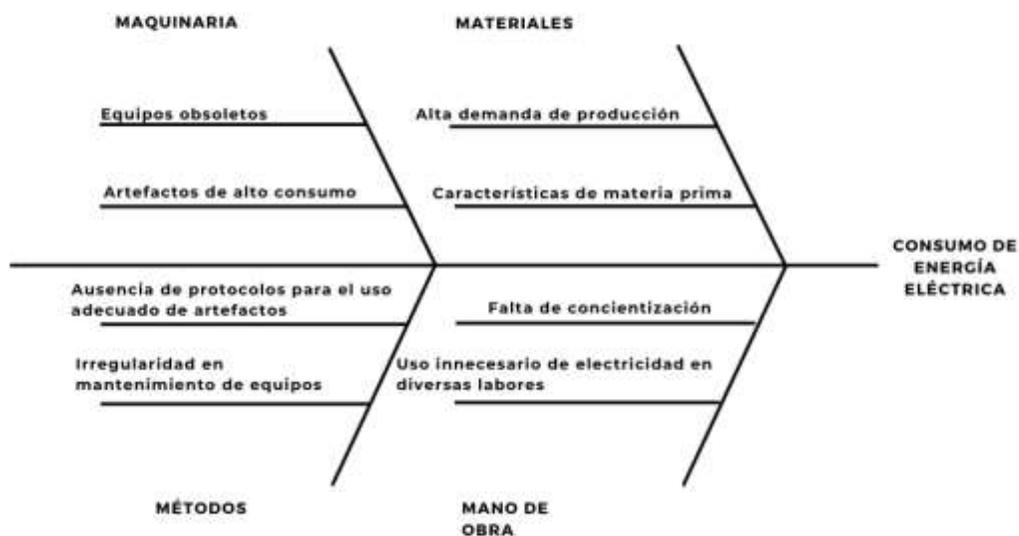
7.1. ¿Cuál es la frecuencia de mantenimiento para cada máquina?

7.2. ¿Cuál es el costo del mantenimiento anual/mensual por máquina?

7.3. ¿Cuál es la potencia de cada máquina?

7.4. Brindar información de las fichas técnicas de cada equipo presente tanto en el área de líquidos como en el área de polvos.

APÉNDICE 3: ANÁLISIS CAUSA RAÍZ EN EL CONSUMO DE ENERGÍA DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO DE CALDERA Y ELECTRICIDAD



**Se consideran principalmente los compresores, chiller, aires acondicionados, frymas, marmitas, mezcladoras y motores en PTAR

Figura 5.3.1. Análisis de Causa Raíz para el consumo de energía eléctrica.

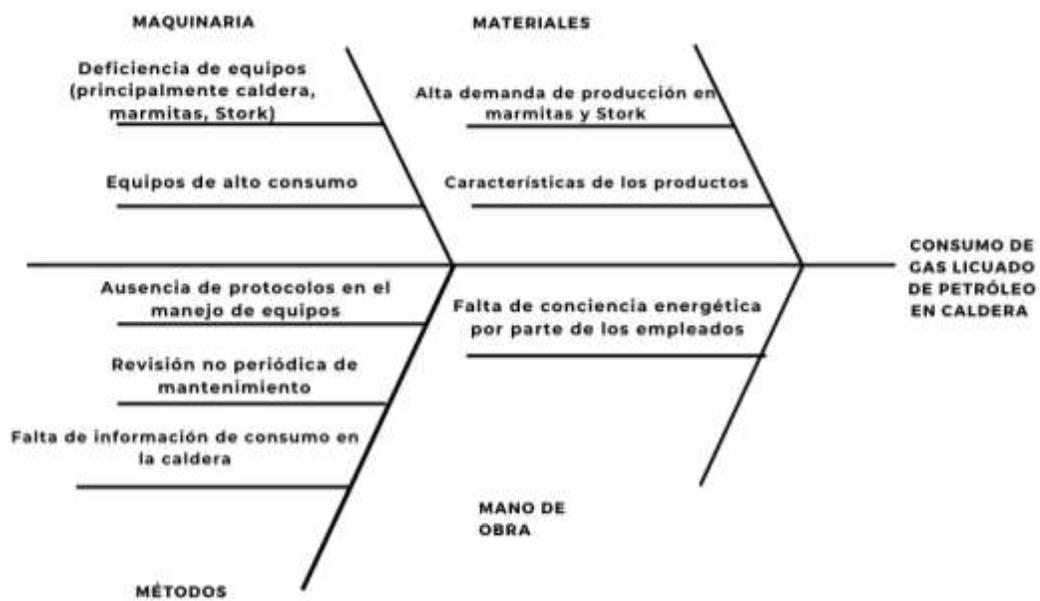


Figura 5.3 .2. Análisis de Causa Raíz para el consumo de energía de GLP en la caldera.

APÉNDICE 4: FORMATO UTILIZADO PARA EL LEVANTAMIENTO DEL INVENTARIO ENERGÉTICO

PROPÓSITO

El propósito de este documento es definir la metodología para la utilización de aires acondicionados dentro de las instalaciones de la organización donde sean requeridos.

REVISIÓN DEL PROCEDIMIENTO

1. Elección del personal responsable del uso de aires acondicionados en la organización

Será responsabilidad del Comité de Ambiente velar por el uso correcto en los aires acondicionados. No obstante, debido a que es un proceso que debe realizarse de forma íntegra, con participación de todo el personal, se deben delegar funciones para cada uno de los departamentos.

Se debe elegir por cada área (que cuente con al menos un aire acondicionado) un representante para que verifique que el mismo permanezca apagado cuando no se encuentre nadie en el edificio u oficina o bien, cuando se termine la hora laboral. Esta persona puede rotar cada periodo determinado que así decida el departamento. Así mismo, al ser la responsable deberá rendir cuentas ante su jefe directo.

El comité podrá realizar revisiones periódicas para verificar que no se incumplan con las recomendaciones presentadas para el uso eficiente del aire acondicionado. En caso de encontrar acciones correctivas deberán ser registradas y reportadas ante el director general.

2. Procedimiento para el uso de aires acondicionados en la organización.

Con el fin de disminuir el consumo energético de la organización, además de fomentar la conservación de los recursos naturales de una forma sostenible; se establece el procedimiento para el uso de aires acondicionados de la empresa.

Lo anterior, debido a que corresponden a uno de los equipos con mayor consumo eléctrico los cuales no cuentan con un adecuado uso y funcionamiento en las instalaciones por parte del personal. Por lo cual, se establece que:

- Los aires acondicionados deberán estar en funcionamiento únicamente cuando haya personal en las oficinas o diferentes departamentos, en caso de que este se ausente por más de una hora en la oficina, el equipo deberá permanecer apagado.
- En caso de que el aire acondicionado permanezca encendido deberán de cerrarse las ventanas, puertas y demás estructuras que permitan el ingreso de calor a la habitación u oficina.
- Para el caso de aires acondicionados que cuenten con sistema para programar las horas a ser utilizadas, se debe configurar el temporizador de encendido y apagado para las horas en las cuales el personal esté presente. Y se debe modificar siempre que el horario varíe, por lo cual también debe haber una persona encargada que lo regule.

3. Registro de uso adecuado de aires acondicionados

En caso de que el departamento así lo prefiera, se pone al alcance un formato donde se evidencie el cumplimiento del encendido y apagado de aires acondicionados. Este funcionara como un registro y como un indicador de que se está cumpliendo con el procedimiento establecido.

Cuadro A.4.1. Registro del uso de aires acondicionados por sector en la organización.

Departamento	Hora de encendido	Hora de apagado	Fecha	Encargado	Firma	Observaciones

**APÉNDICE 5: PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS AIRES
ACONDICIONADOS DE LA EMPRESA**

Cuadro A.5.1. Especificaciones técnicas de los aires acondicionados de la organización.

Modelo	Ubicación	Potencia (W)	Capacidad de enfriamiento (Btu/h)	SEER
Carrier Mini Split 38KHC012 DS	Tecnologías de Información	1 085	12 000	16
Carrier Mini Split 38KHC018 DSP	Tecnologías de Información	1 620	18 000	16
Air Pro APHWEb 09-C01	Tecnologías de Información	1 679	-	-
Gair Mini Split GAW-09CR1-NB6	Tecnologías de Información	935	9 000	10
Gair Mini Split GAW-09CR1-NB6	Tecnologías de Información	935	9 000	10
Carrier Split 38CKC0483 00	Administrativos	5 120	47 500	10,5
Carrier Split 38CKC060	Administrativos	6 300	57 000	10
Carrier Split 38CKC0243 30	Administrativos	2 750	25 600	10
Carrier Split 38CKC0483 00	Administrativos	5 120	47 500	10,5
Carrier paquete 50TJ-012-511-	Administrativos	13 400	120 000	-
LG mini-Split LS-K1822CM	Administrativos	1 900	18 000	9

Fuente: Adaptado partir de datos brindados por la organización.

Continuación Cuadro A.5.1.

Modelo	Ubicación	Potencia (W)	Capacidad de enfriamiento (Btu/h)	SEER
Klimaire kchj018-c2rk-17	Administrativos	3 698	18 000	-
Split Carrier	Administrativos	3 840	33 400	10
CT22SKCE	Administrativos	2 231	-	-
Split Carrier 38ckc060300/fb4anf060	Administrativos	6 300	57 000	10,0
mov-48cdn1-n	Comedor	6 400	48 000	16
mov-48cdn1-n	Comedor	6 400	48 000	16
Ch41E-018-H3N1C CIAC Mini Split	Bodega Materia Prima	1 880	18 000	13
Carrier Mini Split 42KHC012DS	Bodega Materia Prima	1 085	12 000	16
SM112CR-CI Cooltek	Bodega Materia Prima	1 269	12 000	-
Air Pro Mini Split aphwe09c- 01-100/APHED50921CA	Bodega Producto Terminado	978	-	-
Carrier Split 38CKC036	Oficinas Calidad	3 940	35 500	10,0
ECOX Split	Oficinas Calidad	7 625	60 000	-
Innovair Mini Split HO24C2MR13	Laboratorio Calidad	1 920	2 400	12,5
Carrier Split 38CKC036	Laboratorio Calidad	3 940	35 500	10,0
Carrier Mini Split 42KHC012DS	Facilidades I+D	1 085	12 000	16
Carrier Mini Split 38KHC012DSP	Jefatura I+D	1 085	12 000	16
Carrier Split 38CKC048	Cubículos I+D	5 120	47 500	10,0
Lennox Split	Cocina I+D	4 400	60 000	13,0
Goodman Split	Cocina I+D	4 500	45 000	10

Fuente: Adaptado partir de datos brindados por la organización.

Continuación Cuadro A.5.1.

Modelo	Ubicación	Potencia (W)	Capacidad de enfriamiento (Btu/h)	SEER
CG41E-018PH3N1C CIAC Mini Split RG57B/BGE	Sala de Reuniones I+D	1 880	18 000	13
Daikin Mini Split RKS12SL216	Oficinas mantenimiento	1 151	12 000	10,4
Carrier 42KHC012DS	Oficinas mantenimiento	1 085	12 000	16
Carrier 38KHC12DSP	Oficinas mantenimiento	1 085	12 000	16
Lennox LXG SCTC018100P4	Oficinas mantenimiento	1 800	18 000	10
Carrier Mini Split 42KHC012DS	Oficinas mantenimiento	1 085	12 000	16

Fuente: Adaptado partir de datos brindados por la organización.

APÉNDICE 6: FORMATO PARA EL LEVANTAMIENTO DE AIRES ACONDICIONADOS CON SUS PRINCIPALES ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Cuadro A.6.1. Formato para el levantamiento y registro de los aires acondicionados de la organización.

Modelo	Tipo	¿Cuenta con temporizador?	Ubicación	Refrigerante	Potencia ¹	BTU/H ²	SEER ³	EER ⁴	cfm ⁵	dB ⁶	Observaciones

Notas:

¹ Dado en watts (W)

² Corresponde a la capacidad de enfriamiento

³ Seasonal Energy Efficiency Ratio

⁴ Energy Efficiency Ratio

⁵ Cubic feet per minute

⁶ decibeles

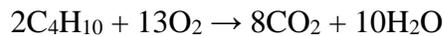
APÉNDICE 7: BALANCES DE REACCIÓN REALIZADOS PARA LA SIMULACIÓN DE LA CALDERA GLP

A continuación se muestran los cálculos que se realizaron para obtener el aire en exceso que se utiliza en la caldera. Se trabajó con un exceso de aire del 22% el cual es el recomendado para una caldera de GLP según Garro (2011).

Reacción Química del Propano



Reacción Química del Butano



A partir de las combustiones del propano y del butano se obtienen los moles necesarios de oxígeno para ambos compuestos, donde el propano corresponde al 70% del combustible y el butano el 30%. Se trabaja con un flujo de GLP de 31,97 kg/h, seguidamente se obtiene la cantidad de aire requerida en kg.

Cantidad de moles requeridos en la combustión del propano

$$\text{Moles de O}_2 = 20,43 \text{ kg} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ mol}}{44,1 \text{ g}} \text{ C}_3\text{H}_8 \times \frac{5 \text{ mol O}_2}{1 \text{ mol C}_3\text{H}_8} = 2\,316 \text{ moles O}_2$$

(ec.8)

Cantidad de moles requeridos en la combustión del butano

$$\text{Moles de O}_2 = 11,54 \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ mol}}{58,12 \text{ g}} \text{ C}_4\text{H}_{10} \times \frac{13 \text{ mol O}_2}{2 \text{ mol C}_4\text{H}_{10}} = 1\,291 \text{ moles O}_2 \text{ (ec. 9)}$$

Cantidad total de aire requerido

$$\text{kg aire necesario} = (2\,316 + 1\,291) \times \frac{100 \text{ moles aire}}{21 \text{ moles O}_2} \times \frac{1 \text{ mol}}{29 \text{ g}} \text{ aire} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} =$$

498 kg aire (ec. 10)

Cantidad de aire requerido con un 22% de exceso de aire

$$**Exceso aire = 497 kg aire \times 1,22 = 608 kg aire (ec.11)**$$

APÉNDICE 8: SIMULACIÓN DE LA CALDERA DE GLP

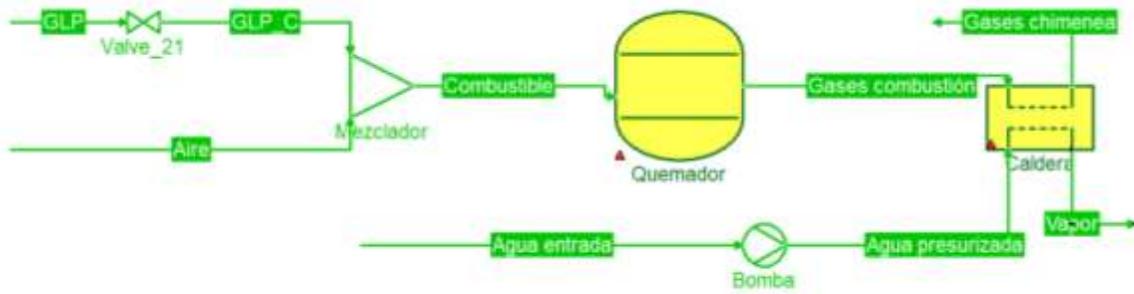


Figura 5.3.1. Simulación de la caldera de GLP.
Fuente: Elaborado a partir del programa COCO simulator.

APÉNDICE 9: CARACTERÍSTICAS DE LOS AIRES ACONDICIONADOS COTIZADOS PARA SUSTITUIR

Cuadro A.9.1. Propuesta de compra de aires acondicionados en la empresa.

Modelo	Lugar	Refrigerante	Potencia aproximada (W)	Capacidad Btu/h	SEER	Precio (colones)
Innovair DXC48C2AN1	Administrativos/ Recepción	R 410	2667	48 000	18	₡ 1 300 000
Innovair DXC60C2AN1	Administrativos/ Contabilidad	R 410	3333	60 000	18	₡ 1 513 366
DaikinFTKS24PL216A / RKS24PL216A	Administrativos/ Data Center 1	R 410	1263	24 000	19	₡ 524 990
Innovair DXC48C2AN1	Importaciones-Logística-Centro Médico	R 410	2667	48 000	18	₡ 1 300 000
Mabe MMI18	Administrativos/ Sala Principal 2	R 410	1100	18 000	18	₡ 379 990
Comfort StarMRR36-410-C	Administrativos/ Gerencia	R 410	2000	36 000	18	₡ 779 990
Innovair DXC60C2AN1	Administrativos/ Secretaría Gerencia	R 410	3333	60 000	18	₡ 1 513 366
Innovair CE36C2DB2/ DXC36C2AN1	Oficinas Calidad	R 410	2000	36 000	18	₡ 1 079 150
Innovair CE36C2DB2/ DXC36C2AN1	Laboratorio Calidad/Fisicoquímico	R 410	2000	36 000	18	₡ 1 079 150
Innovair DXC48C2AN1	Cubículos I+D	R 410	2667	48 000	18	₡ 1 300 000
Innovair DXC48C2AN1	Cocina I+D/ PLANTA PILOTO	R 410	2667	48 000	18	₡ 1 300 000

APÉNDICE 10: ANÁLISIS FINANCIERO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN ECONOMIZADOR PARA LA CALDERA Y NUEVOS AIRES ACONDICIONADOS

Cuadro A.10.1. Flujo neto efectivo de implementar el proyecto de un economizador para la caldera de GLP.

Año	Costo inversión	Ahorros	Flujo Neto Efectivo (FNE)
0	-C 25 000 000	C -	-C 12 500 000,00
1		3 877 342	- 8 622 658
2		3 993 662	- 4 628 996
3		4 113 472	- 515 524
4		4 236 876	3 721 352
5		4 363 982	8 085 335
6		4 494 902	12 580 237
7		4 629 749	17 209 986
8		4 768 641	21 978 627
9		4 911 701	26 890 328
10		5 059 052	31 949 379

CuadroA.10.2. Flujo neto efectivo de implementar el proyecto de nuevos aires acondicionados.

Año	Costo inversión (costo aires + costo instalación)	Ahorros	Flujo Neto Efectivo (FNE)
0	-C 13 397 702	C -	-C 13 397 702,22
1		C 3 718 448	-C 9 679 254
2		C 3 904 370	-C 5 774 884
3		C 4 099 589	-C 1 675 295
4		C 4 304 568	C 2 629 273
5		C 4 519 797	C 7 149 069
6		C 4 745 786	C 11 894 856
7		C 4 983 076	C 16 877 932
8		C 5 232 230	C 22 110 161
9		C 5 493 841	C 27 604 002
10		C 5 768 533	C 33 372 535

ANEXOS

ANEXO 1: EVOLUCIÓN DEL USO DEL REFRIGERANTE EN COSTA RICA

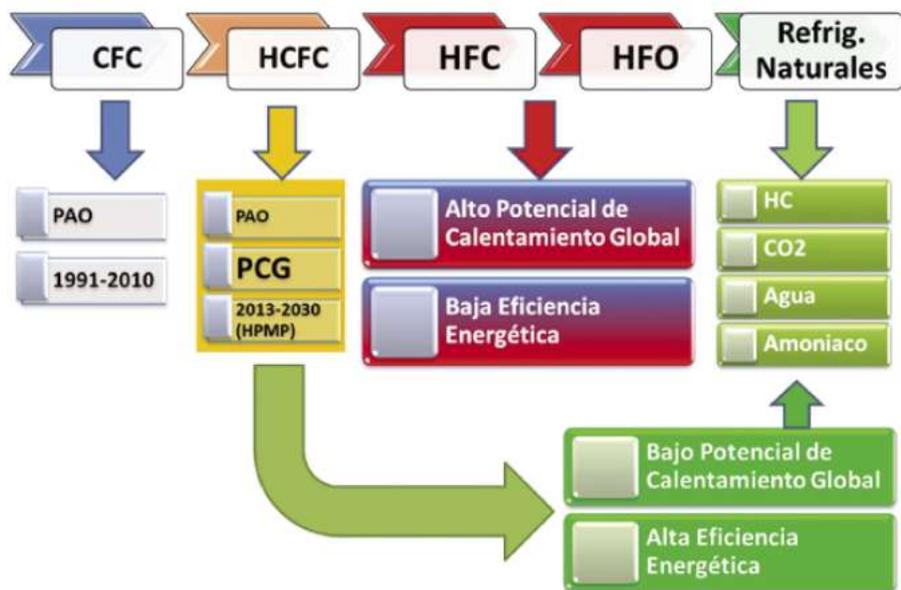


Figura AN.1.1. Evolución de usos de refrigerantes de Costa Rica.
Fuente:(MINAE, 2014)

ANEXO 2: REQUISITOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE AIRES ACONDICIONADOS SEGÚN LA NORMA INTE 28-01-13

Tabla 1. Relación de eficiencia de energética (REE). Capacidad ≤7038 W (≤ 24000 Btu/h)			
Tipo (valores mínimos)			
Ventana	Paquete	Dividido(*)	
		Con ducto	Sin ducto
3,19 (10,9)	N.A.	3,57 (12.2)	3,57 (12.2)
(*) El valor de EER se determina en el conjunto condensador y evaporador			

Figura AN.2.1 Relación de eficiencia energética mínima para cada aire acondicionado con capacidad de hasta 7 038 W.

Fuente: (Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO), 2015)

Tabla 2. Relación de eficiencia de energética (REE). Capacidad > 7 038 W a ≤ 10 553 W (> 24 000 Btu/h a ≤ 36 000 Btu/h)			
Tipo (valores mínimos)			
Ventana	Paquete	Dividido(*)	
		Con ducto	Sin ducto
N.A.	3,22 (11)	3,57 (12,2)	3,57 (12,2)
(*)El valor de EER se determina en el conjunto condensador y evaporador			

Figura AN.2.2. Relación de eficiencia energética mínima para cada aire acondicionado con capacidades mayores a 7 038 W y menores o iguales a 10 553 W.

Fuente: (Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO), 2015)

Tabla 3. Relación de eficiencia de energética (REE). Capacidad >10 553 W a 17 589 W (>36 000 Btu/h a 60 000 Btu/h)			
Tipo (valores mínimos)			
Ventana	Paquete	Dividido(*)	
		Con ducto	Sin ducto
N.A.	3,22 (11)	3,37 (11,5)	3,37 (11,5)
(*) Valor de EER se determina para conjunto condensador y evaporador			

Figura AN.2.3. Relación de eficiencia energética mínima para cada aire acondicionado con capacidades mayores a 10 553 W hasta 17 589 W.

Fuente: (Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO), 2015)

ANEXO 3: POTENCIALES DE CALENTAMIENTO GLOBAL DE GASES

Potenciales de calentamiento global

Gas	Potencial de calentamiento Horizonte: 100 años
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310
HFC 134a	1 300
HFC 152a	140
R402a	2 447
R402b	2 150
R404a	3 260
R404B	3 260
R407c	1 526
R410a	1 725
R507	3 300
R508B	10 350
ISCEON MO49	2 230
SF ₆	23 900

Figura 5.3.1. Potenciales de calentamientos globales de diferentes gases.
Fuente: (Instituto Meteorológico Nacional, 2020a)

Nombre Industrial o común (años)	Fórmula química	Vida (años)	Eficacia Radiativa (W m ⁻² ppb ⁻¹)	Potencial de calentamiento mundial para Tiempo dado de Horizonte			
				SIEI ^a (100-años)	20-años	100-años	500-años
Dióxido de carbono	CO ₂	Ver debajo ^a	^b 1.4x10 ⁻⁵	1	1	1	1
Metano ^c	CH ₄	12 ^c	3.7x10 ⁻⁴	21	72	25	7.6
Óxido nítrico	N ₂ O	114	3.03x10 ⁻³	310	289	298	153
Sustancias controladas por el Protocolo de Montreal							
CFC-11	CCl ₃ F	45	0.25	3,800	6,730	4,750	1,620
CFC-12	CCl ₂ F ₂	100	0.32	8,100	11,000	10,900	5,200
CFC-13	CClF ₃	640	0.25		10,800	14,400	16,400
CFC-113	CCl ₂ FCClF ₂	85	0.3	4,800	6,540	6,130	2,700
CFC-114	CClF ₂ CClF ₂	300	0.31		8,040	10,000	8,730
CFC-115	CClF ₂ CF ₃	1,700	0.18		5,310	7,370	9,990
Halon-1301	CBrF ₃	65	0.32	5,400	8,480	7,140	2,760
Halon-1211	CBrClF ₂	16	0.3		4,750	1,890	575
Halon-2402	CBrF ₂ CBrF ₂	20	0.33		3,680	1,640	503
Tetracloruro de carbón	CCl ₄	26	0.13	1,400	2,700	1,400	435
Bromuro de metilo	CH ₃ Br	0.7	0.01		17	5	1
Cloroformo de metilo	CH ₃ CCl ₃	5	0.06		506	146	45
HCFC-22	CHClF ₂	12	0.2	1,500	5,160	1,810	549
HCFC-123	CHCl ₂ CF ₃	1.3	0.14	90	273	77	24
HCFC-124	CHClF ₂ CF ₃	5.8	0.22	470	2,070	609	185
HCFC-141b	CH ₃ CCl ₂ F	9.3	0.14		2,250	725	220
HCFC-142b	CH ₃ CClF ₂	17.9	0.2	1,800	5,490	2,310	705
HCFC-225ca	CHCl ₂ CF ₂ CF ₃	1.9	0.2		429	122	37
HCFC-225cb	CHClF ₂ CClF ₂	5.8	0.32		2,030	595	181

Figura AN5.3.2. Potencial de calentamiento mundial para diversos gases.
Fuente: (IPCC, 2018)

ANEXO 4: CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE ALGUNOS GASES REFRIGERANTES

Cuadro AN.4.1. Propiedades de los principales gases refrigerantes.

Refrigerant	Composition	Application	ODP (R11 = 1)	GWP (CO ₂ = 1)	Boiling point (°C)	Vapour pressure at 50°C (bar abs)
<i>HFCs low chlorine</i>						
R22	CHClF ₂	HT, MT, LT	0.05	1500	-41	19.4
R22 Blends	R22 + HFCs	MT	0.03 to 0.05	970 to 1770	-33 to -35	13 to 14
R22 Blends	R22 + HFCs	LT	0.02 to 0.03	1960 to 3570	-44 to -51	20 to 25
<i>HFCs chlorine free</i>						
R134a	C ₂ H ₂ F ₄	HT, MT	0	1300	-26	13.2
RA04A	R143a/125/134a	LT	0	3060	-47	23.0
RA07C	R32/125/134a	HT	0	1525	-44	19.8
RA10A	R32/125	HT	0	1725	-51	30.5
Other R32 blends	R32 + HFCs	LT	0	1770-2280	-46 to -48	21 to 23
Other R125 blends	R125 + HFCs	HT, MT, LT	0	1830-3300	-43 to -48	18 to 25
<i>HCs halogen free</i>						
R290	C ₃ H ₈ propane	HT, MT	0	3	-42	17.1
R1270	C ₃ H ₆ propylene	LT	0	3	-48	20.6
R600a	C ₄ H ₁₀ isobutane	MT	0	3	-12	6.8
R290 blends	R290 + HCs	HT, LT, MT	0	3	-30 to -48	10 to 18
<i>Other halogen free</i>						
R717	NH ₃ ammonia	LT (MT, HT)	0	0	-33	20.3
R744	CO ₂ carbon dioxide	HT, MT, LT	0	1	-57*	74**

*Boiling point (5.2 bar abs).
**At critical temperature 31°C.

Fuente: (Hundy et al., 2008).

ANEXO 5 : CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPRESORES SEGÚN ESTUDIO REALIZADO EN LA ORGANIZACIÓN

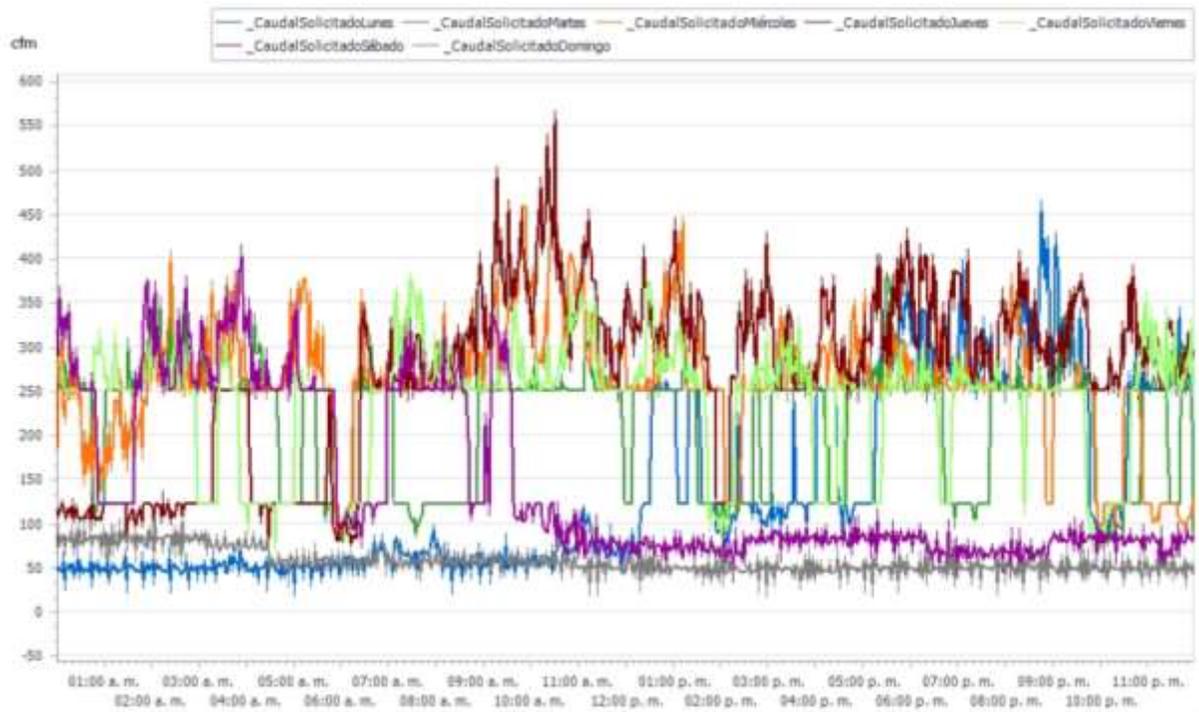


Figura AN.5.1. Caudal de aire comprimido requerido por días.
Fuente: Departamento de mantenimiento de la empresa.