

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

PROYECTO DE GRADUACIÓN

PROYECTO:

**Desarrollo de un modelo de gestión de energía basado en la Norma ISO 50001 en el
Ingenio La Azucarera La Estrella de Grupo Calesa, bajo concepto de Internet de las
Cosas (IoT)**

REALIZADO POR:

Esteban Miguel Jaén Barrantes (2016071658)

COORDINADOR DE PRÁCTICA:

Ing. Ignacio Del Valle Granados

I SEMESTRE 2022



Carrera evaluada y acreditada por:

Canadian Engineering Accreditation Board

Bureau Canadien d'Accréditation des Programmes d'Ingénierie



Esta obra cuyo autor es Esteban Miguel Jaén Barrantes está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Hoja de información

Información del estudiante

Nombre completo: Esteban Miguel Jaén Barrantes

Número de cédula: 9-0114-0800

Número de carné: 2016071658

Edad: 25 años

Número de teléfono: (507) 63831957

Correos electrónicos: este_mig97@hotmail.com / ejaenb@estudiantec.cr

Dirección exacta de domicilio: Panamá, Coclé, Aguadulce, Barriada Lafayette

Información del asesor

Nombre completo: Carlos Alberto Marín Ramírez.

Cargo: Gerente industrial corporativo

Empresa: Grupo Calesa

Correo: carlos.marin@grupocalesa.com

Carta de aceptación

viernes, 29 de octubre de 2021

Ing. Ignacio del Valle Granados

Coordinador de práctica profesional de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial.

Estimado señor:

Le informo por este medio que se ha autorizado al estudiante Esteban Miguel Jaén Barrantes, cédula 9-0114-0800, carné 2016071658 a realizar su práctica profesional para optar por el título de grado de licenciatura de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial, de la Escuela de Ingeniería Electromecánica, desarrollando el siguiente proyecto: Desarrollo de un modelo de gestión de energía basado en la norma ISO 50001 en el Ingenio La Azucarera La Estrella de Grupo Calesa, bajo concepto de Internet de las Cosas (IoT), bajo concepto de Internet de las Cosas (IoT), dicho trabajo se realizará en las instalaciones de La Azucarera La estrella de Grupo Calesa

La relevancia de este proyecto para la empresa se fundamenta en la necesidad de tener un sistema de gestión de energía que nos permita mejorar en el desempeño energético y establecer procesos de mejora continua con resultados cuantificables.

Hacemos constar que esta práctica profesional tendrá una duración de 4 meses aproximadamente, iniciando el 8 de febrero del 2022 con una jornada de 36 horas semanales, como lo solicita el TEC. En el momento de las visitas requerimos que se cumplan con todos los protocolos de seguridad y salubridad

Atentamente,



Carlos Alberto Marín Ramírez
Gerente Industrial Corporativo
Grupo Calesa

Dedicatoria

A mi padre y a mi madre, por todo el amor y el apoyo que me han brindado a lo largo de mi vida. Gracias por todos los sacrificios que han realizado, porque gracias a ellos soy quien soy y estoy donde estoy.

A mi hermano por siempre estar ahí, dispuesto a brindarme su ayuda.

A mi familia, mis tías y primas, que me han estado apoyando durante estos años de universidad, brindándome su apoyo incondicional.

Agradecimientos

Agradecimiento total a Dios, por ser un pilar fundamental en mi vida, porque en los momentos de dificultad acudía a él y me brindaba las fuerzas para seguir adelante.

A mis padres, que me apoyaron en los momentos difíciles y me brindaron fuerzas para seguir adelante. Por todo el amor incondicional que han dado y por las enseñanzas y valores que siempre me han inculcado, ya que, gracias a ellos, puedo sentirme orgulloso de quien soy.

A mis tías y primas, quienes me apoyaron durante mi periodo de universidad, que, gracias a ellas, pude realizar este proceso de estudio. No caben palabras para expresar mi gratitud.

A mis compañeros y amigos de la universidad, que estuvieron presentes en los momentos más difíciles, brindándome su apoyo. En especial a Anthony, Karen, Paola y Luis.

Al profesor Luis Felipe Córdoba que, sin lugar a duda, ha realizado un excelente trabajo como profesor guía.

Al Ing. Luis Arrocha y al equipo de colaboradores de Grupo Calesa, por abrirme las puertas de sus instalaciones y el apoyo para el desarrollo de este proyecto .

Índice

RESUMEN	XVIII
ABSTRACT.	XIX
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	1
RESEÑA DE LA EMPRESA	3
MISIÓN	3
VISIÓN	3
CAPÍTULO II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
PROBLEMA A RESOLVER.....	4
OBJETIVOS	6
Objetivo general.....	6
Objetivos específicos	7
JUSTIFICACIÓN.....	8
METODOLOGÍA	10
Metodología empleada.....	10
VIABILIDAD	11
ALCANCE.....	12
LIMITACIONES	13
CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO	14
ENERGÍA	14
EFICIENCIA ENERGÉTICA	14
BALANCE ENERGÉTICO.....	14
LÍNEA BASE ENERGÉTICA	15

INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO (IDE)	15
MODELO DE GESTIÓN DE ENERGÍA	17
Producción más limpia y eficiencia energética (UNEP).....	17
Gestión Total Eficiente de la Energía (CEEMA).....	18
Metodología para el control del consumo energético (UPB).....	19
NORMA ISO 50001:2018	20
Contexto organizacional	20
Liderazgo	21
Planificación	22
Líneas base energéticas.....	23
NORMA ISO 50006:2014	23
SISTEMAS DE MONITOREO	23
Arduino Uno	24
Sensor SCT-013	25
Módulo WiFi ESP8266.....	25
INTERNET DE LAS COSAS (IOT).	26
CUADRO DE MANDO INTEGRAL (BALANCES SCORECARD)	27
CAPÍTULO IV PROPUESTA DE UN MODELO DE GESTIÓN DE ENERGÍA BASADO	
EN LA NORMA ISO 50001	28
ESTABLECIMIENTO DE ALCANCES Y LIMITACIONES.....	30
DESIGNACIÓN DE UN REPRESENTANTE DE LA DIRECCIÓN	30
CONFORMACIÓN DEL EQUIPO DEL SGE	31
ESTABLECIMIENTO DE LA POLÍTICA ENERGÉTICA.....	33
CAPÍTULO V USO DE LA ENERGÍA MEDIANTE ZONAS Y EQUIPOS.....	35

CONTEXTO OPERATIVO	35
Preparación de la caña	35
Molienda o extracción de jugo.....	36
Clarificación.....	36
Evaporización	37
Cristalización	37
Centrifugado	37
Refinado.....	38
ANÁLISIS DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA.....	39
ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA	44
CONSUMO ELÉCTRICO	45
Preparación y molienda.....	45
Filtrado.....	47
Evaporización	47
Cocimiento crudo.....	49
Centrifugado	50
Refinado.....	51
Empaque	53
Compresores	54
Administrativo	54
Calderas	56
Consumo total de energía eléctrica	57
CONSUMO DE VAPOR.....	59
Consumo de vapor vivo a 220 psi.....	60
Consumo de vapor de proceso	62

OPORTUNIDADES DE MEJORA, CONTROL Y PLAN DE MEDICIÓN	65
Proceso de preparación y molienda	65
Sustitución de las turbinas de los molinos por motores eléctricos	67
CAPÍTULO VI LÍNEA DE BASE ENERGÉTICA E INDICADORES DE DESEMPEÑO	
ENERGÉTICO 71	
ESTABLECIMIENTO DE LOS INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO	71
INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO PARA CONSUMO ELÉCTRICO	72
INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO PARA EL VAPOR	80
ESTABLECIMIENTO DE LAS LÍNEAS BASE ENERGÉTICAS	80
Línea base para el consumo de energía eléctrica por unidades producidas	82
Línea base de la generación de las turbinas por quintales de producto	85
Líneas base de energía para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes primarias	
.....	87
Líneas base para la generación y consumo del vapor	89
CAPÍTULO VII PLAN PILOTO DE SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO REAL	
DE CONSUMO ELÉCTRICO 93	
CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	93
CONFIGURACIÓN SEGÚN EL EQUIPO A MEDIR.....	95
PRUEBAS DEL SISTEMA DE MONITOREO	97
MEJORAS A FUTURO PARA EL SISTEMA DE MONITOREO.....	102
COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO	103
Costo de adquisición de los componentes del prototipo	103
COSTO DE LA PLATAFORMA WEB DE MONITOREO Y ALMACENAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	
.....	104

OPORTUNIDAD DE AHORRO CON LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO REAL.....	105
CAPÍTULO VIII DESARROLLO DEL CUADRO DE MANDO INTEGRAL.....	107
PERSPECTIVA CLIENTE	108
Costo del producto (1 PC).....	108
PERSPECTIVA FINANCIERA	109
Proyectos de ahorro energético (1 PF).....	109
PERSPECTIVA APRENDIZAJE Y CRECIMIENTO	110
Capacitación a los colaboradores (1 PAC)	110
Monitoreo del consumo energético (2 PAC)	111
PERSPECTIVA PROCESOS INTERNOS.....	112
Evaluaciones energéticas (1 PI)	112
CAPÍTULO IX CONCLUSIONES	115
CAPÍTULO X RECOMENDACIONES	117
BIBLIOGRAFÍA.	119
APÉNDICES	122
A. CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.	122
B. CONSUMO DE ENERGÍA POR ZONAS.	124
C. LÍNEAS BASE DE ENERGÍA POR AÑO.....	134
D. MONITOREO EN TIEMPO REAL	143
ANEXOS.	145

Índice de figuras

Figura 1. Metodología CP-EE.....	17
Figura 2. Gestión Total Eficiente de la Energía (CEEMA).	18
Figura 3. Generalidades de la metodología para el control del consumo energético (UPB).	19
Figura 4. Modelo de gestión de la energía ISO 50001: 2011.....	20
Figura 5. Relación entre desempeño energético, IDE, LBE y metas energéticas.	23
Figura 6. Arduino UNO.	24
Figura 7. Sensor de corriente AC no invasivo SCT-013.....	25
Figura 8. Módulo WiFi ESP8266.....	26
Figura 9. Perspectivas del Cuadro de mando integral.	27
Figura 10. Modelo de gestión de energía Norma ISO 50001.....	29
Figura 11. Estructura organizacional del comité de energía.	32
Figura 12. Diagrama del proceso de fabricación de azúcar.	38
Figura 13. Diagrama de distribución del Vapor.....	39
Figura 14. Grafica de Indicadores de Desempeño Energético de Consumo de Energía Eléctrica.....	73
Figura 15. Indicadores de consumo energético por proceso según estudio.	79
Figura 16. Variables con diferentes tipos de significancia.....	82
Figura 17. LBE kWh/quintal de azúcar terminado 2021	83
Figura 18. LBE kWh/quintal de azúcar crudo terminado 2021	83
Figura 19. LBE kWh/quintal de azúcar refinado 2021	84
Figura 20. LBE kWh generados TG1/quintal de azúcar crudo 2021	85

Figura 21. LBE kWh generados TG1/quintal de azúcar refinado 2021	85
Figura 22. LBE kWh generados TG2/quintal de azúcar crudo 2021	86
Figura 23. LBE kWh generados TG2/quintal de azúcar refinado 2021	86
Figura 24. LBE kWh generados / tonelada de caña procesada 2021	87
Figura 25. LBE kWh generados / klb de vapor generado 2021.	88
Figura 26. LBE klb de vapor generado / quintal de azúcar terminado 2021.....	89
Figura 27. LBE klb de vapor generado / quintal de azúcar crudo 2021.....	89
Figura 28. LBE klb de vapor generado / quintal de azúcar refinado 2021	90
Figura 29. LBE Generación de vapor/tonelada de caña procesada 2021.....	91
Figura 30. Prototipo de Sistema de monitoreo en tiempo real.	94
Figura 31. Equipo de medición utilizado para comparar valores.....	98
Figura 32. Instalación del prototipo de monitoreo.	98
Figura 33. Consumo de Potencia (kW) de la Bomba de Magma.	99
Figura 34. Consumo de Potencia (kW) de la bomba de magma en operación.	100
Figura 35. Consumo de Potencia (kW) de la bomba de magma durante mañana de operación.	101
Figura 36. kWh eléctricos consumidos 2019.	122
Figura 37. klb de vapor generados 2019	122
Figura 38. kWh eléctricos consumidos 2020.	123
Figura 39. klb de vapor generados 2020.	123
Figura 40. Diagrama del consumo de energía en preparación y molienda	124
Figura 41. Diagrama de Pareto de consumo de energía en preparación y molienda	124
Figura 42. Diagrama de consumo de energía eléctrica en proceso de filtrado.....	125

Figura 43. Diagrama de Pareto de consumo de energía eléctrica en filtrado.....	125
Figura 44. Diagrama de consumo eléctrico cocimiento crudo.....	126
Figura 45. Diagrama de Pareto consumo eléctrico cocimiento crudo.....	126
Figura 46. Diagrama de consumo eléctrico evaporización	127
Figura 47. Diagrama de Pareto de consumo eléctrico evaporización	127
Figura 48. Diagrama de consumo eléctrico centrifugado cocimiento crudo.....	128
Figura 49. Diagrama de Pareto consumo eléctrico centrifugas cocimiento crudo.....	128
Figura 50. Diagrama de consumo eléctrico refinado	129
Figura 51. Diagrama de Pareto consumo eléctrico refinado	130
Figura 52. Diagrama de consumo eléctrico empaque	131
Figura 53. Diagrama de Pareto consumo eléctrico empaque	131
Figura 54. Consumo eléctrico de Calderas.....	132
Figura 55. Diagrama de Pareto Calderas.....	132
Figura 56. Diagrama de Pareto consumo de vapor vivo	133
Figura 57. LBE kWh eléctricos generados por quintal de azúcar producido 2019.....	134
Figura 58. LBE kWh eléctricos generados por quintal de azúcar cruda 2019	134
Figura 59. LBE kWh eléctricos generados por quintal de azúcar refinado 2019.....	135
Figura 60. LBE kWh eléctricos generados por tonelada de caña 2019.....	135
Figura 61. LBE kWh eléctricos generados por klb de vapor generado 2019.....	136
Figura 62. LBE klb de vapor generadas por tonelada de caña 2019.....	136
Figura 63. LBE klb de vapor generadas por quintal de azúcar producido 2019.....	137
Figura 64. LBE klb de vapor generadas por quintal de azúcar crudo producido 2019...	137
Figura 65. LBE klb de vapor generadas por quintal de azúcar refinado 2019.....	138

Figura 66. LBE kWh eléctricos generados por quintal de azúcar producido 2020.....	138
Figura 67. LBE kWh eléctricos generados por quintal de azúcar cruda 2020	139
Figura 68. LBE kWh eléctricos generados por quintal de azúcar refinada 2020.....	139
Figura 69. LBE kWh eléctricos generados por tonelada de caña 2020.....	140
Figura 70. LBE kWh eléctricos generados por klb de vapor generado 2020.....	140
Figura 71.. LBE klb de vapor generadas por tonelada de caña 2020	141
Figura 72. LBE klb de vapor generadas por quintal de azúcar producido 2020	141
Figura 73.LBE klb de vapor generadas por quintal de azúcar crudo 2020	142
Figura 74. LBE klb de vapor generadas por quintal de azúcar refinado 2020	142
Figura 75. Programación en IDE de Arduino	143
Figura 76. Programación conexión entre ESP8266 y Adafruit.IO.....	144
Figura 77. Diagrama de proceso de cocimiento crudo	145
Figura 78. Diagrama de proceso de refinado	146
Figura 79. Consumo de Vapor Teórico para Molinos.....	147
Figura 80. Propiedades del vapor sobrecalentado.....	147
Figura 81. Datasheet UC de aire acondicionado	148
Figura 82. Datasheet aire condicionados Split.....	148
Figura 83. Datasheet Compresores QSI-335i.....	149
Figura 84. Modelo tarifario de la compañía.....	150

Índice de gráficos

Gráfica 1. Klb de Vapor generado por Calderas en el 2021	41
Gráfica 2. kWh Generados durante Zafra en el 2021	42

Gráfica 3. kWh Generados por generador en Zafra 2021	43
Gráfica 4. Consumo diario de energía eléctrica por proceso.	58
Gráfica 5. Grafica Pastel Consumo de Vapor Vivo.	61
Gráfica 6. Indicadores de desempeño energético de generación de energía eléctrica	75
Gráfica 7. IDE de los turbogeneradores por año.	76
Gráfica 8. IDE de Consumo Eléctrico Anual.	78

Índice de tablas

Tabla 1. Planteamiento del problema.....	4
Tabla 2. Metodología empleada en el proyecto.	10
Tabla 3. Capacidad de generación eléctrica de los turbogeneradores.	40
Tabla 4. Datos de las calderas.	41
Tabla 5. Consumo eléctrico preparación y molienda.	46
Tabla 6. Consumo eléctrico filtrado.	47
Tabla 7. Consumo eléctrico evaporización.	48
Tabla 8. Consumo eléctrico cocimiento crudo.	49
Tabla 9. Consumo eléctrico centrifugado.	50
Tabla 10. Consumo eléctrico refinado.	51
Tabla 11. Consumo eléctrico empaque.	53
Tabla 12. Consumo eléctrico en compresores.....	54
Tabla 13. Consumo eléctrico administrativo.....	54
Tabla 14. Consumo de energía eléctrica en área de calderas.	56
Tabla 15. Consumo de energía eléctrica total diaria.	57

Tabla 16. Consumo de vapor vivo.	60
Tabla 17. Consumo de vapor en proceso.	63
Tabla 18. Resumen de generación y consumo de vapor y energía eléctrica.	64
Tabla 19. Condiciones de operación de equipos de molienda.	67
Tabla 20. Datos de generación de energía eléctrica con sustitución de equipos.	68
Tabla 21. IDE de consumo de energía eléctrica.	73
Tabla 22. IDE de generación de energía eléctrica.	74
Tabla 23. IDE de los turbogeneradores.	76
Tabla 24. IDE por proceso anual.	77
Tabla 25. IDE para el vapor.	80
Tabla 26. Resumen de los IDE propuestos.	92
Tabla 27. Lista de componentes del prototipo de medición.	93
Tabla 28. Costo de adquisición de los componentes.	103
Tabla 29. Diferencia entre versiones Adafruit.IO	104
Tabla 30. Cuadro de mando integral propuesto.	114

Lista de acrónimos y abreviaturas

Acrónimo	Significado
SGE	Sistema de Gestión de la Energía
MGE_n	Modelo de gestión de energía
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt-hora
IDE	Indicador de Desempeño Energético
LBE	Línea Base de Energía
USE	Uso Significativo de la Energía
klb	Kilo libra de vapor
lb/h	Libras de vapor - hora
TCD	Toneladas de caña por día
TCH	Toneladas de caña por hora
V_L	Voltaje de línea
V_{ref}	Voltaje de referencia
I_L	Corriente de línea
I_p	Corriente del Primario
I_s	Corriente del Secundario
F_p	Factor de potencia
RMS	Root Mean Square / Raíz Media Cuadrática
I_{pico}	Corriente Pico
ISO	International Organization for Standardization
IoT	Internet of Things
TG1	Turbogenerador 1
TG2	Turbogenerador 2
ASEP	Autoridad Nacional de Servicios Públicos

Resumen

En este trabajo se desarrollará un modelo de gestión de energía basado en la Norma ISO 50001:2018 en el Ingenio La Estrella de Grupo Calesa. Se realiza un balance energético por cada uno de los procesos de la línea de producción, tanto para energía eléctrica como en el uso del vapor, esto en el consumo y en la generación, ya que la planta produce la energía requerida, a partir del bagazo resultante del proceso de molienda.

Se identificarán los procesos más relevantes y los equipos pertenecientes a ellos para determinar los usos significativos de la energía. A partir del balance energético y la auditoría energética realizada, se establecerán los indicadores energéticos, tanto de consumo como de generación de energía eléctrica y vapor, a partir del consumo de energía y vapor por unidades procesadas, y toneladas de caña procesadas.

Identificados los indicadores energéticos, se establecen las líneas base de energía mediante el método de regresión lineal. Se desarrolla un prototipo de sistema de monitoreo en tiempo real mediante un NodeMCU ESP8266, un sensor de corriente no invasivo y la plataforma Adafruit.IO para visualización y almacenamiento de los datos.

Finalmente, se realiza una propuesta de cuadro de mando integral, a partir de las perspectivas cliente, financiera, procesos internos y aprendizaje y crecimiento, con indicadores y metas estratégicas que permitan dar seguimiento al cumplimiento del modelo de gestión de energía.

Palabras clave: balance energético, indicador energético, línea base de energía, monitoreo en tiempo real, cuadro de mando integral, uso significativo de la energía

Abstract.

The energy management model allows companies to reduce production costs by 10% to 30% and, in turn, increase business competitiveness. The project was developed in El Ingenio La Estrella of Grupo Calesa, which, despite having an interest in energy management, does not have a standardized and regulated energy management model that allows them to make decisions and reflect the impact of energy management in their business, therefore, the objective of this project is to propose an energy management model based on the ISO 50001:2018 standard, which allows them to meet the energy objectives of the company. An energy balance is made for each of the processes of the production line, both for electrical energy and steam use, both in consumption and generation, since the plant produces the required energy from the bagasse resulting from the milling process. The most relevant processes and the equipment belonging to them are identified to determine the significant uses of energy. Based on the energy balance and the energy audit carried out, energy indicators are established, both for consumption and generation of electricity and steam based on energy and steam consumption per unit processed and tons of sugarcane processed. Once the energy indicators are identified, the energy baselines are established using the linear regression method. A prototype of a real-time monitoring system is developed for visualization and storage of data to monitor the operating conditions of the equipment. Finally, a balanced scorecard is developed from the customer, financial, internal processes, and learning and growth perspectives, with indicators and strategic goals that allow following up on compliance with the energy management model.

Keywords: Energy balance, energy indicator, energy baseline, real-time monitoring, balanced scorecard, significant energy use.

Capítulo I. Introducción

El presente trabajo consiste en la formulación de un proyecto del área Administrativa de la carrera de Licenciatura en Ingeniería en Mantenimiento Industrial, el cual se basa en un modelo de gestión de energía (MGE_n).

En previas investigaciones sobre la implementación de sistemas de gestión de energía en el sector alimenticio, se ha identificado que la correcta gestión de la energía significa una oportunidad para las empresas productoras de reducir el costo por unidad producida en sus procesos, al ser estos más eficientes [1], [2]. El compromiso ambiental y social de las empresas se ven beneficiado con la implementación de modelos de gestión de energía, ya que permite tener una imagen ambientalmente sostenible en sus procesos productivos.

El trabajo se realizará, basándose en la Norma ISO 50001:2018, la cual es la que establece los lineamientos para la formulación de una gestión energética. Adicionalmente, se utilizará tecnología de la industria 4.0, mediante un prototipo de un sistema de monitoreo real mediante el internet de las cosas (*Internet of Things*, IoT), para permitir a las empresas tener un monitoreo y control de la eficiencia energética de un equipo en específico, para, de tal forma, detectar el consumo actual; asimismo, con el desarrollo posterior al prototipo, se podría utilizar para detectar condiciones anormales de operación.

Se realizará un estudio de la línea de producción, estudiando el rendimiento energético de los procesos de la empresa, equipos y máquinas que operan en ella. El desarrollo del proyecto se realizará basándose en las normas afines a la Norma ISO 50001:2018, como la Norma ISO 50002:2014, que establece los lineamientos para el desarrollo de auditorías energéticas, y la Norma ISO 50006:2014, que establece los lineamientos para implementar líneas base e indicadores energéticos.

El prototipo de monitoreo en tiempo real se realizó utilizando un MOD ESP8266, el cual es el dispositivo que se encarga de procesar los datos que se recolectarán. Para la recolección de los datos, se utilizará un sensor de corriente no invasivo, estos serán procesados por el Arduino y enviados a un servidor web, mediante un módulo WiFi ESP8266. Estos datos en el servidor se visualizarán utilizando el *software* Adafruit.IO, que permite el almacenamiento y visualización de los datos captados por el sensor y procesados por el Arduino.

El proyecto tiene como objetivo ofrecerles a las empresas información que les permita conocer la situación energética de su proceso productivo, mediante el uso de mediciones, indicadores globales y gráficas de tendencia, basados en la Norma ISO 50001, de tal forma, que las empresas puedan tomar decisiones energéticas, considerando el conocimiento de su condición de producción.

Reseña de la empresa

Compañía Azucarera La Estrella se dedica a la investigación, producción y comercialización de azúcar de caña. Sus productos son el azúcar crudo, azúcar turbinado, azúcar refinada y azúcar de blanco especial, las cuales se comercializan para el consumo masivo y para clientes industriales. También se produce y comercializa la Melaza como subproducto. En la actualidad cuenta con más de 6,000 Hectáreas de cultivo de caña, un Laboratorio de Biotecnología o Biofábrica en donde se producen variedades de caña de azúcar de mayor calidad y resistencia, un Laboratorio Biológico de Control de plagas (con insectos), un Laboratorio de Producción de Hongos entomopatógenos y de la mano con Instituciones como el SENACYT, realizan proyectos de investigación que contribuyen al desarrollo del gremio azucarero

La empresa se localiza en Hacienda La Estrella, Carretera Interamericana, kilómetro 138, Natá de los Caballeros, Coclé, Panamá.

Misión

“Transformamos las bondades de nuestra tierra en bienestar y alegría”

Visión

“Una empresa de clase mundial, obsesionada por la calidad, la innovación y el servicio. Orgullo de sus colaboradores, sus clientes y Panamá”

Capítulo II Planteamiento del problema

En este capítulo se plantea cuál es el problema en el que incurre la empresa, por lo que se realiza el proyecto basado en un MGEN.

Problema a resolver

Mediante una tabla, se determina cuáles son las condiciones en las que la empresa debería estar y se comparan con respecto a la situación real y actual en la que se encuentra.

Tabla 1. Planteamiento del problema

		Dato suministrado	Referencia bibliográfica
Debiera	Las empresas del sector alimenticio deben tener un sistema de gestión de energía para el control eficiente de sus recursos energéticos	La implementación de sistemas de medidas de eficiencia energética en empresas de la industria alimenticia contribuye en gran medida a una reducción del costo de producción de un 10 % al 30 % y a tener una mayor competitividad al proyectar una imagen de compromiso con el medio ambiente	[1]
Desviación	Desconocimiento del impacto del rendimiento energético en los procesos productivos de la industria, por lo que no se pueden implementar acciones bajo un criterio ingenieril que evidencie una trazabilidad y, por lo tanto, una afectación positiva a la rentabilidad del negocio		
Realidad	La empresa Grupo Calesa no cuenta con un modelo de gestión de energía que le permita tener un control eficiente de sus recursos energéticos	Grupo Calesa ha implementado medida de eficiencia energéticas en su empresa, sin embargo, estas han sido sin la aplicación de un modelo de energía estandarizado, por lo que no han sido capaces de darle seguimiento a sus decisiones y comprobar el éxito de estas.	Entrevista con el Gerente Industrial de Grupo Calesa

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Word

Grupo Calesa está comprometido con la eficiencia energética en los procesos productivos, sin embargo, a pesar de que han aplicados acciones enfocadas en este aspecto, como la implementación de motores más eficientes, cambio de luces de fluorescentes a luces LED dentro de las oficinas, disminución del consumo del aire acondicionado, estas las han

realizado basándose en decisiones administrativas de producción, sin poseer un modelo o estudio energético que les permita identificar el impacto en sus procesos.

Según la Secretaría Nacional de Energía (SNE), en Panamá, el sector industrial consume el 32,6 % de fuentes no renovables derivadas del petróleo, los cuales, son uno de los principales contaminantes al liberar grandes cantidades de CO₂, el cual es uno de los principales responsables del efecto invernadero, el cual provoca el cambio climático. Es por esto por lo que las empresas del sector industrial y alimenticio tienen una gran responsabilidad con el medio ambiente y con el uso razonable de sus fuentes energéticas.

La Ley 69, del 12 de octubre del 2012, establece los lineamientos para el uso racional de eficiencia energética a nivel nacional. La ley en cuestión está estipulada para el sector público principalmente, sin embargo, la SNE está trabajando para que esta ley se cumpla de igual manera en las empresas del sector privado, por lo que exhorta a las empresas de este sector a cumplir con los lineamientos establecidos en la ley.

En Panamá no se encuentran registros o antecedentes sobre SGE en empresas del sector alimenticio en ninguno de los entes encargados de llevar el control de estos, tampoco estudios realizados por investigadores o universidades. Por lo tanto, este proyecto servirá como un antecedente pionero en la implementación de SGE en empresas del sector alimenticio, permitiendo crear un histórico sobre los beneficios, oportunidades y guía para la implementación de proyectos de gestión energética a nivel nacional.

Objetivos

Objetivo general

- Desarrollar un modelo de gestión de energía para Compañía Azucarera La Estrella del Grupo Calesa, que permita la gestión del rendimiento energético, a partir de la Norma ISO 50001:2018.

Objetivos específicos

1. Determinar el uso energético en la empresa mediante un balance de energía por la línea de producción, a partir de la Norma ISO 50002:2014, para la identificación del equipo o proceso de mayor consumo energético.

Indicador: Balances energéticos, diagramas de Pareto y tablas de uso significativo de la energía que reflejen el uso, consumo y eficiencia de la energía en el proceso productivo

2. Establecer las líneas de base e indicadores energéticos y de desempeño, para la toma de decisiones en futuros proyectos de energía, basado en Norma ISO 50006:2014.

Indicador: Línea base e indicadores energéticos del proceso productivo basado en criterios estadísticos.

3. Desarrollar un prototipo de sistema de monitoreo en tiempo real, a través del internet de las cosas, mediante un Arduino conectado por módulo WiFi ESP8622 y el *software* Adafruit.IO, que mida el rendimiento energético en el sistema electromecánico de mayor impacto identificado, según el balance de energía.

Indicador: Desarrollo de un plan piloto del sistema de monitoreo en tiempo real que muestre las condiciones de operación de un equipo.

4. Desarrollar un cuadro de mando integral, a partir de los indicadores de la perspectiva de servicio al cliente, financiera, procesos internos y capacitación, que reflejen el impacto del modelo de gestión de energía en la rentabilidad del negocio.

Indicador: Cuadro de mando integral con base en las perspectivas desde el punto de la gestión de la energía.

Justificación

La demanda de energía en una sociedad guarda relación con su nivel de bienestar y el grado de desarrollo económico. Un gran nivel de bienestar puede alcanzarse con distintos niveles de consumo de energía, dependiendo del modelo de desarrollo adoptado por el país, la disponibilidad local de fuentes de energía y los hábitos de consumo, a veces determinados por la cultura del país. El aumento de la demanda energética del país ha traído consecuentes efectos negativos para la economía y el medio ambiente [3].

De este modo, el presente proyecto nace de la necesidad de tomar acciones para el rendimiento energético y ambiental, que permita la futura implementación de un sistema de gestión energética en las empresas del sector industrial [4], ya que, según [5], el sector industrial es el segundo sector que más demanda energética tiene en el país, destacándose en este el sector alimenticio.

Una mayor eficiencia en el uso de la energía dentro de los diversos sectores e industrias de la economía permite un mejor acceso a los mercados nacionales e internacionales por el aumento intrínseco que su adopción implica en términos de competitividad.

Aunque la globalización de las economías haya obligado, en un primer término a las industrias electro intensivas, a la adopción obligatoria de la eficiencia energética (EE) como elemento de supervivencia, todavía queda potencial de mercado donde proyectos bajo esta filosofía de EE representan una ventaja importante desde los puntos de vista de competitividad y conservación del medio ambiente [6].

Según [2], contar con un SGE facilita la adopción de un enfoque sistemático para la mejora continua de la eficiencia energética, facilita el cumplimiento de la legislación vigente; reduce costos de la energía y, por ende, mejora de la competitividad de la empresa; reduce emisiones de gases de efecto invernadero en beneficio de la lucha contra el cambio climático; es compatible con otros sistemas de gestión: calidad ISO 9001, ambiental ISO14001, de la seguridad y salud en el trabajo OHSAS 18001; además, la estructura común facilita su uso e integración del SGE en los demás sistemas de gestión; mejora la credibilidad e imagen de la empresa en medios; y reduce la amenaza de los competidores sobre la imagen

El proyecto cubrirá un vacío de información sobre SGE en empresas del sector alimenticio, ya que, investigando y consultando con organizaciones nacionales como el Ministerio de Comercio e Industrias (MICI), el Ministerio de la Presidencia, la SNE y el Sindicato de Industriales de Panamá, no se poseen registros sobre la implementación de proyectos enfocados en este sector, ni en proyectos propuestos en entes académicos. Por lo tanto, este proyecto representará uno de los primeros antecedentes; asimismo, es un referente para la realización de proyectos a nivel nacional orientados en SGE en el sector industrial alimenticio.

Las estrategias de ahorro de energía no se pueden implementar sin tener datos de consumo de energía detallados y regulares de una instalación. La instalación de un sistema de registro de datos y monitoreo de energía puede ayudar a planificar las políticas de mejora de la eficiencia energética al proporcionar informes y gráficos de consumo de energía diarios, mensuales y anuales [7].

Metodología

Metodología empleada

La Tabla 2 muestra la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto

Tabla 2. Metodología empleada en el proyecto.

Objetivo específico planteado	Actividad por realizar	Fuente de información	Análisis de datos.	Resultados esperados
Determinar el uso energético en la empresa mediante un balance de energía por la línea de producción, áreas y equipos a partir de la Norma ISO 50002.	Solicitar historial energético de la empresa.	Recibo de la compañía energética.	Desviación estándar.	Tablas.
	Realizar estudio de Pareto para determinar los procesos de mayor impacto.	Datos de placa y mediciones de consumo directas.		Gráficas.
	Realizar un balance energético de toda la organización.	Documentos de la compañía, como registros, medidores de energía.	Definición de una muestra de población.	Informes. Balance de energía. Línea base.
Establecer las líneas de base e indicadores energéticos y de desempeño, para la toma de decisiones en futuros proyectos de energía, basado en Norma ISO 50006:2014.	Se establecerá la línea base en el proceso productivo seleccionado por el diagrama de Pareto.	Departamento de ingeniería.	Muestra poblacional requerida.	
	Se definirá la muestra poblacional de datos requeridos comprendido un periodo establecido en los últimos 4 años.	Norma ISO 50006. Auditoría energética según la norma 50002.	Años de medición Factores estadísticos, según Norma ISO 50006.	Indicadores energéticos.
Desarrollar un sistema de monitoreo en tiempo real que corrobore el rendimiento energético en el sistema electromecánico de mayor impacto identificado, según el balance de energía.	Seleccionar el sistema/equipo que se medirá a partir del diagrama de Pareto.	Diagrama de Pareto.	Promedio de consumo.	Prototipo del sistema de monitoreo.
	Determinar variables necesarias a medir.	Volumen de producción dado por el ingenio.	Desviación estándar del consumo.	
	Seleccionar equipos y componentes que se ajusten a los requerimientos del sistema a medir.	Consumo de energía dato por el ingenio.	Línea de tendencia de consumo.	
	Construir el prototipo de medición mediante Arduino y conectado por modulo WiFi, en comunicación con el <i>software</i> Adafruit.io.	Literatura de sistemas eléctrico.		
Desarrollar un cuadro de mando integral, a partir de los indicadores de la perspectiva de servicio al cliente, financiera, procesos internos y capacitación, que reflejen el impacto en la rentabilidad del negocio.	Realizar los indicadores desde la perspectiva de servicio al cliente, financiero, procesos internos y capacitación	Datos históricos de la empresa y entrevistas a los encargados, base de datos del TEC.	Valores porcentuales en función a resultados esperados.	Cuadro de mando integral.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Viabilidad

Se posee el conocimiento personal para el desarrollo de un sistema de gestión energética y conocimiento sobre el uso de la normativa ISO 50001.

Se tienen los conocimientos sobre el control y programación en sistemas de medición y monitoreo de variables energéticas, como el diseño de sistemas por medio de Arduino.

La empresa posee personal con años de experiencia en el trabajo de procesos industriales dedicados a la producción de productos alimenticios, incluyendo el manejo de los equipos y el conocimiento sobre todas las etapas productivas.

Alcance

El principal alcance de este proyecto es el de aportar en el crecimiento de las empresas del sector alimenticio, apoyándolas en el cumplimiento de sus enfoques ambientales y energéticos, a través de un SGE que les permita cuantificar la energía utilizada, detectar oportunidades de ahorro energético, así como usar racionalmente la eficiencia energética que genere un impacto ambiental, financiero y social.

En Panamá, existe en espacio vacío de conocimiento sobre el desarrollo de SGE en las empresas del sector industria alimenticio, por lo que el proyecto posee un alcance exploratorio, que permitirá crear un antecedente en el desarrollo de SGE.

Mediante la implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real, se busca concientizar a las empresas del sector alimenticia sobre los beneficios que brindan la implementación de sistemas basados en la industria 4.0, mediante el IoT.

Limitaciones

Una limitación económica es que se desconoce si la empresa está dispuesta a brindar un apoyo económico para el desarrollo del prototipo de monitoreo, por lo que, en caso de no ser así, el estudiante tendrá que adquirir los dispositivos.

Existe una limitación con el tiempo para el desarrollo del proyecto. La fábrica opera solamente durante el periodo de zafra, por lo que el tiempo para medición de equipos y pruebas de monitoreo es reducida. Además, no se cuenta con conexión WiFi o de internet dentro de la fábrica. Esto afecta la disponibilidad de medición, teniendo en cuenta que se planea que el dispositivo se conecte por vía internet para el envío, procesamiento y visualización de los datos.

Capítulo III Marco teórico

Energía

La energía es la capacidad de los cuerpos para realizar un trabajo y producir cambios en ellos mismos o en otros cuerpos. Es decir, la energía es la capacidad de hacer funcionar las cosas [8]. La unidad de medida de la energía es el kilowatt– hora (kWh), por lo que la energía de un equipo depende de su potencia eléctrica medida en kW y el tiempo de operación medido en horas.

Eficiencia energética

Según [1], la eficiencia energética se define como la capacidad de mantener los mismos niveles de producción, siguiendo los mismos servicios, pero con un menor consumo energético.

La eficiencia energética es una herramienta útil para reducir el consumo de energía y optimizar el proceso productivo; o sea producir más o igual, pero con menos energía. En consecuencia, los industriales tienen la oportunidad de aumentar eficiencia productiva y maximizar el beneficio, ya que el consumo energético es proporcional a la situación y los ciclos económicos [2].

Balance energético

El balance energético pone de manifiesto las interrelaciones entre la oferta, transformación y uso final de la energía y representa un instrumento relevante para la organización y presentación de datos en la planificación energética global. Además, contabiliza flujos físicos consistentes que van desde la energía primaria hasta el consumo final [9].

Según [9], el desarrollo del balance de energía, en términos de energía útil, está supeditada al cumplimiento de las siguientes etapas:

- Confección del balance de energía actual hasta un nivel de consumo final, pero con una desagregación más amplia de los sectores de consumo.
- Desagregación del consumo final por usos.
- Aplicación de las eficiencias de los diferentes equipos pertenecientes a cada sector.

Línea base energética

Una organización debería comparar los cambios de desempeño energético entre el período de línea base y el período de informe. La LBEn se utiliza simplemente para determinar los valores IDE para el período de línea base. El tipo de información necesaria para establecer una línea base de energía es determinada por el propósito específico del IDE. [10]

Indicadores de desempeño energético (IDE)

Con el fin de medir y cuantificar de manera eficaz su desempeño energético, una organización establece IDE y LBEs. Los IDE se utilizan para cuantificar el desempeño energético de toda la organización o de sus diversas partes. Las LBEs son referencias cuantitativas utilizadas para comparar los valores de los IDE en el tiempo y para cuantificar los cambios en el desempeño energético

Los resultados del desempeño energético se pueden expresar en unidades de consumo (por ejemplo, GJ, kWh), el consumo de energía específica (CEE) (por

ejemplo, kWh/unidad), potencia máxima (por ejemplo, kW), porcentaje de cambio en eficiencia o razones adimensionales, otro [10].

Los principales tipos de IDE son:

- Valor de energía medido: consumo de un sitio completo o uno o más usos de energía medidos por un medidor.
- Relación de valores medidos: expresión de eficiencia energética.
- Modelo estadístico: relación entre el consumo de energía y las variables relevantes utilizando regresiones lineales o no lineales.
- Modelo basado en la ingeniería: relación entre el consumo de energía y las variables relevantes utilizando simulaciones de ingeniería.

Según [10], la Línea Base de Energía (LBE) se caracteriza por el valor del IDE durante el período de línea base. Una comparación entre la LBE y los IDE del período de informe se puede utilizar para ilustrar el progreso hacia el cumplimiento de los objetivos energéticos y objetivos de energía y demostrar las mejoras en el desempeño energético. Se deberían tomar las siguientes medidas para establecer una LBE:

- Determinar el propósito específico con la LBE que se utilizará.
- Determinar un período de datos adecuado.
- Recolección de datos.
- Determinar y probar la LBE.

Modelo de gestión de energía

Los modelos de gestión energética (MGE) en las empresas nacen de la necesidad de hacer los procesos de producción más eficientes e impactar de la mejor manera sobre la competitividad, productividad y la contaminación ambiental [11].

Existen una gran variedad de Modelo de Gestión de Energía (MGE) con objetivos, metas, características y aspectos que difieren entre ellos. Algunos de los MGE existentes están:

Producción más limpia y eficiencia energética (UNEP)

Este modelo fue propuesto por la UNEP y consta de las siguientes etapas:

- Planificación y organización.
- Pre- valoración.
- Valoración.
- Análisis de viabilidad.
- Implementación y continuación.

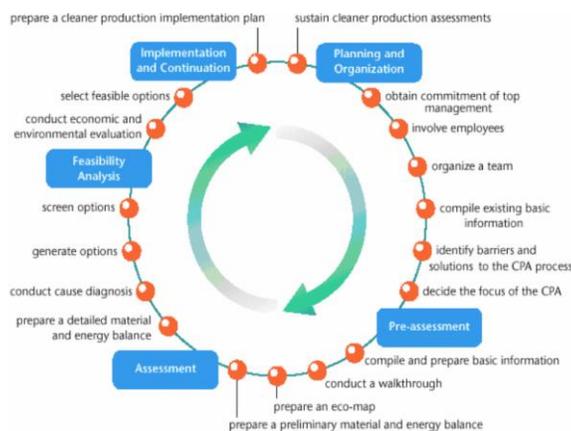


Figura 1. Metodología CP-EE.

Fuente: [11].

Gestión Total Eficiente de la Energía (CEEMA).

“Es un sistema de gestión energética propuesto por CEEMA se compone de: la estructura organizacional, los procedimientos, los procesos y los recursos necesarios para su implementación” [11]. Los pasos que sugiere este modelo de gestión energética son:

- Análisis preliminar de los consumos energéticos.
- Compromiso de la Dirección.
- Diagnósticos o auditorías energéticas.
- Diseño de un plan.
- Organización y composición de equipos de mejora.
- Aplicación de acciones y medidas.
- Seguimiento y control.

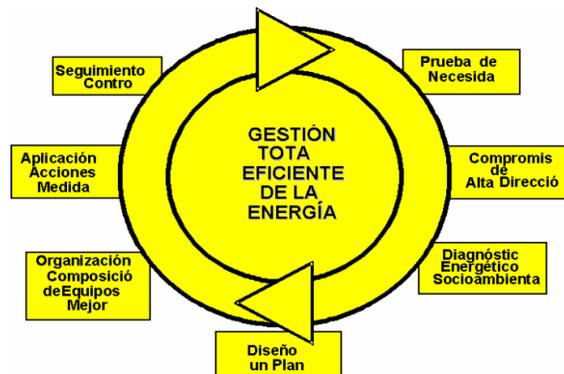


Figura 2. Gestión Total Eficiente de la Energía (CEEMA).

Fuente: [11].

Metodología para el control del consumo energético (UPB)

Según [11], este modelo fue planteado por la Universidad Pontificia Boliviana y propone una serie de pasos que tienen que ser realizadas en estricto orden secuencial. De acuerdo con [11], la involucración de esta norma debe seguir los siguientes casos:

- Una auditoría y evaluación energética.
- Identificación de los centros de costos de energía.
- Desarrollo de los procesos de monitoreo.
- Definición de estándares de funcionamiento.
- Desarrollo de procedimientos para el análisis de datos y reportes de funcionamiento.
- Desarrollo de procedimientos para el análisis de datos y reportes de funcionamiento.

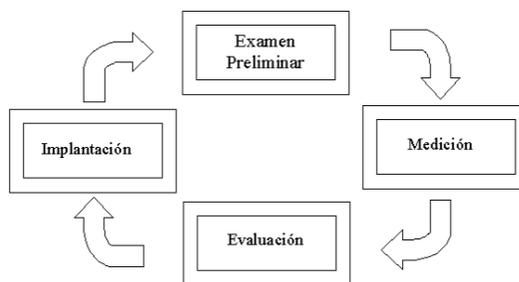


Figura 3. Generalidades de la metodología para el control del consumo energético (UPB).

Fuente: [11].

Norma ISO 50001:2018

La Norma ISO 50001: 2018 establece un marco de trabajo para la gestión energética para establecer políticas, procesos, procedimientos y tareas relacionadas con la energía con el fin de conseguir los objetivos energéticos de la organización. Requiere que la organización defina su rendimiento energético deseado y que trabaje hacia la consecución de dichos objetivos [12].

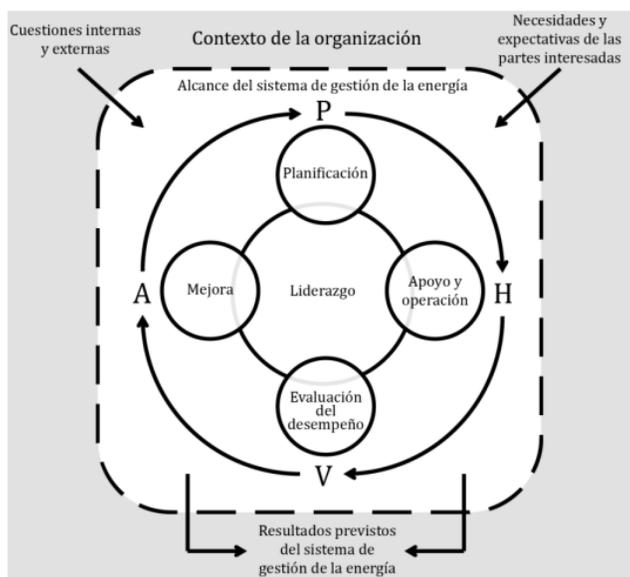


Figura 4. Modelo de gestión de la energía ISO 50001: 2011.

Fuente: [2].

La Norma ISO 50001:2018 se apoya en un ciclo de mejora continua, la cual consiste en las etapas de planificación, apoyo y operación, evaluación del desempeño y mejora. Como se muestra en la Figura 4.

Contexto organizacional

El contexto organizacional es el primer paso que recomienda la Norma ISO 50001:2018 para el desarrollo de un MGEN y especifica los requerimientos organizacionales que debe tener la empresa para la implementación de un MGE.

Comprensión de la organización y su contexto.

“La organización debe determinar las cuestiones externas e internas que son pertinentes para su propósito, y que afectan su capacidad de lograr los resultados previstos de su SGE y mejorar su desempeño energético” [12].

Comprensión de las necesidades y las expectativas de las partes interesadas.

La organización debe determinar:

- las partes interesadas que son pertinentes para el desempeño energético y el SGE;
- los requisitos pertinentes de esas partes interesadas;
- cuáles de las necesidades y expectativas identificadas aborda la organización mediante su SGE.

Determinación del alcance del sistema de gestión de la energía

La organización debe asegurar que tiene la autoridad de controlar su eficiencia energética, el uso de la energía y el consumo de energía dentro del alcance y los límites.

La organización no debe excluir ningún tipo de energía que este dentro del alcance y de los límites [12].

Sistema de gestión de energía

“La organización debe establecer, implementar, mantener y mejorar continuamente un SGE, incluyendo los procesos necesarios y sus interacciones, y mejorar continuamente el desempeño energético” [12].

Liderazgo

“La alta dirección debe demostrar liderazgo y compromiso con respecto a la mejora continua de su desempeño energético y la eficacia de su SGE” [12]. Según [12], en este paso, la empresa debe asegurarse de la correcta implementación y desarrollo del modelos de

gestión de energía, dándole seguimiento y asegurando que se cumplan las metas y objetivos planteados. Debe asegurar que se cuenten con los recursos necesarios para el SGE.

Planificación

Este objetivo especifica cuáles son las acciones necesarias a realizar y datos requeridos para poder desarrollar un SGE.

Revisión energética

- a) Analizar el uso y el consumo de energía con base en la medición y otros datos:
 - 1. Identificar los tipos de energía actuales.
 - 2. Evaluar el uso y el consumo de energía en el pasado y en la actualidad.
- b) Identificar los USE.
- c) Para cada USE:
 - 1. Determinar las variables relevantes.
 - 2. Determinar las variables relevantes.
 - 3. Identificar las personas que trabajan bajo su control que influyen o afectan a los USE.
- d) Determinar y priorizar las oportunidades para mejorar el desempeño energético.
- e) Estimar los usos y consumos de energía en el futuro.

Indicadores de desempeño energético.

La organización debe determinar los IDE que:

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

Líneas base energéticas

“La organización debe establecer una o varias LBE utilizando la información de la revisión tomando en cuenta un período adecuado de tiempo” [12].

Norma ISO 50006:2014

Esta norma proporciona a las organizaciones una orientación práctica sobre cómo cumplir con los requisitos de ISO 50001 relacionadas con la creación, uso y mantenimiento de los IDE y las LBE en la medición del desempeño energético y de los cambios del desempeño energético [10].

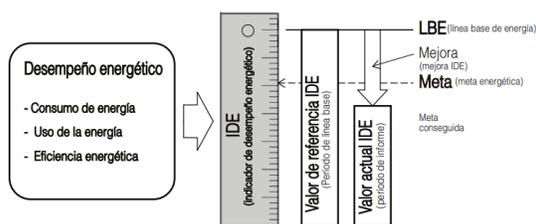


Figura 5. Relación entre desempeño energético, IDE, LBE y metas energéticas.

Fuente: [10].

Según la Norma ISO 50006:2014, hay diferentes tipos de IDE que se emplean en diferentes aplicaciones, de acuerdo con el tipo de información que se desea obtener. Estos IDE pueden ser: valor de energía medida, razón de valores medidos, modelos estadísticos y modelos de ingeniería.

Sistemas de monitoreo

“Los sistemas de monitoreo y evaluación son instrumentos de gestión, responsables de proveer la información sobre el desempeño para alimentar la toma de decisiones, y generar mejoras en las intervenciones y la gestión de las instituciones” [7].

El monitoreo “ayuda a la decisión para alcanzar los resultados esperados; documentar el proyecto para alimentar los procesos de aprendizaje, de comunicación e incidencia; rendir cuentas a los actores a los que concierne el proyecto; contribuir a reforzar las competencias de los actores involucrados” [13].

Para el desarrollo del sistema de monitoreo, se utilizará un Arduino Uno, un módulo WiFi ESP8266, un sensor de corriente SCT-013 y el *software* AdaFruit.IO, para la visualización de los datos.

Arduino Uno

Arduino Uno es una placa de microcontrolador basada en ATmega328P (hoja de datos). Tiene 14 pines de entrada / salida digital (de los cuales 6 se pueden usar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un resonador cerámico de 16 MHz (CSTCE16M0V53-R0), una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP y un botón de reinicio [14].

Este dispositivo será el encargado de procesar los datos de corriente captados por el sensor de corriente SCT-013 y realizar las cuentas para calcular el consumo de corriente, potencia eléctrica del equipo y electromecánico que se medirá. El procesamiento de los datos se realiza en Arduino, el cual es una plataforma de código abierto.



Figura 6. Arduino UNO.

Fuente: [14].

Sensor SCT-013

Básicamente, existen 2 tipos de métodos de detección actuales: invasivos y no invasivos. En la técnica invasiva, el sensor se conecta directamente a la red. Algunos sensores de corriente invasivos comunes son el sensor de efecto Hall de un eje, un inductor simple con un alto valor de inductancia, resistencia, TC de núcleo sólido, etc. En la técnica no invasiva, se evita la conexión directa a la red. Algunos sensores no invasivos son el transformador de corriente de núcleo dividido, el sensor de efecto Hall, etc. [15].

El sensor SCT-013 es un sensor de corrientes no invasivo de corriente AC.



Figura 7. Sensor de corriente AC no invasivo SCT-013.

Fuente: [15].

Módulo WiFi ESP8266

Uno de los módulos con mayor utilidad y más empleados es el ESP8266 fabricada por la empresa china Espressif, este es un circuito impreso capaz de comunicar al Arduino UNO a una red de internet inalámbrica, este se conecta mediante los pines que se muestran en la figura 8. Posee una tensión de alimentación de 3.3V, la cual puede ser alimentada por las salidas específicas de la placa Arduino [16].



Figura 8. Módulo WiFi ESP8266.

Fuente: [16].

Internet de las cosas (IoT).

IoT (Internet of Things) es una arquitectura emergente basada en la Internet global que facilita el intercambio de bienes y servicios entre redes de la cadena de suministro y que tiene un impacto importante en la seguridad y privacidad de los actores involucrados [17].

Cuadro de Mando Integral (Balances Scorecard)

Según [18], el Cuadro de Mando Integral (CMI) es una herramienta que les proporciona a los altos directivos de una empresa los instrumentos que necesitan para navegar hacia un éxito competitivo futuro. El CMI traduce la estrategia y la misión de una organización en un amplio conjunto de medidas de actuación, que proporcionan la estructura necesaria para un sistema de gestión y medición estratégica.

El CMI establece cuatro perspectivas: perspectiva financiera, perspectiva cliente, perspectiva de aprendizaje y conocimiento y perspectiva de procesos internos.



Figura 9. Perspectivas del CMI.

Fuente: [19]

Capítulo IV Propuesta de un modelo de gestión de energía basado en la Norma ISO 50001

Cualquier organización vinculada a la agroindustria que se encuentre interesada en mejorar su desempeño energético puede tomar como punto de partida la norma internacional ISO 50001 que facilita la implementación de un sistema de gestión energética [20].

Para lograr tal fin, las compañías deben establecer un SGE, documentarlo, implementarlo y mejorarlo conforme establece la Norma ISO 50001 en su estructura de Planear – Hacer – Revisar – Actuar (ver Figura 4).

Para esto, es necesario que el SGE cuente con el apoyo de la alta gerencia, la cual debe brindar las herramientas y los insumos necesarios para implementar, verificar y mejorar el sistema establecido por la institución. Debe designar a un representante de la Dirección que se encargue en tiempo completo o parcial, dependiendo de los alcances y limitaciones del SGE, al desarrollo y continuidad del sistema en cuestión; de igual forma, a representantes de los diferentes departamentos que se vinculen a los objetivos establecido en el SGE como parte del equipo de trabajo en el desarrollo del SGE.

Según [21], con vistas a lograr el compromiso de la alta dirección de la organización, se recomienda elaborar un breve y conciso documento que contenga:

- Tendencias de consumos históricos, consumos energéticos, etc.
- Nivel de competencia en gestión energética.
- Beneficios de la implementación del SGE.
- Estimado del costo de implementación del SGE.

- Experiencias y resultados alcanzados por otras organizaciones.

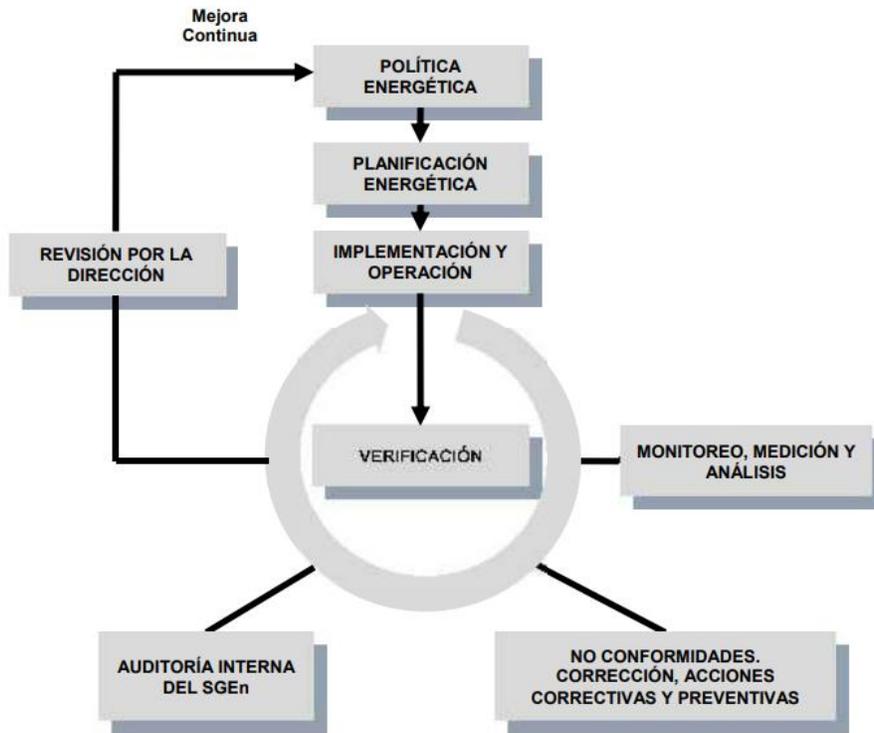


Figura 10. Modelo de gestión de energía Norma ISO 50001.

Fuente: [21].

Como se muestra en la Figura 10, el MGE_n, según la norma 50001, establece que un SGE empieza por la política energética de la compañía. Es a partir de los objetivos y metas energéticas de la compañía que se desarrolla el resto de los puntos a desarrollar en el SGE.

Establecimiento de alcances y limitaciones

Según [21], la alta dirección de la compañía tiene la responsabilidad de establecer los alcances y las limitaciones del SGE, con el objetivo de concretar en ellos los esfuerzos y recursos. En los términos y las definiciones de la ISO 50001, se plantea al respecto:

- Alcance: extensión de actividades, instalaciones y decisiones cubiertas por la organización a través del SGE, que puede variar varios límites.
- Límites: límites físicos o de emplazamiento y/o límites organizacionales tal y como los define la organización.

Designación de un representante de la Dirección

La organización debe designar a un representante de la Dirección, que, además de sus funciones habituales, tendrá la responsabilidad y dispondrá de la autoridad para asegurar de que el SGE se establece, se implemente, se desarrolle y mejore continuamente, conforme a lo establecido por la Norma ISO 50001. Se recomienda que el representante de la Dirección cuente con las siguientes cualidades:

- Liderazgo.
- Perspectiva adecuada de la importancia y la función que desempeña la energía en la organización.
- Habilidades organizacionales para dirigir y motivar al equipo.
- Habilidades en manejo de conflictos.
- Capacidad para comunicarse e interactuar, de forma verbal y escrita, tanto con la gerencia de planta, como los operadores en línea y trabajadores de mantenimiento.
- Conocimientos técnicos; preferiblemente formación en ingeniería.

- Familiaridad con la planta y sus procesos de producción.
- Conocimiento del equipo que consume energía y de los factores que afectan su eficiencia.
- Manejo de las técnicas de información y comunicación.
- Buen juicio para saber cuándo es necesario solicitar ayuda externa de consultores o distribuidores de equipo para que constituyan en la solución del problema.

Conformación del equipo del SGE

Una vez asignado al representante de la Dirección, se procede a conformar al equipo de trabajo del SGE. Estas personas serán designadas por el representante de la Dirección y tendrá la responsabilidad de presentar la propuesta de los integrantes a la Dirección para su aprobación.

El tamaño del equipo de trabajo dependerá del tamaño de la compañía, los objetivos, metas, alcances y limitaciones del SGE. Puede estar compuesto por personal interno, así como personal externo como proveedores y asesores.

Es conveniente que el equipo de trabajo sea conformado por representantes de cada uno de los departamentos involucrados con la gestión de la energía, así como departamentos que puedan brindar información o apoyo al desarrollo del SGE. También es conveniente que sea multidisciplinario y que abarque diferentes niveles en la organización (directores, supervisores, ingenieros, técnicos, operadores, personal de mantenimiento).

En resumen, el equipo de trabajo del SGE puede quedar conformado por:

- El coordinador energético.

- Un representante de cada área o funciones pertinentes de la organización con un impacto significativo en el consumo de energía y desempeño energético de la organización.
- Algunos empleados con interés y compromiso con el uso eficiente de la energía.

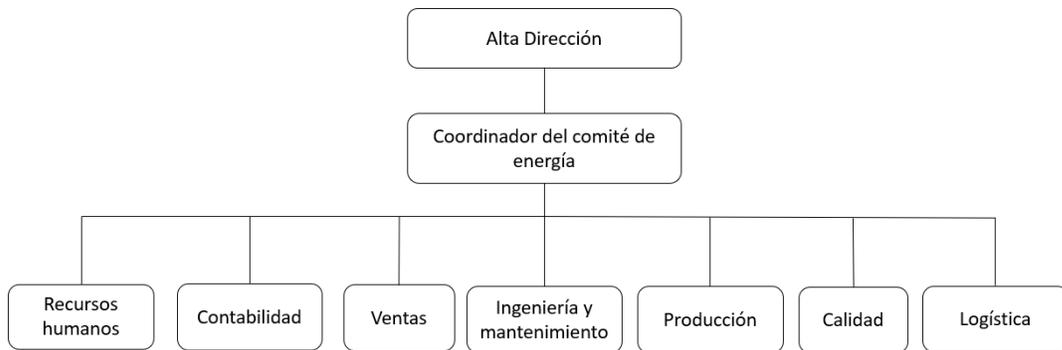


Figura 11. Estructura organizacional del comité de energía.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft PowerPoint.

En la Figura 11 se muestra la estructura recomendada para conformar el comité de energía. En esta figura se presenta cada uno de los departamentos que pueden influir en el desarrollo de un SGE, brindando información, personal y apoyando desde sus campos.

Se recomienda que por cada uno de sus departamentos participe un representante del nivel organizacional que sea más adecuado para el grado de aporte que pueda brindar cada departamento. Para esto, se sugiere que, por parte del departamento de ingeniería y mantenimiento y del departamento de producción, haya representantes del nivel técnico y operarios que puedan brindar información y den campo sobre las condiciones de operación de los equipos y procesos.

Establecimiento de la política energética

Según [21], la política energética constituye la base, la guía para la implementación, operación y mejora del SGE y del desempeño energético de la organización. Debe ser simple y breve, para ser comprendida por todos los miembros y personal relacionado con la organización y reflejar el compromiso de la Dirección para:

- Lograr la mejora continua del desempeño energético.
- Asegurar la información y los recursos para alcanzar los objetivos y metas.
- Cumplir los requisitos legales y otros requisitos relacionados con la energía.
- Apoyar la adquisición de productos y servicios energéticamente eficientes y el diseño para mejorar el desempeño energético.

Al establecer una política energética, se deben revisar las otras políticas existentes en la compañía relacionadas con la calidad y el medio ambiente, ya que estas pueden tener aportes vinculados con la energía.

La política energética no debe ser impuesta, sino consensuada entre todas las partes involucradas con el SGE. Es recomendable realizar un borrador que pase por revisión por parte de la Dirección y todos los involucrados y, una vez revisado, es necesario tener considerado que la política energética es un documento que debe estar revisándose y actualizándose regularmente.

Capítulo V Uso de la energía mediante zonas y equipos

En este capítulo se realizará la auditoría energética en el Ingenio Azucarera La Estrella de Grupo Calesa, relacionado con la generación eléctrica, el consumo eléctrico y el consumo de vapor, ya que son las fuentes de energía principales en el proceso. La auditoría energética proporciona el conocimiento sobre el consumo de energía que conduce a mejoras en el desempeño energético. Los diagramas de Pareto de cada proceso estarán en el Apéndice B. Consumo de energía por zonas.

Se utilizarán la Norma ISO 50001:2018 y la Norma ISO 50002:2014 como guías para realizar la auditoría energética. En el caso en estudio, solo se evaluarán los procesos a partir del ingreso de la caña a la fábrica.

Contexto operativo

El Ingenio La Estrella de Grupo Calesa posee una única línea de producción, de la cual obtienen todos los productos de la marca. Estos productos son: azúcar morena, azúcar refinada y melaza.

Preparación de la caña

La caña es transportada por los camiones desde el campo hasta la fábrica. Una vez en las instalaciones, es depositada a una cinta transportadora desde los camiones por medio de un volteador. En esta etapa, la caña ya está cortada en trozos.

Con el fin de preparar la caña para el proceso de molienda, la caña es cortada en trozos muy pequeños por unas cuchillas giratorias llamadas picadoras; posteriormente, se pasa por un molino con martillos llamado desfibrador, el cual se encarga de desfibrar la caña. El

desfibrador es un equipo de gran importancia, ya que permite que el proceso de extracción de jugo sea más eficiente al exponer más la caña.

Molienda o extracción de jugo

En el proceso de molienda la caña desfibrada pasa a través de molinos que se encargan de exprimir la caña y extraer el jugo. Durante el proceso de molienda, se le vierte agua a la caña para el proceso de imbibición, que facilita la extracción del jugo en la caña. De este proceso surgen 2 subproductos: jugo de caña mezclado y bagazo.

El jugo mezclado es bombeado de los molinos hacia unos filtros giratorios, los cuales se encargarán de separar el líquido de sobrantes de fibra y elementos no solubles. Luego, es depositado en un tanque de almacenamiento para el proceso de clarificación.

El bagazo se utilizará en su totalidad para la generación de vapor, el cual se emplea para generar electricidad y para la operación de otros equipos. El bagazo posee en este proceso entre un 45 % a 55 % de humedad [22], por lo que es pasado por un proceso de secado para que sea más eficiente en el proceso de combustión de la caldera.

Clarificación

Según [22], el proceso de clarificado se emplea para separar las impurezas solubles e insolubles del jugo de caña filtrado. Este proceso emplea universalmente cal y calor como agentes clarificantes. El calentamiento del jugo y el tratamiento con cal, cuando el jugo se lleva al punto de ebullición, coagula la albumina y algunas de las grasas, ceras y gomas, por su parte, el precipitado atrapa los sólidos que se encuentran en suspensión, así como las partículas más finas [20]. Los jugos y los lodos se separan por sedimentación. Los lodos extraídos se envían a la cachaza, en donde serán procesados para fabricar abono, este abono no se comercializa; sin embargo, es utilizado como fertilizante en los campos.

Evaporización

El jugo clarificado cuenta con un 85 % de agua [22], por lo que debe pasar por un proceso de evaporización, en el cual se evapora alrededor de 2 tercios del agua. El proceso consiste en un sistema de 6 evaporadores en serie, donde cada cual tiene mayor vacío que el anterior, por lo que hierve a una menor temperatura. El vapor de un tacho puede así hervir el jugo del siguiente y el vapor del tacho final se envía al condensador.

De este proceso se obtiene un producto denominado “meladura”. La meladura resultante de la evaporización es enviada a unos tanques de reacción, en los que se le añadirá cal y ácido fosfórico (H_3PO_4) para su purificación. Después, es enviado a un clarificador de meladura, en donde se separarán los lodos del líquido.

Cristalización

La cristalización se lleva a cabo en tachos de efecto simple en donde la meladura se evapora hasta saturar el azúcar. En este punto se añaden “semillas”, las cuales se utilizan para formar el núcleo del cristal de azúcar, y a medida que el agua se evapora, se van añadiendo más semillas. El crecimiento de los cristales continua hasta que los tachos estén saturados y que, con la debida instrumentación, alcancen un tamaño deseado.

En este punto se forma un subproducto denominado “masa cruda”. La masa cruda es enviada de los tachos a unos recibidores y, posteriormente, enviada a unos centrifugadores.

Centrifugado

La canasta cilíndrica suspendida en un eje tiene perforados los lados forrados con tela metálica, dentro de la cual hay hojas metálicas que contienen cerca de 62 a 93 perforaciones por centímetro cuadrado y la canasta tiene una velocidad de rotación entre 1000 a 1800 rpm. La tela metálica retiene los cristales de azúcar, los cuales pueden ser lavados con agua [20].

El proceso de centrifugado es un proceso escalonado. Hay 3 clasificaciones de centrifugados denominados como A, B y C. El centrifugado A es en el que se forma el azúcar que se encía hacia empaques; la miel resultante de estos centrifugados es enviado a los centrifugados B; el azúcar de los centrifugados B es enviado a los centrifugados A y la miel a los centrifugados C; el azúcar de los centrifugados C es enviado a los Centrifugado B.

Del proceso de centrifugado se forma un producto llamado “azúcar crudo”. Este producto es parte de la marca comercial. Una parte del azúcar crudo es procesado nuevamente en un proceso denominado refinado, en el cual, se obtiene el producto de “azúcar blanca” o “azúcar refinada”.

Refinado

En el refinado, el “azúcar crudo” vuelve a pasar por los procesos de clarificación, evaporación, cristalización y centrifugado. Posterior al centrifugado, el azúcar obtenido es enviado a un secador y enviado a las zarandas de empaque.

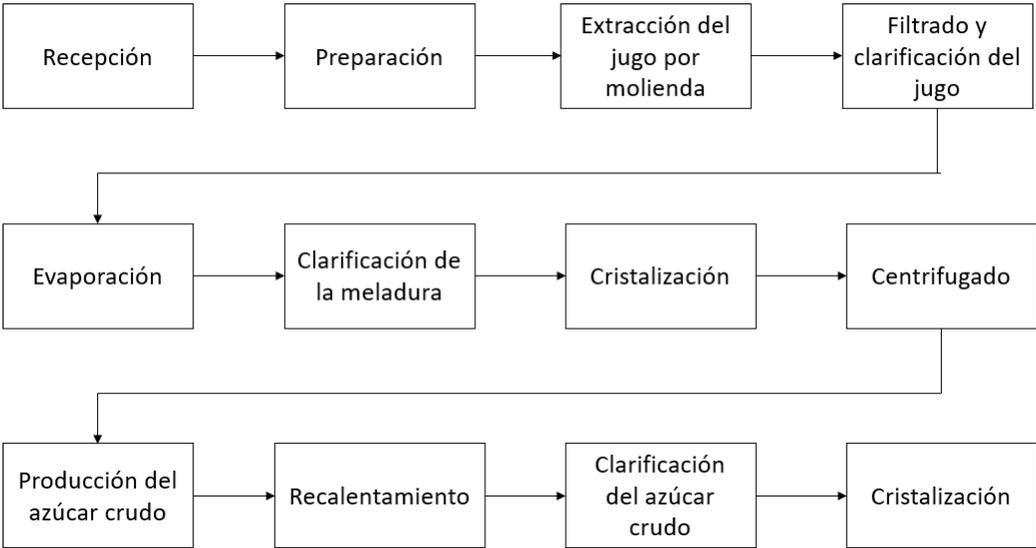


Figura 12. Diagrama del proceso de fabricación de azúcar.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft PowerPoint.

Análisis de la generación de energía

Durante la temporada de zafra, que comprende de enero a marzo, la compañía genera el 100 % de la energía requerida para los procesos de producción, por lo que el proceso es totalmente autosustentable. Finalizado el periodo de zafra, la compañía no realiza procesos de producción y el consumo energético se basa en los consumos de la operación de las oficinas, las cuales se abastecen de la red eléctrica.

Para la generación de la energía, la compañía utiliza 3 calderas alimentadas en su totalidad por el bagazo resultante del proceso de molienda. Con estas calderas, se genera el vapor necesario para la generación de electricidad, a través de 2 turbinas y el consumo de vapor de otros equipos en el proceso de producción, tales como: calentadores, molinos, desfibrador, tachos, picadoras, evaporadores.

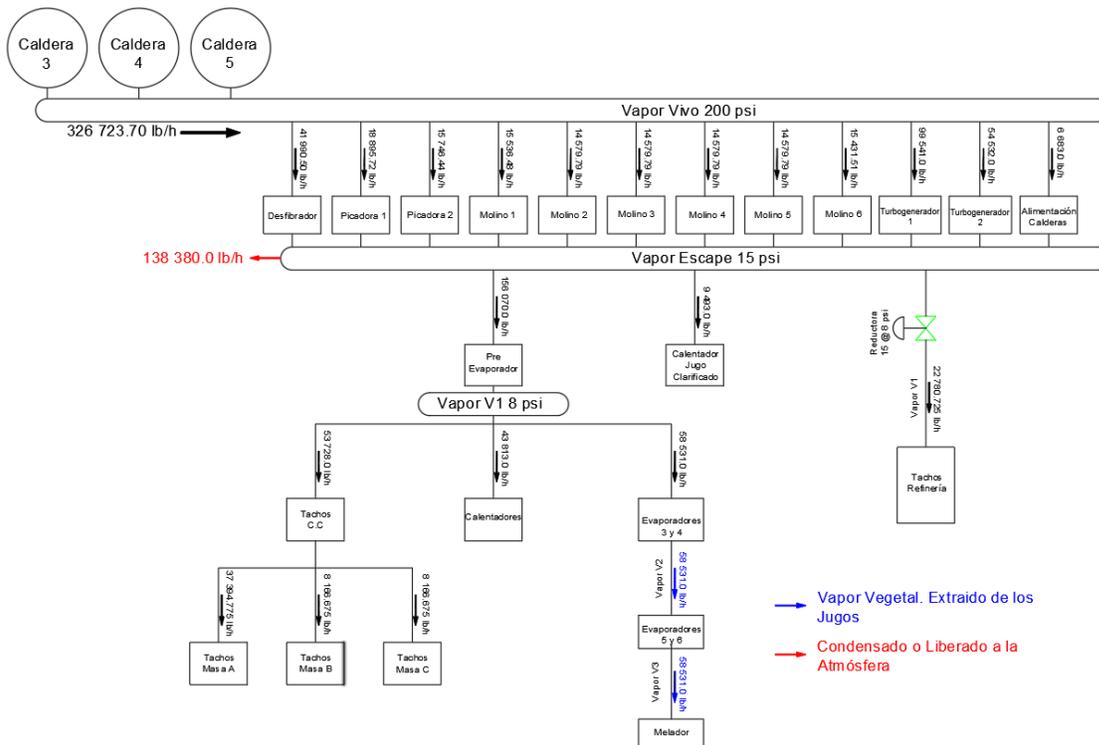


Figura 13. Diagrama de distribución del vapor.

Fuente: Elaboración propia. AutoCAD.

Tabla 3. Capacidad de generación eléctrica de los turbogeneradores.

N° de identificación	Descripción	Capacidad máxima (kW)	Capacidad de seteadada (kW)
TG1	Generador 1	3500	3300
TG2	Generador 2	2500	2200
Red	Red	2500	2200

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

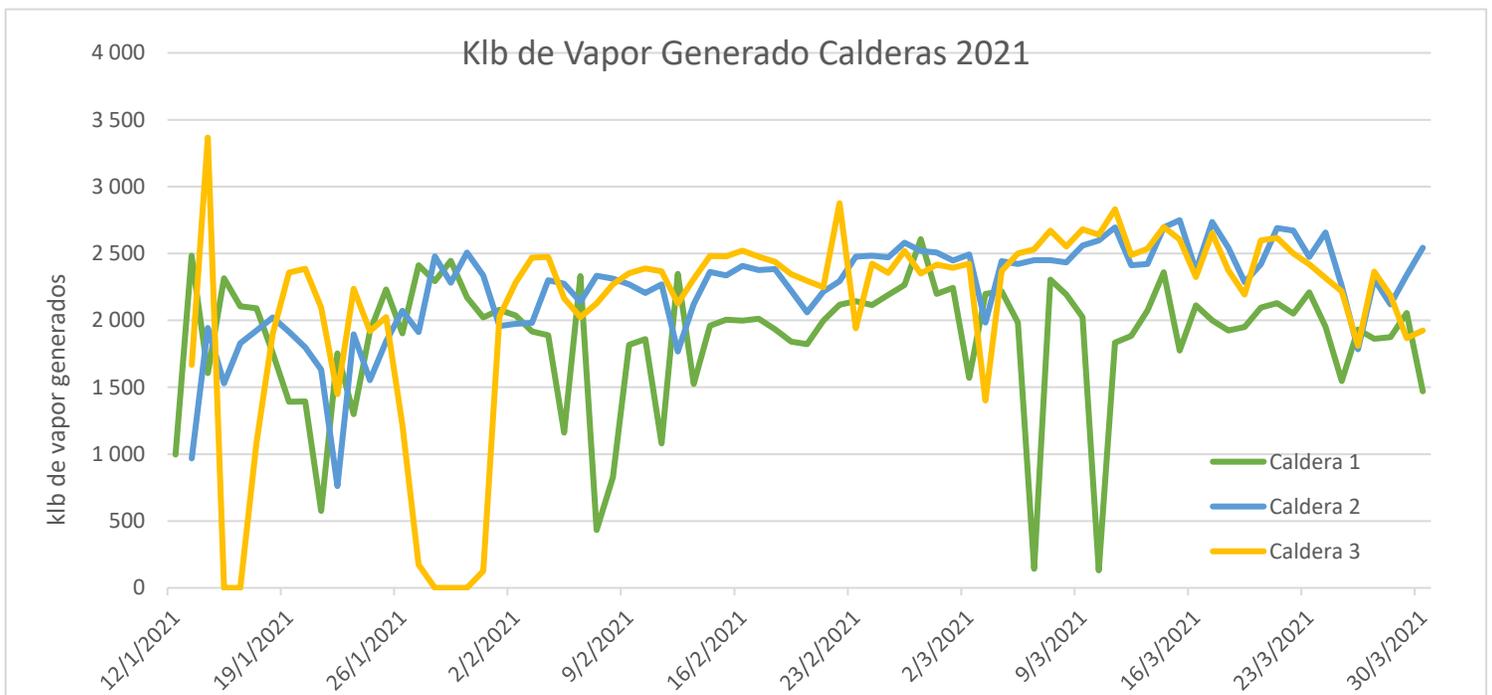
Tabla 4. Datos de las calderas.

Código del equipo	Descripción	Año de construcción	Capacidad Instalada (lb/h)	Presión de trabajo (psi)	Combustible	Disposición del fluido	Tiempo de operación (h)
24003	Caldera #3	1976	125000	200	Bagazo de caña	Tubos de agua	24
24004	Caldera #4	1966	125000	200	Bagazo de caña	Tubos de agua	24
24005	Caldera #5	1970	150000	200	Bagazo de caña	Tubos de agua	24
Total			400000				

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Las 3 calderas de la compañía operan con el bagazo resultante del proceso de molienda.

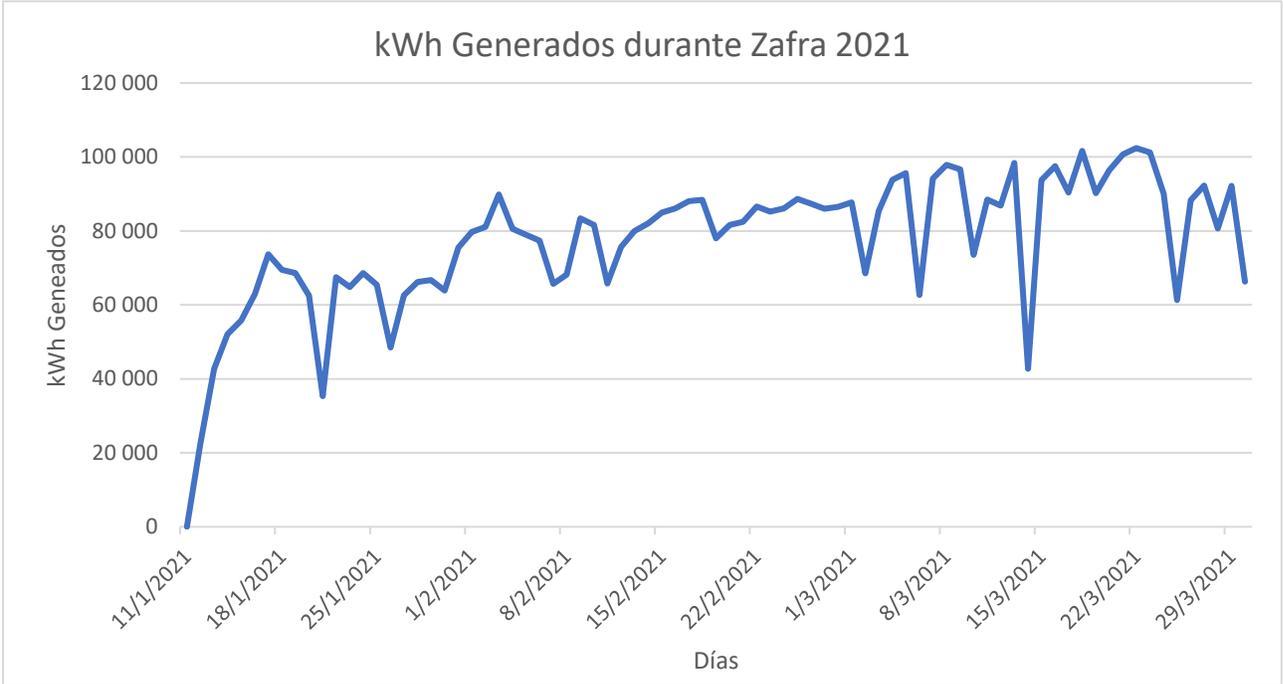
Estas calderas operan simultáneamente las 24 horas del día durante el periodo de Zafra.



Gráfica 1. Klb de Vapor generado por Calderas en el 2021

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

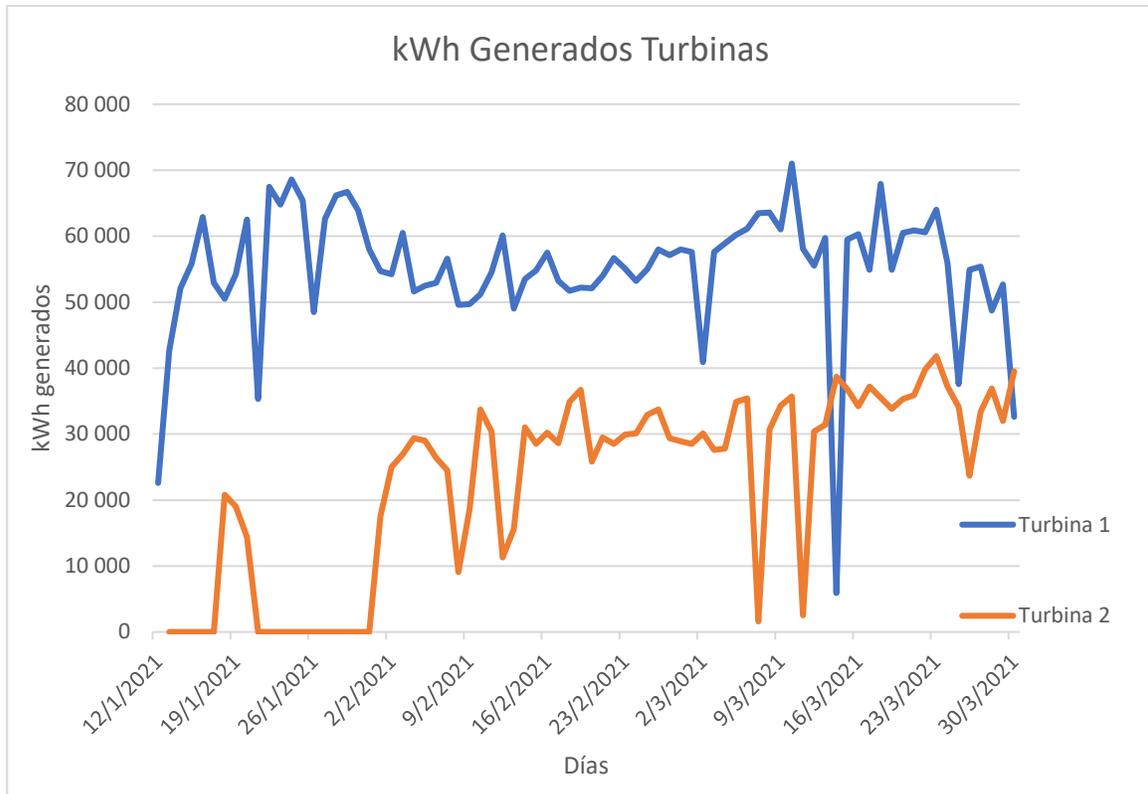
La presenta las klb de vapor que generó cada caldera diariamente durante la zafra 2021. Este vapor es destinado para la generación de energía eléctrica y para el uso de los equipos de producción.



Gráfica 2. kWh Generados durante Zafra en el 2021

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

Durante el año 2021, se generó un total de 609 940,0 kWh, con un promedio de 78 197,0 kWh por día. Esta energía eléctrica fue generada en conjunto entre los 2 turbogeneradores con los que cuenta la compañía. El consumo máximo del año 2021 es de 102 400,0 kWh, y el mínimo es de 22 600,0 kWh.



Gráfica 3. kWh Generados por generador en Zafra 2021

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

La Gráfica 3 muestra la generación de cada uno de los turbogeneradores. La compañía posee una distribución de las cargas entre los generadores. El turbogenerador 1 genera en función al 60 % de las cargas, mientras que el turbogenerador 2 maneja con el 40 % de las cargas. En promedio el turbogenerador 1 generó 55 313 kWh diariamente, mientras que el generador 2 generó 23 085 kWh. En el 2021 se procesaron 378 211,16 toneladas de caña, con un promedio de 4 849 TCD. El índice promedio de kWh/ton de caña diaria es de 16 kWh/TCD

Análisis del consumo de energía

Para el estudio del consumo de energía de la compañía, se debe tener en consideración el tiempo que la fábrica esté operando, ya que, debido a la naturaleza del proceso, la fábrica solamente opera durante el tiempo de zafra. Este periodo inicia el 11 de enero y finaliza aproximadamente el 30 de marzo de cada año, en promedio 89 días; posterior a este periodo, la fábrica no opera y el consumo de energía se limita a operación de las oficinas y equipos electromecánicos utilizados para el mantenimiento.

Durante el periodo de zafra, la demanda energética es suministrada por la autogeneración de energía, debido a la combustión del bagazo. Después de la zafra, la demanda de energía la suministra la red eléctrica.

Debido a la naturaleza del proceso, la fábrica trabaja las 24 horas del día durante los 3 meses de zafra. En condiciones normales, los equipos no se detienen, por lo que se planteará que estos operan las 24 horas, con excepción de algunos equipos que operan en condiciones especiales.

Se realiza el estudio del consumo de energía por cada una de las etapas del proceso de producción. En este estudio se analizará la energía utilizada por electricidad y el consumo de vapor. Es necesario aclarar que hay equipos que requieren tanto energía eléctrica como suministro de vapor.

Consumo eléctrico

Para el consumo eléctrico del proceso, se estudiarán los equipos más relevantes por proceso en la fabricación de azúcar. Se considerarán las bombas de agua, bombas de trasiego, mezcladores, agitadores. Se descartarán las bombas de lubricación, ya que son equipos de muy bajo consumo eléctrico y no representan un consumo significativo. El consumo eléctrico se estudiará separado del consumo de vapor, debido a que las condiciones de uso son distintas.

Los datos de potencia se obtienen de datos de placa y mediciones puntuales en los equipos, mientras operan en condiciones normales. Puede existir una variación entre el consumo de energía eléctrica obtenido con la auditoría energética y la que se obtienen de los registros de la compañía, al no haber medidores de consumo eléctrico por proceso.

Preparación y molienda

En el proceso de preparación se encuentra 3 equipos que operan en condiciones especiales, estos son los volteadores. Estos operan solamente cuando llega un cargamento de caña al área de preparación, su tiempo de operación es corto, de aproximadamente 1 minuto por operación; por lo tanto, no se tomarán en consideración para el cálculo del consumo, sin embargo, son equipos de una alta potencia de demanda, por lo que, en cuanto a demanda, sí son considerables. En el proceso de molienda tenemos las bandas intermedias, las cuales envían la caña entre los molinos y, por último, las bandas de bagazo, que envían el bagazo hacia las calderas.

Tabla 5. Consumo eléctrico preparación y molienda.

Descripción	Potencia (kW)	Horas de operación	Consumo de energía diario (kWh)
Volteador Principal	44,74	10 veces /h	
Volteador 2	29,83	2 veces / hora	
Volteador 3	29,83	20 veces / día	
Nivelador N1	13,39	24	321,25
Variador Toshiba 50HP	28,68	24	688,39
Nivelador N2	52,20	24	1 252,78
Variador Toshiba 75HP	43,34	24	1 040,23
Variador Toshiba 25HP	15,93	24	382,44
Intermediaria 1	10,36	24	248,58
Intermediaria 2	11,15	24	267,71
Intermediaria 3	14,34	24	344,19
Intermediaria 4	12,75	24	305,95
Intermediaria 5	11,00	24	263,88
Conductor de bagazo 1	11,19	24	268,45
Conductor de bagazo 2	36,33	24	871,96
Motor Filtro 1	1,27	24	30,59
Bomba de imbibición	10,20	24	244,76
Tornillo Sinfín Filtro/molino	3,82	24	91,78
Total			6 622,94

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Filtrado

El proceso de filtrado es un proceso sencillo, cuenta con los filtros que separan los elementos no solubles del jugo de la caña, además de la preparación del jugo para el proceso de clarificación.

Tabla 6. Consumo eléctrico filtrado.

Descripción	Potencia (kW)	Hora de operación	Consumo de energía diario (kWh)
Motor Pesa de jugo	4,46	24	107,08
Bomba jugo Clarificado	39,52	24	948,44
Bomba jugo Alcalizado	65,65	24	1 575,64
Bomba lodo Clarificado	14,91	24	357,94
Tanque de jugo mezclado	1,91	24	45,89
Filtro Prensa	6,37	24	152,97
Bomba Molinos/Filtro	41,43	24	994,34
Bomba Tanque de jugo mezclado	44,74	24	1 073,81
Cal	2,24	24	53,69
Sacarada	2,24	24	53,69
Bomba de filtro	11,19	24	268,45
Agitador de magma 1	2,42	24	58,13
Agitador de magma 2	2,42	24	58,13
Total			5 748,21

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Evaporización

En este proceso el consumo de energía eléctrica se basa principalmente en bombas de trasiego que envían los productos de tanque en tanque a lo largo del proceso, así como también el agua de los condensados que se extrae del vapor de los evaporadores. Esta agua es utilizada para alimentar las calderas, o bien como agua de procesos. También se cuenta con motores para agitar el producto y mezclarlo, así como también las sustancias químicas que se le vertieran al producto para su clarificación.

Tabla 7. Consumo eléctrico evaporización.

Descripción	Potencia (kW)	Horas de operación	Consumo de energía diario (kWh)
Mezclador TR H3PO4	1,49	24	35,79
Mezclador TR Floculante	1,49	24	35,79
Mezclador TR Descolorante	1,49	24	35,79
Motor Cachazón	2,24	24	53,69
Clarificador SRI	2,24	24	53,69
Tanque de reacción	3,73	24	89,48
Tanque de reacción	3,73	24	89,48
Tanque de reacción	3,73	24	89,48
Clarificador de meladura	2,24	24	53,69
Agitador de cal	7,46	24	178,97
Bomba a Pre-1	3,82	24	91,78
Bomba a Efecto III	6,82	24	163,68
Bomba Tanque a Pulmón Meladura	12,11	24	290,65
Bomba Tanque de pulmón a Calentador	29,83	24	715,87
Bomba Tanque Meladura Clarificada	16,57	24	397,73
Bomba de agua centrifugas	15,00	24	360,00
Bomba de agua tacho IV efecto	15,00	24	360,00
Bomba Miel clarificada	11,19	24	268,45
Clarificada meladura/Cachazón	12,11	24	290,65
Bomba Inatacable 1	7,52	24	180,51
Bomba Inatacable 2	11,15	24	267,71
Bomba Inatacable 2	9,24	24	221,81
Bomba Inatacable 3	6,69	24	160,62
Bomba de condensado IV	6,69	24	160,62
Bomba de condensado 1	6,37	24	152,97
Bomba de condensado 2	6,37	24	152,97
Bomba de condensado 3	9,56	24	229,46
Total			5 181,39

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Cocimiento crudo

En el proceso de cocimiento crudo se cuenta con tachos de acción simple. Cada uno de estos cuenta con un motor agitador y con una bomba de vacío.

Tabla 8. Consumo eléctrico cocimiento crudo.

Descripción	Potencia (kW)	Horas de operación	Consumo de energía diario (kWh)
Tacho 1	39,52	24	948,44
Tacho 2	39,52	24	948,44
Tacho 3	52,20	24	1 252,78
Tacho 4	21,67	24	520,11
Tacho 5	21,67	24	520,11
Tacho 6	52,20	24	1 252,78
Recibidor 1	7,46	24	178,97
Recibidor 2	7,46	24	178,97
Bomba de vacío 1	25,11	24	602,72
Bomba de vacío 1	37,54	24	901,02
AUX			
Bomba de vacío 2	23,84	24	572,13
Bomba de vacío 3	20,52	24	492,58
Bomba de vacío 4	21,54	24	517,05
Bomba de vacío 5	21,80	24	523,17
Granero	1,05	24	25,24
Cristalizador 1	3,73	24	89,48
Cristalizador 2	3,73	24	89,48
Cristalizador 3	3,73	24	89,48
T. Meladura 1	3,73	24	89,48
T. Meladura 2	3,73	24	89,48
T. Meladura 3	3,73	24	89,48
T. Meladura 4	3,73	24	89,48
Total			10 060,91

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Centrifugado

En el proceso de centrifugado se cuenta con 6 centrifugas A, 3 centrifugas B y 3 centrifugas C. Cada línea de centrifugas cuenta con una bomba de miel, una bomba de magma y un tornillo sinfín que lleva el producto de una línea a la siguiente.

Tabla 9. Consumo eléctrico centrifugado.

Descripción	Potencia (kW)	Horas de operación	Consumo de energía diario (kWh)
Centrifugado A1	57,37	24	1 376,77
Centrifugado A2	57,37		0,00
Centrifugado A3	57,37		0,00
Centrifugado A4	57,37	24	1 376,77
Centrifugado A5	57,37		0,00
Centrifugado A6	57,37		0,00
Centrifugado B1	57,37	24	1 376,77
Centrifugado B2	57,37		0,00
Centrifugado B3	57,37		0,00
Centrifugado C1	57,37	24	1 376,77
Centrifugado C2	57,37	24	1 376,77
Centrifugado C3	57,37		0,00
Sinfín Centrifuga A	11,19	24	268,45
Sinfín Centrifuga A	11,19	24	268,45
Bomba de Magma CA	6,12	24	146,86
Bomba de miel CA	11,19	24	268,45
Bomba de Magma CB	15,62	24	374,79
Bomba de miel CB	11,19	24	268,45
Bomba de Magma CC	15,62	24	374,79
Bomba de miel CC	11,19	24	268,45
Centrifuga C a Tanque de miel	14,91	24	357,94
Tanque de miel a Tratamiento	11,00	24	264,00
Total			9 744,49

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Las centrifugas no operan a la vez, en su lugar, se turnan para que el proceso sea continuo. Es por esto por lo que el tiempo de operación de las centrifugas se limitó al de la cantidad de centrifugas que pueden operar simultáneamente.

Refinado

El proceso de refinado cuenta con una gran variedad de equipos, ya que es un proceso por el cual el azúcar crudo es nuevamente calentado, evaporado y centrifugado, con el fin de refinar el producto. Es por esto por lo que en este proceso se incluyen tachos, calentadores, tanques de tratamiento, centrifugas y otros equipos.

Tabla 10. Consumo eléctrico refinado.

Descripción	Potencia (kW)	Horas de operación	Consumo de energía mensual (kWh)
Tacho 1600p3	55,93	24	1 342,26
Tacho 600p3	22,37	24	536,90
Tacho 1200p3	22,37	24	536,90
Mezclador 1	7,46	24	178,97
Mezclador 2	7,46	24	178,97
Secador 1	3,73	24	120,00
Secador 2	3,73	24	120,00
Secador 3	3,73	24	120,00
Secador 4	3,73	24	120,00
Lavador	3,73	24	120,00
Disolador de Granza	2,24	24	53,69
tierra	2,24	24	53,69
Cal	0,56	24	13,42
precapa	2,24	24	53,69
T&L 1	2,24	24	53,69
T&L 2	2,24	24	53,69
II Tratamiento 1	2,24	24	53,69
II Tratamiento 2	2,24	24	53,69
II Tratamiento 3	2,24	24	53,69
II Tratamiento 4	2,24	24	53,69
Elevador centrifugas	3,73	24	89,48
Centrifuga 1	93,21	24	2 237,10
Centrifuga 2	93,21		0,00
Centrifuga 3	93,21	24	2 237,10
Centrifuga 4	93,21		0,00
Centrifuga 5	93,21	24	2 237,10
Centrifuga 6	93,21		0,00
Sinfín centrifugas	11,19	24	268,45
Sin Fin Tolva Secador/Disolador de granza	2,24	24	53,69

Sin Fin Tolva Secador/Disolador de granza	2,24	24	53,69
Sin Fin Tolva / Elevador	7,46	24	178,97
Bomba Secador/Lavador	29,83	24	715,87
Bomba de vacío tachos A	29,83	24	715,87
Bomba de vacío tachos B	22,37	24	536,90
Bomba de vacío tachos C	7,46	24	178,97
Banda Centrifugas C.C a Secador 1	2,24	24	53,69
Banda Centrifugas C.C a Secador 2	2,24	24	53,69
Banda Centrifugas C.C a Secador 3	2,24	24	53,69
Banda Centrifugas C.C a Secador 4	2,24	24	53,69
Elevador desde Centrifugas CC	5,59	24	134,23
Bomba tanque pulmón / calentador	29,83	24	715,87
Bomba tierra	4,14	24	99,43
Bomba precapa	8,29	24	198,87
Bomba Sacarato	8,22	24	197,34
Bomba Preparación Sacarato	4,33	24	104,02
Bomba cal	3,73	24	89,48
Bomba espuma	2,49	24	59,66
Bomba Lavador	94,34	24	2 264,10
Bomba Secador	29,83	24	715,87
Bomba Disolador Granja	7,46	24	178,97
Bomba II tratamiento 1	6,37	24	152,97
Bomba II tratamiento 2	6,37	24	152,97
Bomba II tratamiento 3	6,37	24	152,97
Bomba II tratamiento 4	6,37	24	152,97
Bomba II tratamiento 5	6,37	24	152,97
Bomba II tratamiento 6	6,37	24	152,97
Total			19 264,29

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Empaque

El proceso de empaque consiste en bandas sinfín, elevadores y las zarandas.

Tabla 11. Consumo eléctrico empaque.

Descripción	Potencia (kW)	Horas de operación	Consumo de energía mensual (kWh)
Separador de polvillo	7,46	24	178,97
Zarandas I	5,59	24	134,23
Zarandas II 1	5,59	24	134,23
Zarandas II 2	5,59	24	134,23
Elevador	3,73	24	89,48
Sinfín 1	6,44	24	154,50
Sinfín 2	8,29	24	198,87
Sinfín 3	15,30	24	367,14
Sinfín 4	7,97	24	191,22
Sinfín 5	11,47	24	275,35
Sinfín 6	8,03	24	192,75
Sinfín 7	8,03	24	192,75
Sinfín 8	7,84	24	188,16
Sinfín 9	15,30	24	367,14
Sinfín 10	3,82	24	91,78
Sinfín 11	3,82	24	91,78
Elevador de azúcar	3,82	25	95,61
Total			3 078,19

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Compresores

En la fábrica se cuenta con 3 sistemas de compresión de aire.

Tabla 12. Consumo eléctrico en compresores.

Descripción	Potencia (kW)	Horas de operación	Consumo de energía diario (kWh)
RAD QPNC	3,90	24	93,60
QSI 335i	66,40	24	1 593,60
QSI 335i	66,40	24	1 593,60
Compresor Tornería	29,83	24	715,87
Total			3 996,67

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Administrativo

El área administrativa consiste en los aires acondicionados de las oficinas y cuartos de control eléctrico. Este es el único departamento que opera después de zafra.

Tabla 13. Consumo eléctrico administrativo.

Descripción	Potencia (kW)	Horas de operación	Consumo de energía mensual (kWh)
UC AUZA12 Carrier	10,40	24	249,60
UC AUZA12 Carrier	10,40	24	249,60
UC AUZA12 Carrier	10,40	24	249,60
UC AUZA12 Carrier	10,40	24	249,60
UC AUZA12 Carrier	10,40	24	249,60
UC AUZA12 Carrier	10,40	24	249,60
UC AUZA12 Carrier	10,40	24	249,60
UC AUZA12 Carrier	10,40	24	249,60
Daikin DX13SA	4,80	24	115,20
Oficina Gerencial	2,05	24	49,20
Oficina Gerencial	2,05	24	49,20
Oficina Gerencial	2,05	24	49,20
Oficina Gerencial	2,05	24	49,20

Comedor	2,05	24	49,20
Comedor	2,05	24	49,20
Oficinas	2,05	24	49,20
Oficinas	2,05	24	49,20
Guardia	2,05	24	49,20
Oficina Ingenieros	2,05	24	49,20
Laboratorios	2,05	24	49,20
Oficina Eléctricos	1,82	24	43,68
Empaques	2,05	24	49,20
Empaques	1,80	24	43,20
Empaques	1,80	24	43,20
Control Centrífugos	2,05	24	49,20
Control Calderas	1,80	24	43,20
Control Calderas	1,80	24	43,20
Laboratorio Calderas	1,80	24	43,20
Refinado	1,80	24	43,20
Laboratorio de Refinado	1,80	24	43,20
Control Evaporadores	2,05	24	49,20
Total			3146,88

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Calderas

El área de caldera consiste en los ventiladores que se encargan de inyectar el aire al hogar de la caldera, los extractores de hollín, bandas de alimentación del bagazo a las calderas, bombas de alimentación de agua, sinfines de hollín.

Tabla 14. Consumo de energía eléctrica en área de calderas.

Descripción	Potencia (kW)	Horas de operación	Consumo de energía diario (kWh)
Ventilador Caldera 1	221,81	24	5 323,52
Ventilador Caldera 2	221,81	24	5 323,52
Ventilador Caldera 3	209,07	24	5 017,57
Extractor de hollín 1	79,67	24	1 912,18
Extractor de hollín 2	68,84	24	1 652,13
Extractor de hollín 3	43,98	24	1 055,53
Extractor de Vapor 1	44,74	24	1 073,81
Extractor de Vapor 2	55,93	24	1 342,26
Extractor de Vapor 3	37,29	24	894,84
Extractor de Vapor 4	37,29	24	894,84
Conductor de Bagazo C5 1	2,68	24	64,25
Conductor de Bagazo C5 2	2,68	24	64,25
Conductor de Bagazo C5 3	2,68	24	64,25
Conductor de Bagazo C5 4	2,68	24	64,25
Conductor de bagazo C4 1	2,68	24	64,25
Conductor de bagazo C4 2	2,68	24	64,25
Conductor de bagazo C4 3	2,68	24	64,25
Conductor de bagazo C4 4	2,68	24	64,25
Conductor de bagazo C3 1	2,68	24	64,25
Conductor de bagazo C3 2	2,68	24	64,25
Conductor de bagazo C3 3	2,68	24	64,25
Bomba de alimentación de agua	60,55	24	1 453,26
Sinfines (6)	18,00	24	432,00
Total			27 082,20

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Consumo total de energía eléctrica

Se tomará en consideración la operación de todos los procesos para los cálculos del consumo de energía. Los equipos y sistemas operan 24 horas de forma ininterrumpida bajo condiciones normales de operación.

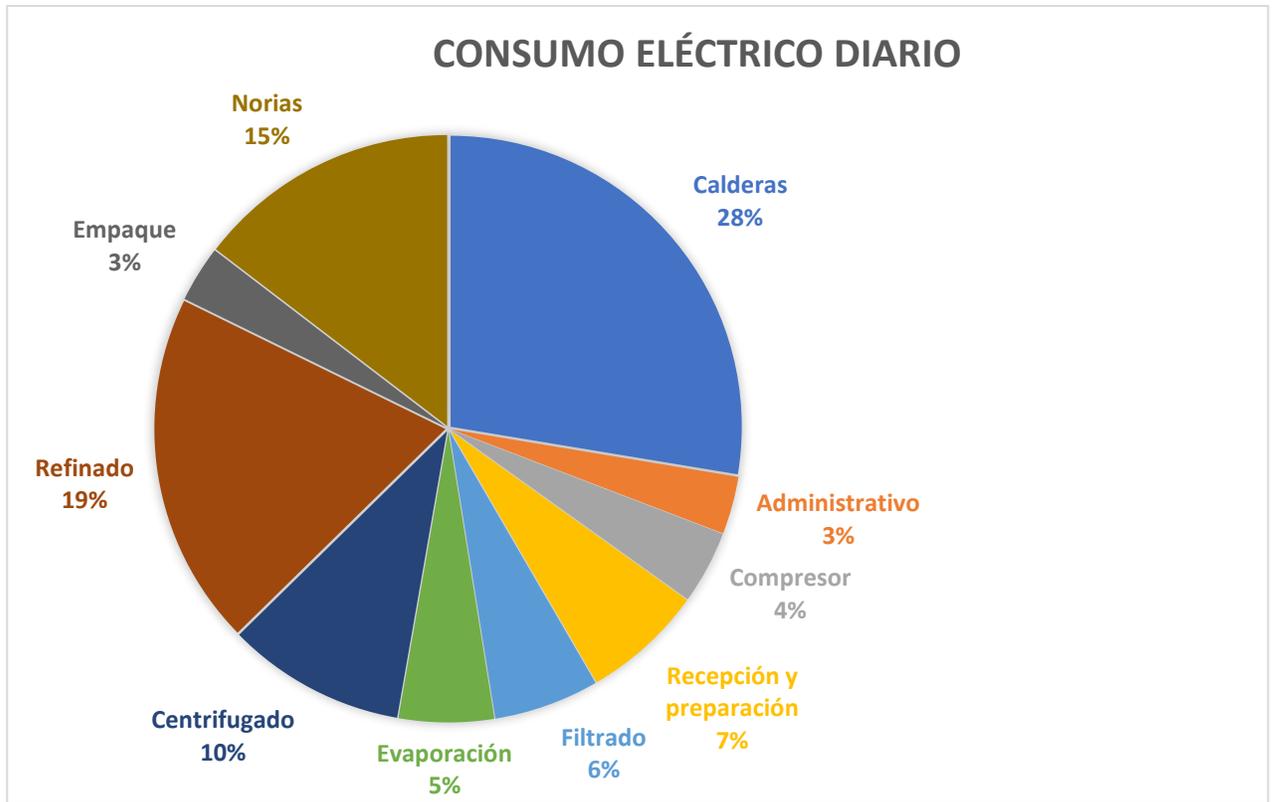
Durante los días que se produce únicamente azúcar crudo, el proceso de refinado no opera en su totalidad; en su lugar, solo operan los equipos necesarios para el secado del producto, estos son: lavador, secador, zarandas, cintas sinfín para el transporte del producto.

Tabla 15. Consumo de energía eléctrica total diaria.

Proceso	Consumo diario (kWh)	% de consumo
Calderas	27 082,20	28 %
Administrativo	3 146,88	3 %
Compresor	3 996,67	4 %
Recepción y preparación	6 622,94	7 %
Filtrado	5 748,21	6 %
Evaporación	5 181,39	5 %
Centrifugado	9 744,49	10 %
Refinado	19 264,29	20 %
Empaque	3 078,19	3 %
Norias	14 356,68	15 %
Total	98 221,93	100 %

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

La Tabla 15 muestra el consumo de energía total del proceso de producción cuando todos los sistemas y procesos están operando. Para la medición del consumo de los equipos, se tomó información de los datos de las placa y mediciones de corriente sobre cuándo el equipo se encuentra operando a condiciones normales.



Gráfica 4. Consumo diario de energía eléctrica por proceso.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

La Gráfica 4 muestra el porcentaje de consumo de cada zona. Los procesos de caldera (28 %), refinado (19 %), norias (15 %) y centrifugados (10 %) son los procesos que más consumo eléctrico representan. Las norias, a pesar de no ser equipos ligados directamente con el proceso, representan un consumo considerable, sin embargo, cumplen una función importante que es transportar el agua a los centros de tratamiento. Esta agua es tratada para consumo de la compañía y/o para consumo en el proceso de producción.

Consumo de vapor

El consumo de vapor se estudiará por aparte, pues el consumo de vapor no se da de forma semejante a como se consume la energía eléctrica. El vapor generado por las calderas se conoce como “vapor vivo”. Este posee una presión de 220 psi y una temperatura de 232 °C. Este vapor es consumido directamente por los turbogeneradores para la generación eléctrica, por turbinas de vapor como los molinos, desfibrador y las picadoras, también es consumido para calentar el agua de las calderas. El vapor sobrante de este proceso sale a una presión de 15 psi, entra en un cabezal de vapor para ser utilizado por otros equipos como los calentadores, tachos, centrifugas, lavador, evaporadores.

La Figura 13 presenta el diagrama de flujo del vapor en el proceso de producción, por lo que, para mejor entendimiento, se recomienda observarla.

Consumo de vapor vivo a 220 psi.

Tabla 16. Consumo de vapor vivo.

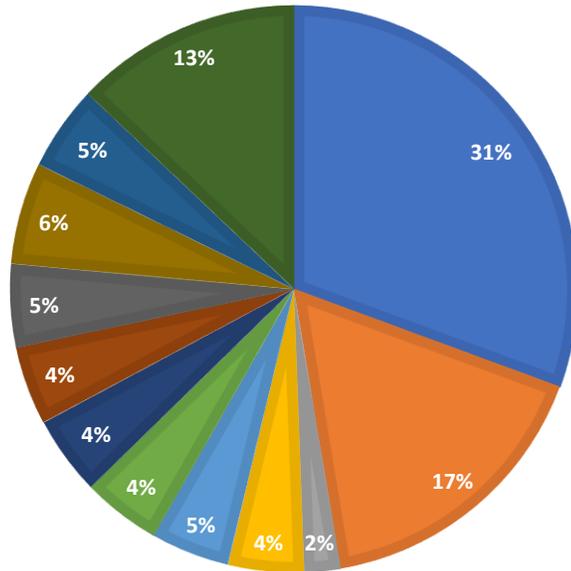
Descripción	Tipo de Vapor	Presión de entrada (psi)	Temperatura de entrada (°C)	Tipo de Vapor	Presión de salida (psi)	Temperatura de salida (°C)	Consumo (lb/h)
Turbogenerador 1	Vivo	200	232	Escape	15	150	99 541,46
Turbogenerador 2	Vivo	200	232	Escape	15	150	54 531,96
Inyección de agua	Vivo	200	232	Escape	15	150	6 682,84
Molino 1	Vivo	200	232	Escape	15	150	15 536,48
Molino 2	Vivo	200	232	Escape	15	150	14 591,70
Molino 3	Vivo	200	232	Escape	15	150	14 591,70
Molino 4	Vivo	200	232	Escape	15	150	14 591,70
Molino 5	Vivo	200	232	Escape	15	150	14 591,70
Molino 6	Vivo	200	232	Escape	15	150	15 431,51
Picadora 1	Vivo	200	232	Escape	15	150	18 895,72
Picadora 2	Vivo	200	232	Escape	15	150	15 746,44
Desfibrador	Vivo	200	232	Escape	15	150	41 990,50
Total							326 723,70

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

La Tabla 16 muestra el consumo de vapor vivo de los equipos más demandantes. Para los turbogeneradores, los cuales se utilizan para la generación de energía eléctrica, se utiliza un flujo de vapor de 154 073 lb/h. Para el proceso de inyección de agua caliente a la caldera, se emplea un consumo de 6 683 lb/h. Y, para el proceso de preparación y molienda, el cual incluye los molinos, el desfibrador y las picadoras, se emplea 165 967,45 lb/h; dando así un consumo total de vapor vivo de 326 723,70 lb/h.

CONSUMO DE VAPOR VIVO

- Turbogenerador 1
- Turbogenerador 2
- Inyección de agua
- Molino 1
- Molino 2
- Molino 3
- Molino 4
- Molino 5
- Molino 6
- Picadora 1
- Picadora 2
- Desfibrador



Gráfica 5. Pastel Consumo de Vapor Vivo.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Según [23], el consumo de vapor para los molinos se puede estimar utilizando la Figura 78. Bajo las condiciones de operación que son una presión de admisión de 100 psi, el consumo de vapor es de 29,1 lb/ hp * h. Esto se debe a que los molinos rotan a velocidades muy bajas de hasta 6 rpm, y como indica [23], bajo estas condiciones de velocidad, se requiere utilizar la configuración A. Corliss.

Los molinos son equipos que operan a una potencia de 437 HP, por lo tanto, el consumo de vapor teórico es de 12 716,0 lb/h, y el molino 1 opera a 465 HP, por lo que teóricamente consume 13 531,5 lb/h. Como se muestra en la Tabla 16, los molinos poseen un consumo de 14 592,0 lb/h y el molino 1 consume 15 536,0 lb/h. Con esta comparación, se observa que hay un consumo de vapor por encima de lo que establece [23].

Consumo de vapor de proceso

Como se mencionó anteriormente, los equipos de la Tabla 16 consumen el vapor vivo directamente de la caldera, sin embargo, el vapor de escape de estos equipos es utilizado por otros equipos en el proceso de producción. Estos equipos son: calentadores, evaporadores, tachos de cocimiento crudo y refinería.

Las características del vapor que consumen estos equipos son distintas a la del vapor vivo. Es por esto por lo que se clasifica el vapor como: vapor de escape, vapor V1, vapor V2. El vapor de escape es aquel que viene del cabezal de escape de los equipos que consumen el vapor vivo, mientras que el vapor V1 y V2 son denominados así debido a que son vapores vegetales, es decir, vapores que se mezcla con el producto, y es resultado del vapor de ingreso y el vapor producido por la evaporación del jugo de caña.

Tabla 17. Consumo de vapor en proceso.

Descripción	Tipo de Vapor	Presión (psi)	Temperatura (°C)	Consumo (lb/h)
Calentador Jugo clarificado	Escape	15	115	9 493,00
Preevaporadores	Escape	15	115	156 070,20
Tachos refinería	Escape	8	106	22 780,74
Tachos Crudo	V1	8	106	53 728,40
Calentadores	V1	8	106	43 813,00
Cuerpo 3 y 4 evaporadores	V1	8	106	58 531,00
Calentadores primarios 5 y 6 cal. regenerat	V2	5	93	58 531,00
Meladora	V2	3	69	58 531,00

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Como se muestra en la Tabla 17, los equipos que reciben el vapor de escape son: los calentadores de jugo clarificado, los preevaporadores y los tachos de refinería. El vapor que sale de los preevaporadores se denomina vapor V1, ya que está contaminado con producto. Este vapor es enviado a los tachos de cocimiento crudo, a los calentadores secundarios y a los otros evaporadores, pues estos últimos son de efecto múltiples. El vapor sigue fluyendo a través de los evaporadores hasta llegar a la meladora.

Según [24], el consumo recomendado de vapor para el proceso de evaporación es de 250-400 kg de vapor/tonelada de jugo procesado. De acuerdo con los datos de producción de la compañía, la cantidad de jugo que ingresa a los evaporadores es de 193 311 kg de jugo por hora (193 311 toneladas de jugo por hora) y el fluido de vapor que ingresa es de 70 941 kg de vapor por hora. El consumo de kg de vapor por tonelada de jugo en los evaporadores es de 366,97 kg de vapor/tonelada de jugo procesado. Esto indica que el consumo de vapor de los evaporadores está dentro del rango recomendado.

Tabla 18. Resumen de generación y consumo de vapor y energía eléctrica.

Descripción	Valor
Electricidad	
Capacidad de generación de Potencia (kW)	6 000,00
Capacidad Seteada de generación de Potencia (kW)	5 500,00
Consumo de Potencia diario de procesos (kWh)	98 221,93
Consumo de potencia Preparación y molienda (kWh)	6 622,94
Consumo de potencia Filtrado (kWh)	5 748,21
Consumo de potencia Evaporación (kWh)	5 181,39
Consumo de potencia Centrifugado (kWh)	9 744,49
Consumo de potencia Refinado (kWh)	19 264,29
Consumo de potencia Empaque (kWh)	3 078,19
Consumo de potencia Calderas (kWh)	27 082,20
Consumo de potencia Administración (kWh)	3 146,88
Consumo de potencia Norias (kWh)	14 356,68
Consumo de potencia Compresor (kWh)	3 996,67
Vapor	
Capacidad de generación de vapor (lb/h)	400 000
Consumo de vapor total (lb/h)	326 723,70
Consumo de vapor para generación eléctrica (lb/h)	154 073,41
Consumo de vapor para inyección de caldera (lb/h)	6 682,84
Consumo de vapor para Preparación y molino (lb/h)	165 967,45

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

En este capítulo se realizó el balance de energía por cada uno de los procesos de producción, dando como resultado que los procesos más demandantes de energía eléctrica son el área de calderas, refinado, centrífugas y las norias. Además de que el consumo de vapor vivo principalmente se dispone para la generación de electricidad.

Se evaluó la capacidad de generación de vapor por tonelada de caña procesada por las calderas, dando como resultado que la eficiencia en la generación de vapor está dentro de los límites establecidos por la literatura, igual que la eficiencia del consumo de vapor en procesos como la evaporización.

Oportunidades de mejora, control y plan de medición

Una vez que se obtiene la proyección de consumo para cada uno de los equipos y procesos, se plantean las principales oportunidades de mejora, el control y la medición del consumo de energía.

Proceso de preparación y molienda

El proceso de molienda es considerablemente el proceso de mayor energía consume, principalmente por el consumo de vapor que requiere mover las turbinas del proceso. Estas turbinas son los molinos de vapor del proceso de molienda y las turbinas de vapor de las picadoras y la desfibadora.

Sustituir las turbinas de vapor de los molinos, picadoras y desfibador por motores eléctricos resultaría en una optimización del consumo de energía a gran medida, ya que, si se sustituyeran las turbinas por motores eléctricos, el flujo de vapor destinado actualmente a este proceso podría ser utilizado para generar la suficiente energía eléctrica requerida para estos equipos y energía eléctrica adicional disponible para vender a la red eléctrica, lo que resultaría en un ingreso para la compañía. Una forma de reducir el consumo de potencia en la etapa de preparación y molienda es reduciendo los factores que influyen en el consumo del sistema. Según [24], la potencia es consumida en las siguientes unidades:

- Bagazo.
- Fricción entre los ejes y rodamientos del molino.
- Fricción entre el bagazo y el virador.
- Fricción de los raspadores y el pie del virador contra los molinos, a lo que se debe agregar el trabajo realizado durante el desprendimiento de bagazo en estos puntos.
- Engranajes.

Se debe tener especial cuidado en la selección de las cargas hidráulicas en los molinos, la selección de los rodamientos, el diseño y el ajuste del virador del molino, etc., de tal forma que todo resulte en un mínimo consumo de potencia durante todo el proceso de molienda [20].

El cálculo de estos consumos pueden ser realizado a través de [23]. La reducción de estos consumos de potencia puede beneficiar tanto al sistema actual de accionamiento por turbinas como si se implementan motores eléctricos en un futuro. Según [23], los molinos eléctricos poseen las siguientes ventajas en comparación a las turbinas de vapor:

- Orden y limpieza.
- Control más completo y definido.
- Facilidad para iniciar y parar la operación.
- Menor costo de operación y mantenimiento.
- Menos accidentes.
- Protección contra estancamiento por piezas grandes de metal.
- Vapor de escape libre de aceite.

Sin embargo, [23] menciona que también tiene desventajas que hay que considerar cuando se van a realizar los cambios. Estas desventajas son:

- Alto costo de instalación.
- Doble transformación adicional de energía.
- Etapa extra de engranajes reductores.
- Control de velocidad menos completo.
- Accidentes más serios.

- Más personal especializado.

Sustitución de las turbinas de los molinos por motores eléctricos

Como se ha mencionado anteriormente, los molinos del proceso de molienda, así como otros equipos del proceso son impulsados por turbinas de vapor, por lo que es una gran oportunidad de mejora su sustitución por equipos eléctricos. Se evaluará la capacidad del sistema para la sustitución de estos equipos, a partir del consumo de vapor que actualmente poseen.

Tabla 19. Condiciones de operación de equipos de molienda.

Equipos	Potencia instalada (HP)	Potencia consumida (HP)	Potencia consumida (kW)	Consumo vapor (kg/h)
Desfibrador	1 257	1 257	924	19 052
Picadora 1	785	566	416	8 573
Picadora 2	785	471	347	7 144
Molino 1	628	465	342	7 049
Molino 2	628	437	321	6 621
Molino 3	628	437	321	6 621
Molino 4	628	437	321	6 621
Molino 5	628	437	321	6 621
Molino 6	628	462	321	7 002
Total	6 598	4 967	3 634	75 303

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Como se muestra en la Tabla 19, la demanda del proceso de molienda es de 3 634 kW, consumiendo un total de 75 303 kg de vapor/h o bien 165 967,45 lb/h. Se evaluará si ocupando este vapor para la generación de electricidad es posible generar la demanda de energía requerida para el funcionamiento de estos equipos.

Es necesario recalcar que, con las capacidades actuales de los turbogeneradores, no es posible generar la demanda necesaria para operar estos equipos, por lo tanto, se requiere adquirir otro turbogenerador que posea las capacidades de generación necesarias para reemplazar los turbogeneradores actuales, ya que no hay espacio físico suficiente en la

compañía para la instalación de un tercer turbogenerador, además de reducir los costos de mantenimiento, al contar con menor cantidad de equipos.

La potencia requerida para las turbinas de vapor del proceso de preparación y molienda es de aproximadamente 3 634 kW, se debe añadir la capacidad de generación de las otras 2 turbinas actuales, que son de 3 300 kW y 2 200 kW; por lo tanto, el nuevo turbogenerador debe tener la capacidad de al menos 10 MW para poder cumplir con las demandas máximas de potencia.

Si bien, las capacidades de demanda de potencia de los turbogeneradores son de 3 300 kW y 2 200 kW para el turbogenerador 1 y turbogenerador 2, respectivamente, no se ha llegado a requerir que estos equipos demanden tal potencia, en su lugar, la demanda máxima registrada ha sido de 4 400 kW entre ambos equipos, por lo tanto, es más realista realizar un análisis basado en las demandas requeridas máximas registradas por la compañía.

En el análisis solo se evaluará si la generación actual de vapor que es destinada al proceso de preparación y molienda, así como la generación de electricidad es suficiente para poder generar la electricidad requerida por los motores eléctricos que sustituirían a las turbinas de vapor que se encuentran actualmente.

No se evaluará el costo de adquisición de los equipos, ni de instalación. Tampoco se profundizará en si existe un retorno económico, debido a la posibilidad de venta de energía a la red eléctrica.

Tabla 20. Datos de generación de energía eléctrica con sustitución de equipos.

Descripción	Valor
Consumo de Vapor Proceso Molienda (lb/h)	165 967,45
Consumo de Vapor TG1 (lb/h)	99 541,46
Consumo de Vapor TG2 (lb/h)	54 531,96
Consumo de Vapor total (lb/h)	320 040,86

Potencia Demandada Proceso Molienda (kW)	3 633,71
Potencia Demandada Actual Máxima (kW)	4 400,00
Potencia Total Demandada (kW)	8 033,71
Potencia Máxima Demandada (kW)	9 133,71
Eficiencia por Potencia Total (lb/kW*h)	39,84
Eficiencia por Potencia Máxima (lb/ kW*h)	35,04
Eficiencia por Potencia Total (kg/kW*h)	18,11
Eficiencia por Potencia Máxima (kg/ kW*h)	15,93

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Con los datos de la Tabla 20, se observa que el consumo mínimo de vapor que debe tener el turbogenerador para suministrar la potencia demandada por el sistema es de 18,11 kg/kW*h y para generar la demanda máxima del sistema es de 15,93 kg/kW*h. Es importante resaltar que los turbogeneradores actuales poseen un consumo de 16 kg/ kW*h de vapor por parte del TG1 y de 21 kg/kW*h por parte del TG2, es decir, que con un equipo que al menos tenga la eficiencia de consumo que posee el TG1 es posible generar la demanda de potencia requerida por el sistema y un sobrante de potencia para la venta a la red. Por lo que es recomendable obtener un equipo que posea esta eficiencia de consumo o un equipo más eficiente que permita generar mayor potencia.

Para analizar la rentabilidad de la sustitución de las turbinas de vapor de los molinos por un sistema con motores eléctricos y aprovechar el cambio para generar energía para la venta a la red, es necesario tener en consideración lo establecido por la ASEP, en cuanto a los reglamentos sobre venta de energía a la red de distribución descrito en [25].

La ASEP en el artículo 9 regula que la inyección de energía a la red se da cuando la medición neta mensual leída muestra que se los kWh consumidos de la red es menor que los kWh inyectados a la red. Es bajo esta condición que se empieza a facturar la inyección de energía.

$$\text{Inyección (kWh)} = kWh_{\text{entregados cliente a la red}} - kWh_{\text{consumidos de la red}}$$

Es importante que recordar que el proceso de producción es 100 % autosustentable, por lo que técnicamente todo el sobrante de potencia que se produzca puede ser vendido a la red y resultar en un ingreso.

En el artículo 13 de [25] se establece que la empresa distribuidora solo pagará el 25 % de la energía que se inyecte a la red, con base en un análisis histórico mensual.

$$\text{Retribución (kWh)} = \text{Inyección (kWh)} * 0.25$$

Esta restricción del porcentaje de energía reconocida en el artículo 13 es un factor a considerar por parte de la empresa, en caso de que su interés de sustituir los equipos sea el de vender energía a la red, ya que, posiblemente, la retribución económica por venta de energía no sea la necesaria para hacer rentable el cambio de los equipos, esperando un retorno en el tiempo en que la empresa lo tenga estimado. Sin embargo, puede ser un aporte importante, en caso de que el cambio de los equipos sea con fines de mantenimiento y control, y la venta de energía sea una oportunidad de obtener ingresos debido a mejoras en el proceso productivo.

Capítulo VI Línea de base energética e indicadores de desempeño energético

En este capítulo se desarrolla los IDE y las LBE, a partir de los datos de zafra de los años 2019, 2020 y 2021. El desarrollo de las LBE y los indicadores energéticos se realizará basándose en la Norma ISO 50006:2014, la cual brinda los lineamientos necesarios para el desarrollo de estos parámetros.

Establecimiento de los indicadores de desempeño energético

La zafra es el periodo en el cual la compañía opera, es debido a esto que se estudiará el consumo de energía de la compañía durante este periodo. Posterior a la zafra, el proceso de producción se detiene y el consumo de energía se limita a la operación de las oficinas y procesos de mantenimiento. El periodo de zafra, en promedio, dura 89 días, empieza el 11 de enero y finaliza el 31 de marzo.

La Compañía Azucarera La Estrella cuenta con el registro de generación de vapor de la caldera, y generación eléctrica de cada uno de los turbogeneradores. Es necesario tener en consideración que son escasas las ocasiones en las que la compañía requiere energía de la red eléctrica, ya que el proceso es totalmente autosustentable energéticamente. También se cuenta con el registro diario de producto terminado.

El objetivo de esta sección es obtener los indicadores energéticos para realizar una comparación entre ellos, con el fin de, posteriormente, evaluar el desempeño energético y la eficacia del MGEN, a partir de la Norma ISO 50001: 2018.

Indicadores de desempeño energético para consumo eléctrico

Como primer punto se calculan los indicadores en función a la productividad, de forma que, al obtener el consumo de kWh por zafra y las toneladas de azúcar, tanto cruda como refinada, se obtienen los IDE (kWh / tonelada de azúcar procesada). Tener en consideración que se toma la energía generada por los turbogeneradores como la energía consumida es importante, ya que los turbogeneradores generan en función de la demanda y suplen, en condiciones normales, la energía total requerida por el proceso de fabricación. Además, se obtiene el índice de la energía generada por cada turbogenerador de forma independiente, para visualizar el impacto de cada turbogenerador en la productividad.

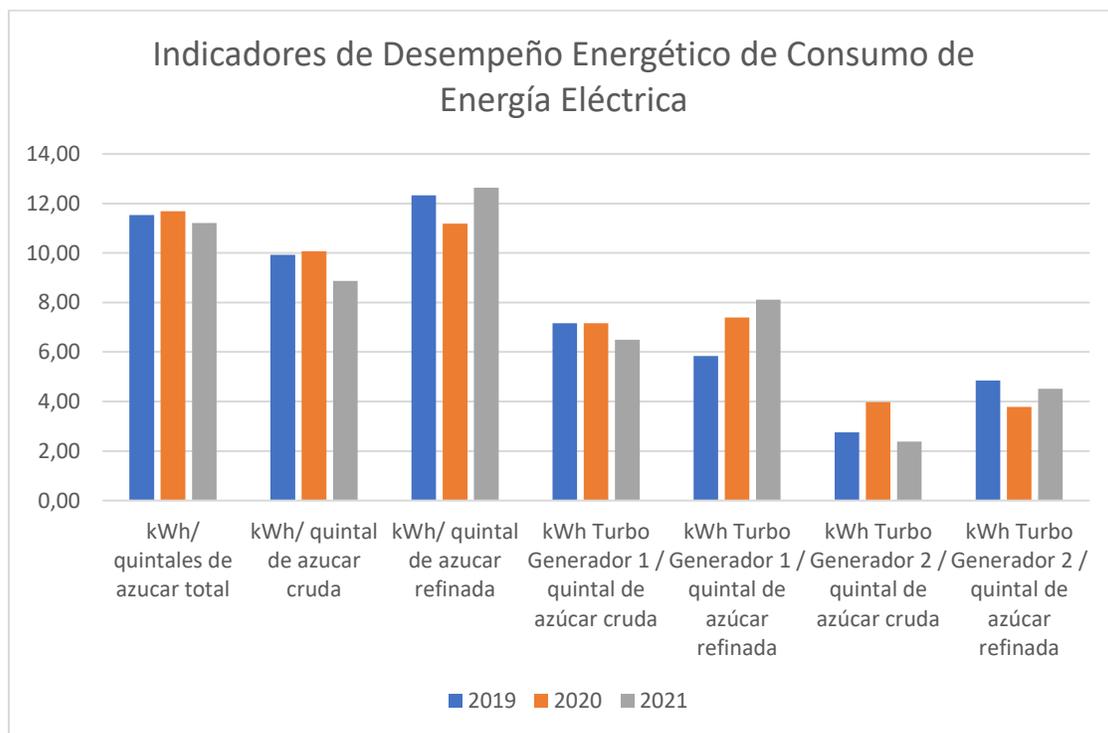
El estudio de productividad se realiza con base en los quintales de azúcar procesadas, puesto que es la unidad de medida de producción con la que la fábrica opera. Se realiza el estudio tanto de producto total como por producto específico (azúcar crudo y refinado), ya que las condiciones de consumo de energía eléctrica y de vapor para obtener cada producto son diferentes.

Para fabricar azúcar refinado, se requiere más energía que para fabricar azúcar crudo, debido a que entran en operación los mismos procesos requerido para obtener azúcar crudo, pero, adicionalmente, entran los equipos del proceso de refinado. Por esto, realizar un estudio del consumo de energía en función del total de producto terminado no refleja adecuadamente el desempeño energético.

Tabla 21. IDE de consumo de energía eléctrica.

Año	kWh/ quintales de azúcar total	kWh/ quintal de azúcar cruda	kWh/ quintal de azúcar refinada	kWh Turbo Generador 1 / quintal de azúcar cruda	kWh Turbo Generador 1 / quintal de azúcar refinada	kWh Turbo Generador 2 / quintal de azúcar cruda	kWh Turbo Generador 2 / quintal de azúcar refinada
2019	11,53	9,92	12,34	7,17	5,84	2,75	4,85
2020	11,68	10,07	11,18	7,17	7,40	3,98	3,78
2021	11,21	8,88	12,63	6,49	8,12	2,38	4,51
Promedio	11,47	9,62	12,05	6,94	7,12	3,04	4,38

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.



Gráfica 6. IDE de consumo de energía eléctrica

Fuente: Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

En la Tabla 21 y la gráfica 6 se muestran los IDE del consumo de energía eléctrica en el proceso de fabricación. Como era de esperar, el indicador de consumo de energía eléctrica

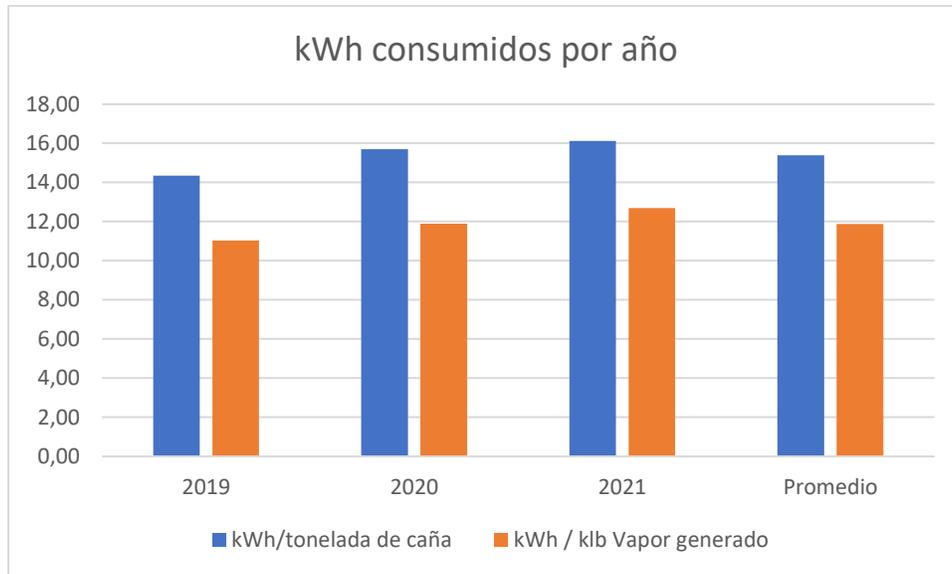
en función a las toneladas de azúcar es mayor cuando se trata de producir azúcar refinado en comparación al de producir azúcar crudo.

Adicionalmente, se desarrollan los IDE de la generación de energía eléctrica en función de las fuentes requeridas para su generación. Estas fuentes son la cantidad de caña que se procesa (ya que de esta se obtiene el bagazo requerido para el producir el vapor) y la cantidad de vapor generado.

Tabla 22. IDE de generación de energía eléctrica.

Año	kWh/tonelada de caña	kWh / klb Vapor generado
2019	14,35	11,04
2020	15,70	11,90
2021	16,13	12,69
Promedio	15,39	11,87

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.



Gráfica 7. IDE de generación de energía eléctrica

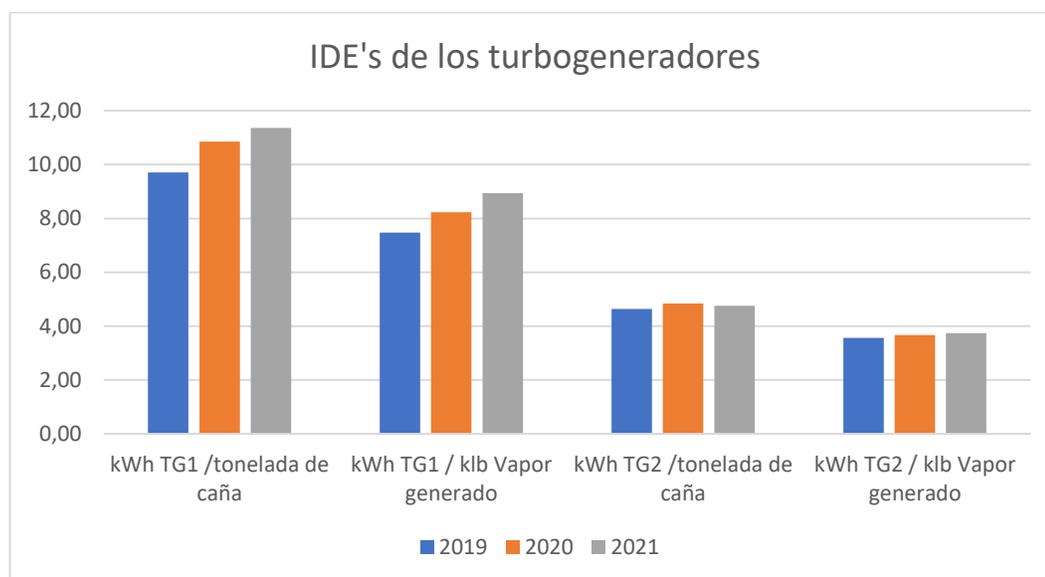
Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

La Tabla 22 muestra los IDE de la generación de energía eléctrica. Se muestra que el año más eficiente, en cuanto a generación de energía eléctrica, es el año 2019.

Tabla 23. IDE de los turbogeneradores.

Año	kWh TG1 /tonelada de caña	kWh TG1 / klb Vapor generado	kWh TG2 /tonelada de caña	kWh TG2 / klb Vapor generado
2019	9,71	7,47	4,64	3,57
2020	10,86	8,23	4,84	3,67
2021	11,37	8,94	4,76	3,75
Promedio	10,65	8,21	4,74	3,66

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.



Gráfica 8. IDE de los turbogeneradores por año.

Es recomendable definir también los IDE de los equipos críticos en el proceso de generación de energía. También se aconseja utilizar estos indicadores para todos los equipos que sean definidos como usos significativos de la energía.

A partir del consumo de energía eléctrica de cada uno de los procesos resumida en la Tabla 15, se realiza un estudio del consumo anual supuesto en comparación con la cantidad de producto terminado que abarca los 2 tipos de azúcar que se procesa, es decir, azúcar crudo y azúcar refinado y la cantidad de caña procesada anualmente. Con esto se obtienen los IDE de kWh anual/producto terminado y kWh anual/tonelada de caña. Para este cálculo se utilizan datos de la producción y consumo eléctrico del año 2021. Recordando que anualmente la fábrica trabaja en promedio 89 días al año. Se decidió utilizar la unidad de toneladas para la cantidad de productos, con el fin de realizar una comparación entre estudios de otras fuentes

Rato 1: kWh anual/tonelada de caña procesada anualmente.

Ratio 2: kWh anual/tonelada de producto terminado.

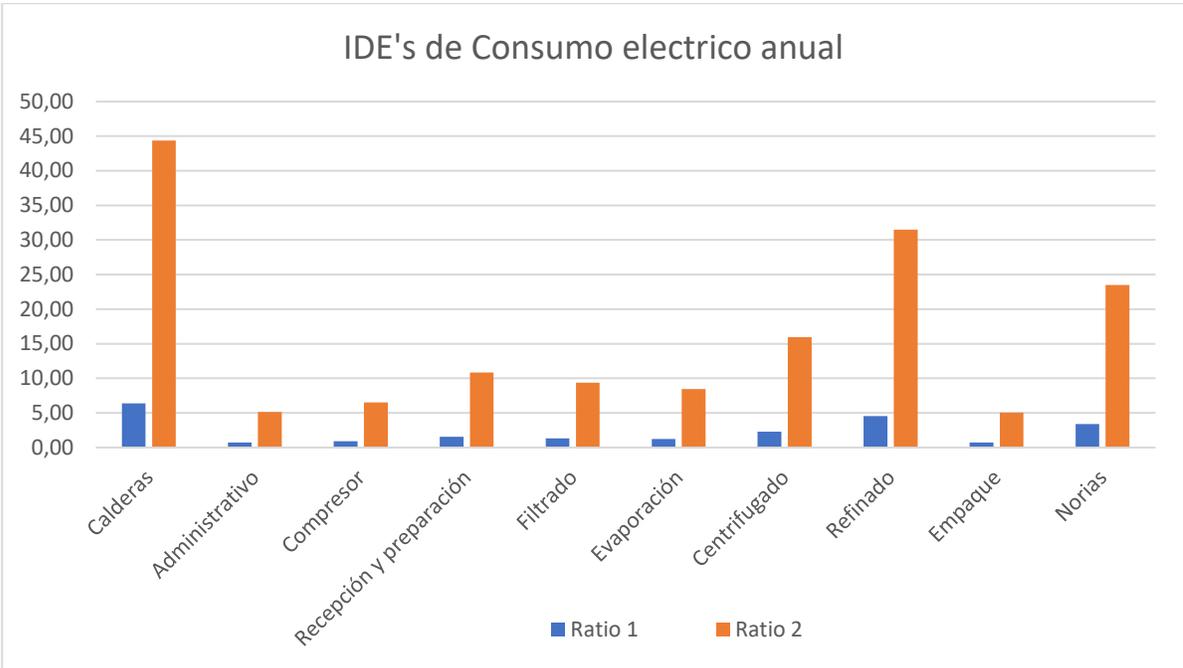
Tabla 24. IDE por proceso anual.

Proceso	Consumo anual (kWh)	Ratio 1	Ratio 2
Calderas	2 415 704,97	6,39	44,38
Administrativo	280 072,32	0,74	5,15
Compresor	355 703,81	0,94	6,54
Recepción y preparación	589 441,23	1,56	10,83
Filtrado	511 590,31	1,35	9,40
Evaporación	461 143,69	1,22	8,47
Centrifugado	867 259,67	2,29	15,93
Refinado	1 714 522,17	4,53	31,50
Empaque	273 958,67	0,72	5,03
Norias	1 277 744,36	3,38	23,48
Total	8 747 141,20	23,13	160,71

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

La Tabla 24 muestra los indicadores de consumo anual supuesto en función de la cantidad de producto terminado y de caña procesada a partir de los datos del 2021. Como era de

esperar, los equipos que más energía eléctrica tienen indicadores de consumo de energía más elevados que los que tienen menos impacto sobre el producto.



Gráfica 9. IDE de consumo eléctrico anual.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

En el análisis de las ratios presentadas en la Tabla 24 y la Gráfica 9 se observa que la ratio 1 (kWh/tonelada de caña procesada) representa mejor el proceso, ya que, a comparación de la ratio 2, sus valores no se encuentran tan dispersos. Este resultado es comparable con el obtenido en [20], se debe al desfase que puede tener la producción de azúcar con el procesamiento de la caña, es decir, se puede no estar procesando caña y el proceso puede estar produciendo azúcar.

- Ratio 1: kWh/t caña molida.
- Ratio 2: kWh/t productos elaborados.

	(consumo kWh)	Ratio 1	Ratio 2
Bombeo	4.588.632,00	6.13	43.76
Ventilación	1.498.032,00	2.00	14.29
Aire comprimido	523.584,00	0.70	4.99
Iluminación	29.088,00	0.04	0.28
Preparación de la caña	1.294.416,00	1.73	12.34
Molienda	530.856,00	0.71	5.06
Clarificado	436.320,00	0.58	4.16
Filtrado	894.456,00	1.19	8.53
Evaporado	690.840,00	0.92	6.59
Cristalización y centrifugado	2.501.568,00	3.34	23.86
Otros	669.024,00	0.89	6.38
Total	13.656.816,00	18.23	130.24

Cuadro 5.12: Indicadores de desempeño energético

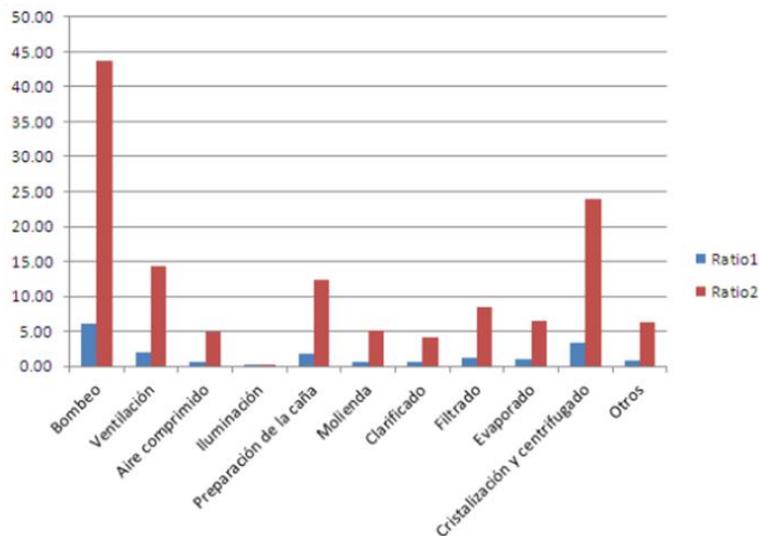


Figura 5.5: Ratios de consumo general. Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Indicadores de consumo energético por proceso según estudio.

Fuente: [20].

Indicadores de desempeño energético para el vapor

A continuación, se desarrollan los IDE en función a la generación del vapor anual. Se obtendrán los indicadores de generación de vapor, en función a la cantidad de caña procesada y los indicadores de generación de vapor, en función al producto procesado.

Tabla 25. IDE para el vapor.

Año	klb Vapor / ton de caña	kg de vapor / ton de caña	klb de vapor / Quintal de azúcar total producida	klb de vapor / Quintal de azúcar cruda	klb de vapor / Quintal de azúcar refinada
2019	1,30	589,68	1,04	0,93	1,07
2020	1,32	598,55	0,98	0,84	0,92
2021	1,27	576,58	0,88	0,71	1,00
Promedio	1,30	588,27	0,97	0,83	1,00

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

En la Tabla 25 se puede observar que el año más eficiente, en cuanto a generación de vapor, ha sido el año 2020 y, en cuanto a uso del consumo del vapor, ha sido el año 2021, al igual que con el caso del consumo eléctrico en el que el año 2021 ha sido el más eficiente.

El indicador de kg de vapor/tonelada de caña es un dato importante, ya que refleja la capacidad de generación de vapor de las calderas. [22] menciona que, bajo condiciones normales de operación, la eficiencia de generación de vapor por tonelada de caña está entre 500-600 kg de vapor/tonelada de caña. Además, [23] indica que la eficiencia de generación de vapor por tonelada de caña es de 1,0-1,7 klb de vapor/tonelada de caña. Con esto, se puede evidenciar que la eficiencia de generación de vapor de la empresa está dentro de los márgenes recomendados.

Establecimiento de las Líneas Base Energéticas

La Norma ISO 50006:2014 establece que LBE es una referencia cuantitativa que proporciona la base para una comparación del desempeño energético, esto indica que cada

indicador de desempeño energético debe contar con una línea base energético como una referencia para la evaluación continua.

A continuación, se presentan las LBE para los IDE de consumo de energía eléctrica y generación de vapor en función al producto terminado y la generación de energía. Considerando los indicadores energéticos, se selecciona un modelo de lineal ($y = mx + b$), donde “y” es la línea base, “b” la energía no asociada a la producción y “mx” la energía asociada a la producción.

El R^2 o coeficiente de determinación es la proporción de la varianza total de la variable explicada en la regresión y determina la bondad del ajuste del modelo a la variable que se pretende explicar. Un R^2 igual a 1 indica que el modelo explica toda la variabilidad de los datos de respuesta en torno a su media, en caso contrario un R^2 igual a 0 indica que el modelo no explica ninguna porción. Sin embargo, como menciona [26], el coeficiente de determinación de la regresión r^2 no puede considerarse el mejor parámetro para evaluar la linealidad de un procedimiento analítico y su sola determinación no es suficiente para este fin.

Tener en consideración que el modelo lineal es recomendado por la Norma ISO 50006:2014 y el criterio que establece para analizar la validez de los datos es la alineación que estos poseen respecto a la línea base y no así el valor que pueda tener el R^2 .

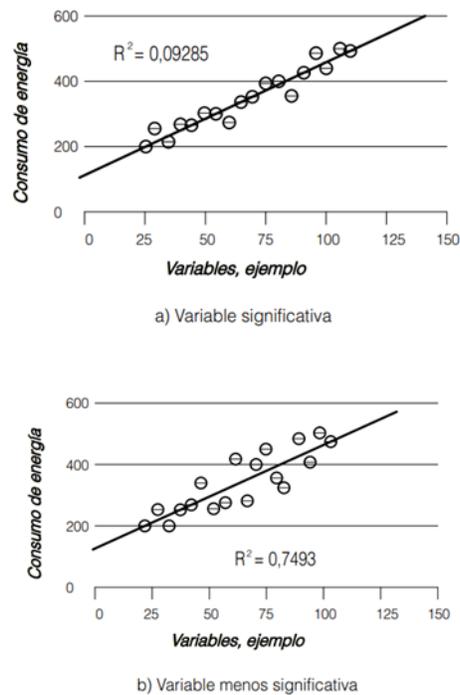


Figura 15. Variables con diferentes tipos de significancia.

Fuente: Norma ISO 50006:2014.

Línea base para el consumo de energía eléctrica por unidades producidas

Se realizan las líneas base a partir de los indicadores energéticos especificados en el año 2021. En los apéndices se presentarán las líneas base de los otros años, sin embargo, para mantener la fluidez del documento, se desarrollará solamente las del año 2021 en esta sección. Las líneas base se trabajará con quintales de producto, ya que es la unidad de medida que la compañía trabaja para registrar la producción diaria.

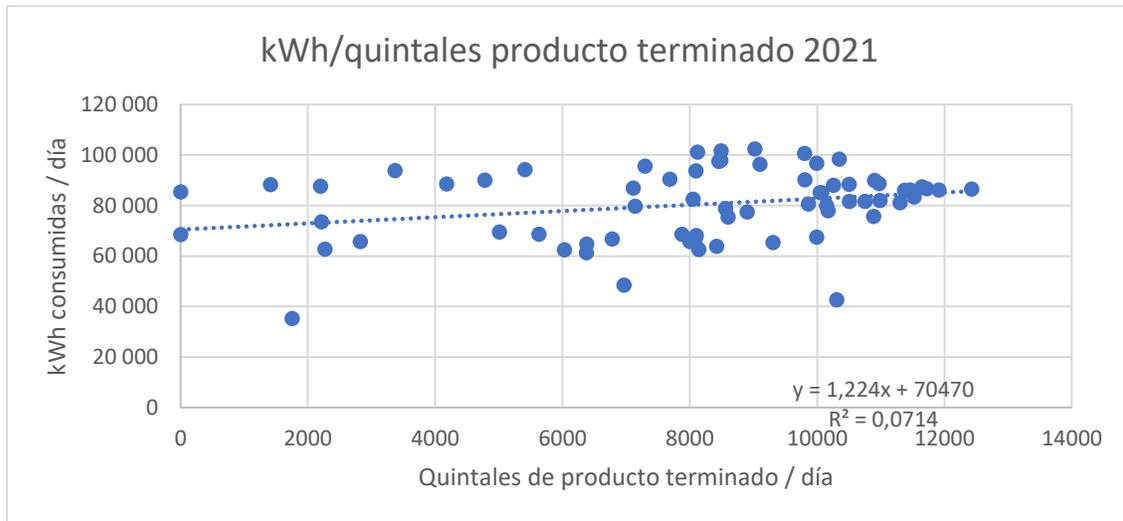


Figura 16. LBE kWh/quintal de azúcar terminado 2021

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

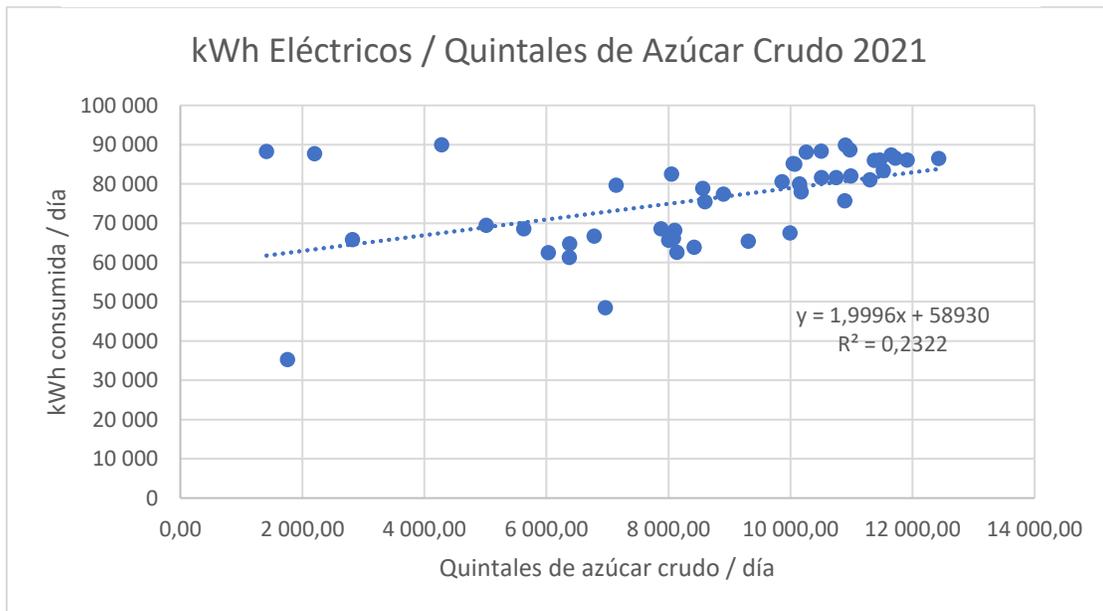


Figura 17. LBE kWh/quintal de azúcar crudo terminado 2021.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

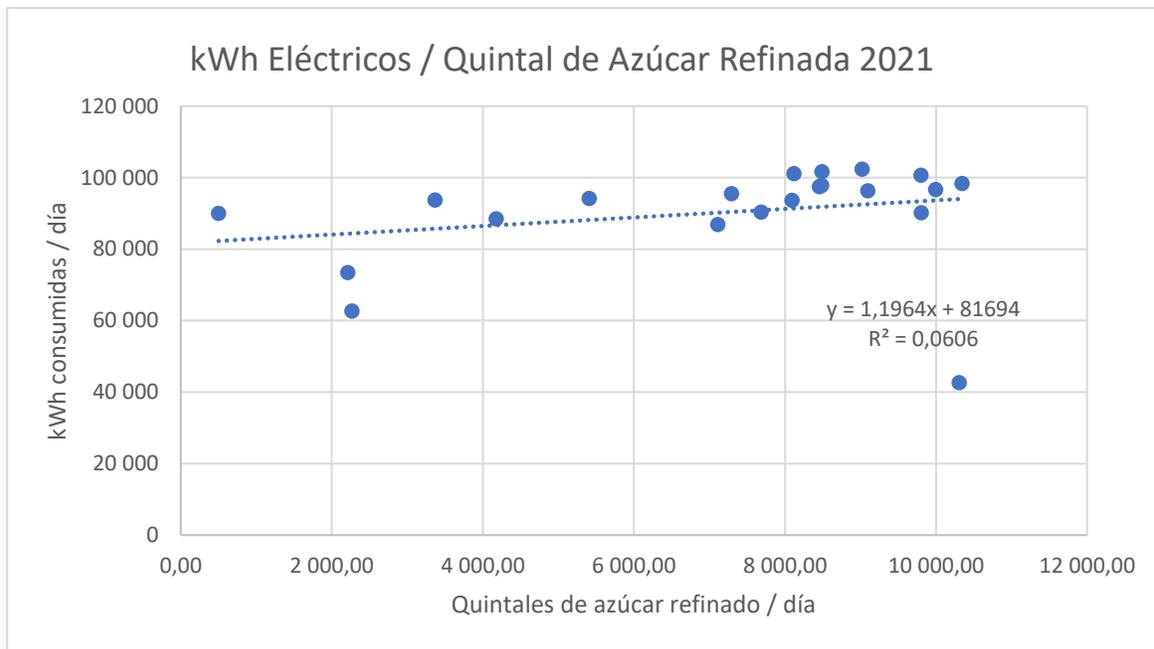


Figura 18. LBE kWh/quintal de azúcar refinado 2021.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Con las LBE podemos reflejar gráficamente el comportamiento de los IDE. Como se mencionó anteriormente, para el estudio del consumo de energía eléctrica en función al producto terminado (kWh/quintal de producto terminado), es recomendable realizar el estudio considerando cada producto de forma independiente. Como se muestra en la Figura 16, la dispersión de los datos es mucha en comparación con la Figura 17 y la Figura 18, en donde la dispersión de los datos es menor y refleja de mejor manera el comportamiento del consumo de energía, en función del producto.

Línea base de la generación de las turbinas por quintales de producto

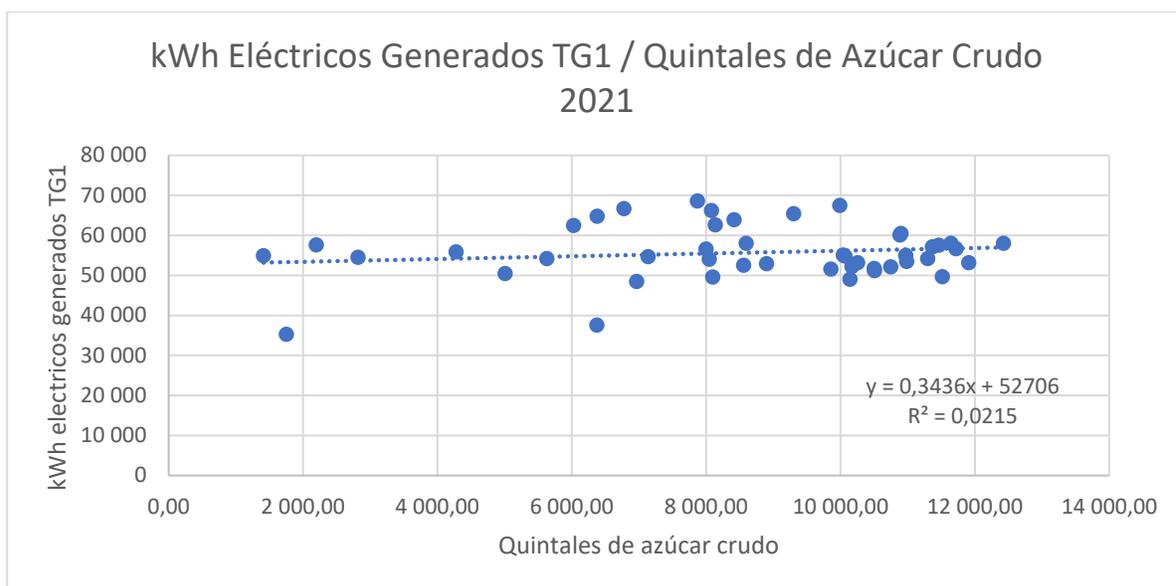


Figura 19. LBE kWh generados TG1/quintal de azúcar crudo 2021.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

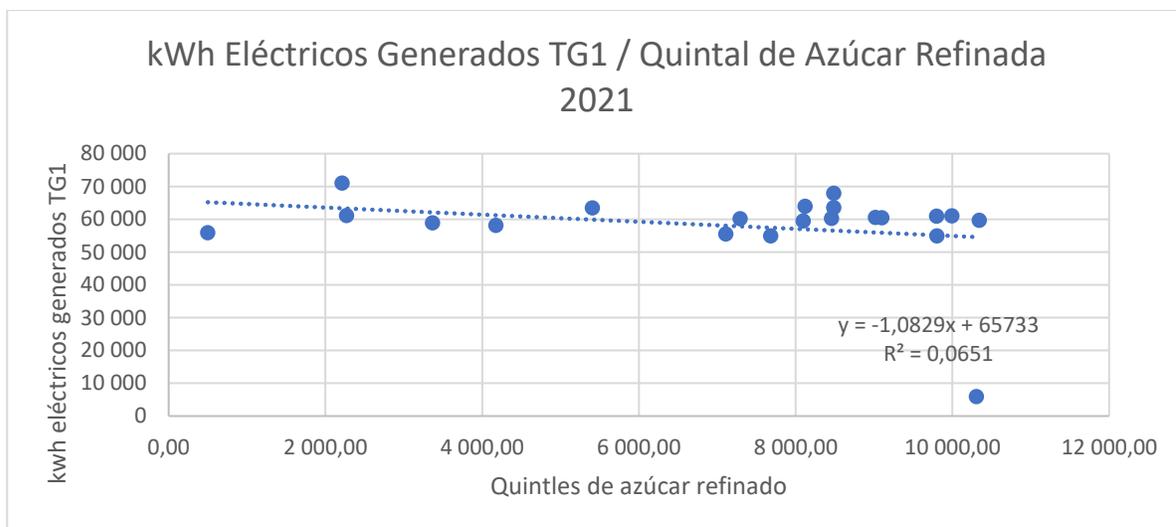


Figura 20. LBE kWh generados TG1/quintal de azúcar refinado 2021

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

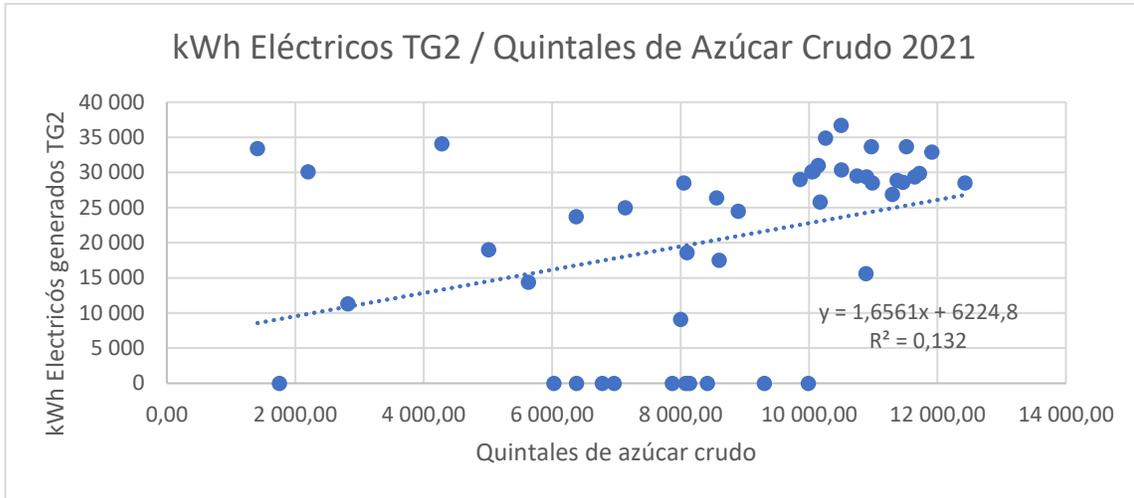


Figura 21. LBE kWh generados TG2/quintal de azúcar crudo 2021

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

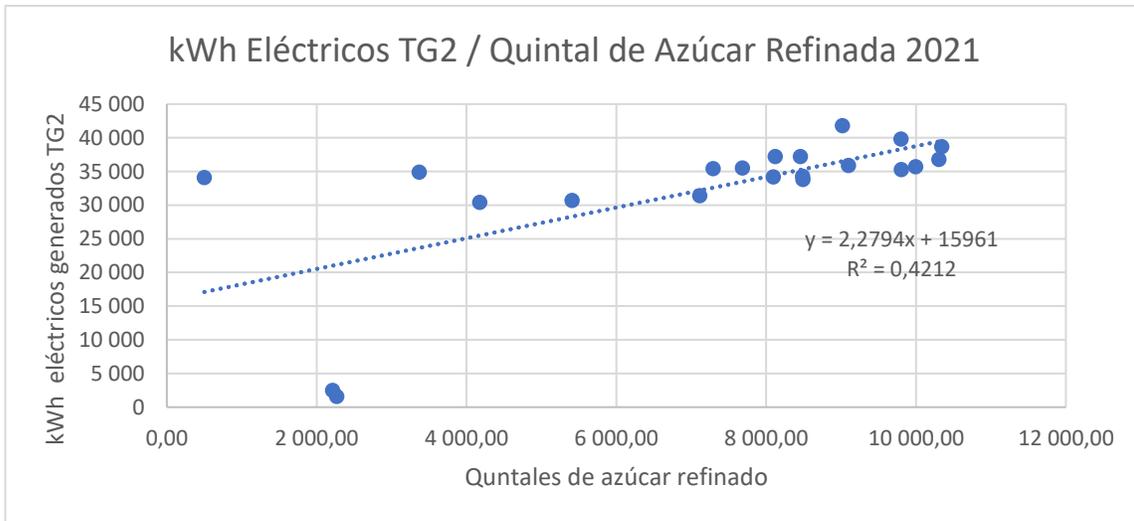


Figura 22. LBE kWh generados TG2/quintal de azúcar refinado 2021

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

A partir de las LBE de los turbogeneradores, se observa que el TG1 es el que posee una mayor relación con respecto a los quintales de producto generado. Recordando que este turbogenerador es el que genera el 60 % de la energía requerida en el proceso de producción, de igual forma, posee una mayor capacidad de generación

Líneas base de energía para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes primarias

Las LBE de la generación de energía eléctrica se desarrolla, a partir de las fuentes primarias de cantidad de caña procesada y la generación de vapor.

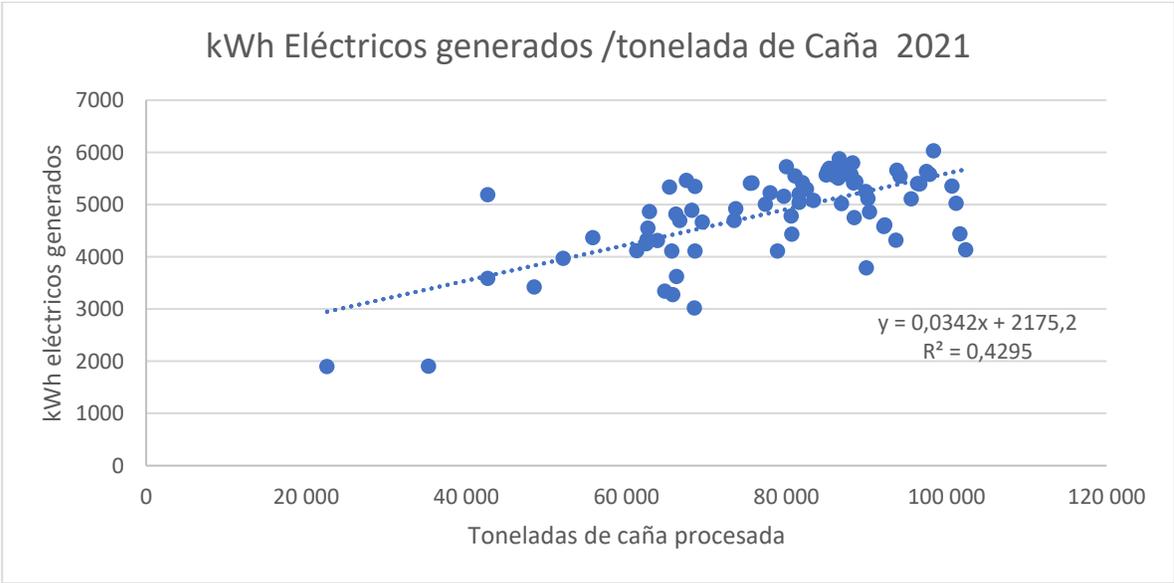


Figura 23. LBE kWh generados / tonelada de caña procesada 2021.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

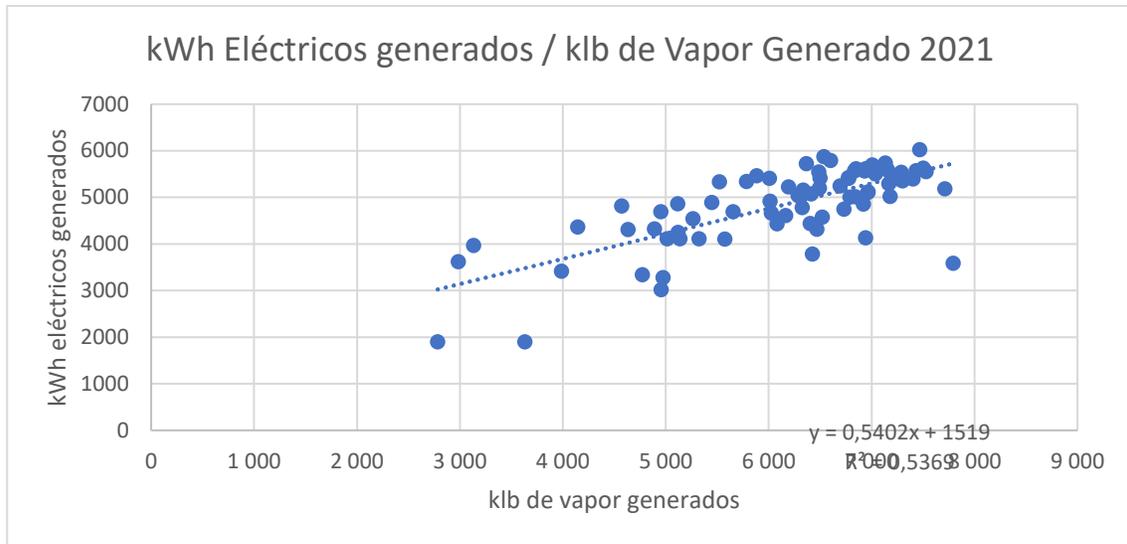


Figura 24. LBE kWh generados / klb de vapor generado 2021.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

En las figuras Figura 23 y Figura 24 se observa una mayor relación entre los datos, ya que, los datos se encuentran más próximos entre ellos y la línea de tendencia. Este comportamiento se compara con los datos obtenidos en la gGráfica 9 y la Tabla 24, en donde se muestra que hay mayor precisión de los datos cuando se compara la energía eléctrica en función a la generación, debido a las toneladas de caña procesada, que con la producción de producto terminado.

Líneas base para la generación y consumo del vapor

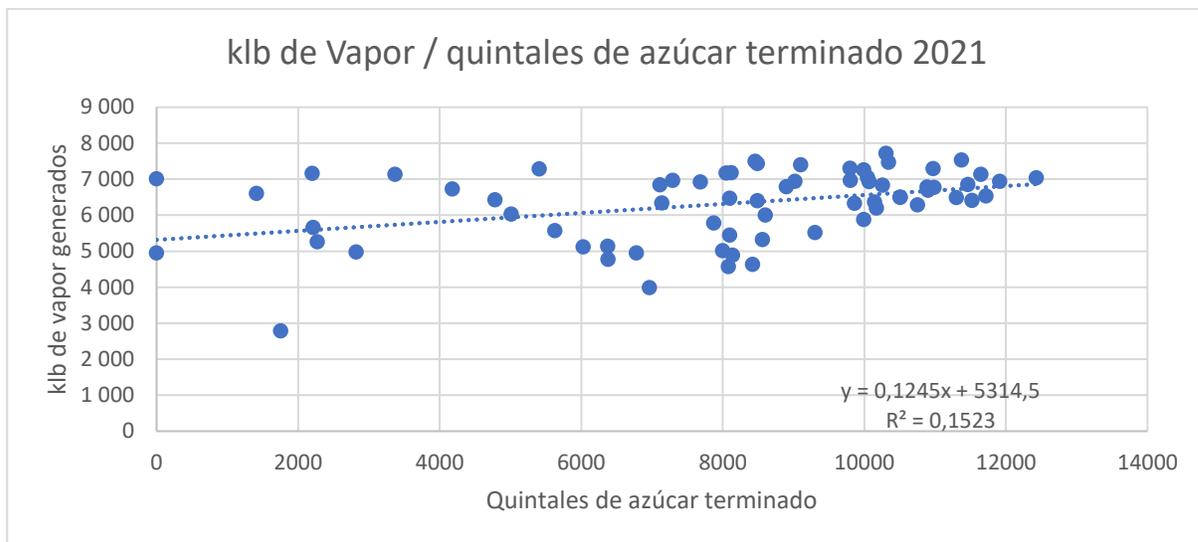


Figura 25. LBE klb de vapor generado / quintal de azúcar terminado 2021.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

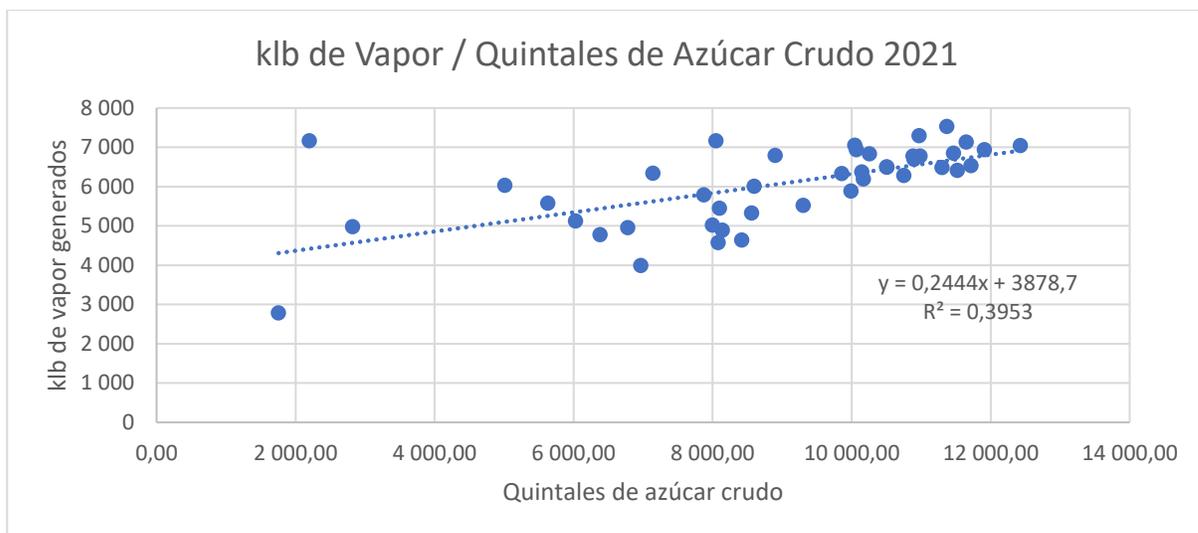


Figura 26. LBE klb de vapor generado / quintal de azúcar crudo 2021.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

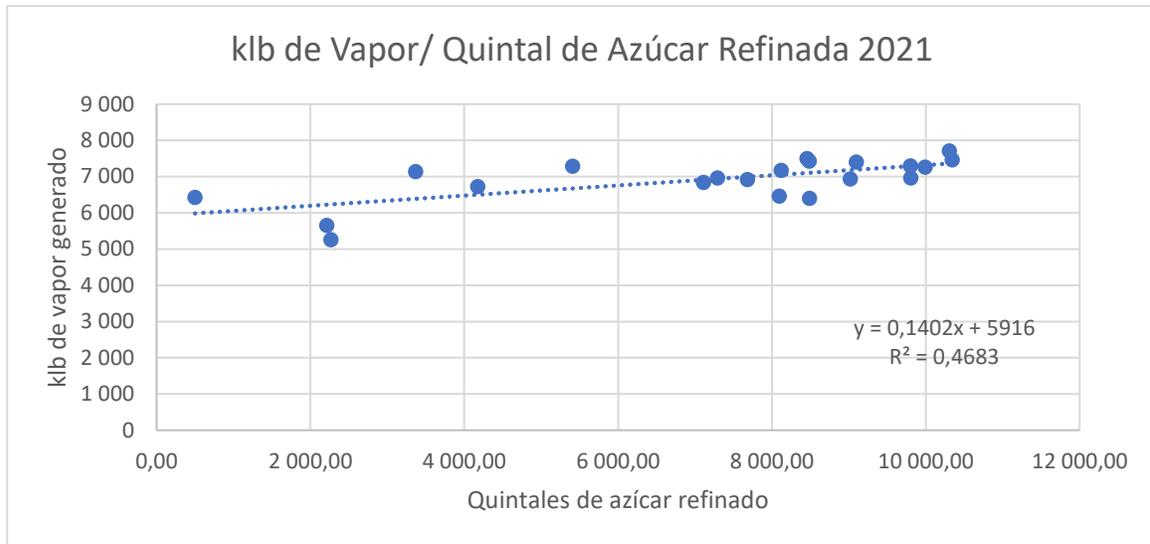


Figura 27. LBE klb de vapor generado / quintal de azúcar refinado 2021

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Como se muestra en las figuras anteriores, la generación de vapor en función del producto terminado posee una relación semejante a la del consumo de energía eléctrica, es decir, se refleja mejor la relación entre las variables si se estudia cada producto por separado, ya que el consumo de vapor para la generación de cada producto es diferente, pues la zona de refinado también requiere de consumo de vapor por los centrífugos y los tachos.

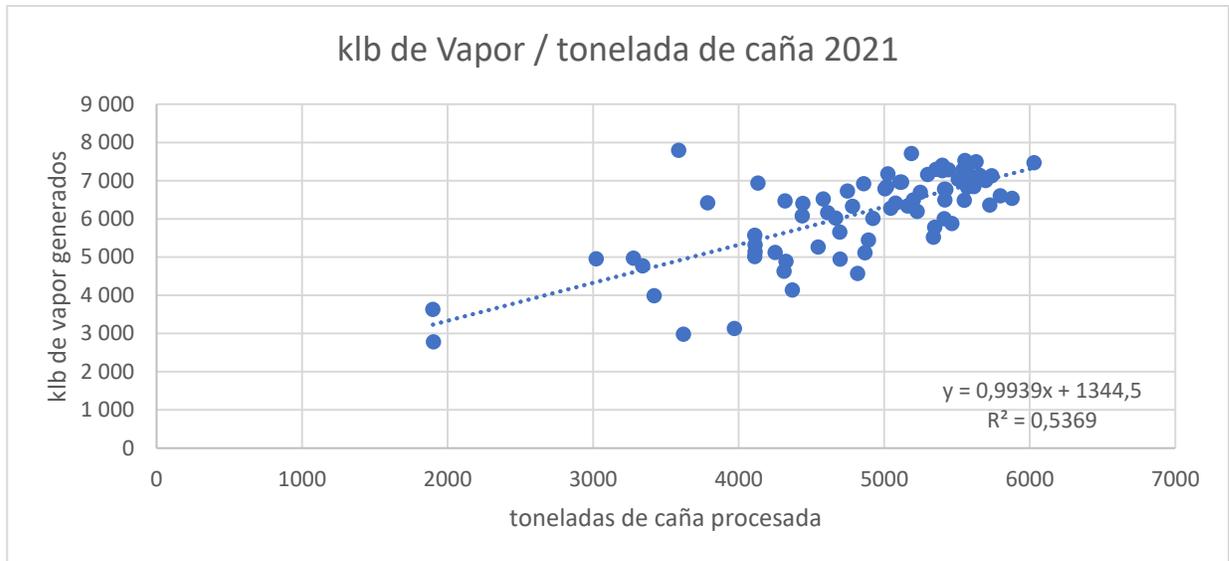


Figura 28. LBE Generación de vapor/tonelada de caña procesada 2021.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Como se muestra en la Figura 28, existe una relación estrecha entre el vapor generado y la cantidad de caña procesada. Este comportamiento es esperado, ya que son variables directamente relacionadas.

Tabla 26. Resumen de los IDE propuestos.

IDE
kWh TG1 / tonelada de caña
kWh TG2 / tonelada de caña
kWh TG1 / klb de vapor generado
kWh TG2 / klb de vapor generado
kWh equipo / tonelada de caña
klb de vapor/tonelada de caña
kg de vapor/tonelada de caña
kWh Preparación y Molienda / tonelada de caña
kWh Calderas / tonelada de caña
kWh Administración / tonelada de caña
kWh Filtrado / tonelada de caña
kWh Compresores / tonelada de caña
kWh Evaporización / tonelada de caña
kWh Centrifugado / tonelada de caña
kWh Refinado / tonelada de caña
kWh Empaque / tonelada de caña
kWh Norias / tonelada de caña

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

La Tabla 26 muestra los IDE propuestos para el desarrollo del SGE. Se puede observar que los IDE están basados en el consumo de energía eléctrica y de vapor a partir de las toneladas de caña procesada y no en función a la cantidad de producto terminado, esto es debido a la conclusión llegada por los resultados de los LBE, en la Gráfica 9 y la Figura 14. Las LBE presentadas en el desarrollo del capítulo representan un punto de partida, así como un material de insumo para el desarrollo e implementación del SGE para la próxima zafra.

Capítulo VII Plan piloto de sistema de monitoreo en tiempo real de consumo eléctrico

En este capítulo se desarrollará el prototipo del sistema de monitoreo. En este sistema de monitoreo se utilizará un módulo WIFI MOD ESP8266, la biblioteca de Adafruit y su plataforma virtual Adafruit.IO, programado mediante la interfaz de Arduino.

Construcción del prototipo

La construcción del prototipo se realiza en una *protoboard*, en la cual estarán conectados todos los componentes necesarios para la medición y procesamiento de los datos obtenidos de corriente y potencia. Los componentes necesarios están descritos en la Tabla 27.

Tabla 27. Lista de componentes del prototipo de medición.

Descripción del componente	Cantidad	Función
Módulo WIFI ESP8266	1	Procesar la información recibida del sensor y ser el medio de comunicación con la web
Sensor de corriente SCT-013-000 100 A	1	Medir la corriente alterna del equipo de forma no invasiva
Protoboard	1	Ser el medio de conexión de los componentes
Resistencias	3	Protección de los equipos electrónicos
Condensador	1	
Cables		Comunicar los componentes
Batería 9V	1	Alimentar el circuito

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

En la Tabla 27 se muestran los componentes necesarios para la construcción del prototipo de monitoreo. El Módulo WiFi ESP8266 es un componente que permite procesar la información y enviarla vía internet a un servidor web de Adafruit.IO. Mediante la biblioteca de Adafruit que se programa en el entorno de desarrollo integrado de Arduino. La señal es captada por el sensor de corriente SCT-013-000 y procesada por el Módulo WiFi. Para ajustar la señal del sensor se emplea un potenciómetro, de forma que pueda emplearse en equipos de capacidades diferentes.

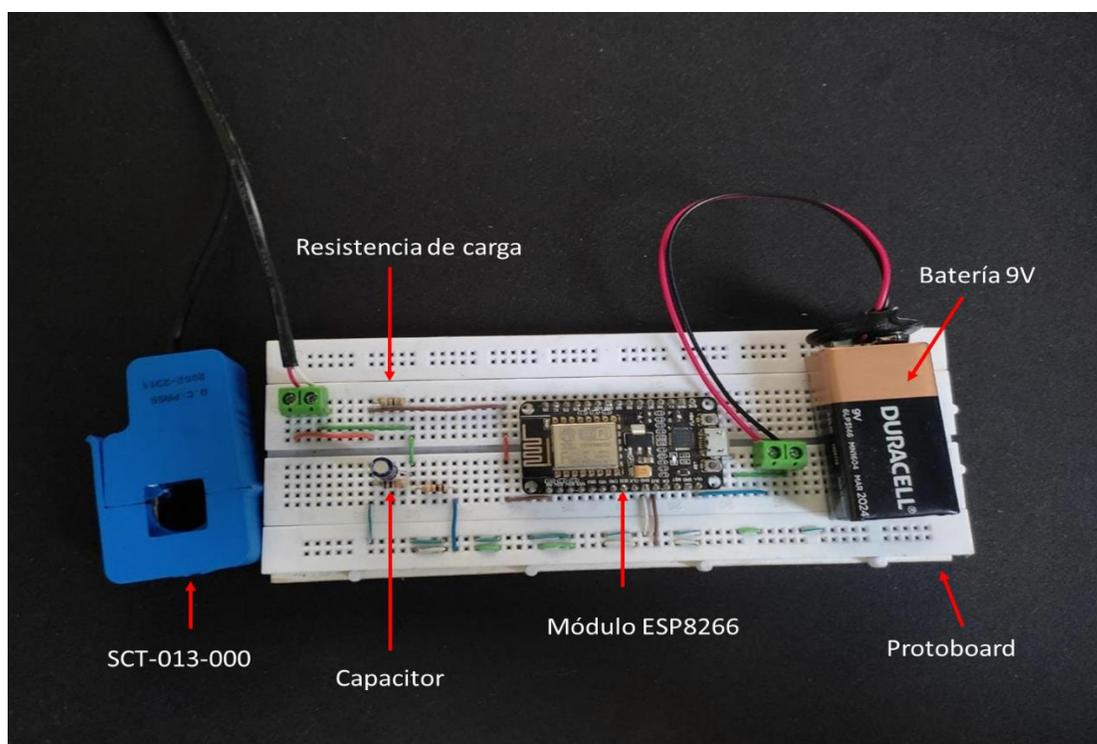


Figura 29. Prototipo de Sistema de monitoreo en tiempo real.

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la Figura 29, el prototipo cuenta con una alimentación por medio de una batería de 9V para permitir la alimentación remota del prototipo. El módulo WiFi ESP8266 cuenta con un regulador de voltaje interno que permite emplear este tipo de alimentación.

Configuración según el equipo a medir

Para la programación en el entorno de desarrollo integrado en Arduino para el procesamiento de los datos, se utilizó la biblioteca de EmonLib (ver Figura 74 y Figura 75) para código de programación.

Datos de la bomba de magma:

- Potencia: 20 HP; 14.9 kW.
- Voltaje: 460 V.
- FP: 0,8.

Con estos datos, se computan las corrientes necesarias para calcular la resistencia de la carga para el prototipo.

$$P \text{ trifásica} = VL * IRMS * FP * \sqrt{3}$$

La corriente I_{RMS} es la corriente aproxima que se va a medir en el equipo:

$$I_{rms} = \frac{P \text{ trifásica}}{VL * FP * \sqrt{3}}$$
$$I_{rms} = \frac{14.9 \text{ kW}}{460 \text{ V} * 0.8 * \sqrt{3}}$$
$$I_{rms} = 23.39 \text{ A}$$

Se calcula a continuación la I_{Pico} .

$$I_{pico} = I_{rms} * \sqrt{2}$$
$$I_{pico} = 23.39 \text{ A} * \sqrt{2}$$

$$I_{pico} = 33.09 A$$

El sensor SCT-013-000 opera como un transformador, por lo tanto, es necesario conocer la relación de vueltas para poder calcular la corriente del devanado secundario. Según los datos de placa del fabricante del sensor, este tiene 2000 vueltas en el devanado secundario y 1 vuelta en el devanado principal. La siguiente fórmula relaciona las corrientes de los devanados.

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

Se despeja la corriente del devanado secundario:

$$I_s = \frac{N_p * I_p}{N_s}$$
$$I_s = \frac{1 * 33.09 A}{2000}$$
$$I_s = 0.0165A$$

Para el cálculo de la resistencia de la carga, es necesario tener en consideración el voltaje de referencia de la tarjeta de procesamiento que se va a utilizar. En el caso del NodeMCU ESP8266, el voltaje de referencia (Vref) es de 3,3V. El Vref nos informa del voltaje máximo que podemos medir en una entrada analógica.

Aplicamos la ley de Ohm para calcular la resistencia de la carga. Como todavía se tiene una onda senoidal que varía de positivo a negativo, se debe dividir por la mitad el voltaje de referencia para el cálculo de las resistencias.

$$R_{carga} = \frac{\frac{V_{ref}}{2}}{I_s}$$

$$R_{carga} = \frac{\frac{3.3}{2}}{0.0165}$$

$$R_{carga} = 99.72 \Omega$$

Se debe ajustar a una resistencia que se encuentre en el mercado. Esta puede ser de un valor fijo o colocar múltiples resistencias en serie. En el caso de este proyecto se emplea una resistencia fija de 100 Ω . Se podría emplear también potenciómetros que permitan ajustar las cargas para diferentes equipos con distintas capacidades.

Posterior a tener la resistencia de la carga, se debe calcular el coeficiente de corrección del en la programación. Este factor se realiza para ajustar los valores del sensor y asegurar que estén lo más precisos posibles. Se tiene en consideración los rangos de medición del sensor, los cuales se obtienen de los datos del fabricante.

$$\text{Factor de corrección} = \frac{\frac{100}{0.05}}{R_{carga}}$$

$$\text{Factor de corrección} = \frac{\frac{100}{0.05}}{99.72}$$

$$\text{Factor de corrección} = 20.05$$

Pruebas del sistema de monitoreo

Para comprobar si el sistema de monitoreo es funcional y preciso, es necesario realizar pruebas de campo. Para esto, se instala el dispositivo y se comparan los datos obtenidos con un equipo de medición de alta precisión. Una vez comprobada la precisión del prototipo, este es instalado y se mantiene monitoreando. El equipo utilizado fue un multímetro Fluke 323 True RMS.



Figura 30. Equipo de medición utilizado para comparar valores.

Fuente: Fuente: Elaboración propia.

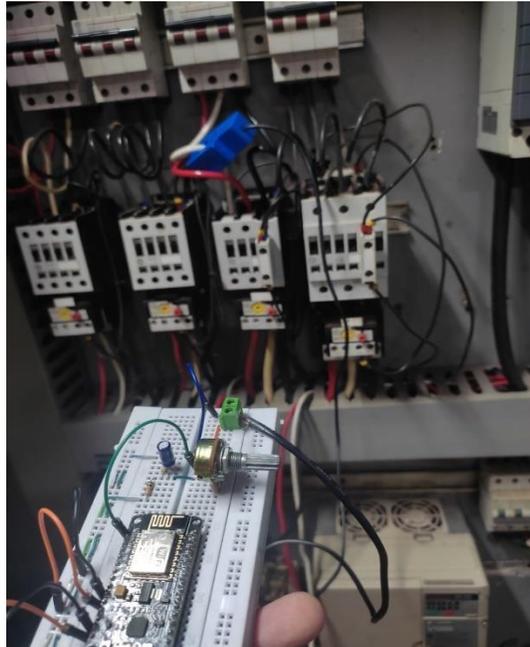


Figura 31. Instalación del prototipo de monitoreo.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Para el monitoreo de los equipos, se realizan mediciones cada 5 segundos. Estos datos son almacenados en las bases de datos de Adafruit.IO y pueden ser visualizadas en tiempo real, o bien filtrar el historial de los datos para observar los valores en instantes específicos.

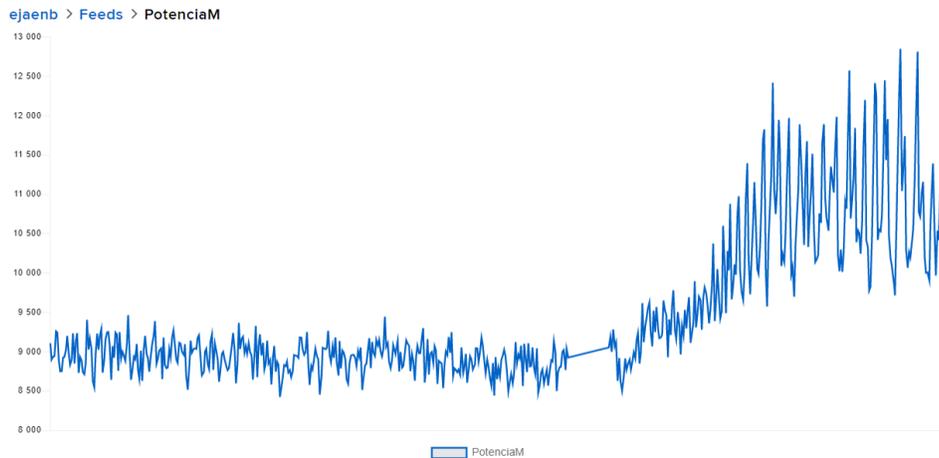


Figura 32. Consumo de Potencia (kW) de la Bomba de Magma.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

La Figura 32 muestra el consumo de potencia de la bomba de magma de la centrifuga B. Como se observa en la figura, hay un cambio en el consumo de potencia de la bomba en función a la operación de la centrifuga B. El periodo de muestra que se muestra en la figura es de 1 hora y empieza desde la 2:09 p.m. hasta las 3:06 p.m. del 18 de marzo del 2022.

La centrifuga B no se encontraba operando durante la primera hora de la medición, lo que permite observar que la bomba opera aun cuando no es necesario que opere. Aproximadamente a las 2:45 p.m. la centrifuga B empieza a operar y es cuando se observa un aumento progresivo en el consumo de potencia de la bomba, al estar bombeando producto hacia los tanques de magma.

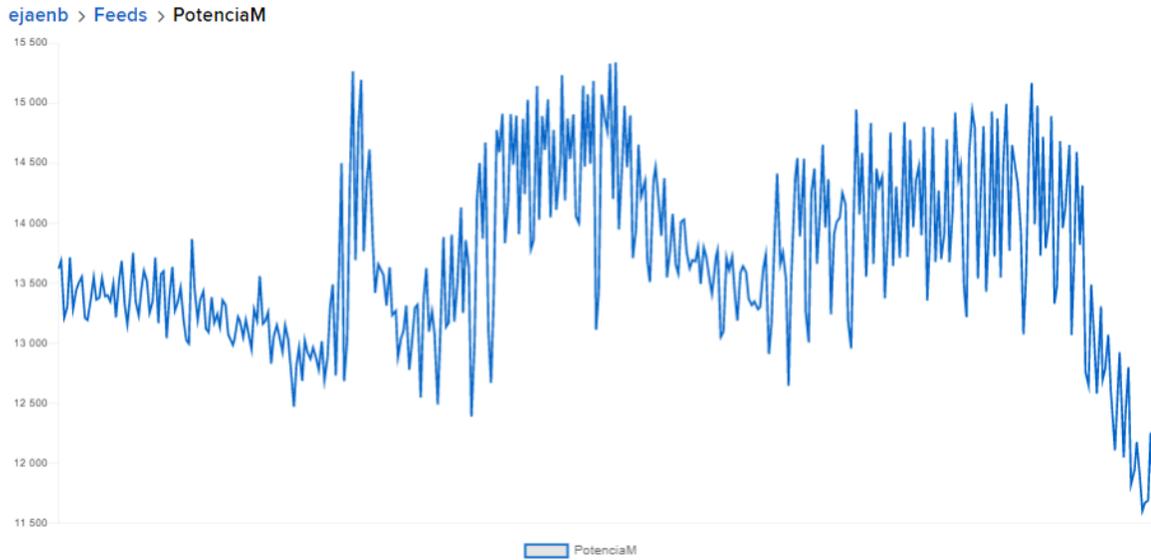


Figura 33. Consumo de Potencia (kW) de la bomba de magma en operación.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

En la Figura 33 se observa el comportamiento de la bomba durante la operación, cuando se encuentra trasegando producto hacia los tanques de magma. Bajo esta condición de operación, la bomba operaba a máxima capacidad de producción, por lo que se observa un consumo de potencia significativo, teniendo en consideración que es una bomba de 20 Hp.

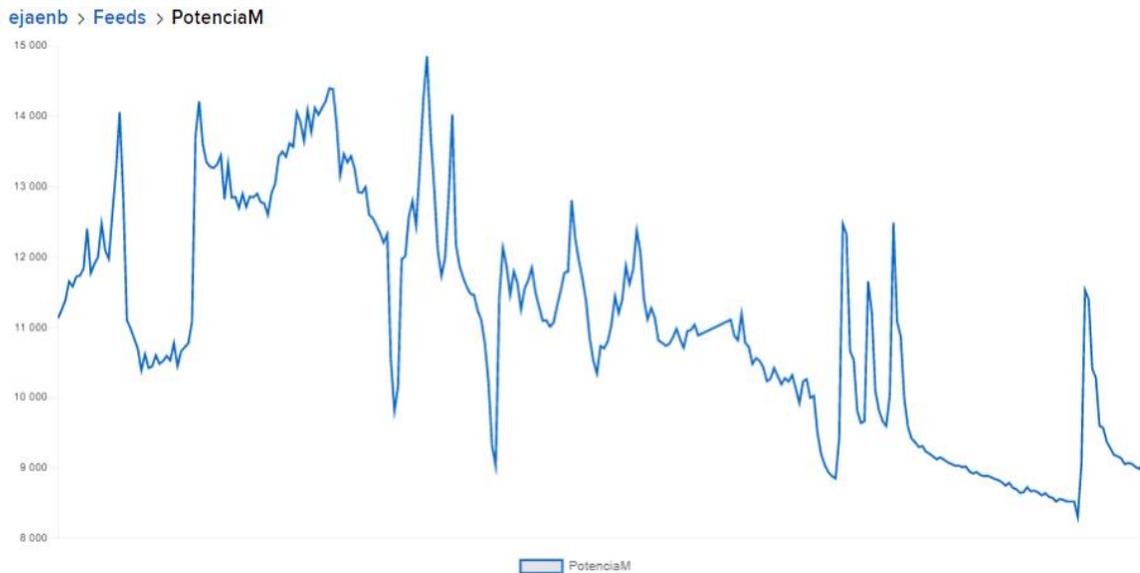


Figura 34. Consumo de potencia (kW) de la bomba de magma durante mañana de operación.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

En la Figura 34 se muestra el comportamiento del consumo de potencia de la bomba durante una jornada matutina (7:40 a.m. hasta las 12:40 p.m.). Se puede observar el comportamiento del consumo de potencia cuando la bomba está operando en recirculación del producto y posterior empieza a operar la centrifuga B, por lo que empieza a trasegar producto. Los picos de consumo se deben a que realizan ajustes en las válvulas de entrada y salida de la bomba, para regular el flujo de producto.

Mejoras a futuro para el sistema de monitoreo

Se plantean mejoras a futuro, ya que, debido a que es un plan piloto, es posible realizar mejoras estéticas y operacionales tanto al prototipo como en la compañía.

- Medir voltaje en tiempo real: el prototipo contempla que el voltaje es constante a 460 V, sin embargo, no lo es. Medir el voltaje y ajustar las mediciones en función al voltaje variable permitiría afinar más la precisión de los datos obtenidos. Esto permitiría obtener también en tiempo real el factor de potencia y otros valores.
- Alimentación del dispositivo: el prototipo es alimentado por medio de una batería de 9 V, no obstante, este sistema de alimentación requiere supervisar la batería del equipo para asegurarse de que no se agote y por lo tanto no se apague.
- Conexión WiFi dentro de la fábrica: el prototipo funciona con una conexión internet para enviar los datos captados para que estos sean visibles y almacenados. Sin embargo, en la fábrica no hay conexión internet que permita el envío constante de los datos. Se recomienda instalar dispositivos de internet inalámbricos que permita la conexión del dispositivo y de otros equipos.
- Estética del prototipo: el prototipo está instalado en una *protoboard*, esto requiere que el espacio que necesita sea mayor al que se puede obtener soldando los componentes a una placa base. Esto, además de disminuir el espacio ocupado por el dispositivo, también brinda una mayor seguridad de que algunos componentes o cableado sean expuestos a ser soltados de su posición por un accidente o mala manipulación del dispositivo.

- Conectar más dispositivos: teniendo una red inalámbrica WiFi, es posible conectar más dispositivos, lo que permitiría tener más conocimiento y control sobre las condiciones de operación de equipos de gran relevancia en el proceso de producción.

Costo de implementación de un sistema de monitoreo

Para el análisis del costo de implementar un sistema de monitoreo en tiempo real de las condiciones de operación de los equipos, se tomará en consideración el costo de adquisición de los componentes del equipo de monitoreo y de las capacidades de la plataforma web de almacenamiento y visualización de los datos. También se realizará la comparación con otros equipos de funcionamiento semejante en el mercado.

Costo de adquisición de los componentes del prototipo

Los componentes utilizados poseen disponibilidad en territorio nacional y son adquiridos fácilmente en tiendas electrónicas.

Tabla 28. Costo de adquisición de los componentes.

Equipo	Costo (\$)
Módulo WIFI NODE ESP8266	5,33
Sensor de corriente SCT-013	9,50
Cables	1,00
Resistencias	0,60
Protoboard	3,50
Batería 9V	4,29
Capacitor	0,25
Total	24,47

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Como se observa en la Tabla 28, el prototipo tiene un costo de adquisición de \$24,47 dólares.

Costo de la plataforma web de monitoreo y almacenamiento de la información

Como se mencionó anteriormente, como plataforma virtual se está utilizando Adafruit.IO, esta es una plataforma que está vinculada con la biblioteca de Adafruit en la librería de Arduino. Esta plataforma cuenta con una versión gratuita y una versión de paga. Se debe considerar el tamaño del sistema de monitoreo deseado para evaluar la adquisición de la versión necesaria.

Tabla 29. Diferencia entre versiones Adafruit.IO

Versión	Gratuita	Pago
Puntos de dato por segundo	30	60
Días de almacenamiento	30	60
Tiempo de acción	15	5
Dashboards	5	Ilimitados
Grupos	5	Ilimitados
Feeds	10	Ilimitados

Fuente: Elaboración propia. Excel

La versión de paga brinda la oportunidad de instalar una cantidad ilimitada de dispositivos y variables al sistema de monitoreo en tiempo real, lo que, a una gran escala, es recomendable adquirir esta versión. La versión de paga tiene un coste de \$99,00 anuales o \$10,00 mensuales. Hay que tomar en consideración, si se requiere utilizar únicamente durante el

periodo de zafra que dura aproximadamente 3 meses, esto reduciría el costo por la plataforma web.

Oportunidad de ahorro con la implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real

El monitoreo en tiempo real permite conocer las condiciones de operación de un equipo, lo que facilita la toma de decisiones basadas en las condiciones en las que este opera. Una de las oportunidades de ahorro de energía que un monitoreo en tiempo real brinda es la de detectar tiempos de operación innecesarios de un equipo. Como se observa en los gráficos de consumo de potencia de las Figura 32, Figura 33 y Figura 34, la bomba de magma tiene tiempos de operación en las que opera en vacío, ya que bombea producto únicamente cuando las centrífugas B están operando. Este tiempo de operación en vacío de la bomba significa una demanda aproximada de 9 kW y puede tener un tiempo de operación en vacío de aproximadamente 6 horas diarias, lo que significa un consumo de 54 KWh diarios.

Actualmente, para la compañía este valor no representa un gasto en la factura eléctrica, puesto que el proceso es autosustentable, sin embargo, con el objetivo, a futuro, de realizar un cambio para la venta de energía a la red, este consumo innecesario de energía puede significar una reducción en la oportunidad de obtener ingresos.

El modelo tarifario que la compañía maneja a nivel de servicio eléctrico es MTD en alta tensión, con la compañía EDEMET, lo cual, según la ASEP, tiene una tarifa de \$0,14/ kWh.

Si se controlara los tiempos de operación de esta bomba, apagándola durante el tiempo que opera en vacío se reduciría un consumo mensual de aproximadamente 1620 kWh, lo que, teniendo en consideración la tarifa, significaría una pérdida de \$226,00 mensuales y

considerando que se reconoce únicamente el 25 % de la energía suministrada a la red, según el reglamento de la ASEP, sería un total de \$56,70 mensuales.

A pesar de que la demanda de potencia causada por el arranque de un motor es mayor que la demanda de potencia durante la operación, este factor no es un inconveniente para equipos con las condiciones de operación como el de esta bomba, ya que, debido a su demanda, no significa un problema para la capacidad de generación de potencia del sistema, pues el sistema tiene la capacidad de suministrar potencia adicional a la requerida. Además, tampoco representa un inconveniente para la oportunidad de venta de energía a la red, ya que el reglamento de la ASEP para venta de energía a la red de distribución se limita únicamente al consumo en kWh y no a la demanda máxima del sistema.

Es conocido que existen otros equipos con condiciones de operación similares al equipo del caso de estudio como las bombas de magna de las demás centrífugas, no obstante, se puede profundizar con equipos más robustos que signifiquen una oportunidad de ahorro mayor al del equipo estudiado.

Capítulo VIII Desarrollo del cuadro de mando integral

El CMI o *Balanced Scorecard* fue desarrollado por Robert Kaplan y David Norton en 1996.

El Cuadro de mando integral es un conjunto de medidas derivadas a partir de las estrategias de la empresa. Las medidas seleccionadas para formar el cuadro de mando representan una herramienta que los líderes pueden usar para comunicar a los empleados y a las partes interesadas externas los resultados y los impulsos a los que la empresa recurrirá para alcanzar su misión y sus objetivos estratégicos [19].

El CMI establece los indicadores financieros y operacionales de las estrategias de la empresa desde una perspectiva financiera, cliente, de procesos internos y de aprendizaje y crecimiento.

En este capítulo se plantea un CMI para la empresa, en la que se refleje el impacto en la rentabilidad del negocio con la implementación del MGEN propuesto en este proyecto, a partir de un enfoque consumo energético. Se establecen las fórmulas necesarias para el cálculo de los indicadores y los datos para valorarlos por medidas de referencia como alto, medio y bajo.

Como parte del MGEN, es necesario un compromiso y liderazgo por parte de los altos mandos para asegurar el cumplimiento de los objetivos propuestos y asegurar una mejora continua del MGE. Con este fin se propone formar un comité de gestión de energía que se asegure del seguimiento y que esté formada por los distintos departamentos de la empresa.

Perspectiva cliente

Según [19], esta representa qué acciones se deben tomar en cuenta para alcanzar la visión de la empresa teniendo en cuenta como somos vistos por el cliente. El objetivo de esta etapa es satisfacer las necesidades del cliente a corto, mediano o largo plazo. Entre las estrategias más comunes para satisfacer las necesidades está la “estrategia de excelencia operacional”, la cual consiste en obtener la mejor relación calidad-precio, conseguir el mejor coste total, siempre con calidad y funcionalidad.

Para este punto, se establecen 2 indicadores con el objetivo de satisfacer las necesidades del cliente. Estos indicadores son: disponibilidad del producto y costo del producto.

Costo del producto (1 PC)

Conocer el coste de producción de un producto, o en nuestro caso, de un quintal de azúcar, es posible gestionar el precio de venta del producto a un precio razonable y accesible para el cliente, aumentando la competitividad del negocio ante otras marcas. Si gestionamos la energía utilizada en el proceso utilizando el MGEN, es posible obtener una disminución del costo de producción del producto, permitiendo obtener resultados positivos en este indicador.

El periodo de este indicador se plantea para ser realizado anualmente, con el fin de visualizar el impacto de los demás indicadores sobre el costo total del producto.

La fuente de información de este indicador es el comité de gestión de energía, ya que son los que brindan la información sobre el costo energético asociado con producción, y los responsables del desarrollo del indicador son el departamento de ventas como encargados de la gestión del precio y el mercado. La fórmula para calcular este indicador es:

$$Efectividad\ de\ costo = \frac{Costo\ unitario\ anterior}{Costo\ unitario\ nuevo} * 100$$

Se tiene como base del indicador un valor de 100 %, ya que considera que el costo del producto no ha variado. A partir de este, se tiene que un valor mayor a 100 % es un valor alto, y que significa que hay un beneficio sobre el costo del producto, y bajo si es menor a 100 %, lo que significa que no hubo mejora en el proceso.

Perspectiva financiera

Según [19], la perspectiva financiera establece cómo deberíamos ser vistos desde el punto de vista financiero por los inversionistas y la alta gerencia. Teniendo en cuenta el objetivo del proyecto que es el MGEN, se plantea que debemos ser vistos como una empresa eficiente en sus procesos de producción desde el punto de vista energético, con el menor costo de producción posible. Por lo tanto, esta perspectiva tiene como objetivo reducir el consumo energético en el proceso de producción y operación. Para esto, se establece como indicador la cantidad de proyectos enfocados a la gestión de energía que se plantean y realizan anualmente.

Proyectos de ahorro energético (1 PF)

Este indicador mide la cantidad de proyectos enfocados al ahorro y gestión energética que se realizan. Se establece un periodo de medición de un año. La fuente de información de este indicador es el comité de gestión de la energía, ya que son los encargados de evaluar cuáles son los procesos que se deben mejorar y las oportunidades de mejora que se pueden ejecutar. Como encargados de llegar a cabo estos proyectos están el departamento de mantenimiento e ingeniería, como encargados de la planificación, organización y ejecución de proyectos.

Como valor de medición, se tiene la cantidad de proyectos enfocados en la gestión de la energía y se propone un valor de > 3 proyectos anuales como un indicador alto; entre 3 y 1

proyectos como un indicador medio y ningún proyecto realizado, es decir 0, en el año como un indicador bajo.

Perspectiva aprendizaje y crecimiento

Según [19], esta perspectiva establece qué acciones debemos tomar para mejorar nuestra habilidad de mejora y capacidad de cambio, con el objetivo de alcanzar la visión de la empresa. Es por esto por lo que la meta de esta perspectiva es la de crear una cultura organizacional enfocada en la gestión de la energía, que incluya desde los departamentos de ingeniería, los comités, así como también a los colaboradores en el proceso.

Capacitación a los colaboradores (1 PAC)

Los colaboradores que están en el proceso son la primera fuente de información y de acción para poder tomar acciones enfocadas a la eficiencia energética, por lo tanto, la capacitación de ellos es crucial.

Capacitar a los colaboradores les permite tener el conocimiento necesario para reportar condiciones que puedan afectar la eficiencia energética del proceso, así como fomentar un sentido de compromiso y responsabilidad.

El periodo propuesto para la realización de este indicador es anual y está medido a partir de la cantidad de capacitaciones que han sido realizadas. El responsable de llevar estas capacitaciones es el comité de gestión de energía como principal fuente de información y conocimiento sobre el modelo y el departamento de recursos humanos.

Los valores estipulados para medir el rendimiento del indicador son: valor alto si se han realizado de 3 a más capacitaciones, valor medio si se han realizado 1 o 2 capacitaciones y valor bajo si no se han realizado capacitaciones en el año.

Monitoreo del consumo energético (2 PAC)

Monitorear el consumo energético de los equipos del proceso nos permite tener conocimiento sobre las condiciones de operación de los equipos y poder tomar decisiones enfocadas a la gestión de la energía de forma más precisa.

Si bien es cierto, no todos los equipos se pueden monitorear, ya que el costo de adquisición de medidores cada equipo es elevado, sin embargo, es posible basarse en los diagramas de Pareto y los diagramas de consumo de energía para seleccionar cuales equipos y procesos son más cruciales monitorear.

Se recomienda tener medidores de consumo energético en los procesos de refinado, centrifugado, el área de calderas; y en los equipos que poseen reguladores de frecuencia y medidores hacer uso de la información que en ellos se almacena, para poder procesarla de forma adecuada.

El periodo propuesto para este indicador es de forma anual y como responsable de este indicador se establece al comité de gestión de energía, ya que son quienes llevan el control del consumo energético por proceso.

Como valor de medición, se establece la cantidad de medidores de consumo energético instaladas. Se establece una cantidad de 3 medidores o más medidores anualmente como un valor alto, entre 2 y 1 como un valor medio y ningún medidor como un valor bajo en el indicador

Perspectiva procesos internos

Según [19], esta perspectiva establece en que procesos debemos ser excelentes para satisfacer a los clientes y a los dueños. Desde el punto de vista del MGEN, debemos ser eficientes en el uso y consumo de la energía, optimizando los recursos del proceso.

Para alcanzar este objetivo, es necesario darle seguimiento a las acciones y proyectos que se plantean, para permitir el continuo mejoramiento de las acciones que se toman. Para esto, se plantea el indicador de evaluaciones energéticas.

Evaluaciones energéticas (1 PI)

Este indicador tiene el objetivo de disminuir las pérdidas de energía y optimizar el consumo de energía en los procesos, mediante la implementación de evaluaciones que permitan detectar oportunidades de mejora o fallos en las medidas implementadas. Se establece que el periodo debe ser mensual, teniendo en cuenta que es un periodo adecuado de medición de datos y permite tomar acciones, antes de que el periodo de proceso productivo finalice.

Como fuente de información, son el número de evaluaciones que se realizan y el responsable directo de estas es el departamento de mantenimiento e ingeniería. Se recalca que los resultados de las evaluaciones no comprometen este indicador, solamente la cantidad de evaluaciones realizadas. Se establecen los valores del indicador como: valor alto cuando se han realizado 3 o más evaluaciones, medio 2 o una evaluación y bajo si no se realizaron evaluaciones.

Se recomienda al comité de gestión de energía reunirse periódicamente, de forma sugerida, una vez a la semana, para poder llevar un seguimiento como equipo de las evaluaciones energéticas y, de tal forma, tomar acciones como equipos y con el apoyo de todos los departamentos, en caso de requerir intervención en los procesos.

Para el desarrollo de este indicador, se establecen los IDE y los LBE como puntos de referencia y desarrollo, los cuales les permitirá al comité de energía dar seguimiento y realizar comparaciones para detectar oportunidades de mejora o detectar problemas de operación a tiempo.

Tabla 30. Cuadro de mando integral propuesto.

Perspectiva	Meta estratégica	Indicador		Código	Periodo de medición	Fuente de información	Responsable	Formula	Unidades	Rango		
		Nombre	Descripción							Alto	Medio	Bajo
Cliente	Aumentar la satisfacción del cliente	Costo del producto	Al conocer el costo de producción por quintal de producto se puede gestionar la venta del producto a un precio menor	1 PC	Anual	Comité de gestión de energía	Departamento de ventas	$Efectividad\ de\ costo = \frac{Costo\ unitario\ anterior}{Costo\ unitario\ nuevo} * 100$	Porcentaje	> 100 %	100 %	< 100 %
Financiera	Reducir el consumo energético	Proyectos de ahorro energéticos	Cantidad de proyectos de ahorro energéticos implementados	1 PF	Anual	Comité de gestión de energía	Departamento de ingeniería y mantenimiento	Cantidad de proyectos	Unidad	≥ 3	< 3 y ≥ 1	0
Aprendizaje y Crecimiento	Crear una cultura de gestión energética	Capacitación a los colaboradores	Permite motivar a los colaboradores a tomar acciones que favorezcan el ahorro energético	1 PAC	Anual	Registro de cantidad de capacitaciones realizadas	Comité de gestión de energía y recursos humanos	Cantidad de capacitaciones realizadas	Unidad	≥ 3	< 3 y ≥ 1	0
		Monitoreo de consumo eléctrico	Brinda información a los departamentos sobre el consumo y condiciones de operación de los equipos eléctricos, de forma de poder tomar decisiones en la gestión de energía y generar conciencia de uso eficiente de la energía	2 PAC	Anual	Registro de medidores instalados	Comité de gestión de energía	Cantidad de medidores instalados	Unidad	≥ 3	< 3 y ≥ 1	0
Procesos Internos	Optimizar los recursos y usos eficientes en los procesos	Evaluaciones energéticas	Permite disminuir las pérdidas de energía	1 PI	Mensual	Número de evaluaciones	Departamento de administración de mantenimiento e ingeniería	Cantidad de evaluaciones realizadas	Unidad	≥ 3	< 3 y ≥ 1	0

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Capítulo IX Conclusiones

- Se determinó el uso de la energía por zonas que incluye el área de preparación y molienda, filtrado, evaporación, centrifugado, refinado, empaque, calderas y de otros equipos de importancia energética como el área administrativa y las norias, siendo las calderas las de mayor consumo, con un 28 %; seguido del proceso de refinado, con un 20 %, y las centrifugas, con un 15 %. Con los diagramas de Paret, o se determina a las centrifugas, la bomba del lavador, las norias, los motores de los sopladores de hollín de las calderas y los tachos como los principales usos significativos de la energía. Se determinó también el uso del vapor vivo y vapor de proceso, estableciendo que los turbogeneradores y el desfibrador son los equipos que más impacto tienen en el consumo de vapor. Se planteó una oportunidad de mejora, a partir de la sustitución de las turbinas de vapor de molinos, por motores eléctricos; con esto, se concluye que el sistema cuenta con la capacidad, en cuanto a generación de vapor, para poder suministrar la demanda de potencia, debido al cambio, sin embargo, requiere de sustituir los turbogeneradores por uno de mayor capacidad de generación, ya que los actuales no poseen la capacidad de suministrar la demanda adicional debida al cambio.
- Se establecieron los indicadores energéticos anuales para el año 2019, 2020 y 2021 de las variables más representativas de la generación de vapor y energía eléctrica, en función de la producción de producto terminado y toneladas de caña procesada. Se tiene como dato de comparación y fiabilidad la aproximación de los datos a la línea de tendencia establecida por el modelo de regresión lineal. Estos indicadores

serán los puntos de referencia para el estudio de la gestión de la energía en los años de implementación del modelo y las bases para el desarrollo de nuevos indicadores.

- Se desarrolló un prototipo de monitoreo en tiempo real, el cual permitió la visualización del consumo de la bomba de magma de las centrífugas B, realizando mediciones y graficándolas a través de la plataforma virtual de Adafruit.IO, lo que permitió el almacenamiento y la visualización de los datos de forma remota, brindando a la empresa la oportunidad realizar evaluaciones de las condiciones de operación del equipo. Con el monitoreo, se detectaron tiempos de operación innecesarios de la bomba del caso de estudio, lo que podría significar una pérdida de aproximadamente \$56,70 mensuales.
- Se desarrolló un CMI basado en la gestión de la energía, en el cual se proponen metas e indicadores para cada una de las perspectivas, así como los responsables de llevar a cabo el desarrollo y seguimiento de cada una. También se propuso la estructura organizacional que debe tener el comité de energía. El CMI permitirá a la empresa dar seguimiento a la gestión de la energía, evaluando su impacto en la rentabilidad de la compañía.

Capítulo X Recomendaciones

- Se recomienda a la empresa instalar medidores de energía eléctrica en los equipos considerados como uso significativo de la energía, que, según los diagramas de Pareto, son los ventiladores de las calderas, el lavador, las centrífugas y las norias, así como también en los tableros eléctricos de los procesos más demandantes energéticamente, para, de esta forma, tener más información sobre el consumo y demanda de la energía y así poder tomar decisiones basados en datos.
- Realizar evaluaciones de la instalación de variadores de frecuencia en equipos de alto consumo eléctrico como la bomba del lavador y centrífugas, además de la sustitución del arrancador de estado sólido de la Noria por un variador de frecuencia.
- Evaluar los motores eléctricos y analizar la sustitución por motores más eficientes, como el caso de los motores de los sinfines de salida de las zarandas.
- Realizar la evaluación para instalar medidores de flujo de vapor en los equipos más demandantes de vapor en el proceso de producción, como puede ser en los tachos y evaporadores.
- Implementar un comité de gestión energética, basándose en lo estipulado por la Norma ISO 50001:2018 y lo desarrollado en este proyecto. Para esto, se sugiere formar un equipo conformado por todos los departamentos y con diferentes niveles de formación, desde ingenieros, coordinadores, técnicos hasta operarios.

- Se recomienda, una vez implementada este MGE en el Ingenio La Estrella, evaluar a partir de los resultados obtenidos, la implementación en el resto de las empresas, que forman parte de Grupo Calesa, realizando la auditoría energética pertinente a cada una de ellas y adaptando el modelo a las necesidades individuales.
- Se recomienda a la empresa evaluar el acceso de internet dentro de la planta de producción con el propósito de alinear a la empresa con la industria 4.0, con el objetivo de realizar mediciones remotas.

Bibliografía.

- [1] “Manual de Eficiencia Energética EN la Industria DE,” pp. 1–24, 2001.
- [2] B. Mac Master and C. Montes, “Industria de alimentos,” *Andi*, 2019, [Online]. Available: <http://www.andi.com.co/Uploads/ANDIALimentos.pdf>.
- [3] G. Oficial, “Plan Energético Nacional 2015-2050,” no. 28003, pp. 6–348, 2016, [Online]. Available: <http://www.energia.gob.pa/plan-energetico-nacional/>.
- [4] A. Ambiental, “Auditoría y eficiencia energética,” 2014.
- [5] Secretaría Nacional de Energía de Panamá, “Informe Nacional de Monitoreo de la Eficiencia Energética de Panamá, 2020,” p. 88, 2020.
- [6] “Eficiencia energética en Panamá : Identificación de oportunidades.”
- [7] T. Akhtar, A. U. Rehman, M. Jamil, and S. O. Gilani, “Impact of an energy monitoring system on the energy efficiency of an automobile factory: A case study,” *Energies*, vol. 13, no. 10, pp. 1–20, 2020, doi: 10.3390/en13102577.
- [8] B. L. Cardona and J. I. Cifuentes, “Energía y conceptos aplicados.,” *Univ. San Carlos Guatemala*, 2008, [Online]. Available: http://www.repositorio.usac.edu.gt/4481/1/Energía_y_conceptos_aplicados.pdf.
- [9] OLADE, “Contenidos Didácticos Balance Energético – Metodología OLADE,” 2013.
- [10] Instituto nacional de normalizacion chileno, “Sistemas de Gestión de la Energía — Medición del desempeño energético utilizando líneas base de energía (LBE) e indicadores de desempeño energético (IDE) — Principios generales y orientación,” p. 50, 2015, [Online]. Available: <https://www.inn.cl/>.
- [11] J. R. V. Medina, O. P. Caicedo, and E. C. Quispe, “Modelos de gestion energetica. Un análisis crítico,” p. 11, 2007, [Online]. Available: <http://www.enriquequispe.com/wp->

content/uploads/2012/01/2007_Quispe_Vidal_CIMEM.pdf.

- [12] ISO-UNE ISO 50001, “Norma Española UNE-ISO 50001-2018: Requisitos con orientación para su uso,” p. 47, 2018, [Online]. Available: www.une.org.
- [13] N. Lauriac, “Diseño e implementación de un sistema de monitoreo,” *Terre des hommes*, p. 46, 2016.
- [14] Arduino, “Arduino UNO.” <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3> (accessed Nov. 19, 2021).
- [15] A. H. Shajahan and A. Anand, “Data acquisition and control using Arduino-Android platform: Smart plug,” *2013 Int. Conf. Energy Effic. Technol. Sustain. ICEETS 2013*, pp. 241–244, 2013, doi: 10.1109/ICEETS.2013.6533389.
- [16] A. Alfaro, “Diseño de un sistema experto para el monitoreo y alerta de modos de falla para el sistema de bombeo de agua potable en el Tecnológico de Costa Rica,” pp. 5–24, 2020.
- [17] J. Salazar and S. Silvestre, “Internet de las cosas (IoT),” *TechPedia*, p. 34, 2017, [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/81581111.pdf>.
- [18] D. Kaplan, Robert; Norton, “Cuadro de Mando Integral.” 2000.
- [19] F. Costa, C;Dominguez, J; Hernández, J; Leiva, A; Verdú, “(Balanced Scorecard) Cuadro de Mando Integral.”
- [20] Alejandro Aguilar Ramírez, “Gestión Energética para la Reducción de GEI en la Agroindustria. Industria Azucarera,” pp. 2014–2015, 2015.
- [21] P. Consultante, S. La, and N. Iso, *GESTIÓN DE LA ENERGÍA SEGÚN LA NORMA ISO 50001*. 2013.
- [22] A. Martin, “Sugar Cane Industry Overview And Energy Efficiency Considerations,”

no. 01, 2016.

- [23] E. Hugot, *Handbook of Cane Sugar Engineering*, First Edit., vol. 1. Elsevier Publishing Company.
- [24] A. N. Pathak, “Energy Conservation in Sugar Industries *,” vol. 58, no. February 1999, pp. 76–82, 2000.
- [25] ASEP, “PROCEDIMIENTO PARA AUTOCONSUMO CON FUENTES NUEVAS , RENOVABLES Y LIMPIAS,” no. 2060, 2016.
- [26] Q. Cantillo, I. González-pérez, and A. Quintana, “Linealidad, algo más que r^2 : un ejemplo práctico,” 2006.
- [27] Y. Boles, M. y Cengel, *Termodinámica*, 7ma ed. 2011.

Apéndices

A. Consumo de energía eléctrica.

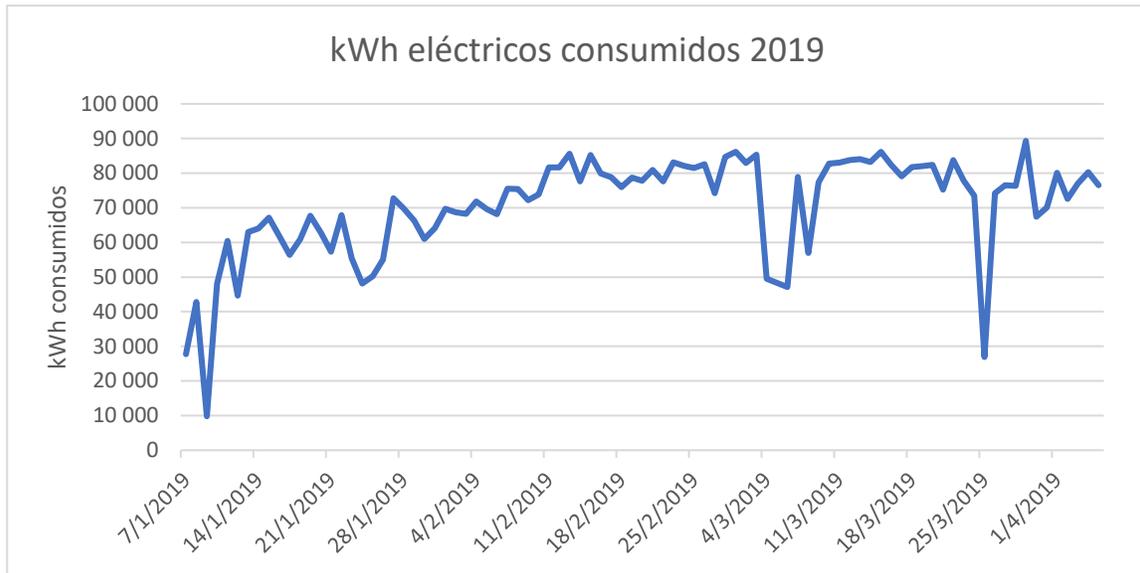


Figura 35. kWh eléctricos consumidos 2019.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

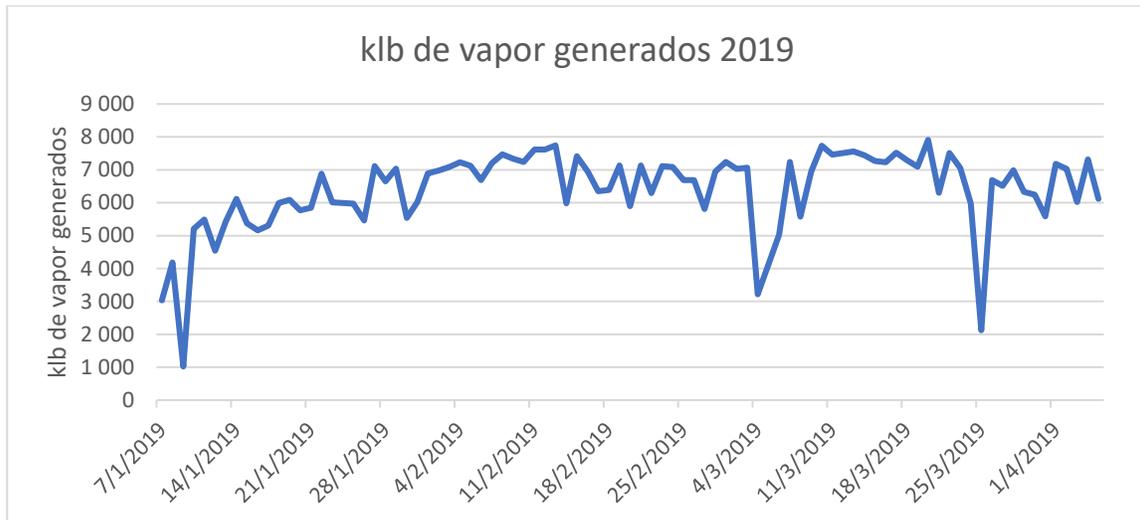


Figura 36. klb de vapor generados 2019

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

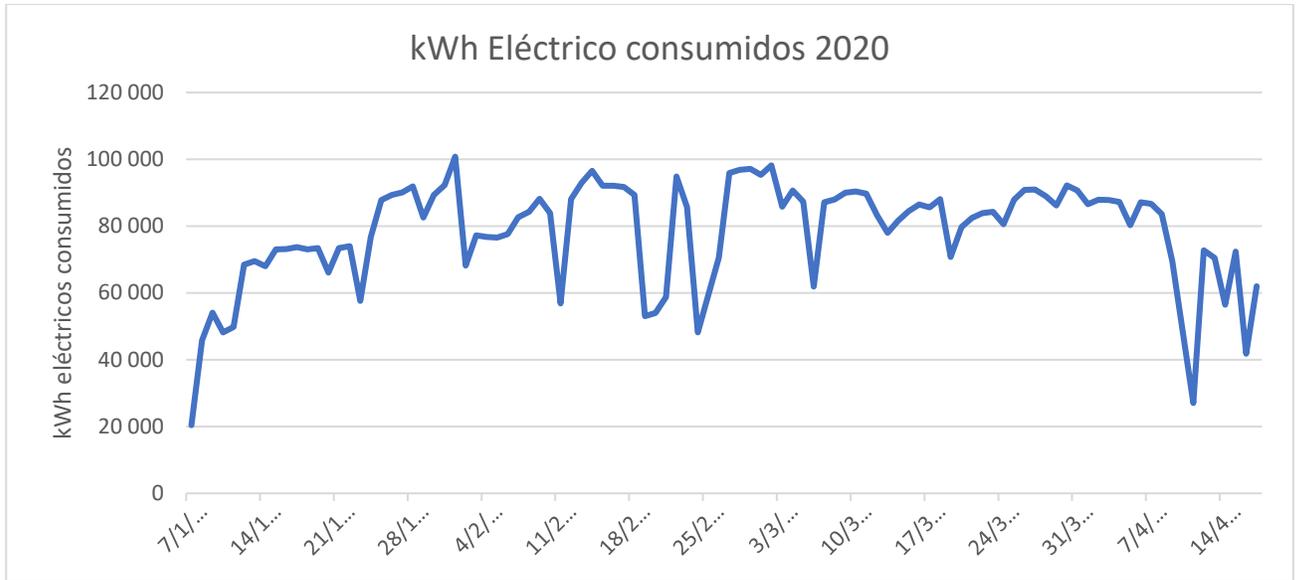


Figura 37. kWh eléctricos consumidos 2020.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

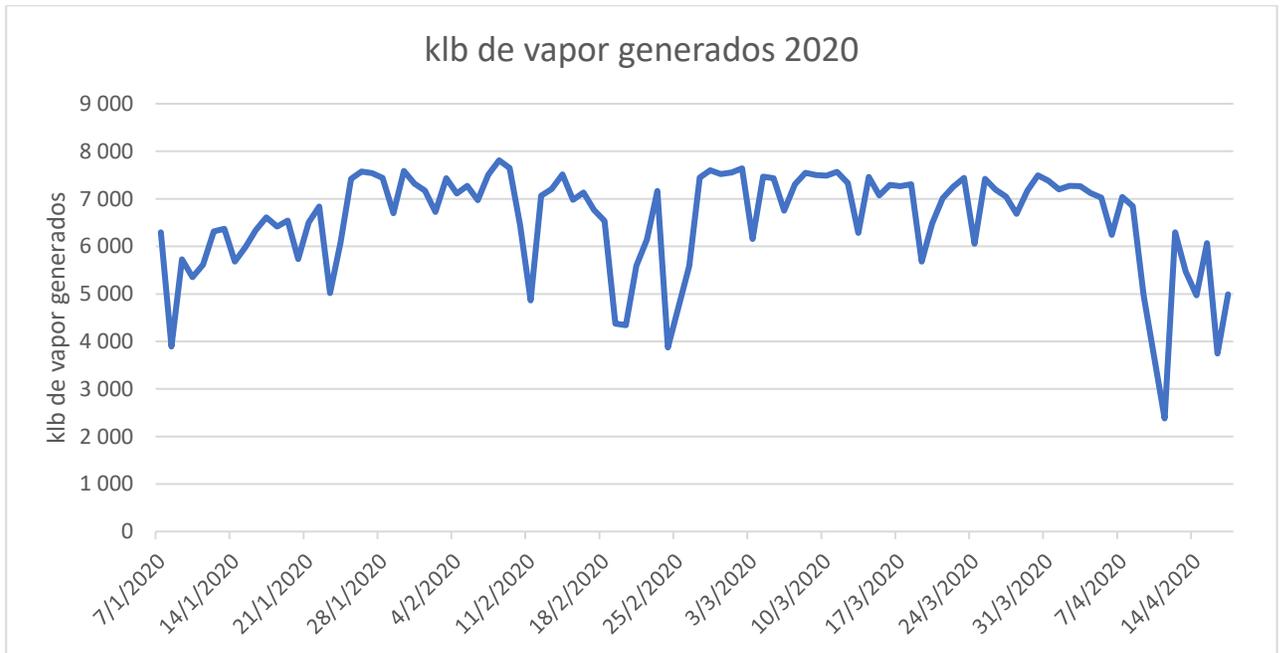


Figura 38. klb de vapor generados 2020.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

B. Consumo de energía por zonas.

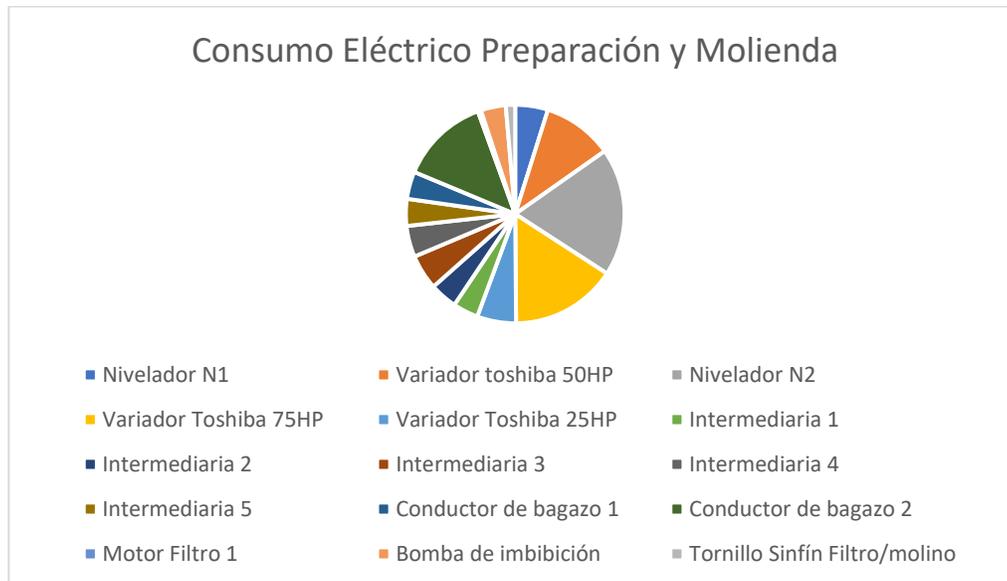


Figura 39. Diagrama del consumo de energía en preparación y molienda

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

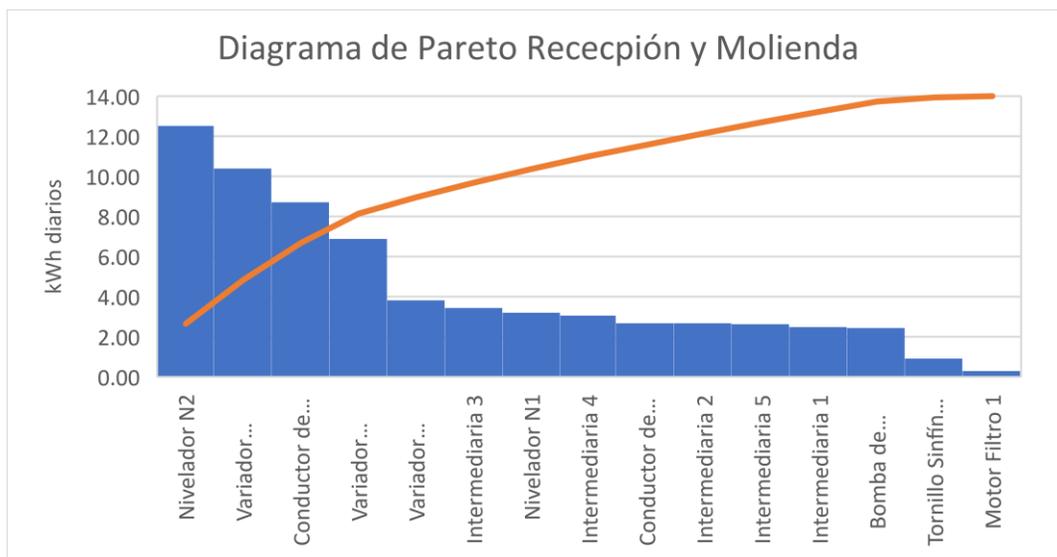


Figura 40. Diagrama de Pareto de consumo de energía en preparación y molienda

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

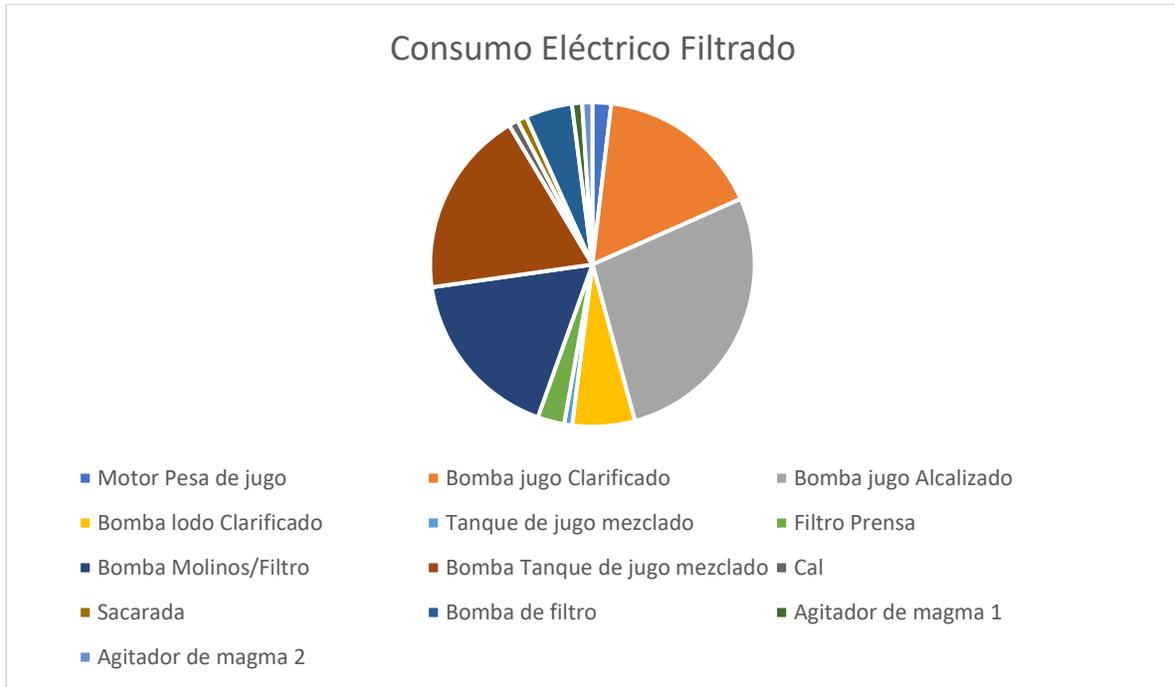


Figura 41. Diagrama de consumo de energía eléctrica en proceso de filtrado

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

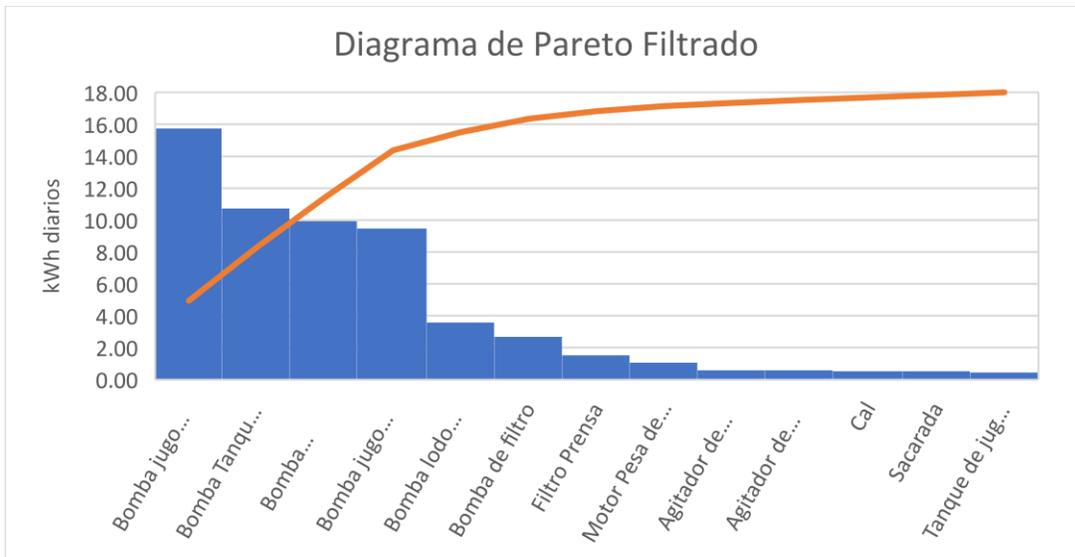


Figura 42. Diagrama de Pareto de consumo de energía eléctrica en filtrado.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

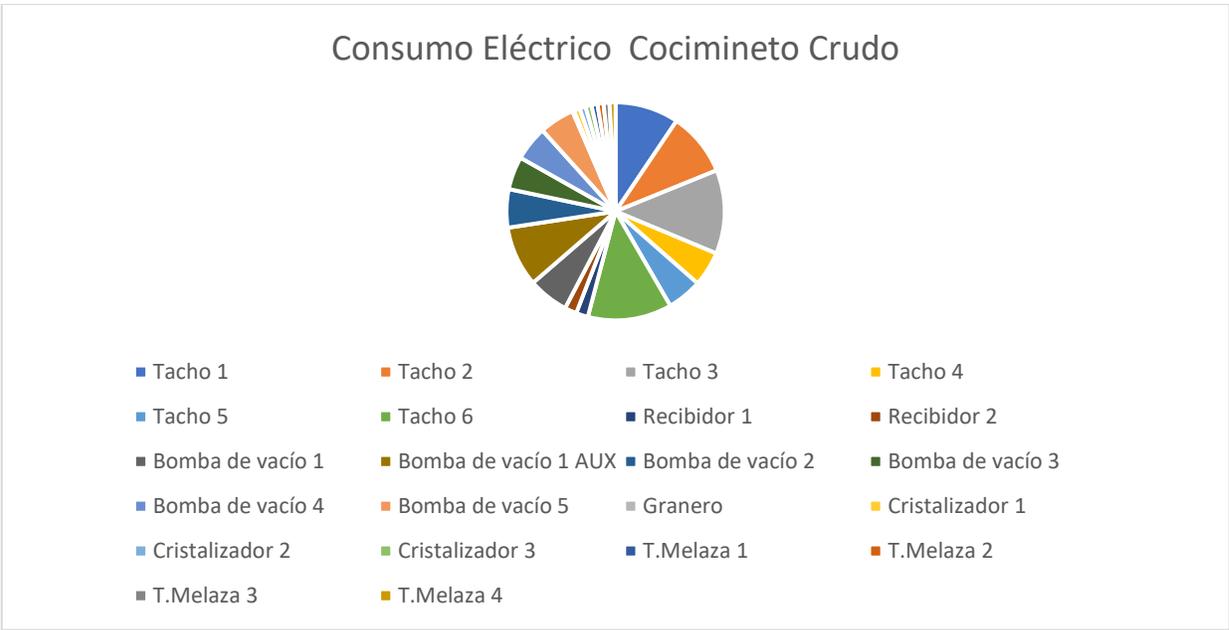


Figura 43. Diagrama de consumo eléctrico cocimiento crudo

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

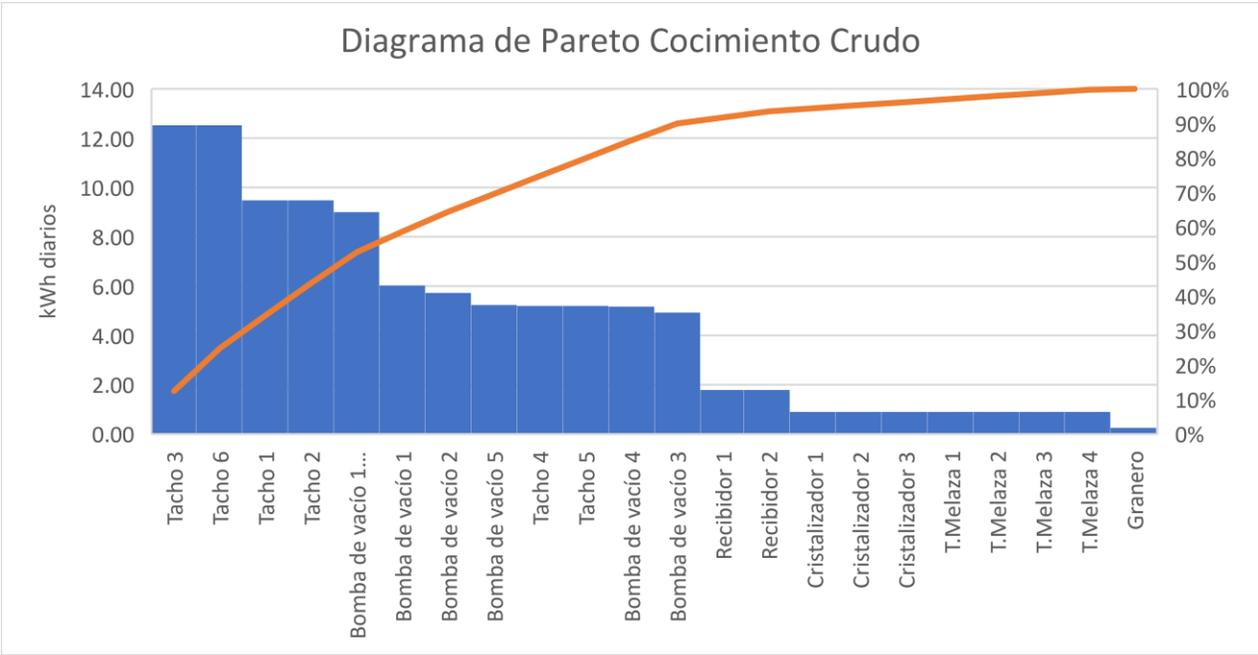


Figura 44. Diagrama de Pareto consumo eléctrico cocimiento crudo

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

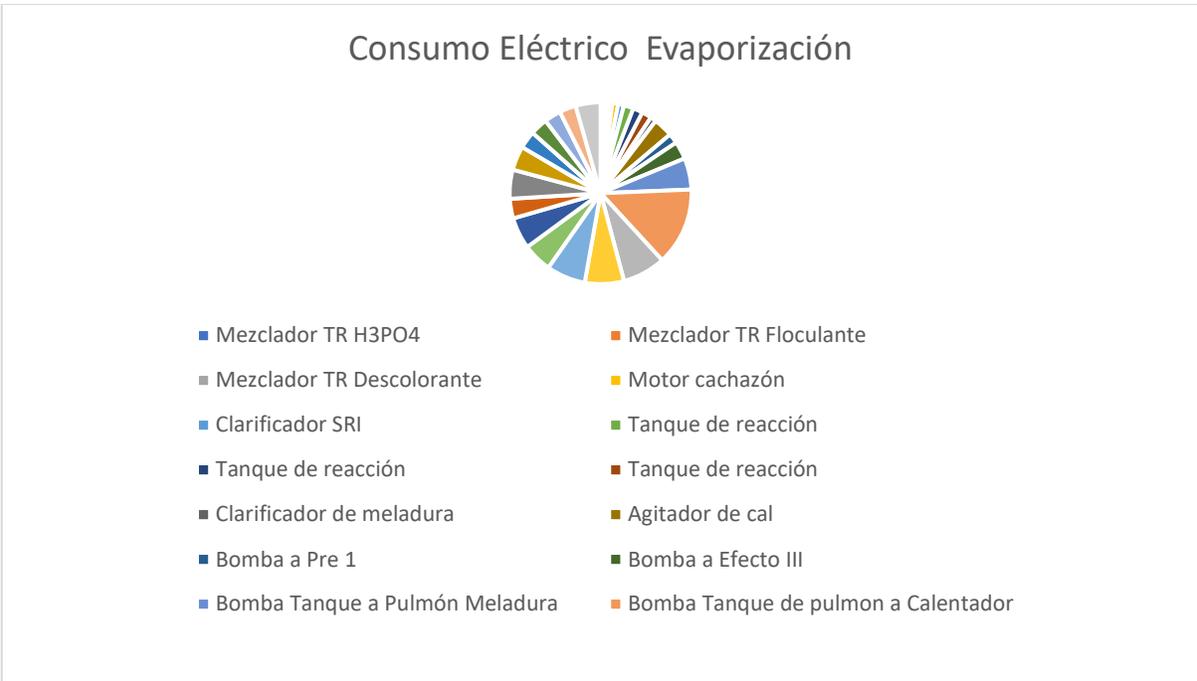


Figura 45. Diagrama de consumo eléctrico evaporización

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

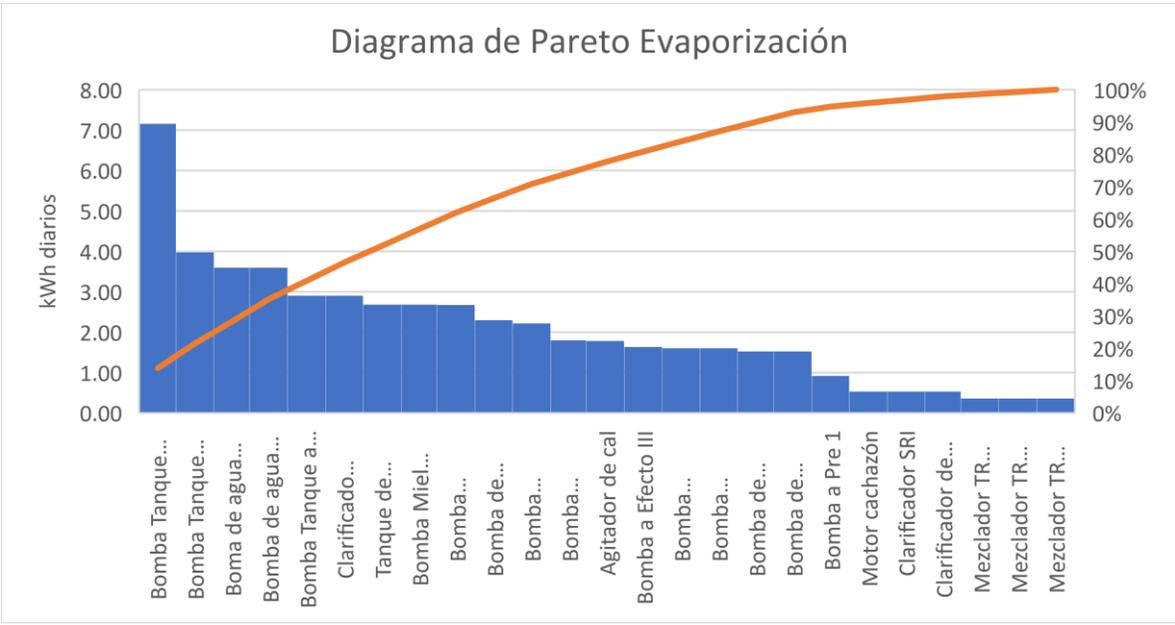


Figura 46. Diagrama de Pareto de consumo eléctrico evaporización

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

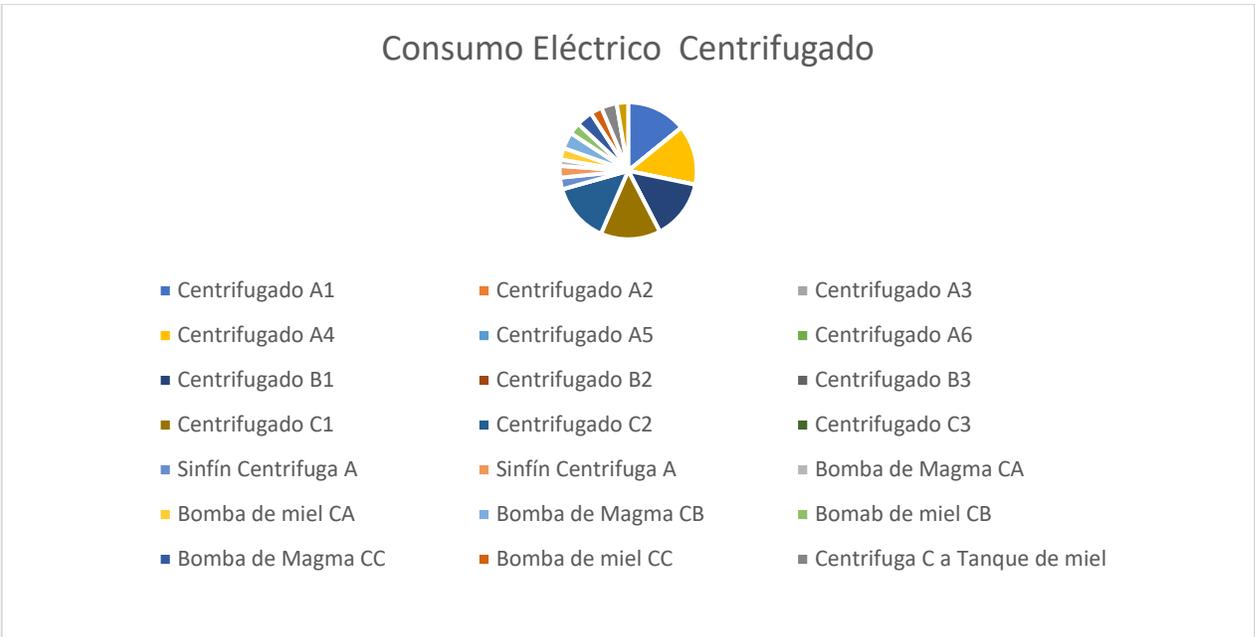


Figura 47. Diagrama de consumo eléctrico centrifugado cocimiento crudo

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

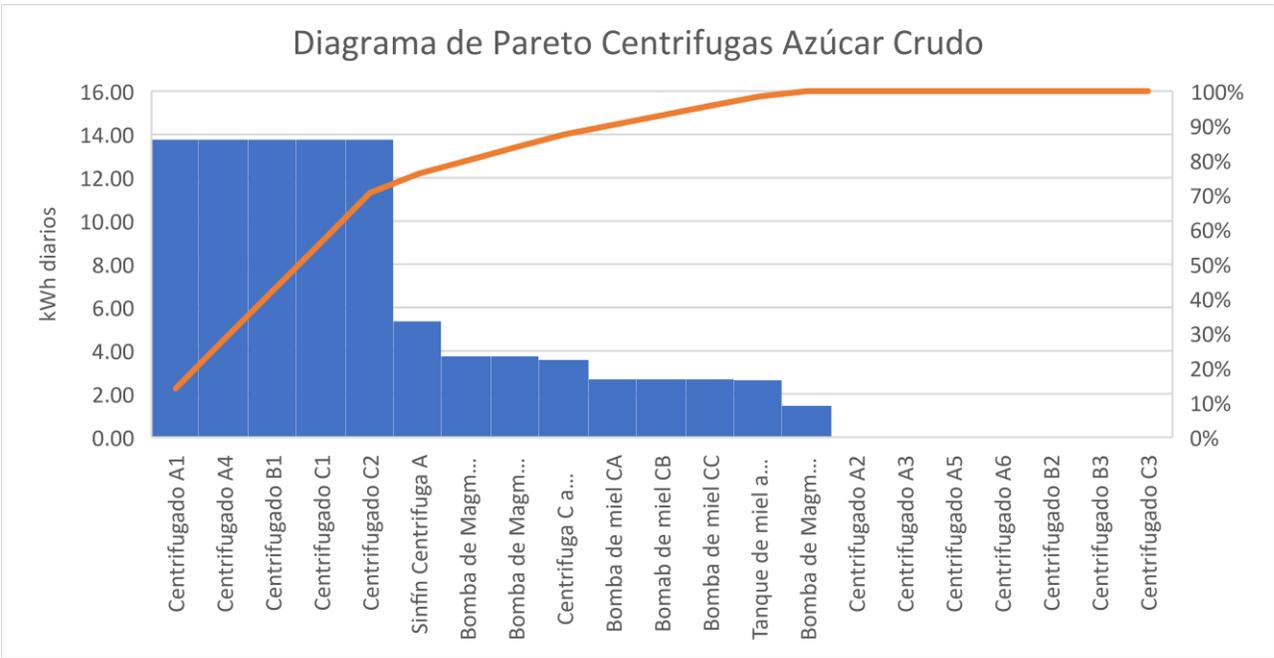
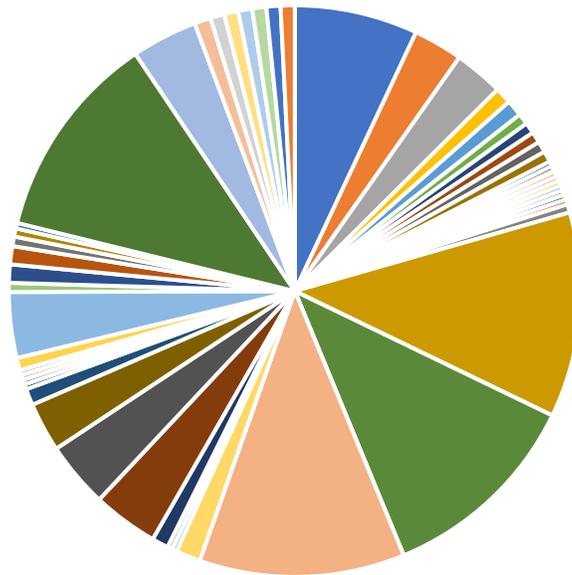


Figura 48. Diagrama de Pareto consumo eléctrico centrifugas cocimiento crudo

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

Consumo Eléctrico Refinado



- | | |
|---|---|
| ■ Tacho 1600p3 | ■ Tacho 600p3 |
| ■ Tacho 1200p3 | ■ Mezclador 1 |
| ■ Mezclador 2 | ■ Secador 1 |
| ■ Secador 2 | ■ Secador 3 |
| ■ Secador 4 | ■ Lavador |
| ■ Disolador de Granza | ■ tierra |
| ■ Cal | ■ pre capa |
| ■ T&L 1 | ■ T&L 2 |
| ■ II Tratamiento 1 | ■ II Tratamiento 2 |
| ■ II Tratamiento 3 | ■ II Tratamiento 4 |
| ■ Elevador centrifugas | ■ Centrifuga 1 |
| ■ Centrifuga 2 | ■ Centrifuga 3 |
| ■ Centrifuga 4 | ■ Centrifuga 5 |
| ■ Centrifuga 6 | ■ Sin fin centrifugas |
| ■ Sin Fin Tolva Secador/Disolador de granza | ■ Sin Fin Tolva Secador/Disolador de granza |
| ■ Sin Fin Tolva / Elevador | ■ Bomba Secador/Lavador |

Figura 49. Diagrama de consumo eléctrico refinado

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

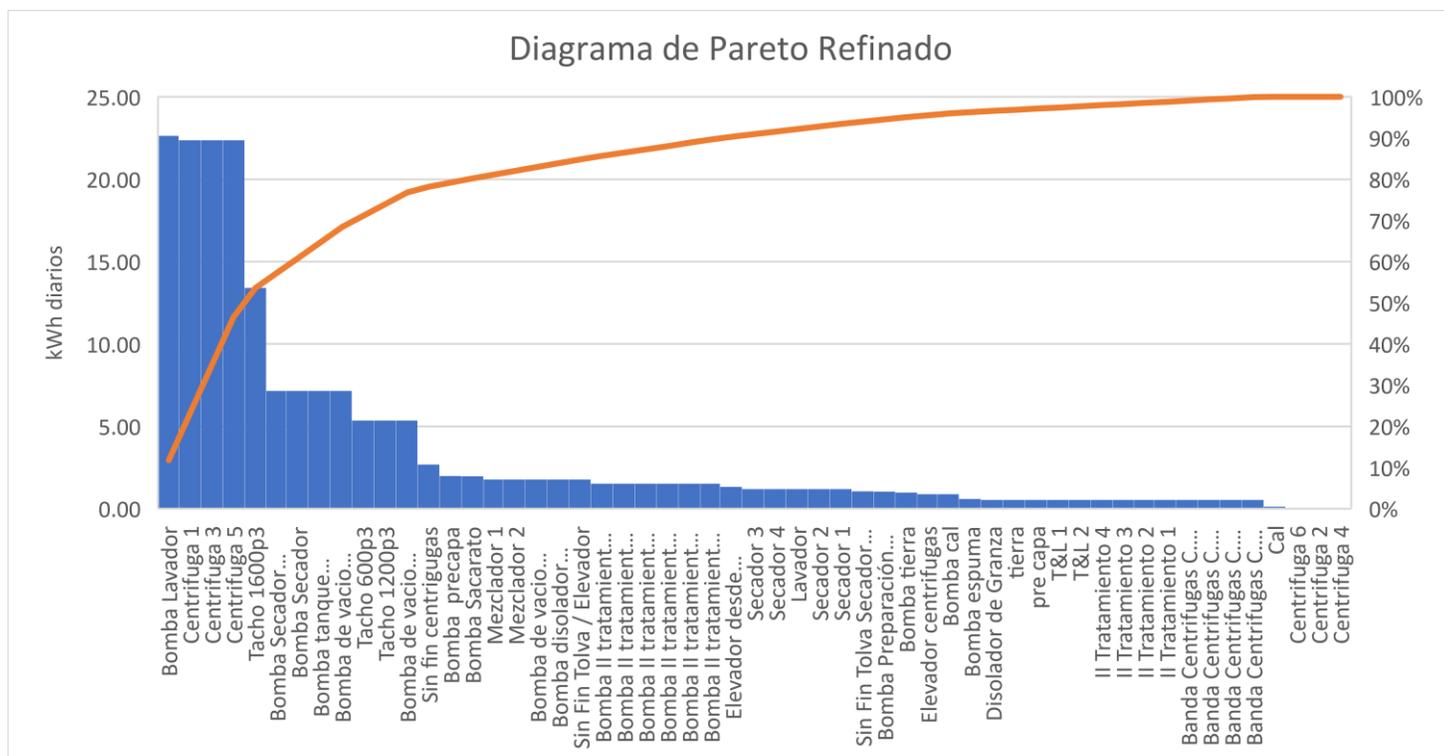


Figura 50. Diagrama de Pareto consumo eléctrico refinado
Fuente: Elaboración propia. Excel

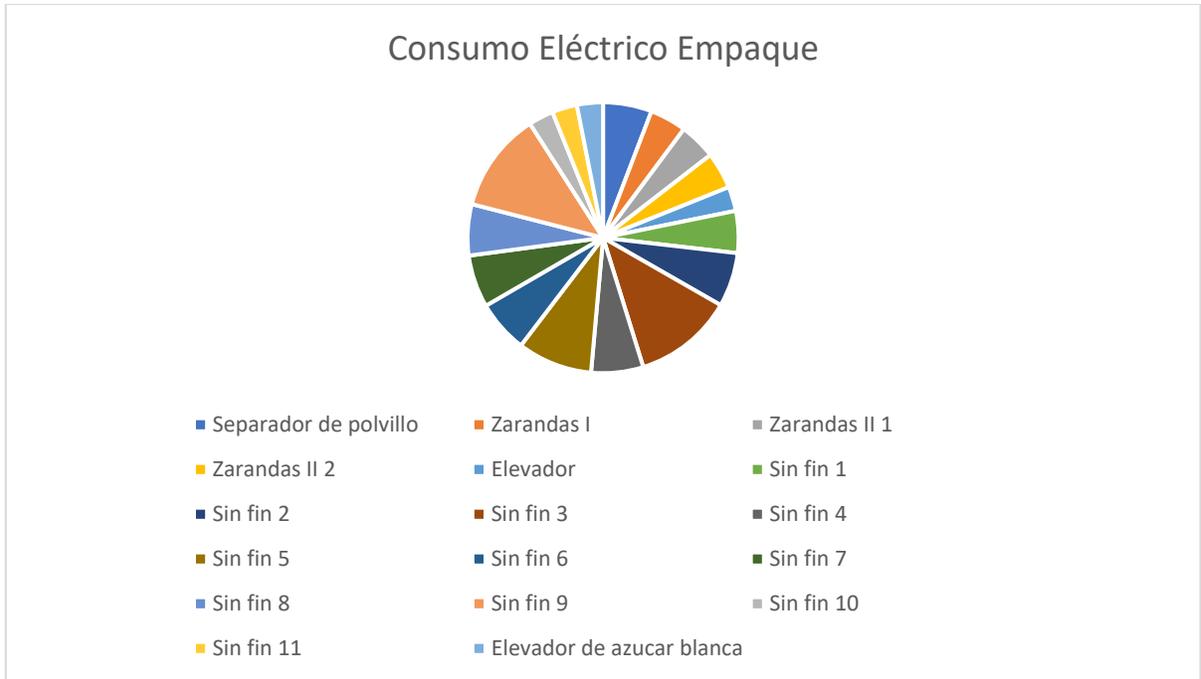


Figura 51. Diagrama de consumo eléctrico empaque

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

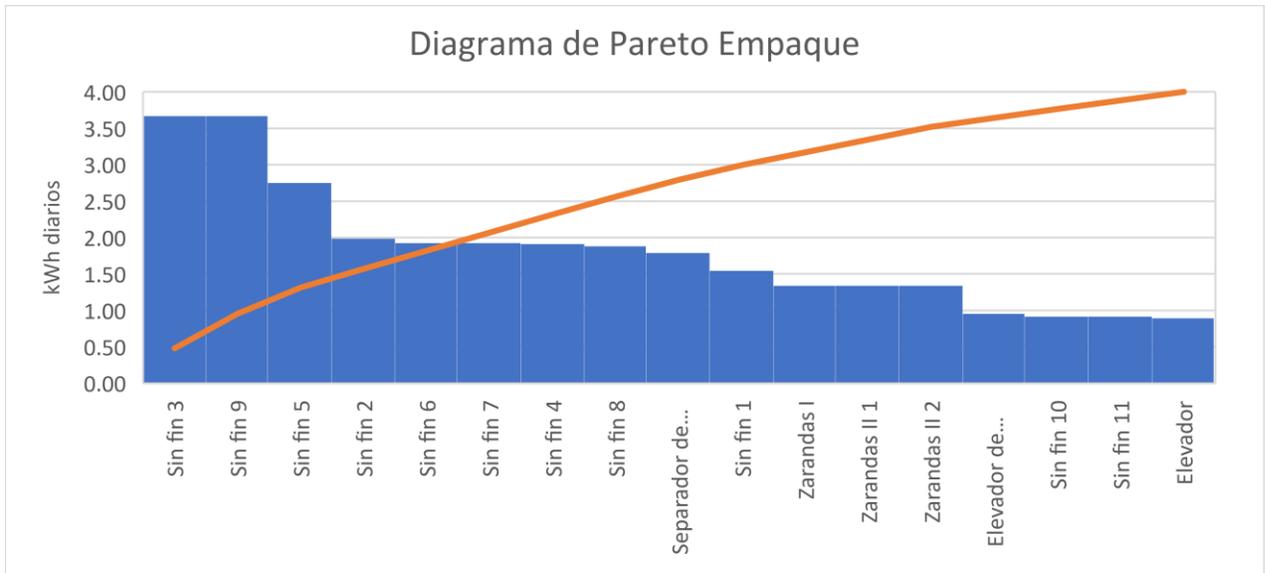


Figura 52. Diagrama de Pareto consumo eléctrico empaque

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

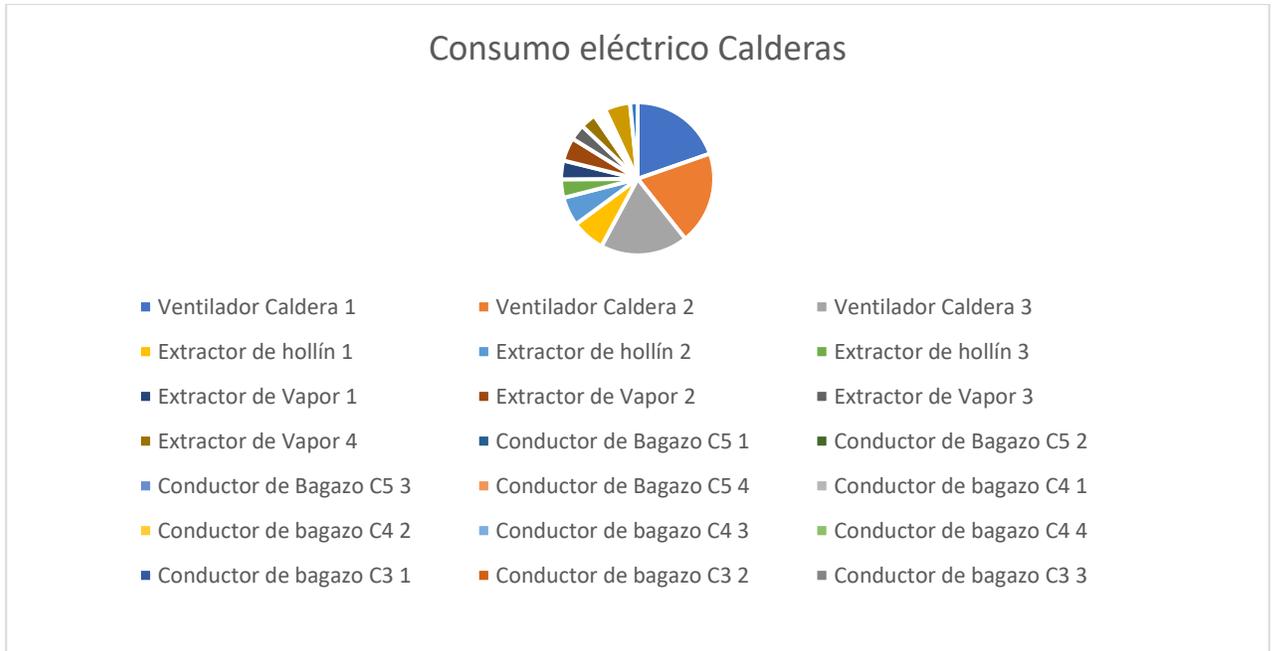


Figura 53. Consumo eléctrico de Calderas.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

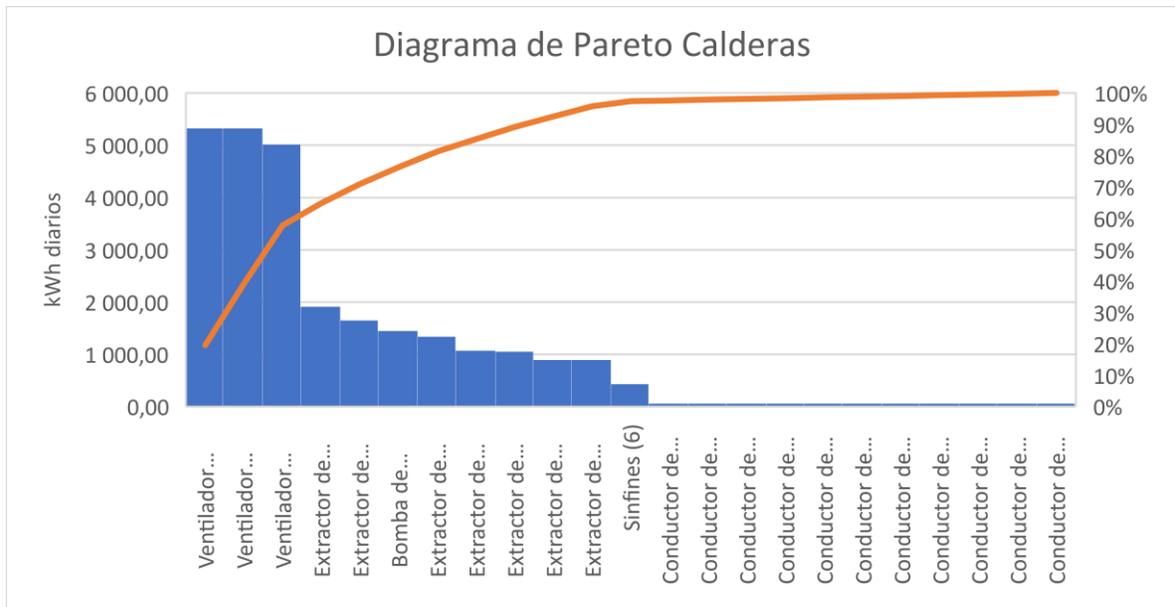


Figura 54. Diagrama de Pareto Calderas

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

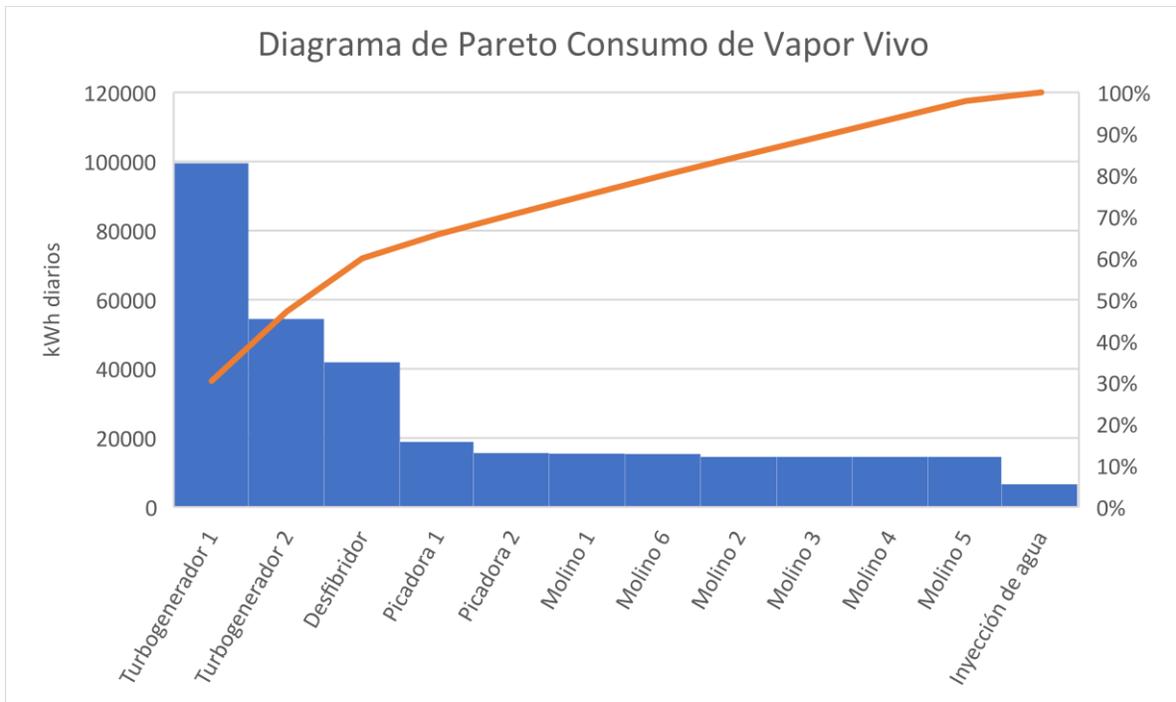


Figura 55. Diagrama de Pareto consumo de vapor vivo

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

C. Líneas base de energía por año.

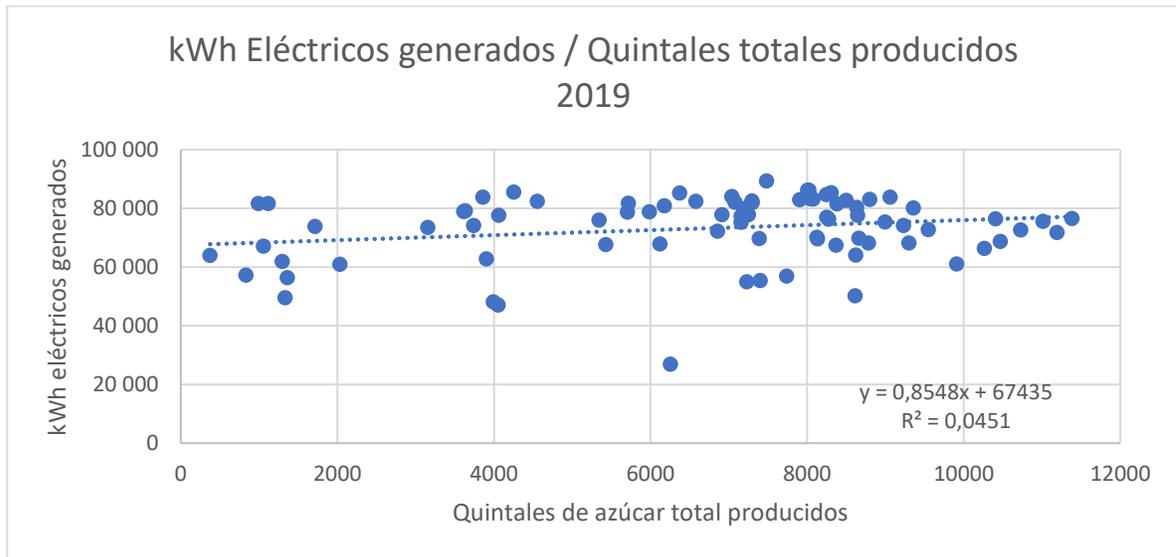


Figura 56. LBE kWh eléctricos generados por quintal de azúcar producido 2019

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

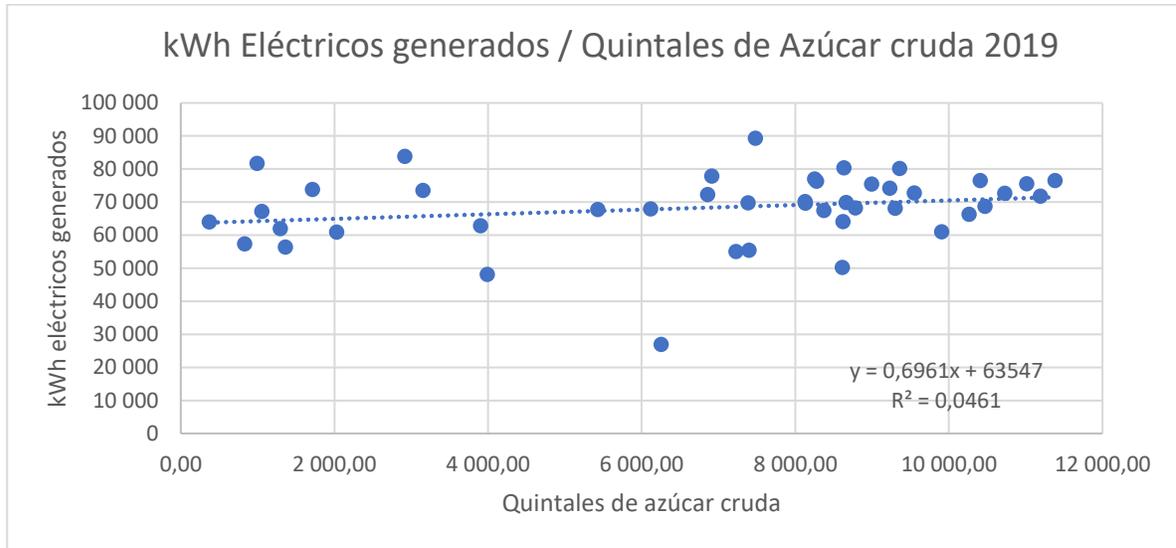


Figura 57. LBE kWh eléctricos generados por quintal de azúcar cruda 2019

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

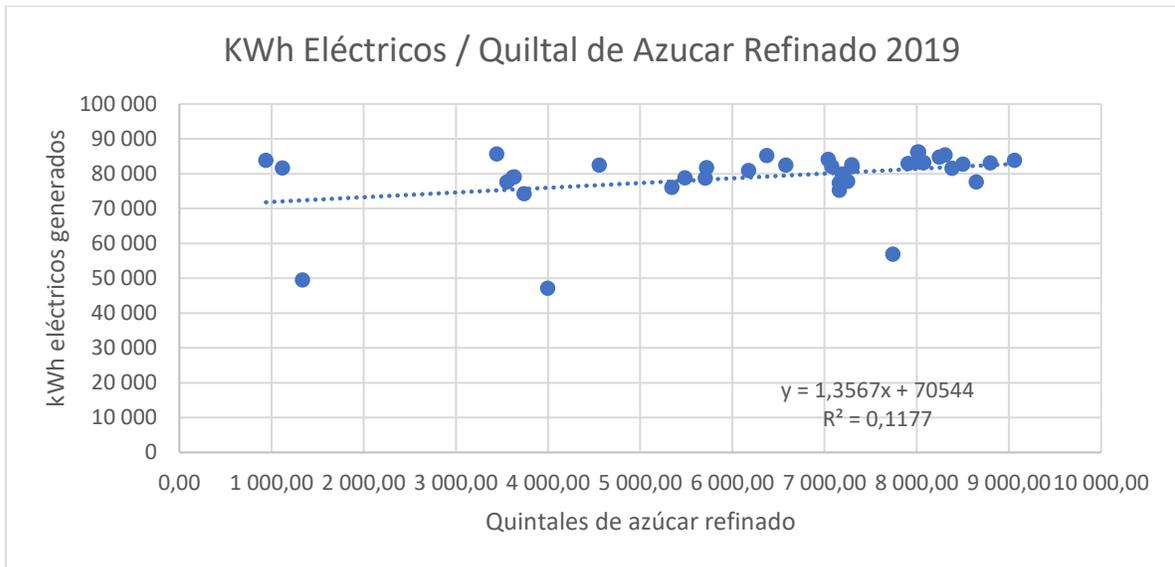


Figura 58. LBE kWh eléctricos generados por quintal de azúcar refinado 2019.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

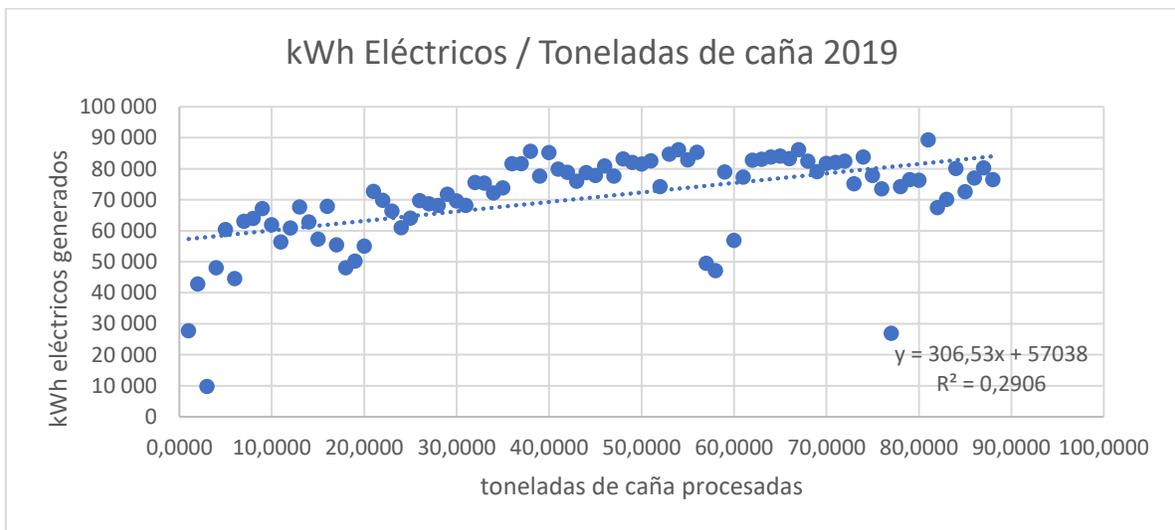


Figura 59. LBE kWh eléctricos generados por tonelada de caña 2019

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

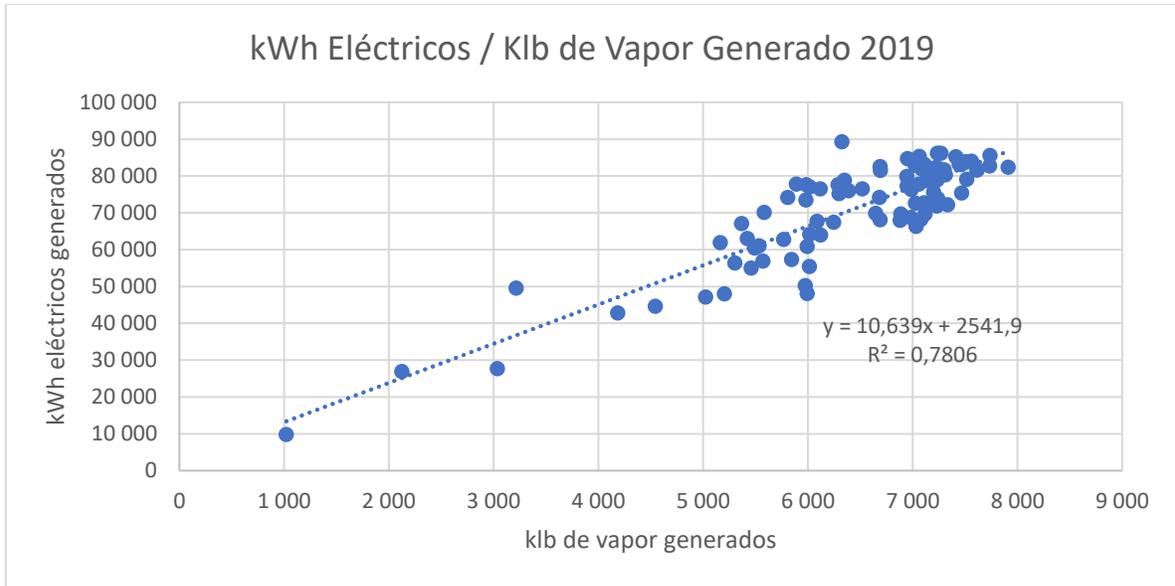


Figura 60. LBE kWh eléctricos generados por klb de vapor generado 2019.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

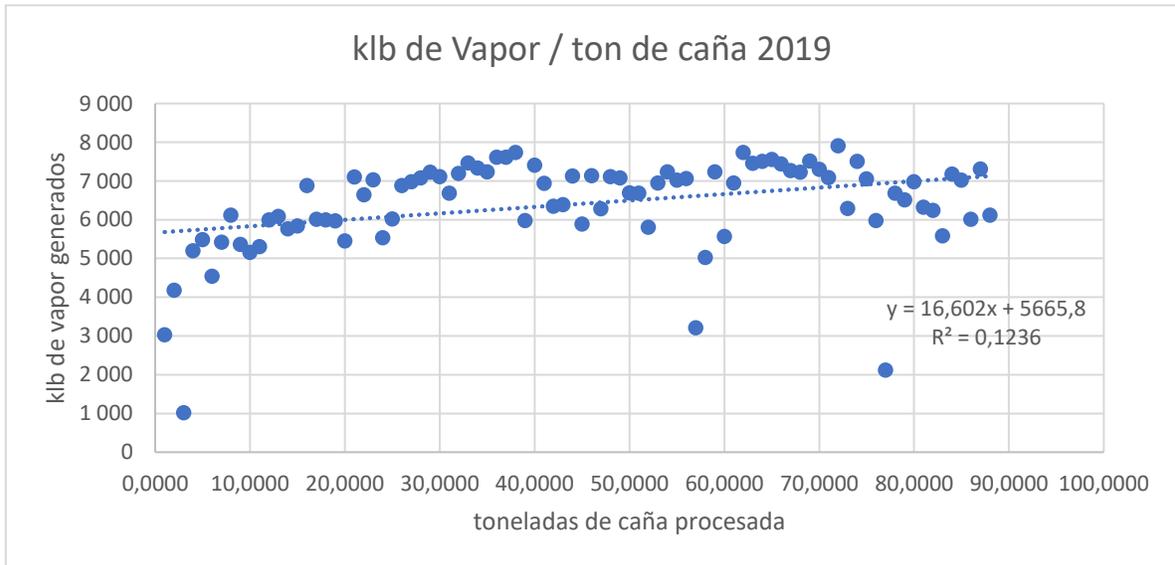


Figura 61. LBE klb de vapor generadas por tonelada de caña 2019

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

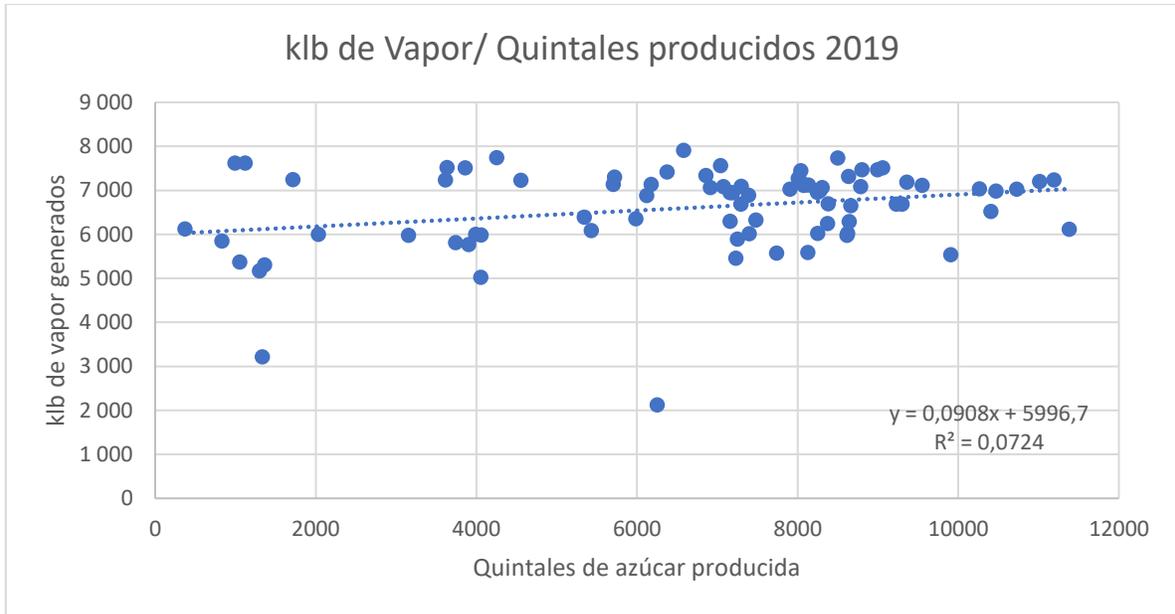


Figura 62. LBE klb de vapor generadas por quintal de azúcar producido 2019

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

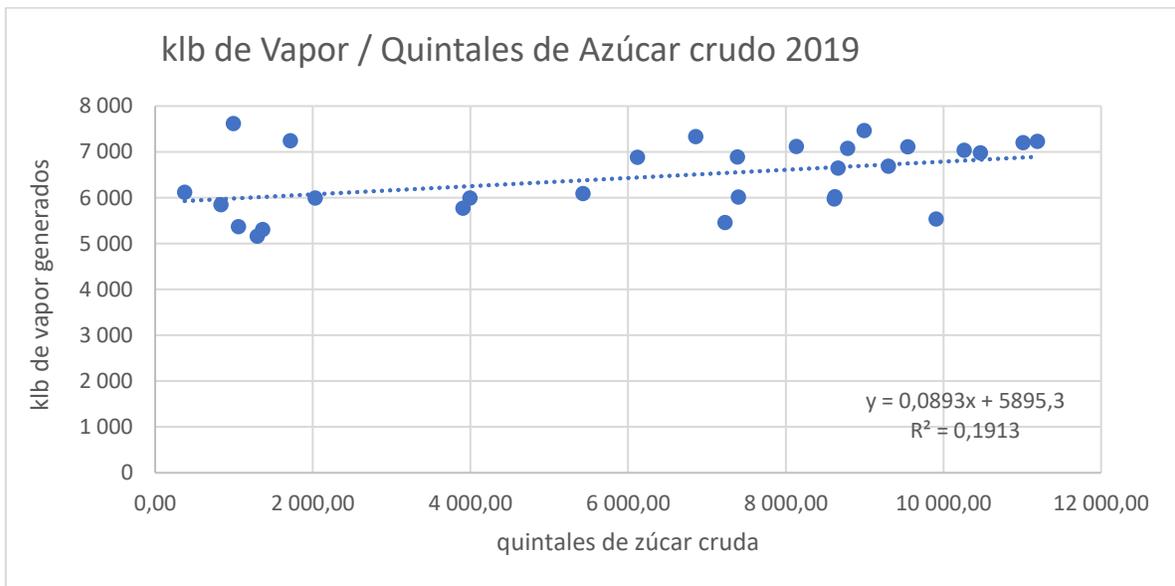


Figura 63. LBE klb de vapor generadas por quintal de azúcar crudo producido 2019

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

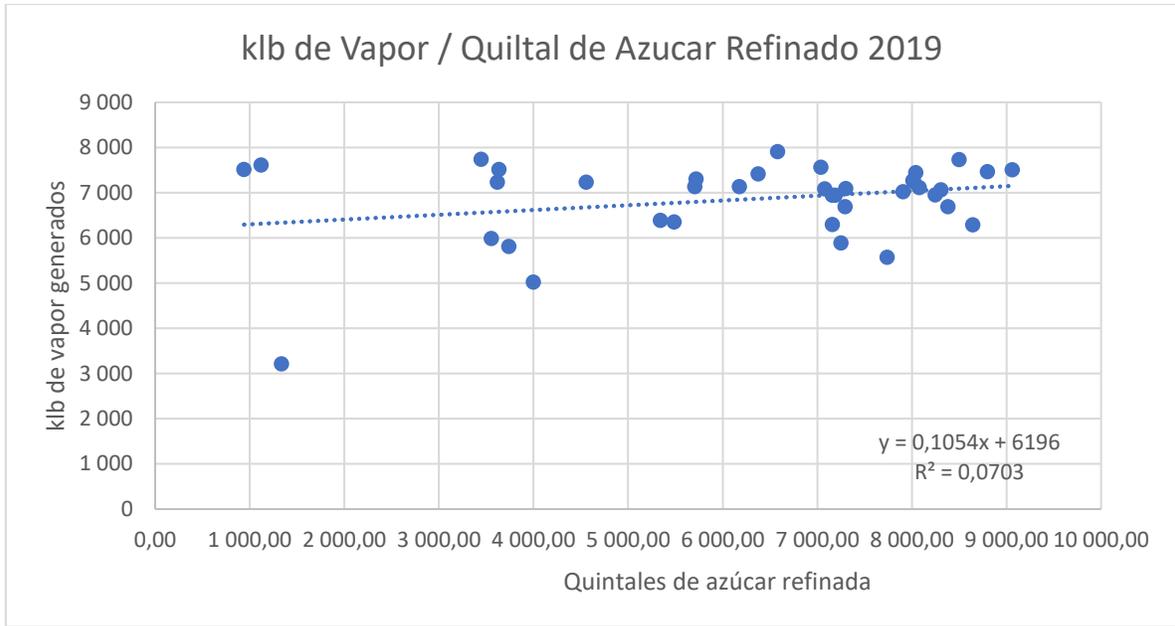


Figura 64. LBE klb de vapor generadas por quintal de azúcar refinado 2019.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

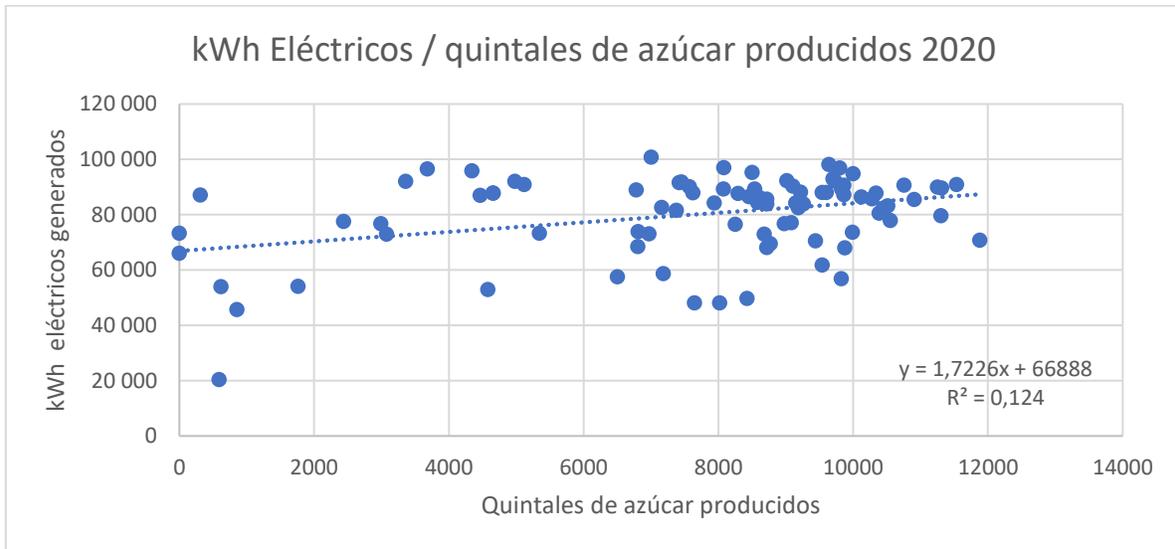


Figura 65. LBE kWh eléctricos generados por quintal de azúcar producido 2020

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

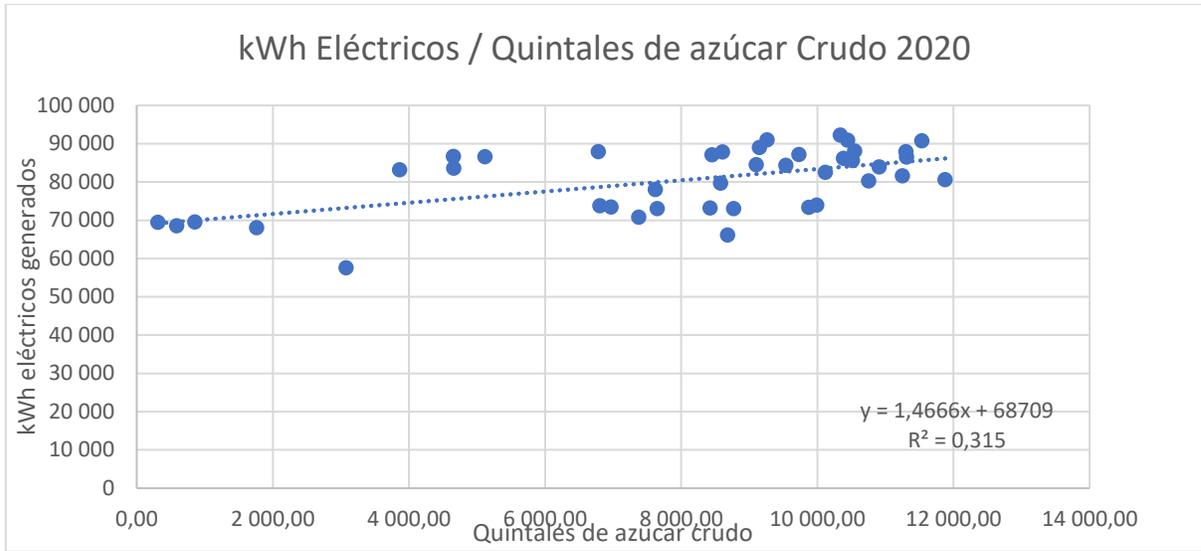


Figura 66. LBE kWh eléctricos generados por quintal de azúcar cruda 2020

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

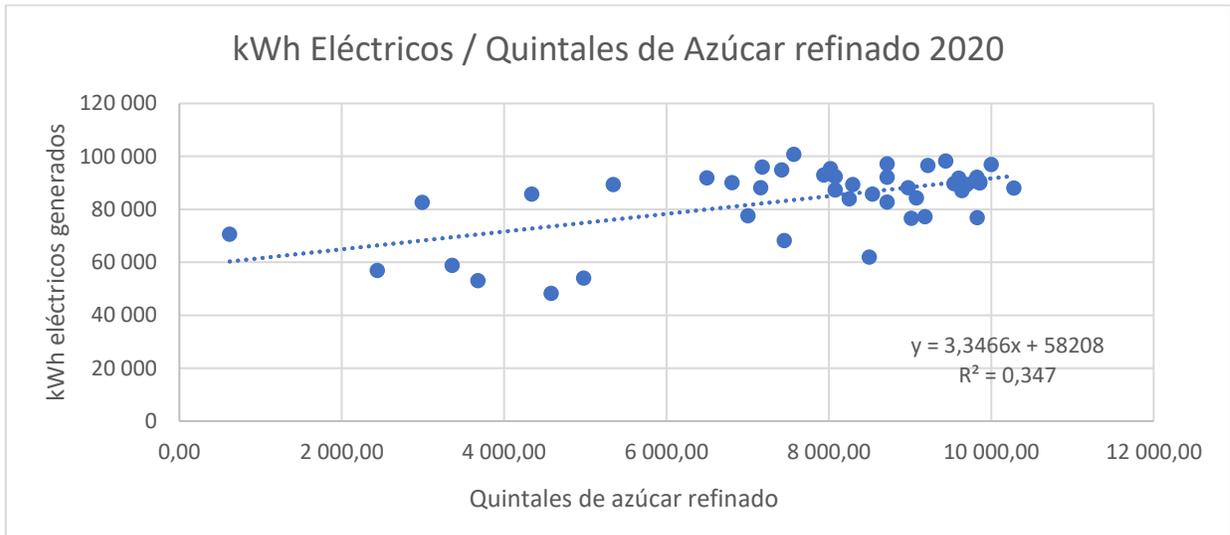


Figura 67. LBE kWh eléctricos generados por quintal de azúcar refinada 2020

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

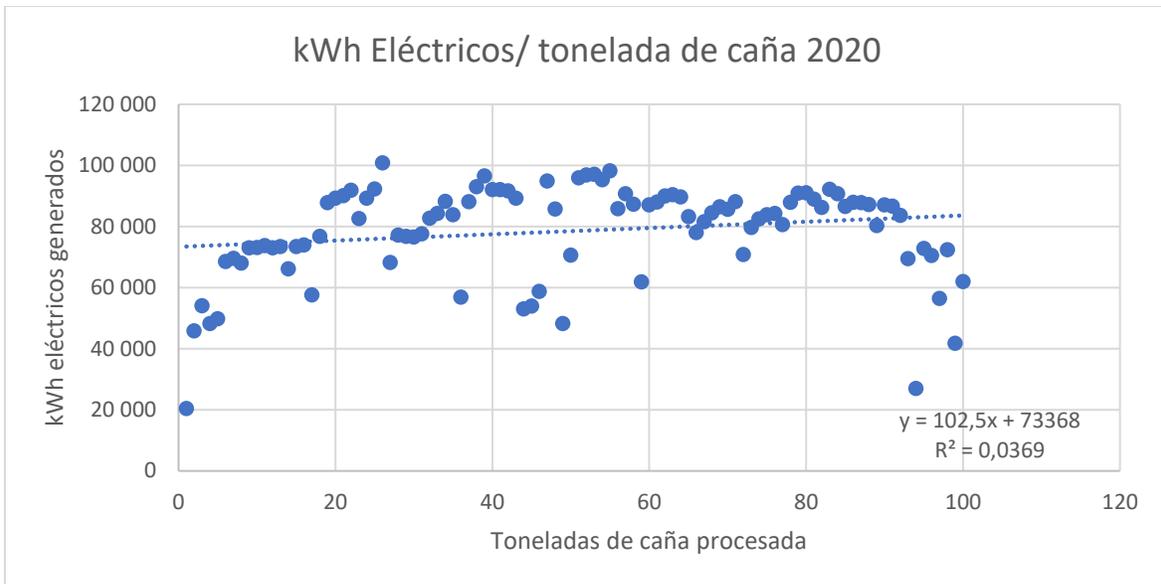


Figura 68. LBE kWh eléctricos generados por tonelada de caña 2020

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

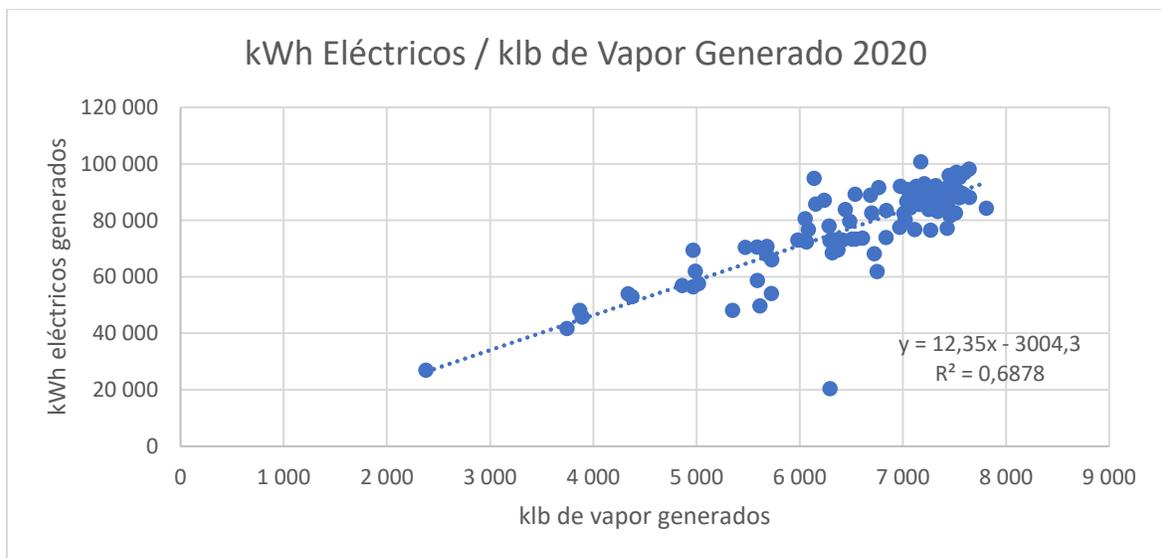


Figura 69. LBE kWh eléctricos generados por klb de vapor generado 2020

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

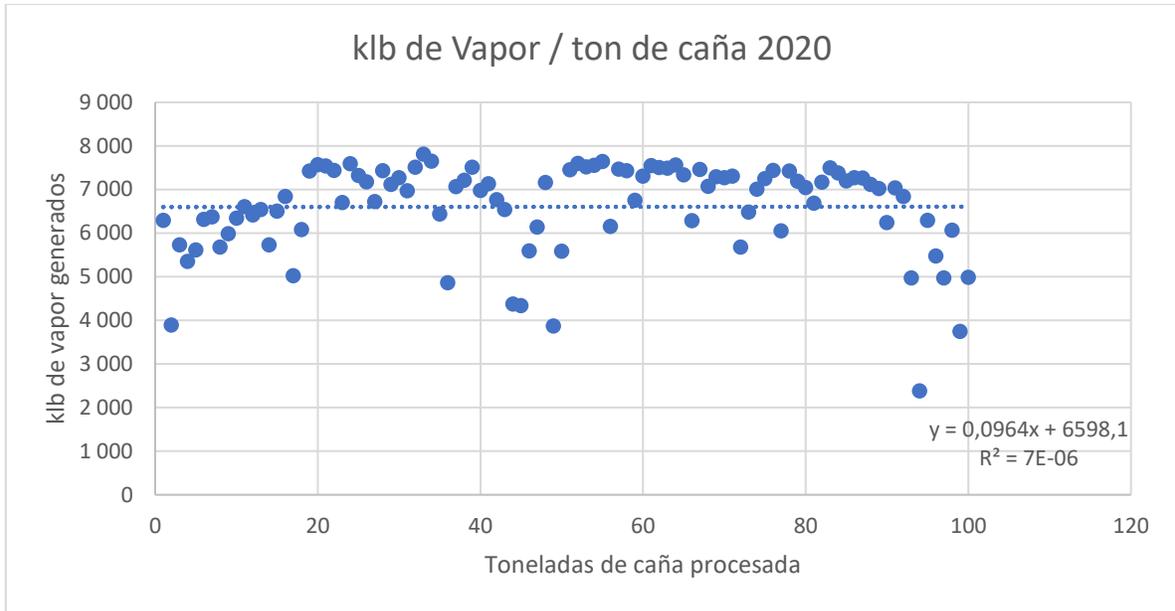


Figura 70.. LBE klb de vapor generadas por tonelada de caña 2020

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

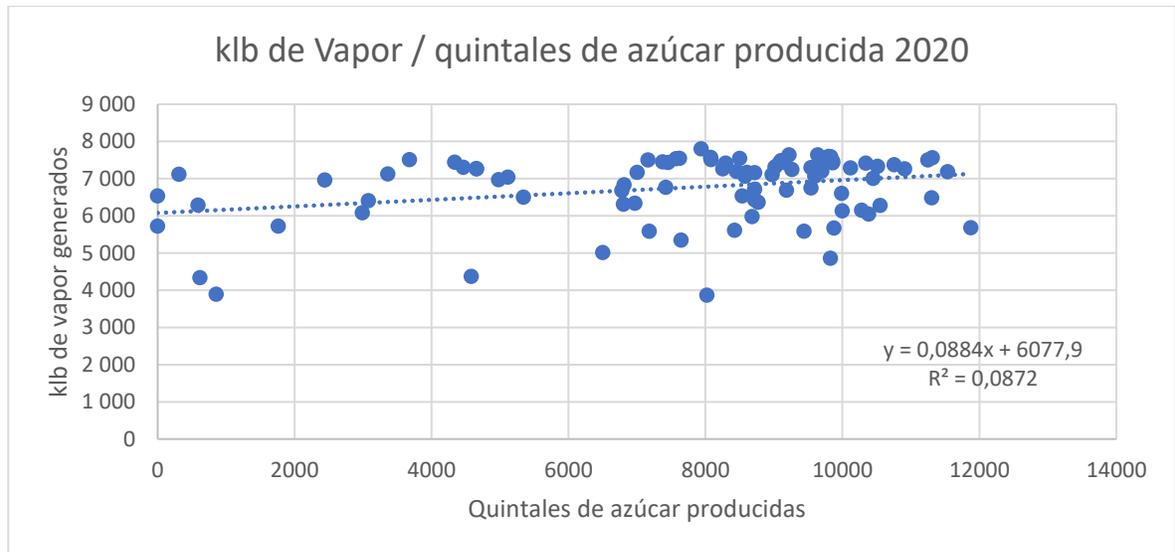


Figura 71. LBE klb de vapor generadas por quintal de azúcar producido 2020

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

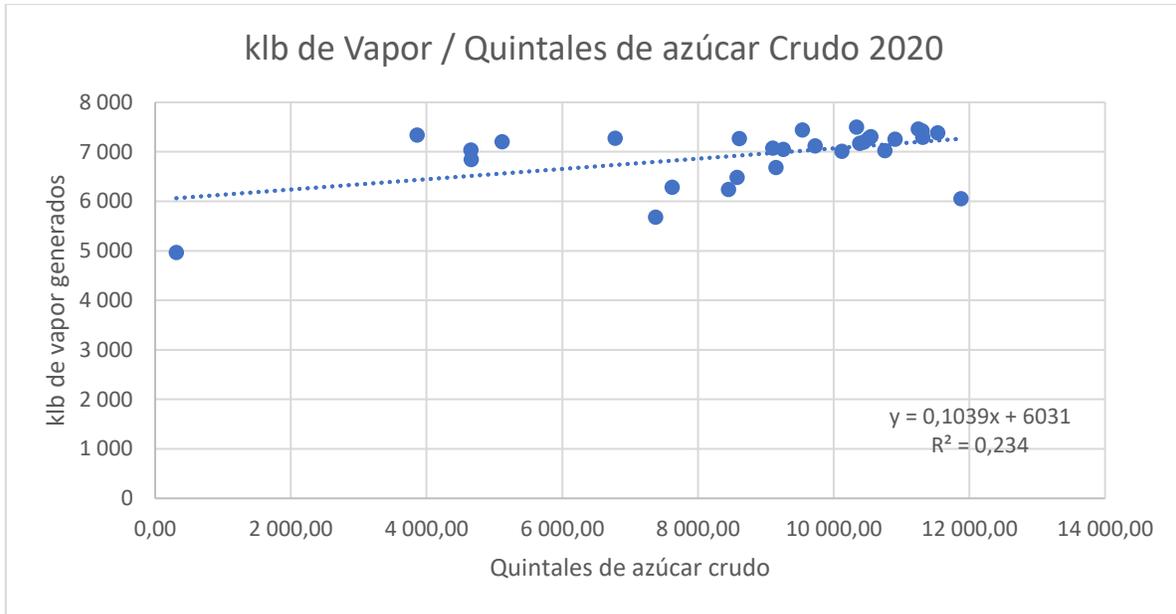


Figura 72.LBE klb de vapor generadas por quintal de azúcar crudo 2020

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

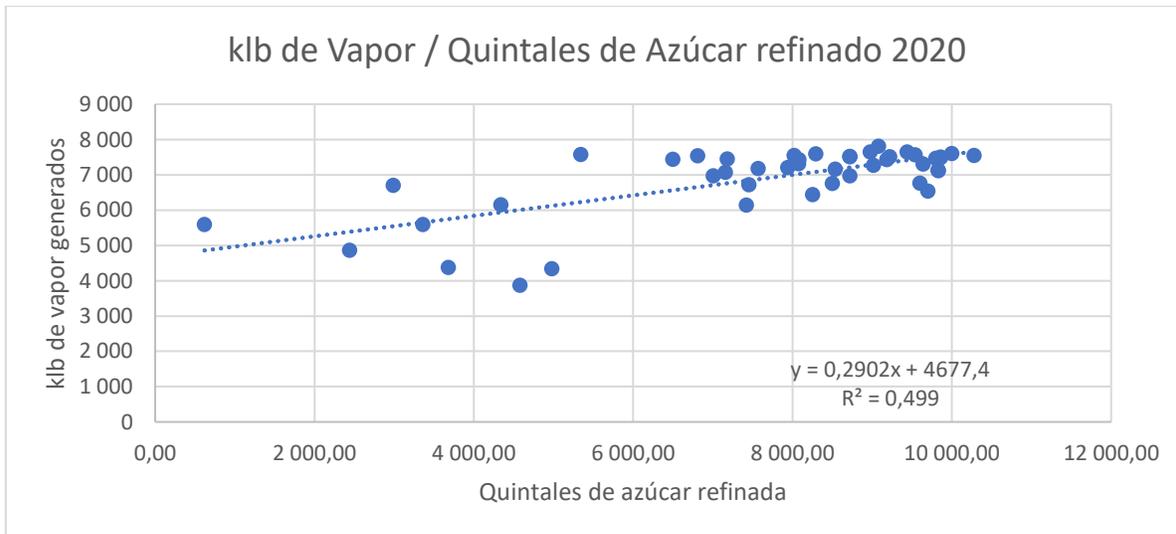


Figura 73. LBE klb de vapor generadas por quintal de azúcar refinado 2020

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel

D. Monitoreo en tiempo real

```
#include "config.h"

/***** Example Starts Here *****/
AdafruitIO_Feed *Corriente = io.feed("Corriente");
AdafruitIO_Feed *Potencia = io.feed("Potencia");
AdafruitIO_Feed *Irms = io.feed("Irms");
#include "EmonLib.h"

// Crear una instancia EnergyMonitor
EnergyMonitor energyMonitor;

// Voltaje de nuestra red eléctrica
float voltajeRed = 460.0;
void setup() {

    // start the serial connection
    Serial.begin(115200);

    // wait for serial monitor to open
    while(! Serial);

    Serial.print("Connecting to Adafruit IO");

    // connect to io.adafruit.com
    io.connect();

    // wait for a connection
    while(io.status() < AIO_CONNECTED) {
        Serial.print(".");
        delay(1000);
    }

    // Iniciamos la clase indicando
    // Número de pin: donde tenemos conectado el SCT-013
    // Valor de calibración: valor obtenido de la calibración teórica
    energyMonitor.current(0, 89.32559);
}

// we are connected
Serial.println();
Serial.println(io.statusText());

}

void loop()
{
    // Obtenemos el valor de la corriente eficaz
    // Pasamos el número de muestras que queremos tomar
    double Irms = energyMonitor.calcIrms(1484);

    // Calculamos la potencia
    double potencia = Irms * voltajeRed * 0.8 * 1.7320 ;

    // Mostramos la información por el monitor serie
    Serial.print("Potencia = ");
    Serial.print(potencia);
    Serial.print("Corriente = ");
    Serial.println(Irms);
    Potencia->save(potencia);
    Corriente -> save(Irms);
    delay(10000);
}
```

Figura 74. Programación en IDE de Arduino

Fuente: Elaboración propia. IDE de Arduino

```
/****** Adafruit IO Config *****/
#define IO_USERNAME "ejaenb"
#define IO_KEY "aio_QMDi1lOq4WH8fiqlfzpAA1gwYaEj"

/****** WIFI *****/

#define WIFI_SSID "Sensor"
#define WIFI_PASS "emjb0497"

#include "AdafruitIO_WiFi.h"

AdafruitIO_WiFi io(IO_USERNAME, IO_KEY, WIFI_SSID, WIFI_PASS);
```

Figura 75. Programación conexión entre ESP8266 y Adafruit.IO

Fuente: Elaboración propia. IDE de Arduino

Anexos.

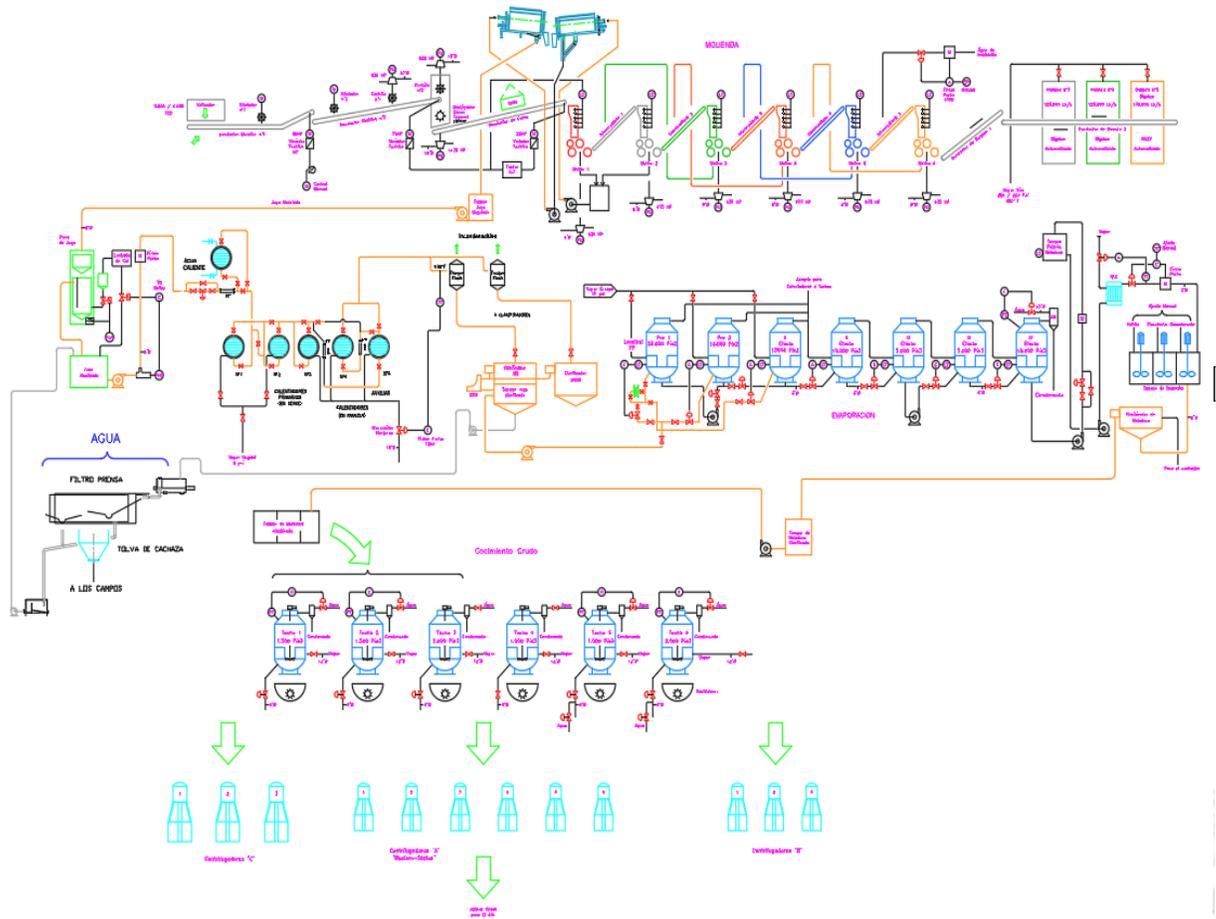


Figura 76. Diagrama de proceso de cocimiento crudo

Fuente: Ingenio La Estrella.

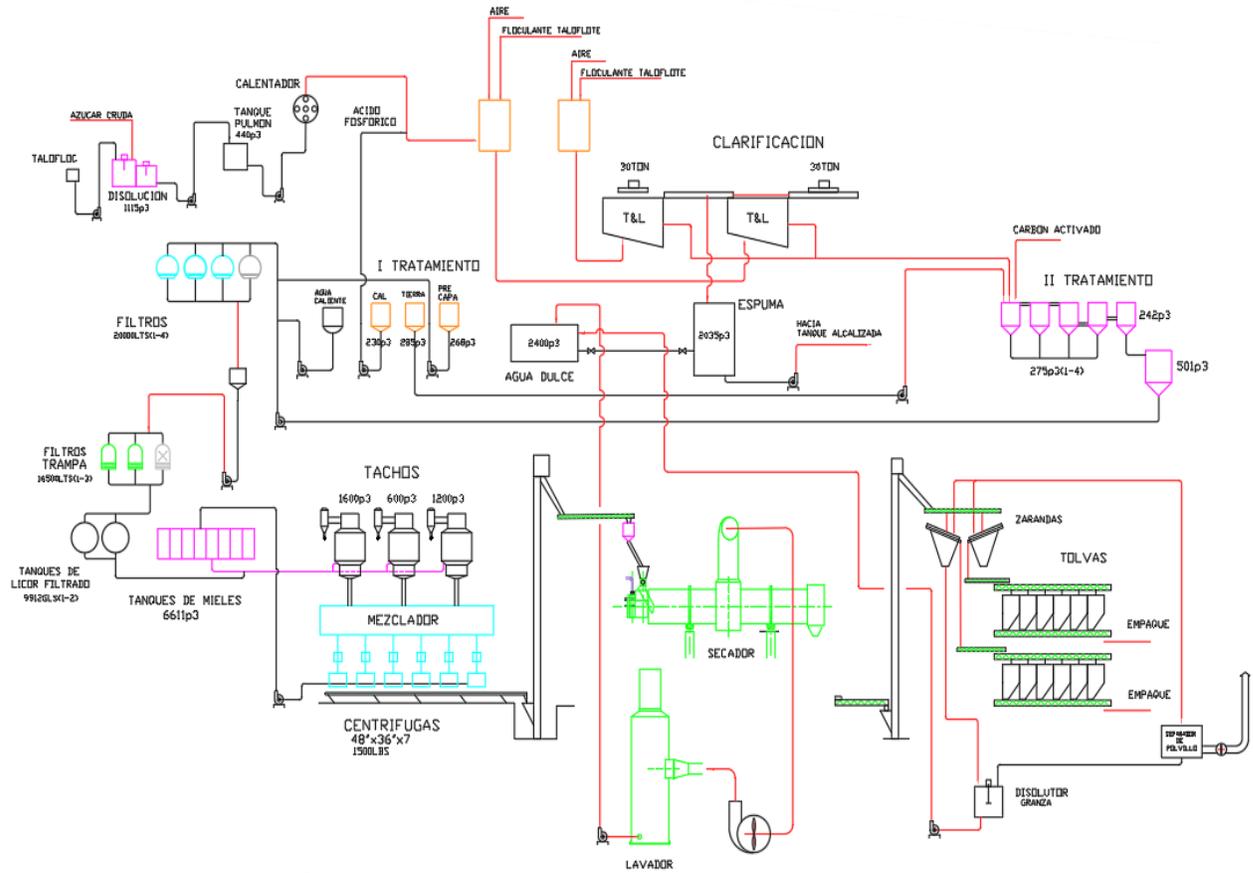


Figura 77. Diagrama de proceso de refinado

Fuente: Ingenio La Estrella

TABLE 43
STEAM CONSUMPTION OF MILL ENGINES

Boiler pressure (p.s.i.)	Admission pressure (p.s.i.)	Back pressure (p.s.i.)	Economical admission %	Steam consumption (lb./i.h.p.h.)
A. CORLISS				
78	64	8.5	36	40.7
85	71	8.5	30	36.9
92	78	8.5	28	34.4
100	85	8.5	25	32.6
107	92	8.5	22	30.8
114	100	8.5	20	29.1
121	107	8.5	18	27.9
128	114	8.5	17	27.3
142	128	8.5	13	24.6
B. DROP-VALVES				
114	100	8.5	20	29.3
128	114	8.5	17	27.5
142	128	8.5	13	25.7
156	142	8.5	11	23.7
185	171	8.5	10	23
199	185	8.5	9	22.6
228	213	8.5	8	22.4

Figura 78. Consumo de Vapor Teórico para Molinos

Fuente: [23]

TABLA A-6

Vapor de agua sobrecalentado (continuación)

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
P = 1.00 MPa (179.88 °C)				P = 1.20 MPa (187.96 °C)				P = 1.40 MPa (195.04 °C)				
Sat.	0.19437	2582.8	2777.1	6.5850	0.16326	2587.8	2783.8	6.5217	0.14078	2591.8	2788.9	6.4675
200	0.20602	2622.3	2828.3	6.6956	0.16934	2612.9	2816.1	6.5909	0.14303	2602.7	2803.0	6.4975
250	0.23275	2710.4	2943.1	6.9265	0.19241	2704.7	2935.6	6.8313	0.16356	2698.9	2927.9	6.7488
300	0.25799	2793.7	3051.6	7.1246	0.21386	2789.7	3046.3	7.0335	0.18233	2785.7	3040.9	6.9553
350	0.28250	2875.7	3158.2	7.3029	0.23455	2872.7	3154.2	7.2139	0.20029	2869.7	3150.1	7.1379
400	0.30661	2957.9	3264.5	7.4670	0.25482	2955.5	3261.3	7.3793	0.21782	2953.1	3258.1	7.3046
500	0.35411	3125.0	3479.1	7.7642	0.29464	3123.4	3477.0	7.6779	0.25216	3121.8	3474.8	7.6047
600	0.40111	3297.5	3698.6	8.0311	0.33395	3296.3	3697.0	7.9456	0.28597	3295.1	3695.5	7.8730
700	0.44783	3476.3	3924.1	8.2755	0.37297	3475.3	3922.9	8.1904	0.31951	3474.4	3921.7	8.1183
800	0.49438	3661.7	4156.1	8.5024	0.41184	3661.0	4155.2	8.4176	0.35288	3660.3	4154.3	8.3458
900	0.54083	3853.9	4394.8	8.7150	0.45059	3853.3	4394.0	8.6303	0.38614	3852.7	4393.3	8.5587
1000	0.58721	4052.7	4640.0	8.9155	0.48928	4052.2	4639.4	8.8310	0.41933	4051.7	4638.8	8.7595
1100	0.63354	4257.9	4891.4	9.1057	0.52792	4257.5	4891.0	9.0212	0.45247	4257.0	4890.5	8.9497
1200	0.67983	4469.0	5148.9	9.2866	0.56652	4468.7	5148.5	9.2022	0.48558	4468.3	5148.1	9.1308
1300	0.72610	4685.8	5411.9	9.4593	0.60509	4685.5	5411.6	9.3750	0.51866	4685.1	5411.3	9.3036

Figura 79. Propiedades del vapor sobrecalentado

Fuente: [27]

AHRI* CAPACITY RATINGS

UNIT	COOLING STAGES	COMPRESSORS	NOM. CAPACITY (TONS)	NET COOLING CAPACITY (MBH)	TOTAL POWER (kW)	EER	IEER	IEER w/ 2-SPEED
38AUZ(A,B)07/40RU07	1	1	6	71.0	6.2	11.5	12.2	N/A
38AUZ(A,B)08/40RU08	1	1	7.5	92.0	8.2	11.2	11.8	N/A
38AUZ12/40RU12	1	1	10	117.0	10.4	11.2	12.0	N/A
38AUZ14/40RU14	1	1	12.5	148.0	13.5	11.0	12.0	N/A
38AUZ16/40RU16	1*	2	15	184.0	16.4	11.2	13.2	14.3
38AUZ25/40RU25	1*	2	20	240.0	21.8	11.0	12.5	13.6

* Single circuit with two (tandem) compressors. See application tip #38TIP-10-03 for staging capabilities.

Figura 80. Datasheet UC de aire acondicionado

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS						
Concepto	Medida	1 Ton	1 Ton	1.5 Ton	2 Ton	3 Ton
Voltaje	V~	115	230	230	230	230
Relación de eficiencia energética estacional	SEER	17	17	17	17	19
Capacidad de enfriamiento	BTU/h	12,000	12,000	18,000	24,000	36,000
Capacidad de calefacción	BTU/h	12,500	12,500	18,700	24,900	37,000
Consumo promedio frío	W	1000	1,000	1,550	2,050	4,100
Consumo promedio calefacción	W	950	950	1,500	1,950	3,800
Amperaje promedio frío	A	9.0	4.5	6.9	9.2	17
Amperaje promedio calefacción	A	8.8	4.4	6.6	9.0	16.5
Refrigerante	R	R410a	R410a	R410a	R410a	R410a
Carga refrigerante frío	Kg	0.85	0.85	1.40	1.80	2.60
Carga refrigerante calefacción	Kg	0.85	0.85	1.40	1.80	2.60
Nivel de ruido evaporadora	dB(A)	39	39	45	46	47
Nivel de ruido condensadora	dB(A)	53	53	56	59	75
Dimensiones evaporadora (AxBxC)	mm	918x278x364	918x278x364	1038x380x305	1145x410x355	1441x421x358
Dimensiones condensadora (AxBxC)	mm	878x360x580	820x355x735	1026x455x735	1026x455x735	1083x488x855

Figura 81. Datasheet aire condicionados Split.

QSI-335i

Technical Data		
Compressor Drive Motor	Nameplate hp	75
Inlet Capacity	acfm	335
Full Load Operating Pressure	psig	125
Max. Operating Pressure	psig	140
Min. Operating Pressure	psig	75
Max. Ambient Operating Temp.	°F	115
Min. Ambient Operating Temp.	°F	34
Service Line Connection	NPT	2
Rotor Diameter	mm	204
Male Rotor Speed	rpm	1775

Aftercooling Data		
Heat Rejection- Oil Cooler	btu/min	2422
Heat Rejection- Aftercooler	btu/min	488
Aftercooler Approach to Cooling Air	°F	12-15
Max Static Backpressure	" H ₂ O	0.25
Fan Motor Power	nameplate hp	1.5
Fan Motor Speed	rpm	1200
Fan Flow	cfm	5325

Water Cooled Cooling Data		
Heat Rejection- Oil Cooler	btu/min	2944
Heat Rejection- Aftercooler	btu/min	760
Approach Temperature	°F	12-15
Water Flow w/aftercooler at 70°F	gpm	21
Water Flow w/aftercooler at 90°F	gpm	28
Recommended Inlet H ₂ O Pressure	psig	40-100
H ₂ O In/Out Size	in. (NPT)	1.5
Vent Fan Motor (w/ canopy)	Nameplate hp	0.25

Compressor Fluid Data		
Total Fluid Capacity	gal	15
Reservoir Fluid Capacity	gal	12
Normal Aired Discharge Temp.	°F	190
Typical Fluid Carryover	ppm	3

Dryer Data		
Refrigerant Type		R-134a
Compressor Power	hp	2.3
Fan Motor Power	hp	1/4
Max Fuse or Circuit Breaker	A	15

Sound Data (at 1 meter)		
Unenclosed	dB(A)	77
Standard Enclosure	dB(A)	68

Energy Consumption- Air & Water Cooled		
Full Load Drive Motor HP	Bhp	81.8
Drive Motor Efficiency	%	94%
Unloaded Drive Motor HP	Bhp	15.6
Fan Motor HP	Bhp	1.5
Fan Motor Efficiency	%	74%
FL Drive Motor Consumption	kW	64.9
FL Fan Motor Consumption	kW	1.5
Total Package Consumption- AC	kW	66.4
Total Package Specific Power- AC	kW/100 cfm	19.8
	bhp/100 cfm	26.6
Total Package Consumption- WC	kW	64.2
Total Package Specific Power- WC	kW/100 cfm	19.2
	bhp/100 cfm	25.7

Dimensions		
Length	in (mm)	91 (2311)
Width	in (mm)	54 (1372)
Height	in (mm)	75 (1905)
Approx. Weight	lbs (kg)	4150 (1882)

Figura 82. Datasheet Compresores QSI-335i.

TARIFAS DE ALTA TENSIÓN				
Tarifa con Demanda Máxima (ATD)				
Cargo fijo	B/. Cliente mes	12.82	8.74	12.68
Cargo por Energía	B/. kWh	0.14111	0.10989	0.12642
Cargo por Demanda Máxima	B/. kW/mes	12.10	10.51	18.74
Tarifa por Bloque Horario (ATH)				
Cargo fijo	B/. Cliente mes	12.82	8.74	12.68
Cargo por energía en Punta	B/. kWh	0.19414	0.10384	0.14796
Cargo por energía Fuera de Punta	B/. kWh	0.14289	0.10384	0.10772
Cargo por Demanda Máxima en Período de Punta	B/. kW/mes	14.65	10.00	20.77
Cargo por Demanda Máxima Fuera de Punta	B/. kW/mes	3.8	0.71	3.04

Figura 83. Modelo tarifario de la compañía.

Fuente: ASEP