

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

PROPUESTAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA EMPRESA LÁCTEA “EL RANCHITO” CIA- LTDA

COMPONENTE: DIAGNÓSTICO Y PROPUESTAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LAS CARGAS ELÉCTRICAS ASOCIADAS AL SISTEMA DE FUERZA DE LA EMPRESA.

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRICIDAD**

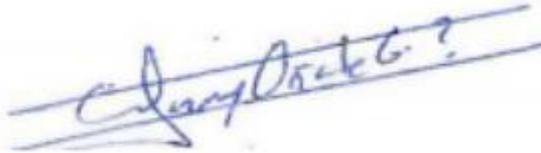
DANNY GABRIEL OÑATE GONZÁLEZ

DIRECTOR: DRA. XIMENA PATRICIA GAVELA GUAMÁN

DMQ, septiembre de 2022

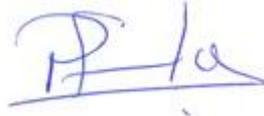
CERTIFICACIONES

Yo, Danny Gabriel Oñate González declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



Danny Gabriel Oñate González

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Danny Gabriel Oñate González, bajo mi supervisión.



Dra. Ximena Gavela
DIRECTORA

Certificamos que revisamos el presente trabajo de integración curricular.

NOMBRE_REVISOR1
REVISOR1 DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR

NOMBRE_REVISOR2
REVISOR2 DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el producto resultante del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Danny Gabriel Oñate González

Dra. Patricia Gavela

DEDICATORIA

A mi padre Marco Patricio Oñate Salcedo, por ser el claro ejemplo de seguir adelante y por todos los consejos que han sido de gran ayuda para mi vida y crecimiento. Este proyecto es el resultado de todo lo que me has enseñado, ya que siempre has sido una persona entregada a tu trabajo, y un gran líder, pero más que todo eso, lo considero mi mejor amigo y sé que puedo confiar en el sin importar la situación en la que me encuentre.

A mi madre Myrian de Lourdes González Riera, por ser la mujer que más amo en este mundo, quien con su paciencia y sacrificio durante estos años han sabido guiarme por el camino del bien y me ha enseñado el valor de la resistencia y la perseverancia y me ha hecho el gran hombre que soy ahora

A mi abuelita María Magdalena, estoy completamente seguro de que, aunque no estas presentes siempre me acompañaste en los momentos más complicados de la carrera, me siento muy feliz porque logre cumplirte la promesa y sé que desde el cielo me está viendo y por eso te dedico este trabajo, siempre estarás dentro de mi corazón.

A mi abuelita María Bélgica, muchas gracias por compartir conmigo tus últimos días de vida, por brindarme todo tu cariño y también por enseñarme el significado del verdadero amor. Siempre creíste en mí y puedo decir que lo hiciste más que yo, sé que, gracias a eso, describe de lo que soy capaz.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por el apoyo incondicional, cariño y su energía positiva, que me han brindado en este crecimiento profesional, a Dios por darme la fortaleza, motivación y salud de cada día seguir adelante.

A todas las personas que estuvieron durante mi formación en la carrera especialmente a la Dra. Ximena Gavela por su dirección y apoyo durante el proceso de elaboración del proyecto.

Al Ing. Javier Median por brindarnos su apoyo y paciencia y permitirme realizar este trabajo en la industria.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
INDICE DE TABLAS.....	VII
INDICE DE ANEXOS.....	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	X
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo general.....	1
1.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Alcance.....	2
1.4 Marco teórico.....	2
1.4.1 Instalaciones eléctricas industriales.....	2
1.4.2 Criterios para el diseño eléctrico en industrias.....	6
1.4.2.1. Principales elementos.....	6
1.4.3 Criterios de eficiencia energética para motores en industrias.....	15
1.4.4 Indicadores financieros.....	19
2 DESARROLLO DEL ESTUDIO.....	20
2.1 Diagnóstico de la situación actual de las instalaciones eléctricas asociadas con circuitos de fuerza.....	20
2.1.1 Diagnóstico de la situación energética.....	20
2.1.2. Principales cargas e instalaciones asociadas con los circuitos de fuerza.....	21
2.1.3. Levantamiento fotográfico de instalaciones y equipos.....	24
2.1.4. Análisis de tableros y protecciones.....	27
2.2 Medición, Recolección y Análisis de Datos.....	29
2.2.1. Instrumentos de medida.....	29
2.2.3. Análisis de datos.....	30
2.2.4. Medición de los parámetros eléctricos asociados con la operación de motores.....	41
2.3 Propuesta de eficiencia energética para el sistema de fuerza.....	43
2.3.1 Rediseño de las instalaciones eléctricas de la industria asociadas al sistema de fuerza y cargas especiales.....	46
2.3.1.1 Redimensionamiento de tableros y redistribución de circuitos.....	47

2.3.1.2	Calibre de conductores	49
2.3.1.3	Protecciones.....	51
2.3.1.4	Planos y Diagramas	53
2.4	Evaluación financiera de las medidas de eficiencia	53
2.4.1	Reemplazo de motores estándar por motores de alta eficiencia	53
2.4.2	Implementación del sistema de arranque para motores.....	56
2.4.3	Implementación de un sistema de control de motores.....	59
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
3.1	Resultados	61
3.1.1.	Rediseño de las instalaciones eléctricas	61
3.1.2.	Propuestas de eficiencia energética	62
3.2	Conclusiones.....	68
3.3	Recomendaciones	70
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
5	ANEXOS	72

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Procesos y productos de la industria láctea El Ranchito.....	5
Tabla 1.2. Porcentajes de excepción cuando no arranque el motor.	8
Tabla 1.3. Matriz de control de eficiencia energética	16
Tabla 1.4. Parámetros para evaluación de eficiencia energética en motores eléctricos	17
Tabla 2.1. Características de motores en el “Área de Calderos”.	22
Tabla 2.2. Tablero de distribución principal # 1	22
Tabla 2.3. Tablero de distribución principal # 2.....	23
Tabla 2.4. Protecciones actuales del Tablero de sub-distribución general bancos de agua helada recepción nueva.	23
Tabla 2.5. Cuadro de Fotografías	25
Tabla 2.6. Criterios utilizados para la evaluación del estado de Tableros y Protecciones.....	27
Tabla 2.7. Datos de Potencia activa del Tablero de distribución principal TDP-1	30
Tabla 2.8. Datos de Potencia reactiva del Tablero de distribución principal TDP-1	32
Tabla 2.9. V1rms, V2rms, V3rms (Valores tendencia) del TDP-1	33
Tabla 2.10. V1rms, V2rms, V3rms (Valores tendencia) del TDP-1	35
Tabla 2.11. A1rms, A2rms, A3rms, Nrms (Valores máximos, mínimos y tendencia)	37
Tabla 2.12. Datos de Factor de potencia del Tablero de distribución principal TDP-1	38
Tabla 2.13. Resultado de los parámetros eléctricos medidos de los tableros principales de distribución de la industria láctea El Ranchito.	40
Tabla 2.14. Análisis de los parámetros eléctricos medidos de los tableros principales de distribución de la industria.	41
Tabla 2.15 Medición en motores representativos del El Ranchito	42
Tabla 2.16 Determinación del estado funcional de los motores.....	44
Tabla 2.17 Análisis de propuestas de eficiencia energética	44
Tabla 2.18. Nueva redistribución de circuitos para el “Tablero de sub-distribución general Bancos de agua helada recepción nueva”	48
Tabla 2.19. Valores de resistencia y reactancia inductiva para cables de cobre. 50	
Tabla 2.20. Calibres de conductores para circuitos de los tableros principales ...	51
Tabla 2.21. Protecciones recomendadas para el tablero TSGAME	51
Tabla.2.22. Potencia real y horas de funcionamiento de los motores de 5HP	54

Tabla 2.23. Pliego tarifario	55
Tabla 2.24. Evaluación de ahorro de costos anuales	55
Tabla 2.25. Evaluación financiera para motores tipo IE2 y IE3.....	56
Tabla 2.26. Cálculo de potencia de arranque.	57
Tabla 2.27. Cálculo de ahorro anual en [\$]	57
Tabla 2.28. Evaluación económica.	58
Tabla 2.29. Horas de funcionamiento de un motor con y sin automatización.	60
Tabla 2.30. Cálculo de ahorro estimado para un sistema automatizado.	60
Tabla 2.31. Evaluación económica	60
Tabla 3.1. Detalle del rediseño propuesto para las instalaciones eléctricas	62
Tabla 3.2. Resumen de ahorro, propuesta remplazo de motores.	63
Tabla 3.3. Criterios para el remplazo de motores eficientes	64
Tabla 3.4. Resumen de ahorro, propuesta implementación arrancador estrella – triangulo y arrancador suave.	65
Tabla 3.5. Ventajas y desventajas de los arrancadores.....	65
Tabla 3.6. Ventajas de una automatización de procesos industriales.....	67
Tabla 3.7. Resumen de ahorro, propuesta Implementación de un sistema de automatización y control.....	68

INDICE DE ANEXOS

ANEXO I – Matriz de control de eficiencia.	72
ANEXO II – Levantamiento de cargas.....	72
ANEXO III – Identificación Tableros principales y de sub-distribución.	72
ANEXO IV – Redistribución de los circuitos.	72
ANEXO V – Evaluación funcional de los tableros y protecciones.	72
ANEXO VI – Equipos de medición.	72
ANEXO VII – Evaluación del estado funcional de los motores representativos. ..	72
ANEXO VIII – Distribución de los tableros, motores y cargas especiales.	72
ANEXO IX – Número de circuitos para los tableros	72

RESUMEN

En este Trabajo de Integración Curricular se presenta los resultados del diagnóstico energético realizado a la empresa láctea “El Ranchito”. El estudio tuvo por objeto analizar, proponer y priorizar un conjunto de medidas de eficiencia energética, para las cargas eléctricas asociadas al sistema de fuerza de la planta industrial de la empresa.

Como parte del estudio se realizó el levantamiento de información asociada con: datos de cargas, inventario e información técnica de equipos en instalaciones, diseño de planos eléctricos y diagrama unifilar.

El diagnóstico energético determinó la necesidad de estudiar el rediseño eléctrico en varias áreas de la planta industrial que estaban siendo afectadas por problemas de sobrecalentamiento de conductores, sobrecarga de tableros, desbalance de fases, entre otros aspectos. El rediseño eléctrico incluyó el dimensionamiento de alimentadores y circuitos derivados, ajuste de protecciones, dimensionamiento y reubicación de tableros, así como el balance de fases. Todo el diseño se realizó observando la normativa vigente para instalaciones eléctricas, asegurando así el correcto funcionamiento de la instalación eléctrica y la integridad de los trabajadores.

Además de esto, se identificaron algunas propuestas o medidas de eficiencia energética, las cuales fueron evaluadas financieramente para determinar la viabilidad de su implementación.

PALABRAS CLAVE: Rediseño eléctrico, eficiencia energética, ahorro energético, instalaciones industriales.

ABSTRACT

In this curricular integration project, the energy efficiency diagnosis for The Ranchito industry is presented. The objective of this study was to analyze, propose and prioritize a set of energy efficiency actions for electrical loads associated with the company's power system.

As part of this study an in-site survey information was developed associated with load data, inventory and technical information of equipment and installations, electrical drawing designs and single-line diagrams.

The energy diagnosis determined the need to study the electrical re-design in different areas inside the industrial plant, which were being affected by problems of conductors overheating, panel boards overloading, phase imbalances, among other aspects. The electrical re-design included the feeders sizing and branch circuits, protections adjustment, panel boards sizing and relocation, as well as phase balance. The entire design was developed in compliance with current electrical regulations; thus, ensuring the appropriate electrical installations' functioning and the workers' integrity.

In addition, some energy efficiency proposals were identified which were financially evaluated to determine the viability of their implementation.

KEY WORDS: Electrical re-design, Energy efficiency, Energy saving, Industrial installations.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

En el presente Trabajo de Integración Curricular se presenta el estudio realizado para el diagnóstico energético de la planta industrial de la pasteurizadora “El Ranchito” Cía. Ltda. El estudio abarcó todo el sistema de fuerza de la empresa, y tuvo como objeto identificar los principales problemas relacionados con el sistema eléctrico de la planta y la necesidad de acciones correctivas o de mejora, considerando criterios y propuestas de eficiencia energética.

El Ranchito Cía. Ltda. es una empresa que siempre ha buscado la mejora continua en sus procesos y durante los últimos 10 años ha venido experimentando un importante crecimiento en su producción debido a la creciente demanda de sus productos, lo que ha provocado a su vez que se incremente su demanda eléctrica y expansión de sus instalaciones. Sin embargo como tal crecimiento, no fue del todo planificado, muchos ajustes a su planta eléctrica, se realizaron sin estudio completo previo, lo que generó diversos problemas como: sobrecarga de conductores y tableros, implementación de circuitos improvisados, problemas con motores que ya han cumplido su ciclo de vida, entre otros problemas, que han generado no solo pérdidas eléctricas y desperdicio en el consumo eléctrico, sino dificultades en la planificación, operación y mantenimiento de su sistema eléctrico.

Debido a esto, se identificó como una acción prioritaria para la mejora del sistema eléctrico, un rediseño de las instalaciones, sobre todo para aquellas áreas que presentaban mayores inconvenientes como las áreas de *“calderos, producto y empaque de yogurt en funda”*, *“preparación de quesos”*, *“almacenamiento materia prima”*, *“tratamiento térmico”*, *“laboratorio de calidad y recepción de leche”*, *“sisterna de agua helada”*, *“planta de tratamiento de aguas residuales”*, *“cuarto tableros eléctricos”*, y *“Unidades de frío”*. Además de esto se identificaron una serie de medidas de eficiencia energética que puede ser implementadas por la industria para optimizar o mejorar su consumo eléctrico, las cuales fueron evaluadas desde el punto de vista financiero.

Para el rediseño eléctrico y para las propuestas de eficiencia energética se tomaron en cuenta las recomendaciones de normativa nacional e internacional como la NEC, IEC, INEN, IEEE, las cuales se utilizan como guía en la elaboración de proyectos eléctricos.

1.1 Objetivo general

Realizar un diagnóstico y propuestas de eficiencia energética para el actual sistema de fuerza y cargas especiales de la industria láctea “El Ranchito” Cía. Ltda.

1.2 Objetivos específicos

1. Levantar la información relacionada con el sistema de fuerza y cargas especiales actual de la empresa.
2. Realizar un diagnóstico del diseño actual de las instalaciones eléctricas de la industria.
3. Elaborar propuestas eficiencia energética tomando en consideración las necesidades actuales y futuras de la planta.
4. Evaluar técnica y financieramente las propuestas o medidas de eficiencia planteadas para su priorización.

1.3 Alcance

Este trabajo de integración curricular abarca un diagnóstico del diseño actual del sistema de fuerza y cargas especiales, desde la cámara de transformación hasta los puntos de conexión de las máquinas de la pasteurizadora “El Ranchito”, mismo que incluirá propuestas de rediseño para aquellos puntos críticos del sistema eléctrico, considerando las necesidades energéticas actuales y futuras de la planta.

Como parte del estudio se analizará criterios de eficiencia energética para motores y diferentes cargas especiales asociadas con la industria, y con base a los resultados se propondrán medidas que permitan reducir el consumo eléctrico de la planta.

Las medidas de eficiencia energética serán evaluadas desde el ámbito técnico y financiero, se elaborará un listado priorizado de medidas analizando los beneficios que se tendrá al momento de reducir el consumo energético.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Instalaciones eléctricas industriales

Las industrias son uno de los principales sectores de consumo de energía eléctrica a nivel mundial. Para sus procesos, normalmente utilizan cargas de tipo resistivo, inductivo, capacitivo o una combinación de las anteriores, como se indican en la Figura 1.1, y Figura 1.2.

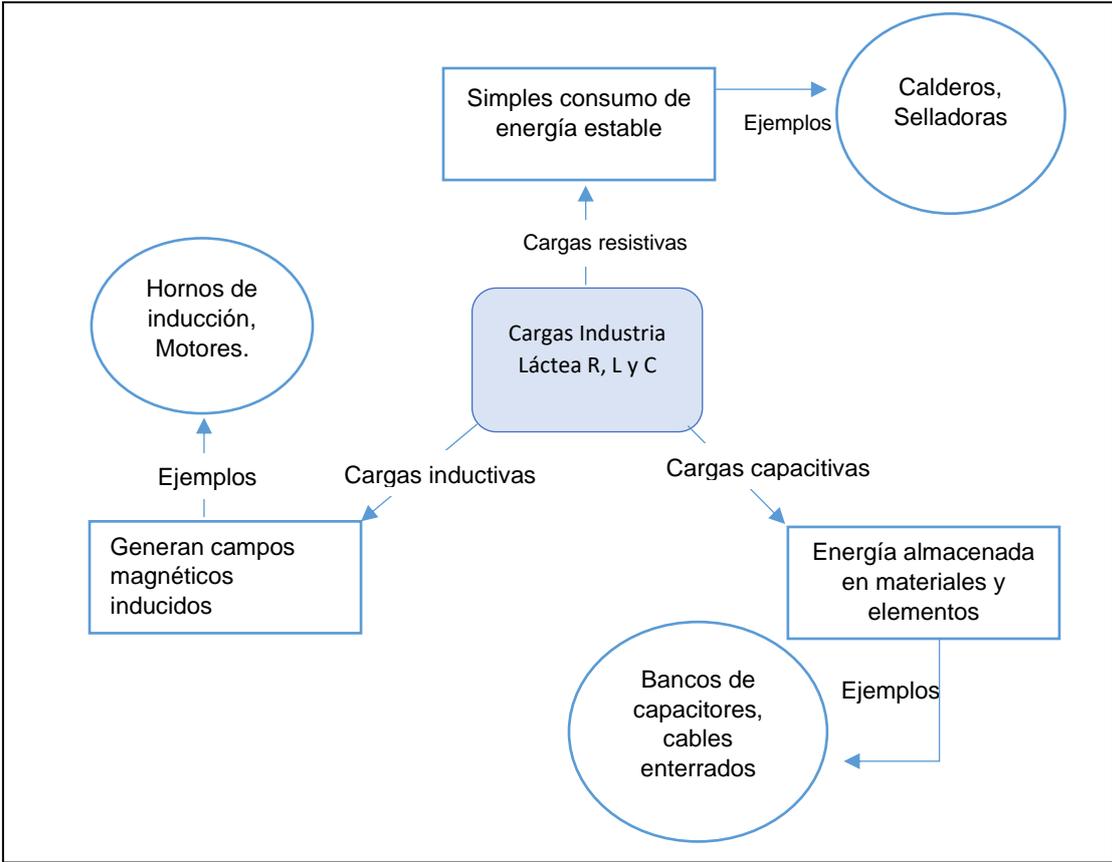


Figura 1.1.

Fuente: Elaboración propia

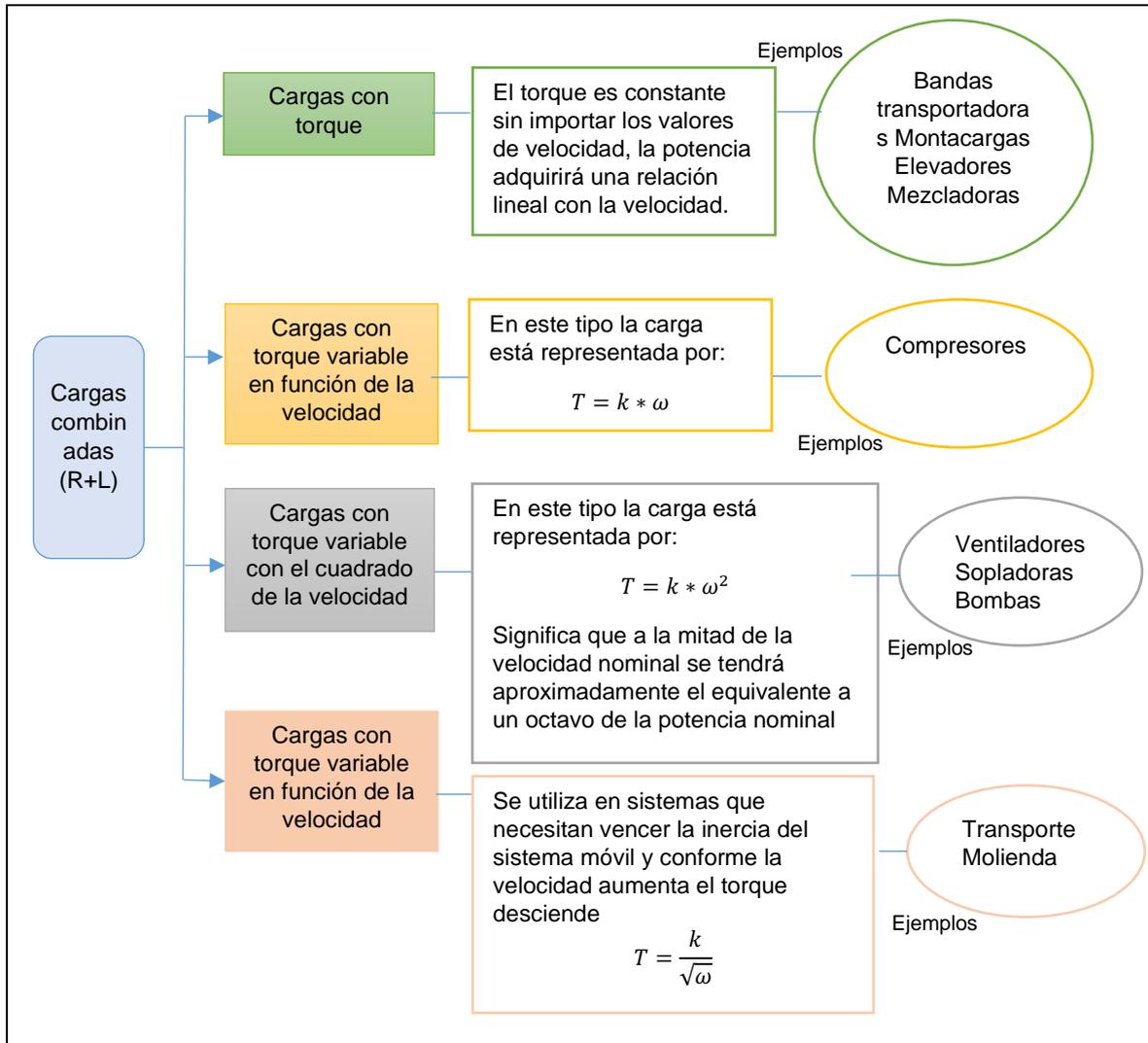


Figura 1.2.

Fuente: Elaboración propia

Concretamente para industrias lácteas, las cargas principalmente están asociadas a motores, bombas, ventiladores y bandas transportadoras, que se usan en los diferentes procesos para la elaboración de diversos productos. En la Figura 1.3 se describen en porcentajes los principales tipos de cargas, y la Tabla 1.1., los procesos requeridos y los productos que resultan de tales procesos.

Cargas típicas de una industria láctea



Figura 1.3. Cargas típicas de una industria láctea

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.1. Procesos y productos de la industria láctea El Ranchito

PROCESOS	
Recepción de leche	Ultrapasteurización (UHT)
Almacenamiento de leche	Envasado
TRATAMIENTOS PREVIOS	Empacado
Filtración	Almacenado
Separadoras centrifugas	
Clarificado	
Enfriado	
Homogenización	
TRATAMIENTO TÉRMICO DE LA LECHE	
Termización	
Pasteurización Alta y Baja	
Desodorizado	
PRODUCTOS	
Leche entera en funda	Leche entera y semi descremada tetra pack
Bebida de leche fermentada	Elaboración de Yogurt
Mantequilla	Elaboración de Queso fresco
Refrescos	Helado de Yogurt

Fuente: Elaboración propia

1.4.2 Criterios para el diseño eléctrico en industrias

Los criterios para las recomendaciones de rediseño que surjan como medidas de eficiencia energética analizadas en este trabajo, se tomarán del American National Electric Code (NEC), el cual establece criterios el diseño de instalaciones eléctricas de bajo voltaje, con el fin de garantizar una instalación eléctrica segura para las personas que harán uso de dicha instalación. Además de esta norma, complementariamente, se aplicarán los criterios y recomendaciones de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) capítulo 15 para instalaciones electromecánicas.

1.4.2.1. Principales elementos

Bajo la guía de las normas citadas, a continuación, se presentan los principales criterios que deben considerarse para el diseño, construcción y operación adecuada de los principales elementos de una red eléctrica industrial, y que serán considerados para el diagnóstico energético, con el fin de determinar los requerimientos de eficiencia de la industria.

a) Circuitos derivados

Los circuitos derivados son aquellos circuitos que distribuyen la alimentación eléctrica desde los tableros generales a las cargas puntuales de la instalación, pudiendo ser estas, de fuerza o iluminación. Los circuitos derivados para motores generalmente son de cobre o de aluminio y deben de estar bien dimensionados para soportar los arranques y paros en el accionamiento de sus cargas, así como la operación continua.

Los conductores de un circuito derivado deben ser capaces de soportar sobrecargas que los motores puedan producir debido a problemas con los rodamientos o de frenado del elemento accionado. Un adecuado dimensionamiento de conductores evita que los aislamientos de los equipos fallen como resultado del exceso de calor producido en las sobrecargas, lo cual suele ser uno de los mayores problemas de eficiencia en industrias.

a. Dimensionamiento.

Los conductores de los circuitos derivados para motores suelen ser de cobre o de aluminio y se deben tener un tamaño adecuado para soportar el arranque y paro; así como la operación continua cuando se accionen las cargas.

Los conductores de los circuitos derivados se dimensionan para el 125% de la corriente a plena carga [1][2] .

Cargas trifásicas:

$$\text{Ecuación 1. } I_n = \frac{P_{3\phi}}{V_F \times \sqrt{3} \times \cos \phi}$$

Cargas monofásicas:

$$\text{Ecuación 2. } I_n = \frac{P_{1\phi}}{V_F \times \cos \phi}$$

Donde:

I_n = Corriente nominal (en amperios)

$P_{3\phi}$ = Potencia trifásica (en kW)

$P_{1\phi}$ = Potencia monofásica (en kW)

V_F = Voltaje de Fase (en V), voltaje entre fases para el motor trifásicos y voltaje entre las terminales de los motores monofásicos. Un motor monofásico puede estar conectado fase a neutro o fase a fase.

$\cos \phi$ = Factor de potencia

b. Tipos de conductores y/o características.

Los conductores utilizados en instalaciones eléctricas industriales deben cumplir ciertos requisitos para su aplicación, tales como:

- La capacidad de conducción de corriente representa la corriente máxima que un conductor puede conducir para un calibre dado y que está influenciada principalmente por los siguientes factores:
 - Ampacidad estándar y degradación por temperatura. La ampacidad de un cable es la capacidad que tiene este para conducir corriente en condiciones especiales¹. Están basados en una temperatura ambiente de 30 °C, donde se dan factores de corrección para temperaturas distintas a 30 °C.[1]
 - La capacidad de disipación de calor generado por pérdidas depende del entorno en el que se encuentre el conductor.
- La caída de voltaje máxima permitida depende del tamaño del conductor y la corriente que transportara, se debe respetar la máxima caída de voltaje permisible

¹ La ampacidad estándar y degradación por temperatura, se tomó de la tabla 1.6. de la referencia [1].

recomendada por la norma IEC 60038 misma que especifica que la caída de voltaje no debe superar el 3% en alimentadores y sub alimentadores principales, 3% en alimentadores y sub alimentadores secundarios y 5% en el punto más desfavorable de la instalación.[3]

c. Protecciones.

Es necesario la correcta implementación de un sistema de protecciones para prevenir interrupciones durante la corriente de arranque o de inserción, la cual se presenta cuando se aplica potencia y el motor arranca, esta protección será una protección contra sobrecorriente

El dispositivo de protección contra sobrecorriente debe dimensionarse para soportar la corriente de arranque que genera un motor y, al mismo tiempo, hacer que el motor se acelere para accionar la carga. La corriente de arranque de la mayoría de los motores es de 1 a 8 veces la corriente nominal o la corriente de funcionamiento del motor.

La protección contra sobrecorriente no debe exceder los porcentajes², dependiendo de la aplicación del dispositivo de protección típico (fusibles e interruptores). [1],[2]

En el caso del dispositivo de protección que se seleccione y el motor no pueda arrancar o acelerar su carga conectada, entonces se aplica los siguientes porcentajes descritos en la tabla 1.2:

Tabla 1.2. Porcentajes de excepción cuando no arranque el motor.

Fusibles	Descripción
Sin retardo de tiempo	No exceder el 400% de la corriente a plena carga con valores nominales de 600A o menos.
Fusibles con retardo de tiempo	No exceder el 225% de la corriente a plena carga.
Interruptores	No exceder el 400% de la corriente a plena carga para capacidades de 100 A o menos No exceder el 300% de la corriente a plena carga para capacidades mayores a 100A
Interruptores de disparo instantáneo	No exceder el 300% de la corriente a plena carga del motor.

² La capacidad de protecciones de los circuitos derivados de motores se puede visualizar en la tabla 3.4., de la referencia [1].

Fuente: Elaboración propia en base a la referencia [1]

d. Desconectador

Se debe incluir un dispositivo desconectador en el circuito derivado del motor para facilitar la desconexión del motor de la red eléctrica y permitir el acceso del personal con fines de mantenimiento, sin riesgo de que el circuito derivado se vuelva a energizar accidentalmente. Mediante la figura 1.4. se puede observar los componentes necesarios de un circuito derivado para un motor, el desconectador no debe exceder los 15 m y debe de estar a vista de los operadores debido a la seguridad por otro lado los motores tiene que estar siempre en una zona de vista general de todos los operadores esto como regla básica según normativa. [1]

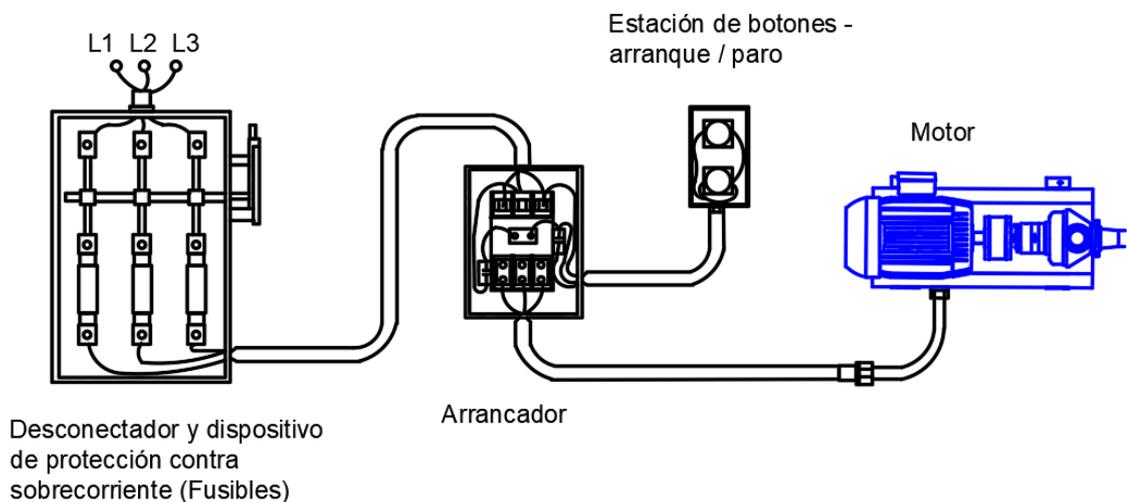


Figura 1.4. Componente del circuito derivado de un motor

Fuente: Elaboración propia en base a la referencia [1]

b) Circuitos alimentadores

Los circuitos alimentadores reciben este nombre porque alimentan un grupo de cargas. El dimensionamiento depende del tipo de carga que se encuentra conectado al alimentador, las cuales pueden ser de operación continua o no continua;

- *Cargas de operación no continua.* Estas cargas operan por un periodo de tiempo menor de 3 horas. La capacidad VA de estas cargas, se calcula al 100%. [1][2]
- *Cargas de operación continua.* Estas cargas son aquellas que operan por un periodo de tiempo de tres horas o más. Estas cargas, no operan con ciclos variables o intermitentes. Los VA de las cargas por ciclo de trabajo continuo se toma al 125% para obtener los VA del cálculo para el alimentador.[1][2]

a. Dimensionamiento

Los conductores que alimentan los motores deben tener su capacidad nominal en amperes para alimentar la corriente a plena carga del motor. Estos conductores de acuerdo con su aislamiento se pueden seleccionar para: 60 °C, 75 °C o 90°C, cuando se alimenta un solo motor los conductores se dimensionan tomando el 125 % de la corriente nominal. [1][2]

b.a.1. Cálculo del conductor para el circuito alimentador

Cuando se alimenta más de un motor, la norma NEC estipula que el calibre del conductor alimentador para dos o más motores, se calculen con la siguiente ecuación:[2]

$$\text{Ecuación 4.} \quad I = 1.25 \times I_{MOTOR\ MAYOR} + \sum I_{DE\ OTROS\ MOTORES}$$

Donde:

I = Corriente a plena carga de cada motor.

b.a.2. Cálculo de circuitos alimentadores para motores y otras cargas distintas a estos (cargas especiales).

En la Figura 1.5, se puede visualizar el circuito alimentador que energiza el circuito derivado del motor el cual será protegido por separado, de manera que, para incluir al alimentador otros circuitos derivados se toma en cuenta el tipo de carga el cual puede ser otro motor o una carga distinta a un motor.[1] [2]

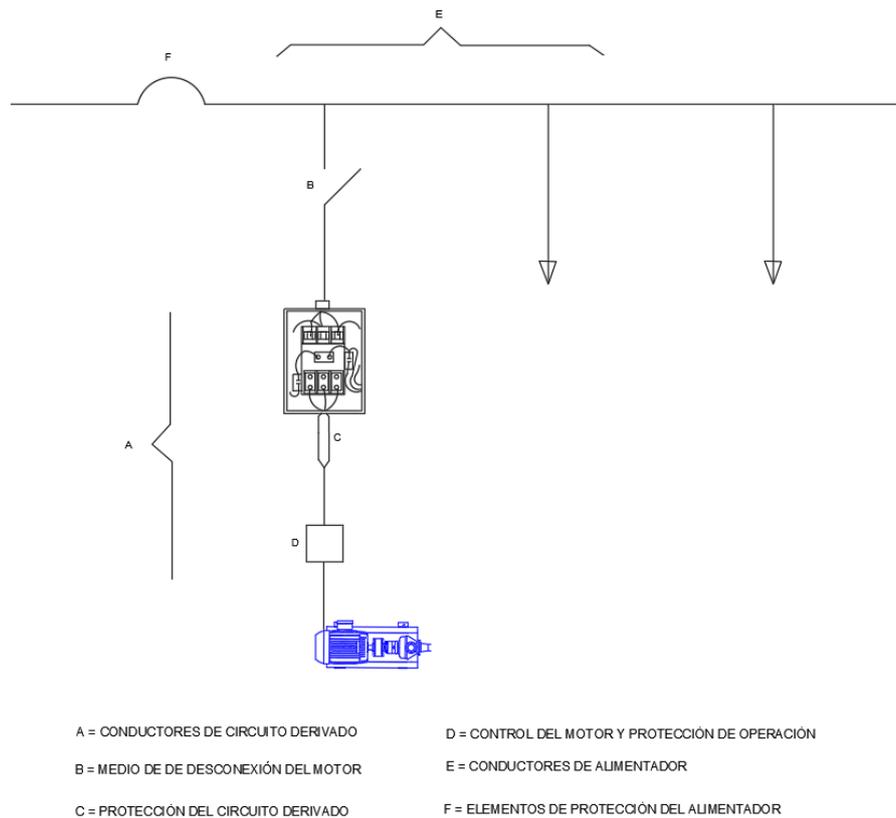


Figura 1.5. Diagrama correspondiente de un circuito alimentador para motores

Fuente: Elaboración propia en base a la referencia [1]

El método para poder realizar el cálculo del alimentador es de hecho el mismo que se usa para calcular el calibre de un circuito derivador de un motor, ya que se considera el 125% de la corriente del motor de mayor capacidad y a este valor se suman las corrientes del resto de motores.[2]

La ampacidad de los conductores del alimentador, se calculan multiplicando 1.25 veces la corriente a plena carga del motor de mayor capacidad y a este valor se le suma las corrientes a plena carga del resto de motores y cargas adicionales.

Ecuación 5.
$$I_A = 1.25 \times I_{MOTOR\ MAYOR} + \sum I_{DE\ OTROS\ MOTORES} + I_{OTRAS\ CARGAS}$$

Donde:

I_A = Corriente del alimentador.

b. Tipos de conductores o características

Los tipos de conductores para los alimentadores son los mismos usados para los circuitos derivadores de un motor. Para su selección se tendrá que realizar el respectivo cálculo³.

c. Protecciones.

Para seleccionar una adecuada protección contra sobrecorriente está debe tener la capacidad suficiente para soportar las corrientes de arranque de un motor, y también que soporte su aceleración hasta alcanzar su velocidad nominal.

Anteriormente ya se mencionó que la corriente de arranque puede ser de 1 a 8 veces superior que la corriente nominal, la protección se dimensionar para evitar disparos durante el proceso de arranque, por lo que cada motor eléctrico de corriente C.A. debe proveer de un medio de desconexión y de un controlado revisar Figura 1.4. [1][2]

c) Tableros

Los tableros y los centros de carga representan la base fundamental de la distribución de una industria ya que los tableros contienen los dispositivos de protección contra sobrecorriente las cuales protegen a los diferentes equipos de sobrecargas o cortocircuitos.

Las cargas conectadas en esta sección se agruparán frecuentemente en 2 tipos de clases, como son:

- Motores y otras cargas especiales
- Otras cargas

Estas clases de cargas se explicaron en la sección 1.4.1, se debe tomar en cuenta que la industria cuenta con tableros principales, y tableros de sub-distribución; en la Figura 1.6, se aprecia la diferencia entre estos tableros, donde un tablero principal abarca tableros de sub-distribución y cargas en cambio un tablero de sub-distribución puede abarcar circuitos derivados.[1]

³ Para la selección de los conductores se utiliza la tabla presentada en los anexos del anexo [9] en la página 193.

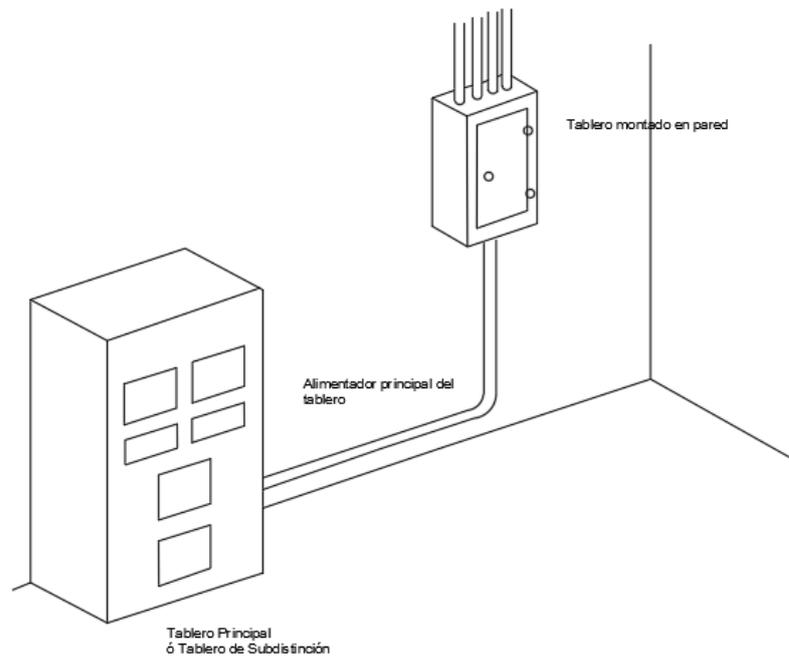


Figura 1.6. Diferencia entre Tablero Principal – Sub-Tablero y Tablero montado en pared

Fuente: Elaboración propia en base a la referencia [1]

d) **Criterios para una operación eficiente de la instalación industrial**

a. **Condiciones de suministro**

Las variaciones de voltaje son las principales causas para la ineficiencia energética en una instalación industrial. En el caso del desbalance de fases, la NEMA, recomienda que esta debe ser inferior al 5% y según la IEC 60038 las variaciones de voltaje deben estar entre -10 % al 6%, de los cuales 3% se permite a los circuitos derivados (del tablero o interruptor a la salida da carga) y el otro 2% se permite al alimentador (del alimentador al tablero principal). [4]

Para estar seguros de que las caídas de voltaje no excedan esos valores, es necesario calcular las caídas de voltaje en los circuitos derivados y en los alimentadores.

b. **Corrientes armónicas.**

Otra de las condiciones que afecta a la eficiencia energética de una industria, es la presencia de corrientes armónicas. Los armónicos de corriente son ondas de corriente de frecuencia múltiple entero de la fundamental que se adicionan a la señal principal de voltaje o corriente para distorsionar su forma. Son señales de voltaje y corriente de frecuencia múltiple entero de la fundamental que se adicionan a la señal principal de voltaje o corriente para distorsionar su forma. [5]

Causas de armónicos

- Las corrientes distorsionadas que consumen las cargas no lineales como hornos de arco, convertidores, motores, lámparas fluorescentes, soldas eléctricas, estampadoras y forjadoras.

Efectos de los armónicos

- Instantáneos: Son aquellos que producen apagado, daño o mal funcionamiento de algún equipo y que puede notarse en el mismo momento que se está provocando.
- A largo plazo: Pérdida de la vida útil debido al sobrecalentamiento causado por corrientes armónicas elevadas

Otros problemas que generan los armónicos son:

- Ruido audible en máquinas rotativas.
- Aumento de las pérdidas en los transformadores.
- Sobrecalentamiento en el neutro en instalaciones eléctricas.
- Mal funcionamiento de equipos de control.
- Daño de capacitores o pérdidas excesivas.
- Aparición de corrientes no deseadas.
- Pérdidas adicionales en conductores.
- Pérdida de vida útil de los equipos.
- Operación indebida de relés electromecánicos y electromagnéticos.

c. Factor de potencia.

Cuando el factor de potencia sea inferior al 0.6, la empresa distribuidora, previa notificación, podrá suspender el servicio público de energía eléctrica hasta que el consumidor adecue sus instalaciones a fin de superar dicho valor límite de 0.92. [6]

Un valor bajo de factor de potencia no solo tiene afectaciones económicas sino también técnicas:

- Aumento de valor de corriente, haciendo que las pérdidas aumenten en la máquina rotativa.

- Desaprovechamiento de la capacidad de la instalación.
- Mala regulación de voltaje.
- Menor eficiencia en los motores, ya que mientras más lejano trabaje a su valor de fp especificado en la placa menor será el aprovechamiento de la energía.

d. Falta de mantenimiento y operación de instalaciones eléctricas obsoletas

Dar seguimiento a un plan de mantenimiento trimestral de los motores para servicios generales es una obligación que se debería llevar a cabo la industria ya que con este registro operativo se espera recompilar información importante que ayude a saber el nivel de eficiencia en el que se encuentra el equipo y que soluciones y parámetros se puede realizar para prolongar el tiempo de vida útil de las maquinas.[7]

1.4.3 Criterios de eficiencia energética para motores en industrias

a) Eficiencia Energética

La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) determina que: ... *“La Eficiencia Energética es la capacidad para usar menos energía produciendo la misma cantidad de iluminación, calor y otros servicios energéticos. Es un conjunto de acciones que permiten emplear la energía de manera óptima, incrementando la competitividad de las empresas, mejorando la calidad de vida, reduciendo costos y al mismo tiempo, limitando la producción de gases de efecto invernadero.”* [8]

La utilización conveniente de la energía conlleva a una secuencia de beneficios bastante atractivos, como es la reducción de precios en el pago de los servicios de energía, reflejando un importante ahorro de presupuesto en la mayor parte de organizaciones que lo aplican.

Además, la implementación de medidas de eficiencia energética incrementa las posibilidades competitivas de las industrias con respecto a otras que no aplican estos conceptos, debido a la reducción de costos productivos por el ahorro en costos de facturación de energía.

Dentro del sector industrial se debe realizar estudios y análisis energéticos los cuales conllevan a mejorar los planes de eficiencia energética sobre todo para el ahorro energético. En la Tabla 1.3, se presentan los parámetros de evaluación periódica más importantes para determinar el nivel de eficiencia energética en una organización, se mostrará el control realizado en el área de calderos y el resto de las áreas se presentan en el ANEXO I

Tabla 1.3. Matriz de control de eficiencia energética

Control de Eficiencia Energética “Calderos”						
Criterios	Malo	Debe Mejorar	Bueno	Muy Bueno	Excelente	Observaciones
Mantenimiento de instalaciones eléctricas	No periódico	> a 1 año	Anual	Semestral	Trimestral	Debe mejorar instalaciones.
Plan de eficiencia energética	Nadie	Área mantenimiento	Técnicos	Departamento de Técnicos	Institucional	Pueden mejorar en temas de eficiencia
Mantenimiento de motores	No periódicos		>a 1 año	Anual	Semestral	Cuentan con un plan de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia en base a [9]

b) Diagnóstico eléctrico

Constituye el proceso de inspección, levantamiento de información visual y análisis técnico, donde se establecerán defectos en la instalación, posibles riesgos y áreas de mejora para aumentar la capacidad de eficiencia de la instalación eléctrica, este proceso es similar a una gestión energética simple pero no cumple con todos los requerimientos para asemejarse a una auditoria energética. [9],[10]

c) Parámetros de eficiencia energética en motores eléctricos

Los motores eléctricos industriales y los sistemas de accionamiento son responsables de aproximadamente el 40% de la energía eléctrica mundial. Han conseguido convertirse indispensables en la industria por su versatilidad y apoyo en las actividades productivas, y debido al importante consumo de energía que requiere su funcionamiento, son equipos que siempre deben ser considerados para la mejora de un sistema de gestión energética.[11]

Para evaluar la eficiencia de un motor eléctrico, es importante considerar los parámetros internos y externos que afectan o inciden en la eficiencia general del equipo, tal como se describe en la Tabla 1.4.

Tabla 1.4. Parámetros para evaluación de eficiencia energética en motores eléctricos

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	IMPLICACIONES EN LA EFICIENCIA
<p data-bbox="403 300 725 357">Tiempo de operación</p>	<p data-bbox="922 300 1317 389">Operación anual del motor en horas</p>	<p data-bbox="1433 261 2042 446">En los motores el tiempo de operación influye sobre su eficiencia a través del consumo de energía, los motores tienen que operar sus horas de funcionamiento para las cuales fueron diseñados. [4],[9]</p>
<p data-bbox="403 836 689 893">Tipo de Eficiencia</p>	<p data-bbox="922 785 1317 970">La clasificación de los motores según su eficiencia es: IE1, IE2, IE3, IE4</p>	<p data-bbox="1433 507 2042 727">Eficiencia estándar (IE1): el factor de potencia es normal entre $0.80 \leq fp \leq 0.85$ y los materiales de fabricación son normales su eficiencia es de 91% y el 94 % estos motores no son usados en la industria por su eficiencia muy baja. [4],[9]</p> <p data-bbox="1433 753 2042 970">Alta Eficiencia (IE2): Estos motores poseen características muy altas en los rodamientos, conductores y sistemas de ventilación incrementando el factor de potencia entre $0.91 \leq fp \leq 0.95$. también poseen un regulador de velocidad. [4],[9]</p> <p data-bbox="1433 995 2042 1212">Eficiencia premium (IE3): Estos motores tienen mejoras en su construcción para laminaciones, rodamientos, sistema de enfriamiento, calidad en el cobre. El factor de potencia se encuentra entre el $0.94 \leq fp \leq 0.96$[4],[9]</p> <p data-bbox="1433 1238 2042 1423">Súper eficiencia premium (IE4): Según la normalización europea, estos motores son lo más nuevo en ahorro energético, pero se tiene los mismos beneficios que los motores IE3. [4],[9]</p>

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	IMPLICACIONES EN LA EFICIENCIA
Antigüedad	Tiempo de funcionamiento del motor desde la instalación.	<p>Debido a los componentes mecánicos del motor, se degradan con el tiempo disminuyendo su eficiencia, provocando problemas en los procesos y con las protecciones, aumentando el número de mantenimientos del motor.</p> <p>El mantenimiento del motor debe ser planificado ya que de esto depende controlar su envejecimiento y lograr mantener un consumo estable y un ahorro en el consumo eléctrico.</p>
Entorno de trabajo y sistema de enfriamiento	Entorno de trabajo Enfriamiento en los motores	<p>Un motor tiene que instalarse en un lugar adecuado, las temperaturas ambientales pueden afectar al chasis y al aislamiento interno del motor.</p> <p>Las temperaturas elevadas degradan la calidad de los materiales del motor disminuyendo su vida útil.</p>
Mantenimiento	La corrección y prevención de problemas que presenten los motores	Tener una planificación y un correcto mantenimiento aumenta la vida útil del motor y evita que este cause elevados consumos por pérdidas.
Automatización en funcionamiento	Sistemas de arranque óptimo y temporizadores Uso de variador de frecuencia	Un sistema de arranque con temporizadores permite reducir las corrientes de arranque elevadas previniendo valores altos en la demanda máxima en facturación.

1.4.4 Indicadores financieros

a) Valor actual neto (VAN)

El Valor Actual Neto o VAN es una medida financiera que representa un valor financiero actual equivalente al flujo efectivo neto. Se obtiene sumando los costos y los beneficios producidos en un determinado proyecto a lo largo de su vida útil ajustándolos a su valor actual a través de la tasa de descuento

Para aceptar un proyecto, las ganancias deben ser mayores que los desembolsos realizados, lo cual resultarán en un VAN positivo o mayor a cero.

Cuando el VAN es 0 es un proyecto indiferente para el inversor si el VAN es negativo significa que los ahorros en el futuro serán menores que la inversión realizada por lo tanto el proyecto no es conveniente. [9],[12],[13]

Para su cálculo se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{Ecuación 6. } VAN = -I_0 + \sum_{n=0}^N \frac{F_n}{(1+i)^n}$$

Donde:

I_0 : Inversión inicial del proyecto

F_n : Representa los flujos de caja a lo largo de la vida del proyecto "n"

i : tasa de descuento

n : vida útil del proyecto o años considerados para la evaluación del mismo.

b) Tasa interna de retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno o TIR es un indicador financiero de una inversión que tiene una serie de flujos de caja futuros, es la tasa de descuento i , para la cual el valor actual neto es cero. [9],[12]

La TIR tiene que ser mayor a 0, para indicar la viabilidad del proyecto.

$$VAN = 0$$

$$\text{Ecuación 7. } 0 = -I_0 + \sum_{n=0}^N \frac{F_n}{(1+TIR)^n}$$

TIR: Tasa interna de retorno y la solución de la ecuación.

I_0 : Inversión inicial del proyecto.

F_n : Flujo de fondos en cada período.

2 DESARROLLO DEL ESTUDIO

2.1 Diagnóstico de la situación actual de las instalaciones eléctricas asociadas con circuitos de fuerza

En este capítulo se presenta la identificación de las principales cargas asociadas al sistema de fuerza, así como las instalaciones eléctricas relacionadas a tales cargas, con el fin de evaluar los problemas que se estarían presentado dentro del ámbito de consumo eléctrico y consecuentemente evaluar alternativas o medidas que permitan mejorar la eficiencia energética para estas instalaciones. Estas oportunidades deberán ser viables técnicamente en su ejecución y asequibles financieramente, por lo que una evaluación previa a través de los indicadores financieros VAN y TIR despejarán cualquier interrogante.

2.1.1 Diagnóstico de la situación energética

La industria no contaba con planos actualizados, ni diagrama unifilar actual que facilite la identificación de instalaciones y cargas, por lo que para el diagnóstico primeramente se realizó una inspección visual en las instalaciones físicas de El Ranchito con el objetivo de realizar un levantamiento fotográfico del estado actual de sus equipos e instalaciones. En este mismo recorrido se realizó un levantamiento de carga, así como también la recolección de información relacionada con la estructura organizacional.

La Figura 1.2., muestra el diagrama unifilar que inicialmente tenía la empresa, el cual cuenta con dispositivos de seccionamiento, protección y acometida pero no se puede visualizar el tipo calibre, distancias y tampoco que carga se encuentra conectada. Dentro de este contexto se identifica como una primera necesidad, la actualización del diagrama unifilar general y diagramas para cada uno de los sub-tableros de distribución, de esta manera se podrá identificar las protecciones, circuitos, calibres de conductores y distancias, información que es de utilidad para el área de mantenimiento, para que a futuro sirva de base, en caso se necesite realizar algún estudio para que la empresa incremente su carga.

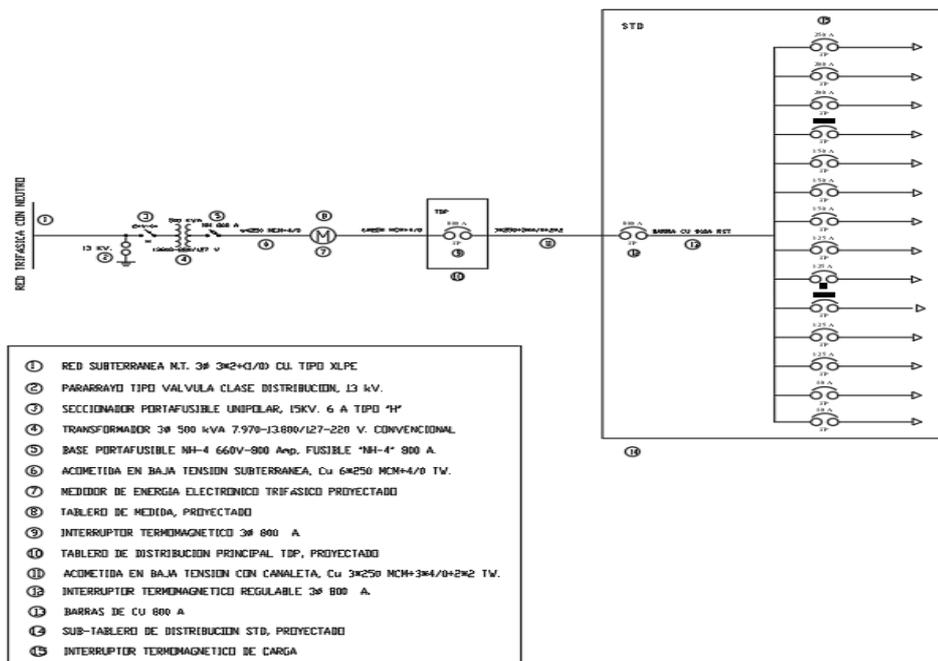


Figura 2.1. Diagrama unifilar antiguo El Ranchito

2.1.2. Principales cargas e instalaciones asociadas con los circuitos de fuerza

Levantamiento de cargas

A través de un levantamiento de cargas eléctricas se identifica los equipos instalados, con el fin de conocer los datos de placa como son; potencia, voltaje, corriente con la que opera el equipo y sus horas de uso.

La planta cuenta con aproximadamente 104 motores para el funcionamiento de los diferentes procesos asociados con la producción de productos lácteos. A continuación, se presenta en la Tabla 2.1., las características de placa de los motores y equipos significativos ubicados en el “Área de calderos”, el resto de los motores se presentan por áreas y se podrán visualizar en el ANEXO II.

Tabla 2.1. Características de motores en el “Área de Calderos”.

Tablero breaker general de calderos															
Ubicación		CALDEROS-01													
Circuito	Código	Descripción	Carga		Fp	Eficiencia	Corriente medida	Fases			Voltaje [V]			Conexión	Horas de funcionamiento
			Hp	W				1 φ	2 φ	3 φ	117	220	440		
1	AC14-012	Ablandadores calderos de 300 BHP	5	3730	0.89	85.5	15			X				X	4
	AC14-013		5	3730	0.89	85.5	15			X			X	4	
	AD14-032		3	2238	0.85	80.4	9			X			X	4	
2	S/C_C	Bombas alimentación de agua caldero de 300 BHP	7.5	5595	0.89	89.5	22			X		X	X	5	
	S/C_C		7.5	5595	0.86	89.5	22			X			X	5	
4	S/C_C	Caldero de 300 BHP	10	7460	0.87	88.5	27			X		X	X	2	
6	S/C_C	Banco de agua helada #3	2	1492	0.89	81.5	6.5			X			X	8	
	AD14-011		2	1492	0.89	81.5	6.5			X			X	8	
	S/C_C		2	1492	0.89	81.5	6.5			X		X	X	8	
7	S/C_C	Caldero de 250 BHP	5.3619	4000	0.87	88	15			X		X	X	2	
8	S/C_C	Bomba vertical alimentación de agua caldero 250 BHP	7.5	5595	0.87	85.5	22			X		X	X	2	
9	S/C_C	Bomba horizontal agua alimentación al tanque de agua del caldero de 300 BHP	4	2984	0.86	85.5	12			X	X		X	2	
10	AC14-014	Combustible caldero de 300 BHP	0.33	246.18	0.57	68	2			X		X	X	2	
	AC14-015		0.33	246.18	0.57	68	2			X		X	X	2	
11	S/C_C	Ventilador 1	0.75	559.5	0.8	70.2	4.6			X		X	X	8	
12	S/C_C	Ventilador 2	0.75	559.5	0.8	70.2	4.6			X		X	X	8	
13	S/C_C	Compresor 1	15	11190	0.83	88.8	40			X		X	X	8	
14	S/C_C	Compresor 2	15	11190	0.83	88.1	40			X		X	X	8	
15	S/C_C	Bomba Dosificadora	1	746	0.76	74.6	6.5			X		X	X	4	
Capacidad Instalada			70140.36												

Fuente: Elaboración propia

Identificación de tableros

La industria cuenta con aproximadamente noventa y cinco (95) tableros, de los cuales; dos (2) son de distribución principal, seis (6) son de sub-distribución y (87) son tableros que se encuentran asociados con equipos, cargas especiales, tomacorrientes e iluminación.

A través de la inspección visual y el levantamiento de carga se pudo realizar la identificación de todos los tableros con su respectivo etiquetado, calibre y protección.

En la Tabla 2.2 y Tabla 2.3, se presenta una descripción de los dos tableros de distribución principales, el resto de los tableros se podrán visualizar en el ANEXO III.

Tabla 2.2. Tablero de distribución principal # 1

TABLERO TRIFÁSICO					
NOMBRE	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL 1				
ESPECIFICACIÓN	FASE	FASE	FASE	NEUTRO	TIERRA
	A	B	C		
CALIBRE	X	X	X	X	X
3x(3X500) MCM + 2X3/0 AWG +1X2/0 AWG					
INFORMACIÓN DEL TABLERO					
NOMBRE	CÓDIGO			PROTECCIÓN	
TABLERO DE SUBDISTRIBUCIÓN GENERAL BANCOS DE AGUA HELADA RECEPCIÓN NUEVA	T2BAH			3P-800 A REGULABLE	
TABLERO DE SUBDISTRIBUCIÓN GENERAL ÁREA MANTENIMIENTO Y ENVASES	TSGAME			3P-800 A REGULABLE	

TABLERO SUBDISTRIBUCIÓN GENERAL ÁREA PREPARACIÓN YOGURT FRASCO	TSGPYF #1	3P-800 A REGULABLE
--	-----------	--------------------

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.3. Tablero de distribución principal # 2

TABLERO TRIFÁSICO					
NOMBRE	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL 2				
ESPECIFICACIÓN	FASE A	FASE B	FASE C	NEUTRO	TIERRA
	X	X	X	X	X
CÓDIGO	TDP-2				
CALIBRE	3x(3X500) MCM + 1X250 MCM +1X2/0 DESNUDO AWG				
INFORMACIÓN DEL TABLERO					
NOMBRE	CÓDIGO	PROTECCIÓN			
TABLERO ELÉCTRICO ADMINISTRACIÓN	T5AD	NINGUNA			
TABLERO DE SUBDISTRIBUCIÓN GENERAL ÁREA TERMIZADO	TSGAT	3P-800A			
TABLERO DE DISTRIBUCIÓN GENERAL ÁREA COMPRESORES CÁMARA ASCEPTICA	T1T2	3P-800A			
TABLERO PUNTO DE VENTA	TPV	NINGUNA			
TABLERO PANADERIA	TP	NINGUNA			

Fuente: Elaboración propia

Identificación de protecciones

La empresa cuenta con protecciones principales en los tableros de distribución principal y sub-distribución y protecciones secundarias para los equipos, se realizó el levantamiento de protecciones para posteriormente verificar y analizar que se encuentran en buen estado y dimensionadas correctamente, la respectiva evaluación del estado de las protecciones se presenta en la sección 2.1.4.

La Tabla 2.4, indica el número de circuitos y las protecciones que tiene actualmente el tablero de sub-distribución, el resto de los tableros se podrán visualizar en el ANEXO IV.

Tabla 2.4. Protecciones actuales del Tablero de sub-distribución general bancos de agua helada recepción nueva.

ÁREA	SUBTABLERO	CIRCUITOS	PROTECCIONES
Cisterna de agua helada - 20	TABLERO DE SUBDISTRIBUCIÓN GENERAL BANCOS DE AGUA HELADA RECEPCIÓN NUEVA - TSGBAHRN	1	3P-50 A
		2	3P-100A
		3	3P-80A
		4	3P-125A
		5	3P-250A
		6	3P-200A
		7	3P-200A
		8	3P-200A
		9	3P-200A
		10	1P-6A
		11	1P-25A
		12	1P-16A

		13	1P-10A
		14	3P-125A
		15	3P-150
		16	3P-150

Fuente: Elaboración propia

2.1.3. Levantamiento fotográfico de instalaciones y equipos

Del recorrido realizado por las instalaciones eléctricas de El Ranchito se puede observar, entre varios aspectos, principalmente lo siguiente:

- Se observa conductores colgados (Figura 2.2), lo que denotaría la necesidad de forzar la seguridad de la instalación, ya que todos los conductores deber ir alojados en tubería y canalizaciones Figura 2.3. Asimismo, los cables que se acumulen en áreas de trabajo, corredores y en pasillos pueden llevar a producir resbalones, tropezones y caídas. Figura 2.4.
- Las canaletas ubicadas cerca de tuberías de alta temperatura desgastan el recubrimiento y el aislamiento de los cables. Esto dificulta la operación de los sistemas existentes, además de imposibilitar la operación en caso de fallas eléctricas, convirtiendo a estos sistemas en un peligro para el personal y las instalaciones. Figura 2.5.
- En la figura 2.6, Figura 2.7, Figura 2.8 y Figura 2.9, se observa que no se ha realizado un adecuado mantenimiento para las instalaciones. El cableado y los tableros se encuentran cubiertos de polvo y expuestos al aire libre, incluso algunos no se pueden cerrar, por otro lado, existen tableros que no cuenta con un adecuado etiquetado, lo que dificulta la operación de los equipos, lo que además puede llegar
- En la Figura 2.10, se puede visualizar un motor ubicado en el “Área de calderos”, que no tiene una correcta limpieza periódica tanto de las partes internas como externas, esto podría causar problemas con el correcto contacto de los diversos elementos que tiene internamente el motor.
- En la Figura 2.11, se muestra un motor agitador el cual se encuentra expuesto constantemente a vapor, por lo que tomando en consideración el efecto del incremento de temperatura que puede provocar daño en el chasis del motor, y consecuentemente afectación al rendimiento y la vida útil del equipo, se recomienda una tapa para desviar el vapor o poder expender el brazo del agitador para que el vapor no afecte al motor.

- En la Figura 2.12, se visualiza una conexión con conductores empalados en el exterior del tablero, esto puede generar un aumento de perdidas ya que el uso del equipo producirá un sobrecalentamiento en los conductores y a la vez podría provocar una falla en el funcionamiento del equipo que se encuentra conectado.
- En la Figura 2.13 se puede visualizar que un dispositivo de control y de maniobra en el área tratamiento térmico se encuentra desgastado debido al tiempo que este lleva funcionando, lo cual el uso de un dispositivo en este estado puede llegar a provocar un disfuncionamiento a sus partes mecánicas internas.

Tabla 2.5. Cuadro de Fotografías



Figura 2.2. Conductores colgados no se encuentran dentro de bandejas.



Figura 2.3. Conductores en el aire libre "Área preparación bolo yogurt"

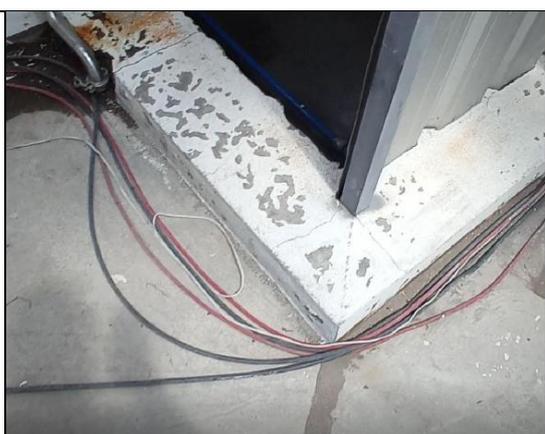


Figura 2.4. Conductores directamente en el suelo "Área compresores de aire"

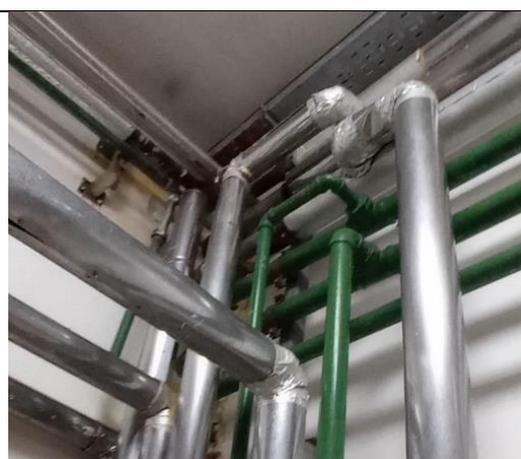


Figura. 2.5. Canaletas ubicadas cerca de tuberías de alta temperatura "Área preparación de bolo yogurt".

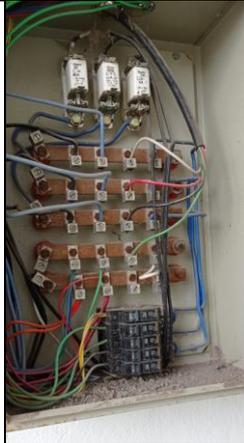


Figura 2.6. Exposición de tableros al polvo “Área bodega de químicos”



Figura 2.7. Tablero externo en mal estado “Área preparación, producto y empaque de yogurt funda”



Figura 2.8. Tableros fuera de funcionamiento “Área bolo yogurt”.



Figura 2.9. Tableros externos e internos en mal estado “Área recepción antigua”.



Figura 2.10. Motor de mando alternado. “Área Calderos”.



Figura 2.11. Motor sin protección de temperatura “Área antiguos silos”.



Figura 2.12. Conductores empalmados y expuestos al personal operativo. “Área producto y empaque de yogurt”.



Figura 2.13. Seleccionador en mal estado “Área tratamiento térmico”.

Fuente: Elaboración propia

2.1.4. Análisis de tableros y protecciones

Con base a la información recolectada durante el levantamiento de cargas, así como de la inspección visual, en esta sección se presenta un análisis del estado actual de los tableros y protecciones, identificando la necesidad o no de intervenciones para evitar un daño en los equipos que estas protegen.

La Tabla 2.6, detalla los criterios utilizados para determinar el estado actual de los tableros y las protecciones a través de tres observaciones que serán; bueno, regular, comprometido las cuales cada una tendrá su descripción.

Tabla 2.6. Criterios utilizados para la evaluación del estado de Tableros y Protecciones

Tableros	Bueno	No necesita un mantenimiento correctivo. Pero se puede tomar medidas para mejorar su gestión como el etiquetado.
	Regular	Necesita mantenimiento interno y externo, un correcto etiquetado, y pocos tableros de control necesitan incorporar la barra de neutro y tierra, existe un desorden en el cableado interno.
	Comprometido	Necesitan un cambio urgente de tablero o el retiro del mismo debido a su desuso.
Protecciones	Bueno	Operativamente correcta.
	Regular	Presenta deterioro, sin embargo, todavía cumplen su funcionamiento.
	Comprometido	Operación no correcta debida a daños o dimensionamientos no adecuados.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 2.14 ofrece una visión general del estado en el que están los tableros eléctricos de la industria. El 38% de tableros están comprometidos y deben intervenirise para mejorar o garantizar el suministro óptimo a los equipos conectados a estos. El 17% de tableros necesitan un mantenimiento de limpieza interna y externa. El 45% de tableros en buen estado, pero necesitan etiquetado e identificación.

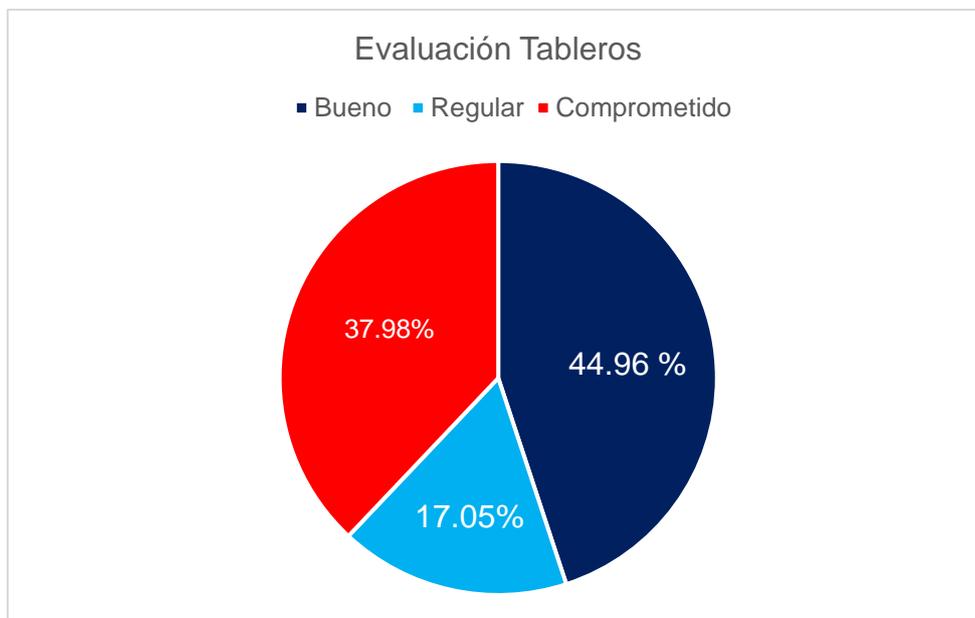


Figura 2.14. Evaluación porcentual de Tableros

Fuente: Elaboración propia

La figura 2.15. muestra una visión general del estado actual de las protecciones de la industria, El 29% son protecciones comprometidas las cuales en su mayoría se encuentran sobredimensionadas, desgastadas y muchas desconectadas, estas deben intervenirise para garantizar la protección de los equipos que se encuentran conectados a estos. El 10% presentan deterioro, sin embargo, se encuentran en un estado de funcionamiento adecuado, se tendrá que realizar un mantenimiento preventivo para tener en cuenta cuando realizar el respectivo cambio. El 61 % de protecciones en buen estado las cuales se encuentran operando correctamente.

Un problema común para todas las protecciones sin importar el estado en que se encuentren es que no se tiene un correcto etiquetado y en muchos casos no se sabe que equipo es al que protege tal protección.

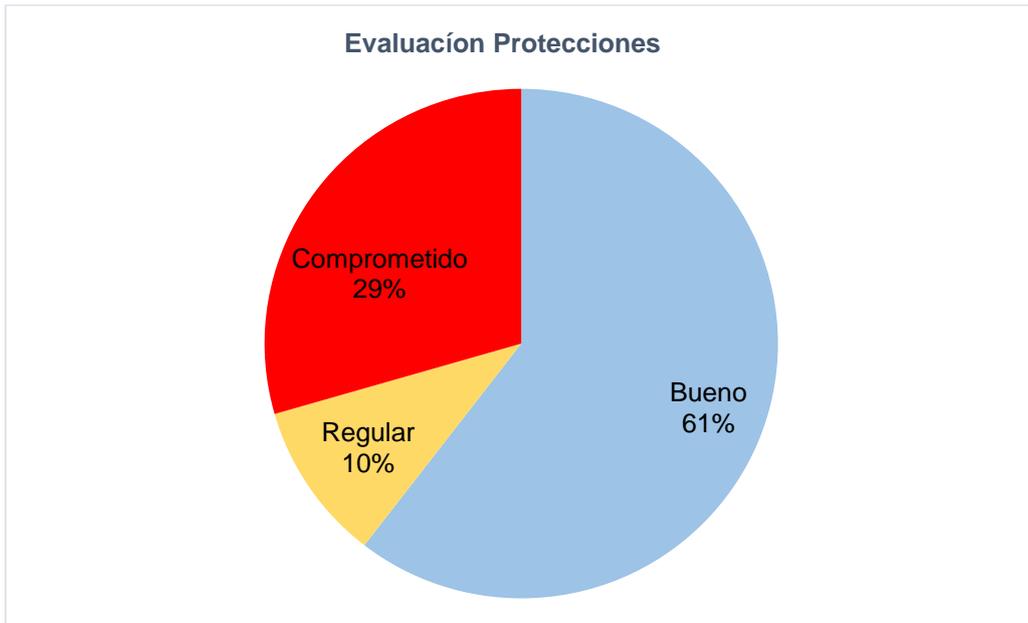


Figura 2.15. Evaluación porcentual de Protecciones

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en el ANEXO V, se presenta detalladamente los criterios utilizados para la evaluación de tableros y protecciones de cada área de la industria.

2.2 Medición, Recolección y Análisis de Datos

En esta sección se presentan todos los aspectos relacionados con el levantamiento de datos y medida de variables eléctricas en la industria. En primera instancia se determinan los equipos a utilizar para el levantamiento de datos, especificaciones de la metodología de medición e identificación de la información de relevancia para el estudio; el análisis se realizará a toda la planta industrial, pero se enfocará a las áreas que tengan una carga significativa.

2.2.1. Instrumentos de medida

La selección adecuada de los instrumentos que servirán para tomar mediciones de variables eléctricas que serán analizadas dentro del ámbito de eficiencia energética es fundamental para el éxito del diagnóstico energético. Se deberá asegurar que los equipos estén calibrados y cumplan con los requerimientos de medida establecidos.

Los equipos utilizados para el estudio presentado en este trabajo fueron los siguientes:

- Multímetro fluke con pinza amperimétrica 376 FC.
- Analizador de red fluke 1735.

- Analizador de red KEW 6310.

En el ANEXO VI, se detalla las características técnicas de los equipos utilizados.

2.2.3. Análisis de datos

Para el desarrollo de las mediciones se tomó como referencia lo establecido en la regulación ARCONEL 005-18 respecto a los parámetros de calidad del producto que deben cumplir las distribuidoras y que, para el caso de usuarios, podría tomarse como referencia, en concreto, lo referente a variaciones de voltajes y niveles de armónicos permitidos.

Los valores de referencia y límites de voltaje de línea conforme la regulación ARCONEL 053-18, están dentro del $\pm 8\%$ del voltaje nominal para el análisis de voltaje, considerando que el sistema está alimentando en bajo voltaje por un sistema trifásico de 220 V, durante el 95% del período de medición.

La regulación ARCONEL 005-18, establece que, para la medición, registro y almacenamiento de los valores medidos, se efectuarán mediciones durante un periodo de evaluación no inferior a siete (7) días continuos, en intervalos de 10 minutos⁴.

El analizador de redes se conectó en las barras de alimentación de los dos tableros principales de distribución que sirven a toda la carga instalada. Con estos antecedentes, y una vez tomados los registros de potencias, voltajes, corrientes, factor de potencia y THD de corriente, se determinó que, del número total de 1151 muestras, algunos parámetros eléctricos no cumplen con los mínimos determinados por la regulación, tal como se observa más adelante en la tabla 2.14. [14]

Potencia activa en el TDP-1

El valor máximo de potencia registrada en el tablero de distribución principal es de 172700 W (Figura 2.14), el valor promedio de 41770 W y el valor mínimo es de 1237 W.

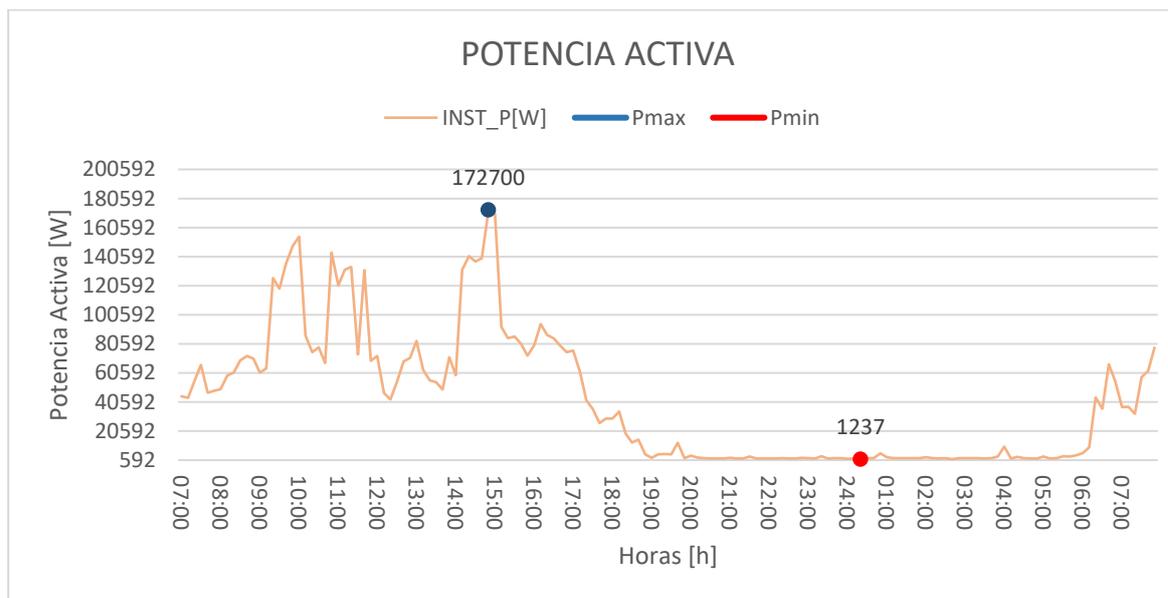
Tabla 2.7. Datos de Potencia activa del Tablero de distribución principal TDP-1

MUESTRAS	1151		
DETALLE	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
W	41770.57	172700	1237

Fuente: Elaboración propia

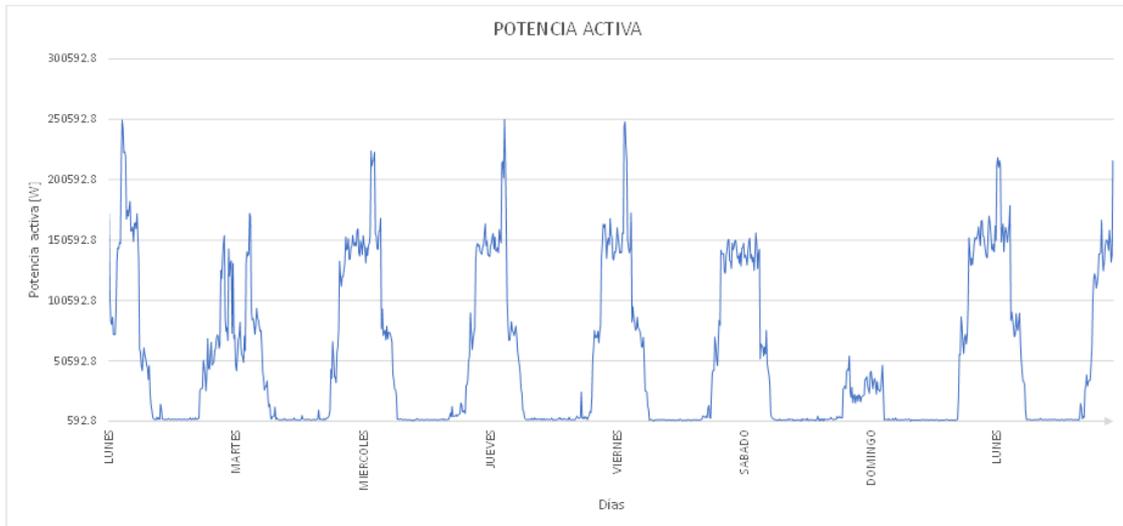
⁴ Para el desarrollo de este Trabajo de Integración Curricular, se tomaron los datos levantados inicialmente dentro del desarrollo del Trabajo de Titulación que se había planteado para el rediseño eléctrico de las instalaciones de la planta industrial, mismo que fue posteriormente ajustado en alcance y reestructurado en 2 trabajo de integración curricular.

En las siguientes graficas se presenta la curva de potencia activa en un intervalo de horas (a) y de días (b) respectivamente. Se observa como la curva varía en función del horario de operación de la planta. En la madrugada se registran los valores más bajos de consumo, con un valor mínimo de 1237 W. A las 6:AM aparece el primer pico indicando el inicio de la producción la cual va incrementando hasta las 12 PM que se reduce por la hora de almuerzo, de ahí en adelante la empresa tiene un pico elevado aproximado de 172700 W el cual representa la su potencia máxima en esta semana.



(a)

En la Figura (b), se puede visualizar el comportamiento de la demanda durante los siete días a la semana. De lunes a sábado el consumo se mantiene y el domingo existe una disminución de potencia ya que únicamente se realiza el despacho de los productos y por otro lado siempre existen equipos conectados que sirven para preservar la producción almacenada.



(b)

Figura 2.14. (a) Gráfica de potencia activa vs horas en el TDP-1, **(b)** Gráfica de potencia activa vs días en el TDP-1

Fuente: Elaboración propia

Potencia reactiva en el TDP-1

La potencia reactiva también registra valores importantes. En la gráfica 2.15. que corresponde a un día de 24 horas, se observa que el máximo pico de potencia reactiva es de 60720 VAR, que coincide con el máximo pico de potencia activa presentada en la figura 2.14, una vez pasado este pico, comienza a disminuir el estado de carga y con ello la demanda en la tarde, noche y madrugada.

Tabla 2.8. Datos de Potencia reactiva del Tablero de distribución principal TDP-1

Muestras	1151		
DETALLE	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
Var	56770	60720	-2245

Fuente: Elaboración propia

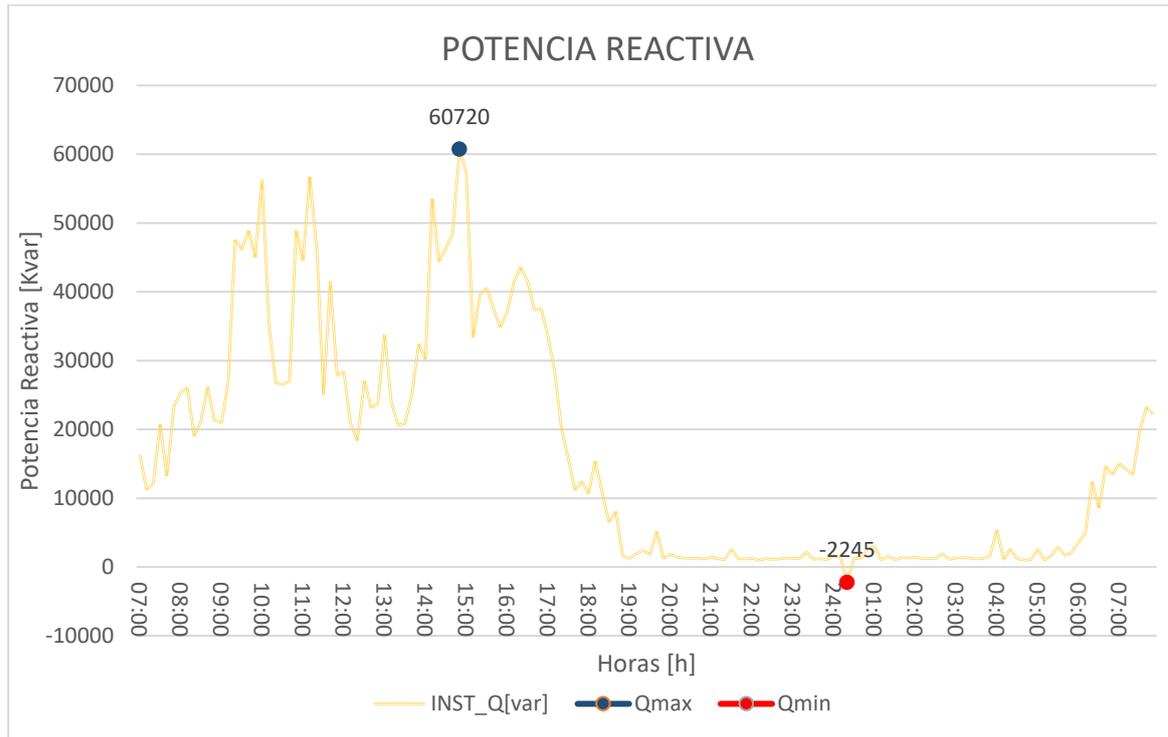


Figura 2.15. Gráfica de potencia reactiva el TDP-1

Fuente: Elaboración propia

Análisis de voltaje de fase $V_{\phi} - N_{rms}$ (V) en el TDP-1

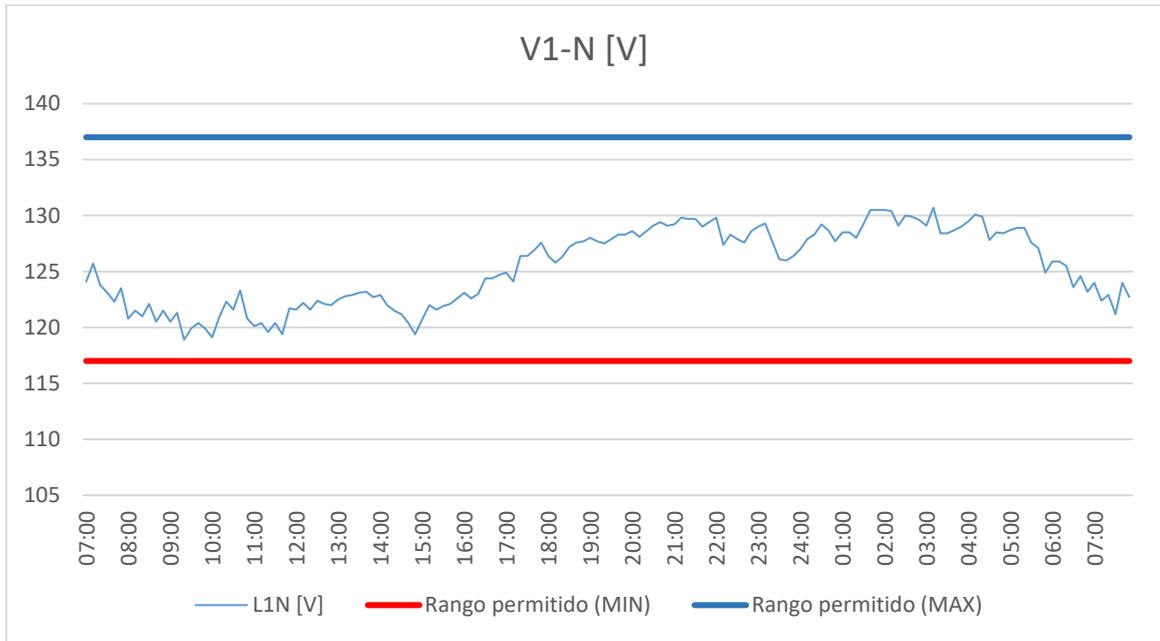
Los valores de referencia y límites que conforme a la regulación ARCONEL 005-18 se admite son del $\pm 8\%$ del voltaje nominal.

La empresa cumple el nivel de voltaje en un punto de medición cuando el 95% o más de los registros de las variaciones de voltaje se encuentra dentro del rango admisible.

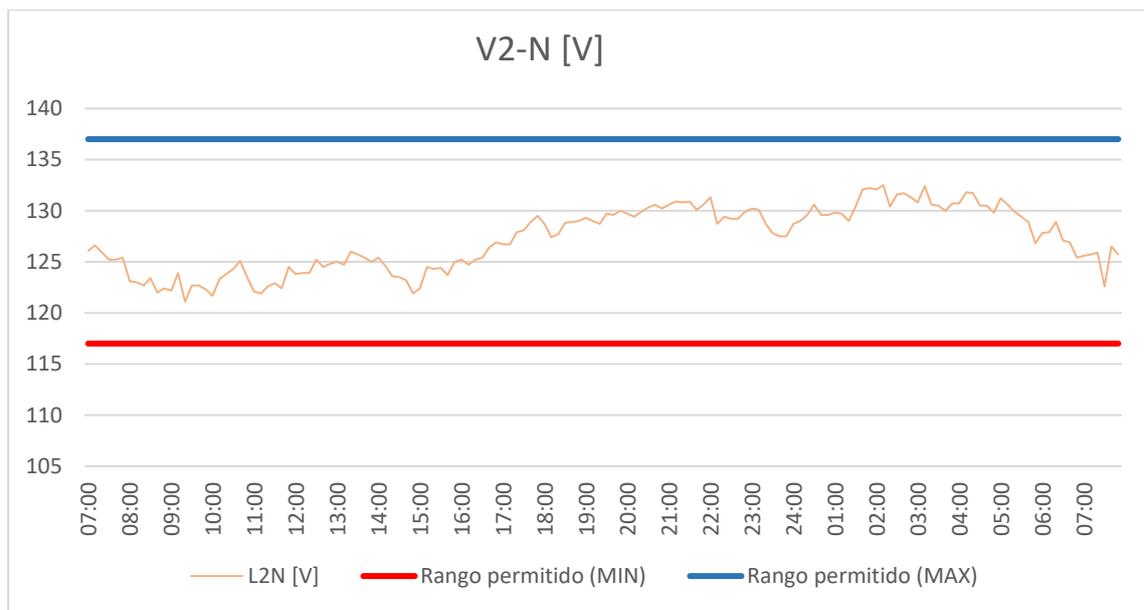
Tabla 2.9. $V1_{rms}$, $V2_{rms}$, $V3_{rms}$ (Valores tendencia) del TDP-1

% VARIACIÓN PERMITIDA	8%					
MUESTRAS	1151					
VOLTAJE NOMINAL [Vac]	127					
RANGO PERMITIDO [Min]	117					
RANGO PERMITIDO [Max]	137					
DETALLE	V1		V2		V3	
V < Vn	1	0.09%	0	0.00%	1	0.09%
V = Vn	10	0.87%	6	0.52%	6	0.52%
V > Vn	0	0.00%	47	4.08%	26	2.26%
TOTAL	1	1%	47	5%	33	3%
Fuera de rango	1	0.09%	47	4.08%	27	2.35%
Estado	Cumple regulación		Cumple regulación		Cumple regulación	
PROMEDIO Vrms	127.79		129.95		129.47	

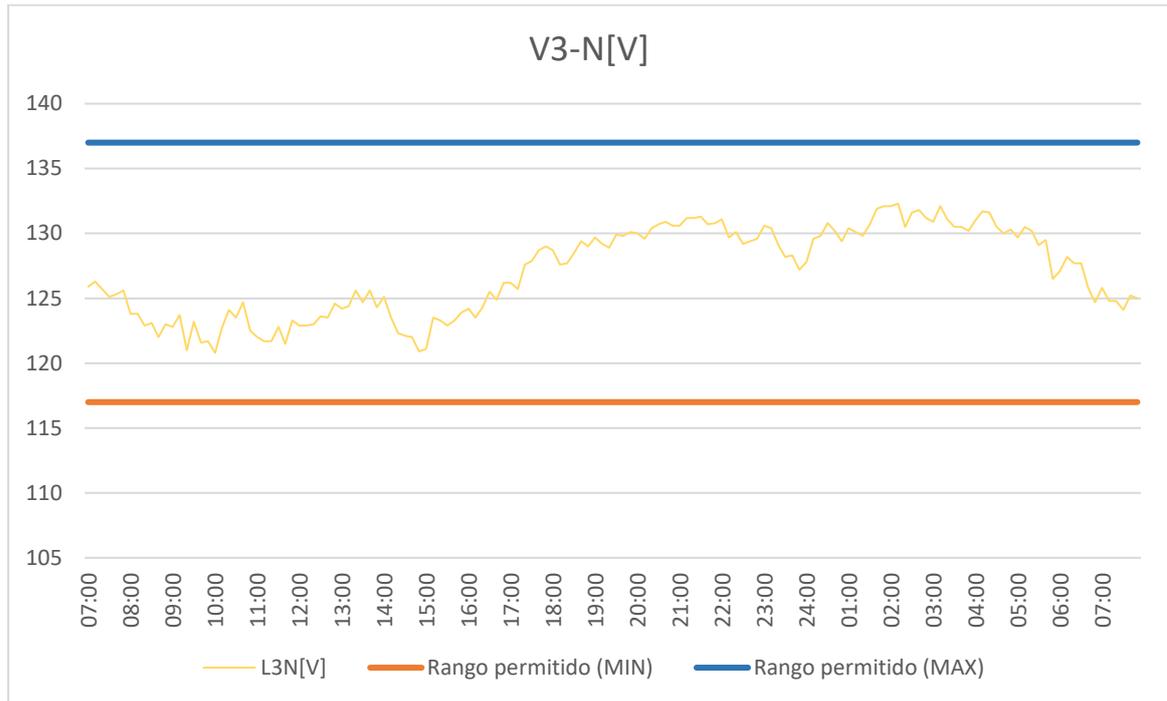
Fuente: Elaboración propia



(a)



(b)



(c)

Figura 2.16. Graficas de voltajes de fase en [V] del TDP-1

Fuente: Elaboración propia

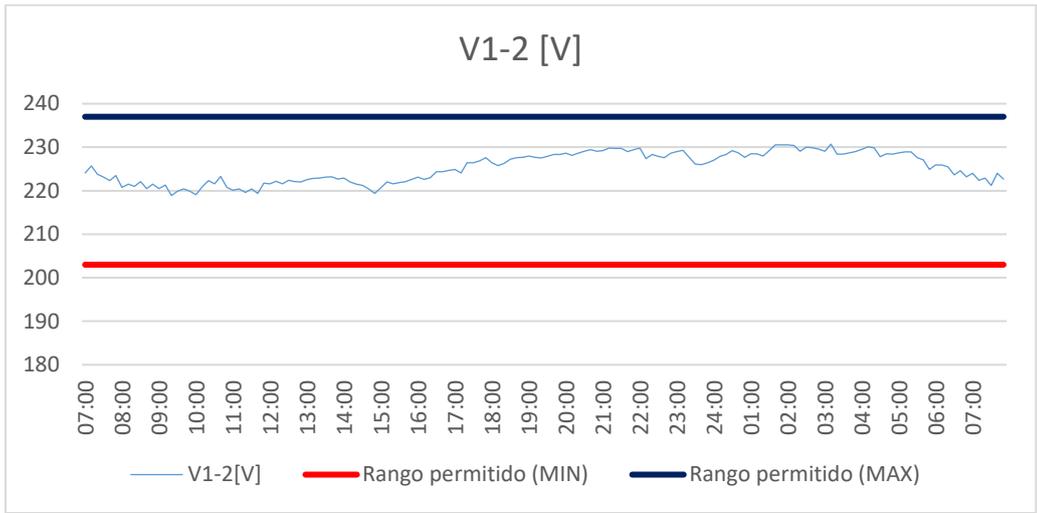
Análisis del voltaje de línea $V_L(V)$ en TDP-1

La Figura 2.17, muestra los análisis del voltaje en el tablero TDP-1, donde se observan que los tres voltajes de línea se mantienen dentro del rango permitido según la regulación, sección 2.2.3.

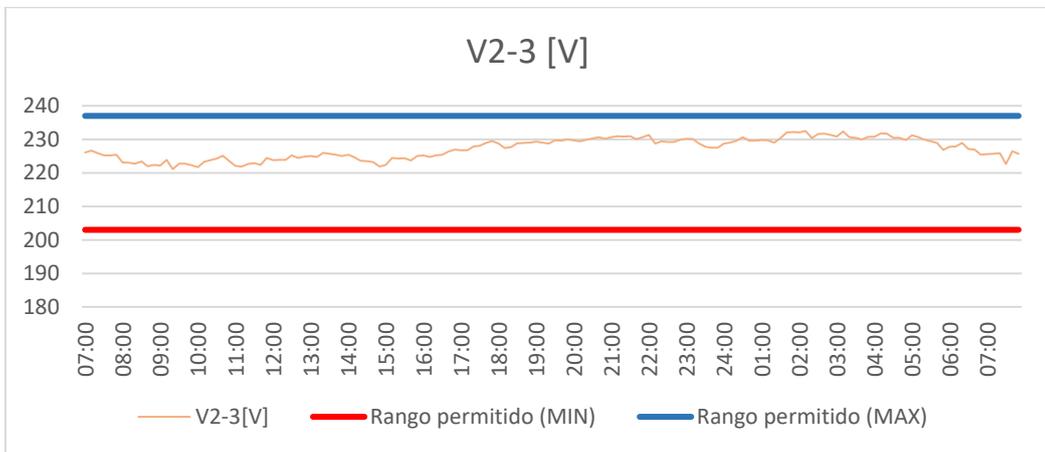
Tabla 2.10. $V1_{rms}$, $V2_{rms}$, $V3_{rms}$ (Valores tendencia) del TDP-1

% VARIACIÓN PERMITIDA	8%					
MUESTRAS	1151					
VOLTAJE NOMINAL [Vac]	220					
RANGO PERMITIDO [Min]	203					
RANGO PERMITIDO [Max]	237					
DETALLE	V1		V2		V3	
$V < V_n$	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
$V = V_n$	2	0.17%	0	0.00%	3	0.26%
$V > V_n$	0	0.00%	47	4.08%	26	2.26%
TOTAL	0	0%	47	4%	26	3%
Fuera de rango	0	0.00%	47	4.08%	26	2.26%
Estado	Cumple regulación		Cumple regulación		Cumple regulación	
PROMEDIO V_{rms}	227.79		229.95		229.47	

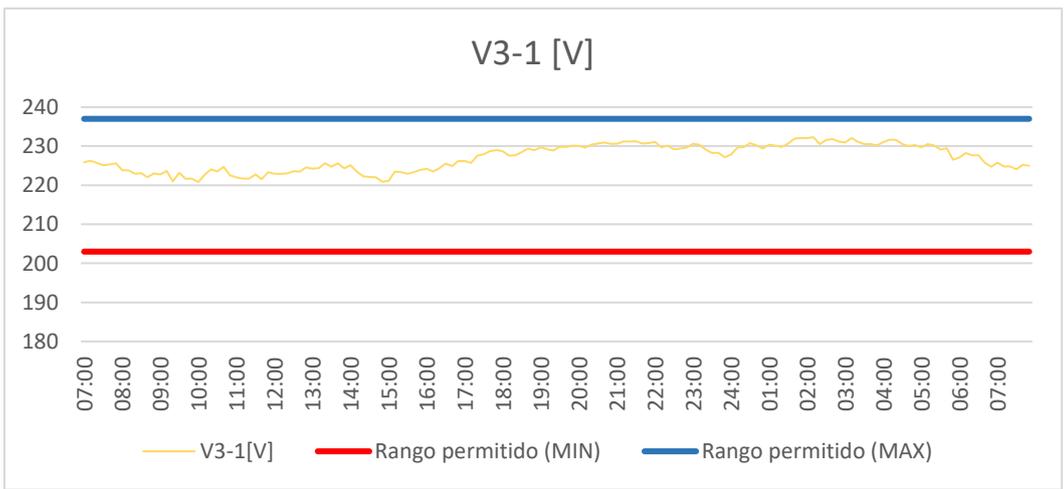
Fuente: Elaboración propia



(a)



(b)



(c)

Figura 2.17. Graficas de voltajes de línea en [V] del TDP-1

Fuente: Elaboración propia

Análisis de corriente en el TDP-1

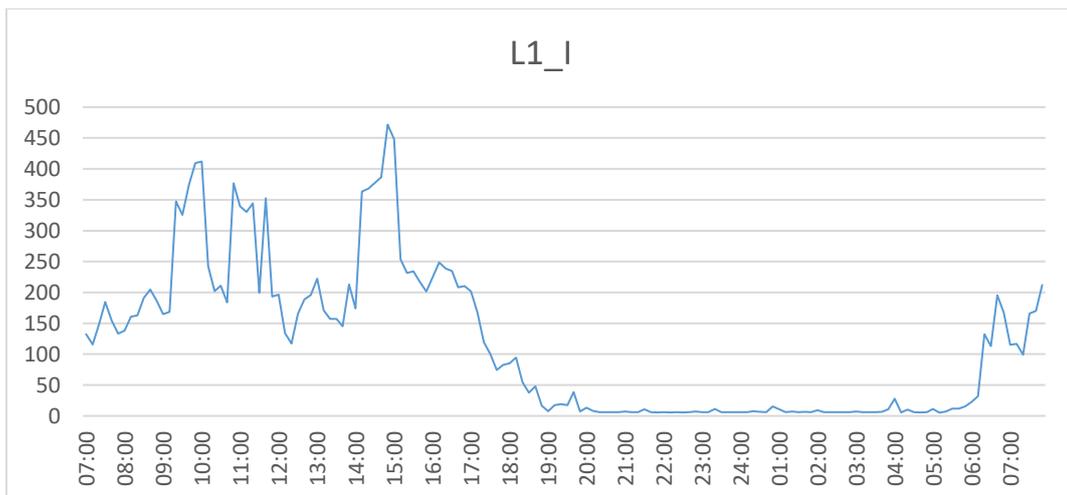
En la tabla 2.11, se presenta un resumen de los niveles de carga registrados en el periodo de medición, en la misma se observa el valor mínimo, máximo y promedio registrados para cada fase y el neutro.

Se observa que la corriente del neutro alcanza picos de que superan los 50 A, indicando un desbalance de cargas en las fases o un posible problema de armónicos.

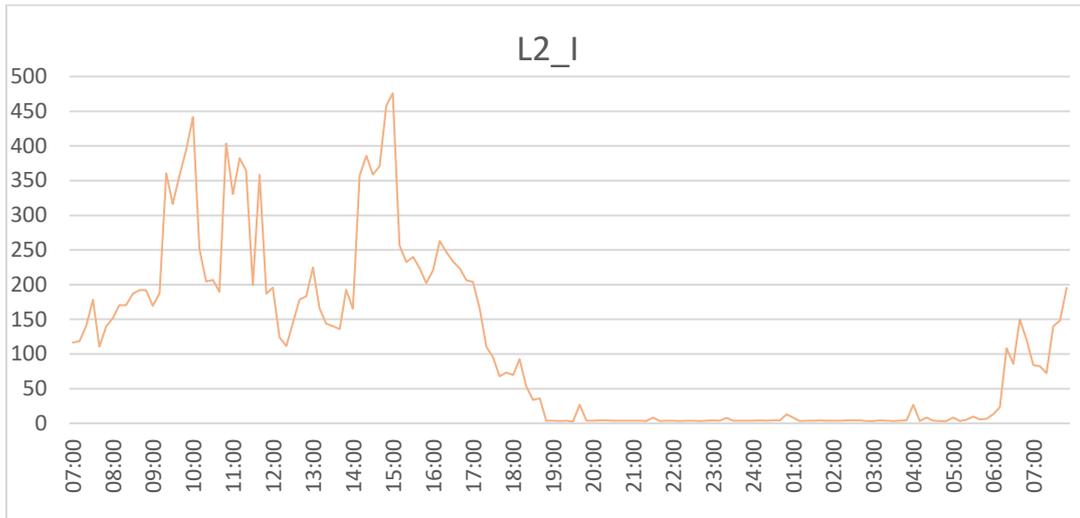
Tabla 2.11. A1rms, A2rms, A3rms, Nrms (Valores máximos, mínimos y tendencia)

MUESTRAS		1151	
DETALLE	MÁXIMO	MÍNIMO	PROMEDIO
I1 rms	690.1	4.225	140.88
I2 rms	699.2	1.584	138.145
I3 rms	727.2	4.867	147.60
IN rms	56.4	2	5.99

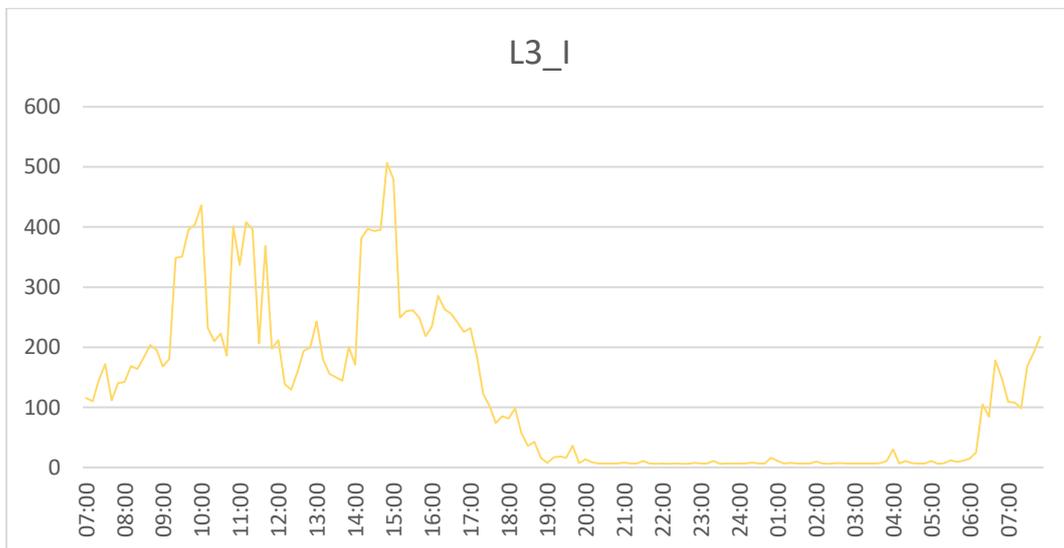
Fuente: Elaboración propia



(a)



(b)



(c)

Figura 2.18. Graficas de corriente en [A] del TDP-1

Fuente: Elaboración propia

Análisis del factor de potencia en el TDP-1

El factor de potencia mide la eficiencia del consumo eléctrico a la hora de convertirlo en potencia útil, como luz calor o movimiento mecánico. Los límites de factor de potencia se explicaron en la sección 1.4.2.1. En la Tabla 2.12.,

Tabla 2.12. Datos de Factor de potencia del Tablero de distribución principal TDP-1

MUESTRAS	1151
FACTOR DE POTENCIA (MIN)	0.92

DETALLE	MUESTRAS	PORCENTAJE	VALOR
FP<FPM	50	4%	0.8
FP=FPM	1	0%	0.92
FP>FPM	719	62%	0.9
No cumple	4%		
Promedio	0.90		

Fuente: Elaboración propia

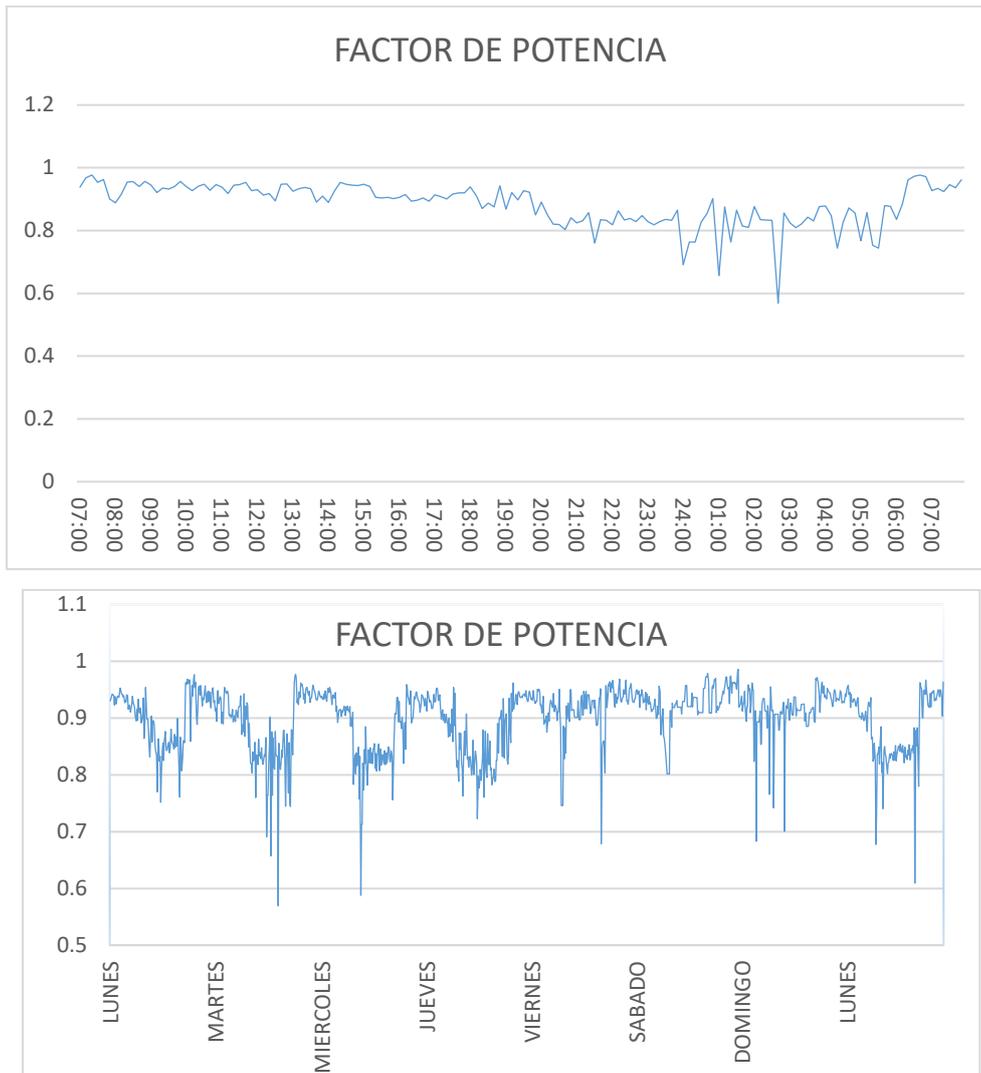


Figura 2.19. Gráfica del factor de potencia del TDP-1

Fuente: Elaboración propia

Armónico total de corriente – THD_i (%) en el TDP-1

La distorsión armónica total de corriente se mide de acuerdo con los procedimientos especificados en la sección 2.2.3. La Figura 2.22, muestra el THD de corriente se observa que los valores se encuentran dentro de los rangos permitidos según la norma, la cual establece un valor total de 8%.

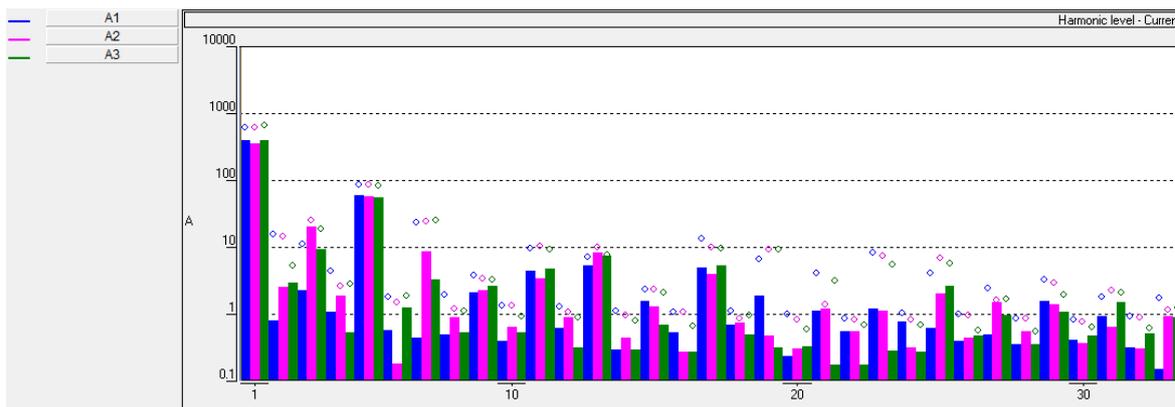


Figura 2.20. Gráfica factor de THD₁ del TDP-1

Fuente: Elaboración propia

Resumen de los parámetros eléctricos

Los parámetros eléctricos obtenidos por medio del analizador de red para los dos (2) tableros de distribución principal se resume en la Tabla 2.13, la cual presenta valores máximos, mínimo y promedio de 1151 muestras registradas por el analizador.

Tabla 2.13. Resultado de los parámetros eléctricos medidos de los tableros principales de distribución de la industria láctea El Ranchito.

		TDP-1			TDP-2		
		Valor máximo	Valor mínimo	Valor promedio	Valor máximo	Valor mínimo	Valor promedio
Potencia	Activa [W]	250,400	592.8	51,621.73	350,900	745.8	152,078
	Reactiva [Var]	98,280	-2,713	63,540	38,280	-27.213	19088
Voltaje Fase [V]	V1-N	136	116.6	127.79	136	116.6	128.02
	V2-N	138.2	120.1	129.95	130.6	114.7	125.04
	V3-N	137.9	115.4	129.47	130.7	114.9	123.83
Voltaje Línea [V]	V1-2	236	216.6	227.8	236	216.6	228.05
	V2-3	238.2	220.1	229.9	230.6	214.7	223.7
	V3-1	237.9	215.4	229.5	230.7	214.9	223.8
Corriente [A]	A1	690.1	4.225	140.88	576.2	24.54	196.9
	A2	699.2	1.584	138.14	593.4	20.04	213.4
	A3	727.2	4.867	147.6	514.9	28.36	191.3
	AN	56.4	2	10	10	2	5.9
Factor de potencia		0.985	0.56	0.9	0.998	0.73	0.92
THDI [%]	L1N	46.2	2.4	7.67	38.7	1.7	6.3
	L2N	46.1	2.42	7.3	37.4	1.5	6
	L3N	46.4	2.18	7.7	37.	2.2	6.8

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 2.13, se observa que la gran presencia de motores demanda cierta cantidad de reactivos al sistema que impacta sobre la eficiencia de la planta. A continuación, en la

tabla 2.14. se presenta la evaluación del cumplimiento de los parámetros eléctricos establecidos en la regulación ARCONEL 005-18. En esta señala que no más de un 5% de la cantidad de valores obtenidos en las mediciones pueden estar fuera del rango correspondiente.[14]

Para el análisis se tomaron 1151 muestras, las cuales 57 pueden estar fuera de los rangos.

Tabla 2.14. Análisis de los parámetros eléctricos medidos de los tableros principales de distribución de la industria.

Total, de muestras 1151			TDP-1			TDP-2		
			L1	L2	L3	L1	L2	L3
VOLTAJE	VF [V]	Dentro del límite $\pm 8\%$ del número de muestras	1150	1104	1124	994	792	806
		Estado	Cumple regulación	Cumple regulación				
	VL [V]	Dentro del límite $\pm 8\%$ del número de muestras	1151	1104	1125	1151	1151	1151
		Estado	Cumple regulación	Cumple regulación				
Factor de potencia		Dentro del límite ≥ 0.92 del número de muestras	540	474	732	736	979	880
	Estado	No cumple regulación	No cumple regulación	No cumple regulación	No cumple regulación	No cumple regulación	No cumple regulación	
THD_I Total [%]		Dentro del límite $\leq 8\%$ del número de muestras	1125	1119	1111	1148	1146	1149
	Estado	Cumple regulación	Cumple regulación	Cumple regulación	Cumple regulación	Cumple regulación	Cumple regulación	

Fuente: Elaboración propia

Del análisis realizado se desprende que el TDP-1 no presenta problemas con niveles de tensión ya que el 5% de las muestras no sobrepasan el límite del 8% permitido por la regulación ARCONEL 005-18,[14]. En cuanto a los armónicos individuales de corriente se puede observar en la figura 2.20 que el TDP-1 tiene los armónicos 3 y 5, pero analizando el THD total se observa que los dos tableros se encuentran dentro de la norma, sin embargo, los dos tableros presentan problemas de bajo factor de potencia.

2.2.4. Medición de los parámetros eléctricos asociados con la operación de motores

En esta sección se presentarán los resultados del análisis de datos recolectados durante el registro de parámetros eléctricos en motores, para lo cual se consideró los motores con capacidad de 5 HP en adelante, los cuales se detallan en la tabla 2.15.

Tabla 2.15 Medición en motores representativos del El Ranchito

Área	Motor	Aplicación	Potencia placa [kW]	fp	RPM	Corriente placa [A]	Corriente medida [A]	Protección actual
Calderos -01	5.36 HP	Motor caldero de 250 BHP	4.00	0.87	3540	13.8	15	3P-100A
	10 HP	Motor caldero de 300 BHP	7.46	0.84	3500	26	27.3	3P-100A
	5 HP	Ablandador	3.73	0.89	3450	13	12.86	3P-50A
	7.5 HP	Bomba alimentación de agua caldero de 300 BHP	5.59	0.89	3490	19.5	18.43	3P-100A
	15 HP	Compresor	11.19	0.83	5000	38.8	40	3P-80A
Producto y empaque de yogurt en fundas, bebidas - 04	26.14 HP	Homogeneizador	19.5	0.85	-	57	58.4	3P-100A
	12 HP	Pasteurizador	8.952	0.8	-	28	28.7	3P-63A
	8 HP	Clarificador	5.968	0.85	-	23	24.5	3P-80A
Preparación de quesos - 08	5 HP	Bomba de silo	3.73	0.8	3450	13	14.3	3P-30A
Almacena miento de materia prima - 09	10 HP	Bomba de agua	7.5	0.88	3525	25	25.7	3P-32A
	5 HP	Motor succión	3.7	0.89	3450	13	13.5	3P-20A
	15 HP	Montacarga	11.19	0.8	-	40	40.8	3P-50A
Tratamiento térmico - 11	25 HP	Pasteurizador de 1000 L/H	18.6	0.85	3730	60	62.2	3P-63A
	40 HP	Descremadora	30	0.81	3500	80	82	3P-100A
	10 HP	Motor	7.5	0.8	3500	24	25.7	3P-32A
	10 HP	Esterilizador	7.5	0.85	3500	24	24.7	3P-32A
Almacenamiento y despacho de producto terminado - 13, Cuartos fríos de almacenamiento	20 HP	Comp air	14.9	0.84	3000	94	94.7	3P-150A
	7.5 HP	Extractor	5.59	0.89	3490	19.5	18.43	3P-125A
	10 HP	Bomba yogurt	7.5	0.88	3525	25	25.7	3P-32A
	10 HP	Bomba multi uso	7.5	0.88	3525	25	25.7	3P-32A
	25 HP	Aséptica	18.6	0.85	-	60	63.4	3P-80A
	40 HP	Ultra past 10000 L/H	30	0.85	-	80	82	3P-200A
Laboratorio de calidad y recepción de leche -19	5.5 HP	Bomba pasteurizadora	4.1	0.8	3600	18	18.7	3P-16A
	10 HP	Bomba succión	7.4	0.75	3500	26	27.3	3P-40A
	7.5 HP	Bomba succión	5.59	0.89	3490	19.5	19	3P-32A
Cisterna de agua helada -20	5 HP	Bombas para bancos de agua	3.70	0.85	3450	13	13.7	3P-32A
	5.6 HP	Boba drenaje	4.20	0.75	3400	15	15.3	3P-25A
	20 HP	Enfriador	14.9	0.8	-	40	42.3	3P-50A
Planta de tratamiento	10 HP	Bomba sumergible	7.5	0.82	3500	26	28.4	3P-63A
	7.5 HP	Bomba de recirculación	5.5	0.8	1420	21.7	23	3P-40A

	7.5 HP	Blower grande	5.5	0.8	5300	22	22.6	3P-32A
Cuartos tableros eléctricos - 28	30 HP	Compresor Oil free	22	0.84	3000	79.4	75	3P-80A
	50 HP	Compresor Oil free	37	0.84	3500	95.6	94	3P-100A
Unidades de frío - 33	30 HP	Unidad de frío	22.3	0.85	3500	70	71.3	3P-80A
	25 HP	Unidad de frío	18.6	0.85	3500	60	60.6	3P-75A
	15 HP	Unidad de frío	11.19	0.85	3300	43	43.7	3P-50A

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2.16 se evalúa el estado funcional de los motores representativos del área de calderos en base a los parámetros de eficiencia energética en motores eléctricos explicados en el apartado 1.4.3. c), tabla 1.4. Este procedimiento se realizó para las áreas que tienen gran presencia de motores, el resto de las muestras se presentan en el ANEXO VII.

2.3 Propuesta de eficiencia energética para el sistema de fuerza

Con base al diagnóstico levantado en la sección 2.1.3, y con base a los análisis de datos y mediciones realizados en la sección 2.2, a continuación, se identifican una serie de medidas de eficiencia energética que permitirán a la empresa superar tales problemas identificados.

Las medidas se describen a continuación, en la tabla 2.17.

Tabla 2.16 Determinación del estado funcional de los motores

Codificación según su importancia		Comprometido		Relevante		Poco significativo		Bajo		
Parámetro	CALDEROS									
	5.36HP		10HP		5HP		7.5HP		15 HP	
Tiempo de Operación Anual	2088		832 horas		Menor 2920		Menor 2920		Mayor 2920	
Eficiencia	Estándar IE1	$0.80 \leq fp \leq 0.85$ Eficiencia menor al 91%	Estándar IE1	$0.80 \leq fp \leq 0.85$ Eficiencia menor al 91%	Estándar IE1	$0.80 \leq fp \leq 0.85$ Eficiencia menor al 91%	Estándar IE1	$0.80 \leq fp \leq 0.85$ Eficiencia menor al 91%	Estándar IE1	$0.80 \leq fp \leq 0.85$ Eficiencia menor al 91%
Antigüedad	Entre 6 a 8 años	El motor tiene 8 años de funcionamiento	Entre 6 a 8 años	El motor tiene 5 años de funcionamiento	Entre 6 a 8 años	Los ablandadores tiene 7 años de funcionamiento	Mayor a 8 años	La bomba tiene 14 años en funcionamiento	Entre 6 a 8 años	El motor tiene 5 años en funcionamiento
Entorno de trabajo y sistema de enfriamiento	Protección media	Protegido y con enfriamiento	Protección media	Protegido y con enfriamiento	Protección regular	Lugar con mucho polvo	Protección regular	Lugar con mucho polvo	Protección regular	Lugar con mucho polvo
Mantenimiento	Preventivo	Mensual	Preventivo	Mensual	Preventivo	Trimestral	Preventivo	Cuatrimstral	Preventivo	Cuatrimstral
Automatización en funcionamiento	Nada	Se acciona manualmente	Nada	Se acciona manualmente	Nada	Se acciona manualmente	Nada	Se acciona manualmente	Nada	Se acciona manualmente

Fuente: Elaboración propia en base a la referencia [9]

Tabla 2.17 Análisis de propuestas de eficiencia energética

Ámbito	Problemática	Descripción	Medida de Eficiencia	Descripción Medida
Eficiencia energética	Sobrecalentamiento de conductores	Debido a las modificaciones en la carga y expansiones de la planta, el calibre del conductor instalado actualmente resulta insuficiente, lo que estaría generando sobrecalentamiento, y por lo tanto pérdidas, afectación al aislamiento, entre otros inconvenientes.	Reemplazo de calibre	Rediseño de las instalaciones y reemplazo de conductores sobrecargados. Este cambio potenciará el rendimiento del sistema y evitará posibles daños en los equipos; también esta medida permitirá evitar riesgos para el personal y mejorará la eficiencia del sistema.

	Procesos productivos manuales	Todos los procesos productivos se realizan de forma manual. No existe un área de control y automatización, a pesar de que existen procesos que podrían automatizarse para mejorar la eficiencia de los mismos.	Implementación de un sistema de automatización y control	Implementar un sistema de control escalable y eficiente, el cual contemple una serie de sensores y tecnología de vanguardia, lo cual permitirá optimizar la operación de los motores, para lo cual se recomienda establecer un área para la automatización de procesos.
	Tableros con sobrecarga	Existen equipos que se conectan a tableros que no son de sus respectivas áreas. Estos tableros están sobrecargados, mientras que en otros tableros la capacidad se encuentra al 10%.	Redistribución de carga	Realizar un rediseño de redistribución de carga para los tableros.
	Arranque directo de motores	En la mayoría de los motores la industria utiliza un arranque directo, este arranque no siempre es beneficio para la carga debido a que la componente de protección puede estar en riesgo.	Implementación de un sistema de arranque para motores	El uso de arrancadores suaves facilita el control de potencia y suministran una corriente adecuada al motor. Los variadores de velocidad pasan más de 10 años sin tener inconvenientes en la utilización.
	Bajo factor de potencia	Los bancos de capacitores que se instalaron hace 15 años, ya no son suficientes para las condiciones de carga actual, y no cumplen con el proceso de compensación requerido. La planta actualmente experimenta escenarios de bajo factor de potencia.	Rediseño e instalación de nuevos bancos de capacitores	Se debe implementar un nuevo banco de capacitores o una mejora de la actual compensación capacitiva para mantener un factor de potencia superior a 0.92 y de esta forma evitar sanciones con la empresa distribuidora.
	Falta de mantenimiento y mejora tecnológica.	Muchos equipos eléctricos tienen más de 10 años en servicio, De hecho, existen motores con eficiencia IE1, la cual según la norma no se puede utilizar en la industria debido a su baja eficiencia.	Cambio de equipos antiguos	Renovación de cableado, tableros, motores y protecciones.
		Los mantenimientos que ejecuta la empresa son netamente correctivos.	Incorporación de un plan completo de mantenimiento	Implementación de un programa planificado de mantenimientos predictivos y preventivos trimestrales, prologarán la vida útil en motores, tableros y cableado eléctrico, mejorando la eficiencia en conjunto de toda la planta.

Fuente: Elaboración propia.

Como parte de los objetivos específicos de este Trabajo de Integración Curricular, se propuso el rediseño de las instalaciones eléctricas de los elementos críticos del sistema eléctrico como tableros y alimentadores de la empresa, debido a las fallas críticas en las instalaciones eléctricas identificadas tanto en la etapa previa y en el análisis de datos, el rediseño se identifica además como una medida de eficiencia necesaria para la industria, la cual se detalla a continuación.

2.3.1 Rediseño de las instalaciones eléctricas de la industria asociadas al sistema de fuerza y cargas especiales

Para el rediseño de las instalaciones, se tomó como base en primera instancia los datos de tableros obtenidos en el estudio de estado inicial, que determinaron las siguientes acciones:

- Se realizará una reorganización y repotenciación de algunos tableros, ya que existe algunos que no tienen una capacidad suficiente o adecuada para su carga, debido a una inadecuada distribución de circuito, como es el caso del Tablero de Distribución 1.
- El Tablero de los prepack y máster pack, Tablero área calderos y Tablero área recepción leche necesitan una reorganización por lo que se recomienda trasladar la carga de estos tableros al tablero de distribución principal 2.
- Se realizará la distribución de circuitos a través de subtableros para de esta forma controlar las caídas de voltaje.
- Se realizará un estudio para verificar el calibre de los alimentadores a los dos tableros de distribución principal (TDP-1 y TDP-2) y los 6 tableros de sub-distribución.
- Todos los tableros necesitan un estudio de protecciones ya que se tiene protecciones sobredimensionadas y en algunos casos los equipos o un área en general no cuenta con una protección principal.
- En lo que respecta a conductores, se realizará un estudio para validar el dimensionamiento de los conductores de todo el sistema de fuerza, ya que existe conductores sobrecalentados que estarían sobrecargados, o con daños en el aislamiento.
- Se utilizará el programa computacional AutoCAD para implementar planos eléctricos y realizar el diagrama unifilar.

2.3.1.1 Redimensionamiento de tableros y redistribución de circuitos

En esta sección se presenta, el análisis para el redimensionamiento de los 6 tableros de sub-distribución que tiene la empresa. Se analizará la capacidad óptima de estos tableros, así como su reubicación, a fin de que el personal de mantenimiento tenga un acceso adecuado para realizar alguna maniobra; por otro lado, también se realizará la correcta distribución de circuitos a través de estos subtableros para controlar las caídas de voltaje por el tema de extensas distancias.

En la **Figura 2.21**, se observa la propuesta de ubicación, del tablero principales de distribución 1 y 2 se definió estas zonas ya que son cuartos en los cuales se puede tender una acometida sin necesidad de dañar la infraestructura de la empresa, además el cuarto de la figura a, es un cuarto nuevo, donde la empresa podría ocupar ese cuarto como un cuarto de tableros y así distribuir las cargas de manera óptima.

- (a) Tablero de distribución principal # 1 – TDP-1 (Área tableros cuarto nuevo)
- (b) Tablero de distribución principal # 2 – TDP-2 (Área transformador)

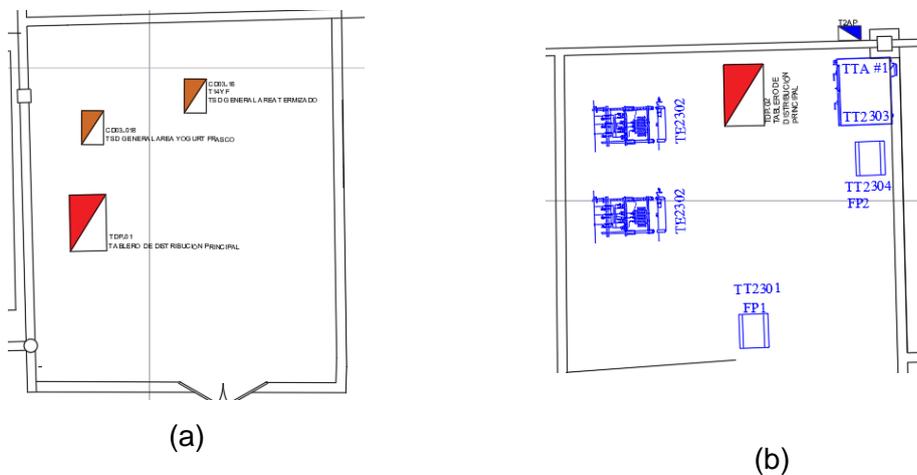


Figura 2.21. Localización de tableros principales (a) TDP-1, (b) TDP-2.

Fuente: Elaboración propia

Para evitar la desorganización en la alimentación de cargas, y una mejor gestión de los tableros, se plantea la redistribución de la carga de todos los tableros de la industria, los cuales alimentarán exclusivamente las cargas asociadas a cada área.

Por ejemplo, en la figura 2.22 se muestra el tablero sub-distribución del área calderos que actualmente tiene 8 protecciones principales para su sistema de fuerza y control, pero en la figura 2.22 se observa que el área cuenta con 11 tableros de control, con lo que se

determina que tres de estas cargas se encuentran conectadas directamente a una barra en el tablero principal, sin un sistema de protección adecuada. Esta situación se encontró en más tableros de la industria.

La distribución de tableros en la industria se detalla en el ANEXO VIII.

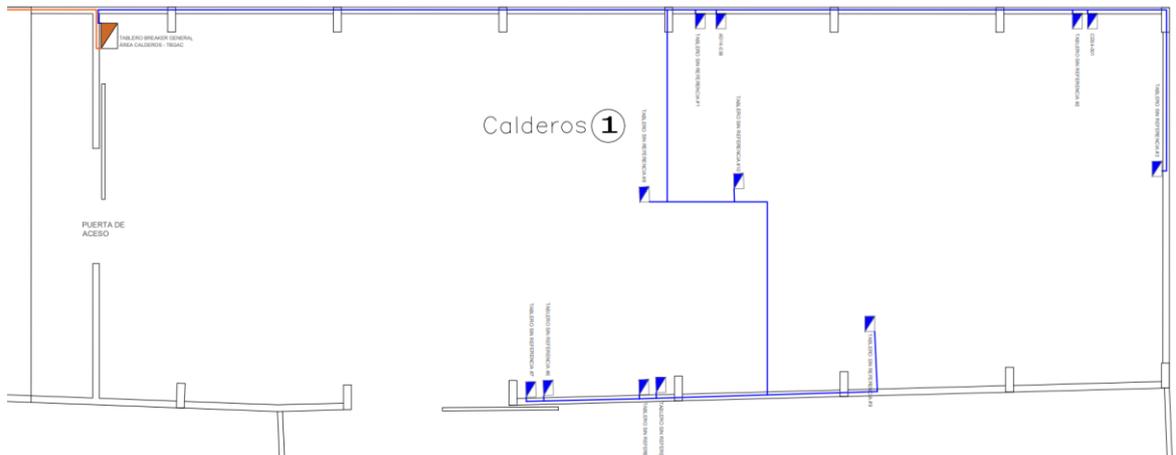


Figura 2.22. Localización de tableros de sub-distribución Área Calderos

Fuente: Elaboración propia

En la sección 2.1.2, se identificó el número de tableros con las respectivas cargas que alimentan tales tableros

En el ANEXO IX se presenta la propuesta de nueva redistribución de cargas en los tableros, como ejemplo, en la tabla 2.18, se presenta la nueva redistribución de circuitos que dispondría el área de sub-distribución general bancos de agua helada recepción nueva, donde el circuito 14 pertenece al tablero del área recepción leche, este tablero tiene una capacidad de 53.992 kVA, para realizar un alivio de carga se propone trasladar recepción leche al tablero de sub-distribución general área termizado, el cual tiene una carga y su acometida y protección soporta esta redistribución, así se dejara los últimos dos circuitos como reserva para cualquier expansión o para el caso en el que se requiera conectar un equipo eléctrico durante el mantenimiento a las maquinarias o a las instalaciones.

Tabla 2.18. Nueva redistribución de circuitos para el “Tablero de sub-distribución general Bancos de agua helada recepción nueva”

Área externa cisterna #1 - 41	TABLERO SUBDISTRIBUCIÓN GENERAL BANCOS DE AGUA HELADA RECEPCIÓN NUEVA - T8BAHRN	Circuitos	Redistribución	Observación
		1	Ninguna	-
		2	Ninguna	-
		3	Ninguna	-
		4	Ninguna	-
		5	Ninguna	-
		6	Ninguna	-
		7	Ninguna	-

		8	Ninguna	-
		9	Ninguna	-
		10	Ninguna	-
		11	Ninguna	-
		12	Ninguna	-
		13	Ninguna	-
		14	Tablero Recepción Leche	Se propone trasladar la carga al tablero de sub-distribución general área termizado
		15	Ninguna	
		16	Reserva	

Fuente: Elaboración propia

2.3.1.2 Calibre de conductores

Para dimensionar el calibre de conductores se tomará como criterios: Ampacidad de los circuitos, caída de tensión, y tipo de asilamiento requerido, bajo las recomendaciones de la norma NEC, sección 1.4.2.1 – parte a y b.

Para realizar el cálculo del calibre del conductor se realiza el siguiente procedimiento:

- Se debe seleccionar un conductor ideal con base a la corriente que tiene el circuito, determinada en función de los cálculos.
- Se verifica que la caída de voltaje no supere la caída de tensión admisible, para el efecto se toman valores de reactancia y resistencia del conductor (Tabla 2.19) los cuales se ocupan en la ecuación 7 para poder encontrar la impedancia eficaz.
- Una vez calculada la caída de tensión se aplica la ecuación 10 para poder calcular el porcentaje de caída de tensión, si este valor supera el máximo de 5% se deberá aumentar un calibre y volver a verificar que no sobrepase el valor mencionado anteriormente.

Tabla 2.19. Valores de resistencia y reactancia inductiva para cables de cobre.

CABLES DE COBRE - INSTALACIÓN TRIFÁSICA TRES CONDUCTORES SENCILLOS EN TUBO CONDUIT 600 V - 60 Hz - 75°C					
CALIBRE (AWG o kcmil)	Resistencia eléctrica AC $R_{AC}(\Omega/Km)$			Reactancia inductiva $X_L(\Omega/Km)$	
	CONDUIT				
	PVC	ALUMINIO	ACERO	PVC/ALUMINIO	ACERO
14	10,170	10,170	10,170	0,190	0,24
12	6,560	6,560	6,560	0,177	0,223
10	3,940	3,940	3,940	0,164	0,207
8	2,560	2,560	2,560	0,171	0,213
6	1,610	1,610	1,610	0,167	0,210
4	1,020	1,020	1,020	0,157	0,197
2	0,623	0,656	0,656	0,148	0,187
1/0	0,394	0,427	0,394	0,144	0,180
2/0	0,328	0,328	0,328	0,141	0,177
3/0	0,253	0,269	0,259	0,138	0,171
4/0	0,203	0,219	0,207	0,135	0,167
250	0,171	0,187	0,177	0,135	0,171
350	0,125	0,141	0,128	0,131	0,164
500	0,089	0,105	0,095	0,128	0,157

Fuente: CENTESLA Hojas tablas técnicas

Ecuación: para el cálculo de impedancia eficaz:[9]

$$\text{Ecuación 7. } Z_{ef} = R \cos \theta + X_L \sin \theta$$

Donde:

Z_{ef} : Impedancia eficaz del conductor

θ : ángulo del factor de potencia.

R : Resistencia eléctrica del conductor.

X_L : Reactancia inductiva del conductor.

Cálculo de la caída de tensión de cada circuito. [9]

$$\text{Ecuación 8. } \Delta V_{FN} = Z_{ef} * L * I$$

$$\text{Ecuación 9. } \Delta V_{FF} = \sqrt{3} * \Delta V_{FN}$$

Donde:

ΔV_{FN} : Caída de tensión

L : Longitud del conductor.

I : Corriente del circuito.

Finalmente, obtenida la caída de tensión se puede calcular su porcentaje el cual no tiene que sobrepasar de 5% y se calcula a través de la siguiente ecuación:[9]

$$\text{Ecuación 10. } \% \Delta V_{FN} = \left(\frac{\Delta V}{V} \right) * 100$$

Donde:

V: Voltaje nominal del circuito

Para los circuitos de cada tablero principal se calcularon los calibres de conductores según se muestra en la Tabla 2.20.

En el ANEXO X, se presenta en detalle el cálculo general del calibre del conductor de todos los circuitos que son parte de las instalaciones eléctricas de las diferentes las áreas de la empresa.

Tabla 2.20. Calibres de conductores para circuitos de los tableros principales

Circuito	Código	Descripción	Conductores	Corriente	Longitud	Caída de voltaje
			Fase/ Neutro / Tierra	[A]	[m]	[%]
1	TPD-1	Tablero de distribución general 1	3*(2X1000) + 1X500 + 1X500	1174.75	56.7	3.03
2			3*(2X250) + 1X2/0 + 1X2/0	519.60	56.7	2.68
3			3*(2X500) + 1X250 + 1X250	725.88	56.7	1.87
1	TDP-2	Tablero de distribución general 2	3*(1X3/0) + 1X2/0 + 1X2/0	176.5	10	0.241
2			3*(1X8) + 1X10 + 1X10	24.0	10	0.251
3			3*(2X1000) + 1X250 + 1X250	1190.8	10	0.541
4			3*(2X300) + 1X250 + 1X250	510.7	10	0.464

Fuente: Elaboración propia

2.3.1.3 Protecciones

La selección de protecciones se realizó con base a lo descrito en la sección 1.4.2.1 – parte c, que toma en cuenta el valor de corriente y la protección disponible comercialmente. Se utilizó el catálogo de protecciones de Schneider Electric. La tabla 2.21, resume las protecciones recomendadas para el tablero de sub-distribución general área mantenimiento y envases – TSGAME; los resultados para el resto de los tableros se presentan en el ANEXO XI.

Tabla 2.21. Protecciones recomendadas para el tablero TSGAME

Circuito	Descripción	Corriente calculada	Protección equipo	Protección tablero equipos	Protección tablero principal	Protección tablero general
1	Homogeneizador 10000 L/H	33.24	-	-	3P-50A	3P-600A
2	Bomba de condensador	26.46	-	-	3P-50A	
3	Extractores	6.12	3P-10A	3P-80A	3P-100A	
	Bomba silo 5000 suero	15.29	3P-16A			
	Bomba torre enfriamiento	15.29	3P-16A			

	Agitador 5000	9.18	3P-10A				
	Marmita 1	9.18	3P-10A				
	Marmita 2	9.18	3P-10A				
	Marmita 3	5.76	3P-10A				
	Marmita 4	2.88	3P-10A				
	Marmita 5	8.64	3P-10A				
	Tomacorriente	5.79	3P-10A				
	Iluminación	4.21	3P-10A				
4	Torre de enfriamiento #2	56.42	-	-	-	3P-63A	
5	Bomba condensada	31.78	-	-	-	3P-32A	
6	Ventilador bajo grada	16.02	-	-	-	3P-20A	
7	Iluminación	1.48	1P-6A	-	3P-63A	3P-80A	
	Tomacorrientes parte superior segundo piso y mantenimiento	0.82	1P-6A	-			
	Tomacorriente para alimentación bifásica	10.66	1P-16A	-			
	Tomacorriente 110	6.15	1P-10A	-			
	Tablero de mantenimiento y Oficinas (TMOF)	Sensores	0.41	1P-6A			3P-40A
		Iluminación	1.18	1P-6A			
Suelda		10.25	3P-16A				
	Tomacorrientes bifásicos	26.65	2P-32A				
8	Enfriador tratamiento térmico	15.21	-	-	-	3P-20A	
9	Montacarga yogurt	45.88	3P-40A	3P-100A	3P-125A		
	Montacarga envases	45.88	3P-40A				
	Tomacorrientes	6.15	3P-10A				
	Iluminación	0.74	3P-6A				
10	Motor succión P101	13.75	3P-16A	3P-50A	3P-125A		
	Motor succión P101	13.75	3P-16A				
	Motor succión P101	15.29	3P-16A				
	Motor 1	2.29	3P-6A				
	Motor 2	2.29	3P-6A				
	Motor 3	2.29	3P-6A				
	Bomba 1	6.12	3P-6A	3P-25A			
	Bomba 2	6.12	3P-6A				
	Bomba "lavado de gaveta"	6.12	3P-6A				
	Sumergible	9.18	3P-10A	3P-63A			
	Bomba tratamiento térmico	30.59	3P-25A				
Bomba de agua tanque aséptico	30.59	3P-25A					
11	Bomba de agua #1	13.75	3P-16A	3P-50A	3P-63A		
	Bomba de agua #2	13.75	3P-16A				
	Bomba de agua #3	13.75	3P-16A				
	Cisterna naranjada	13.75	3P-16A				
12	Ascensor	45.88	3P-40A	-	-	3P-63A	
13	RESERVA	-	Reserva deberían quitar las protecciones y colocarlas cuando ya conecten un dispositivo				
14	RESERVA	-					

Fuente: Elaboración propia

2.3.1.4 Planos y Diagramas

Adicionalmente a lo descrito hasta ahora, como parte del Trabajo de Integración Curricular, se desarrollaron:

- Diagrama unifilar general – ANEXO XII
- Diagramas unifilares por áreas – ANEXO XIII

2.4 Evaluación financiera de las medidas de eficiencia

En este capítulo se analizan los indicadores financieros VAN y TIR para la evaluación financiera de las propuestas de eficiencia energética indicadas en el capítulo anterior, con el fin de determinar las alternativas más viables o convenientes para la empresa en función de su inversión y rentabilidad.

2.4.1 Reemplazo de motores estándar por motores de alta eficiencia

Mantener operando motores que hayan cumplido su vida útil, o estén cerca de hacerlo y que además tengan una eficiencia tipo IE-1, conlleva a pérdidas de energía para la empresa por lo que una de las medidas planteadas es el reemplazo por motores con eficiencia IE-2 y IE-3.

Para el desarrollo de esta propuesta, se realizó la evaluación para los motores más representativos, los cuales se presentan en la tabla 2.15, estos motores serán evaluados por los parámetros de eficiencia energética descritos en la tabla 1,4, sección 1.4.3.

Los factores descritos en la tabla 1.4, afectan a la eficiencia y por lo tanto el consumo de los motores incrementa, aspecto que es considerado en esta sección para determinar la eficiencia actual de estos motores, con el fin de estimar el ahorro que se alcanzaría y realizar el análisis financiero. Para el efecto se utiliza la ecuación 11.

Los resultados obtenidos para los motores de 5 HP se presentan en la Tabla 2.22, el resto de los motores significativos se presentan en el ANEXO XIV.

$$\text{Ecuación 11. } P_e = \frac{P_m}{n} * 100\%$$

Donde:

P_e : Potencia eléctrica

n : Rendimiento

P_m : Potencia mecánica (Dato de placa)

Tabla.2.22. Potencia real y horas de funcionamiento de los motores de 5HP

Equipo	Área	Horas de funcionamiento	Eficiencia [%]	Potencia nominal [W]	Potencia ajustada [W]
Motor	Calderos	12	85.5	3730	4362.57
Motor		12	85.5	3730	4362.57
Motor		12	85.5	3730	4362.57
Motor	Preparación de quesos	12	81	3730	4604.94
Motor		12	81	3730	4604.94
Motor	Antiguos silos	12	85.5	3730	4362.57
Motor		12	85.5	3730	4362.57
Motor		12	85.5	3730	4362.57
Motor		12	85.5	3730	4362.57
Motor		12	85.5	3730	4362.57
Motor		12	85.5	3730	4362.57
Motor	Almacenamiento de materia prima	12	85	3730	4388.24
Motor	Lavado de gavetas	12	80	3730	4662.50
Motor		12	80	3730	4662.50
Motor	Cisterna de agua helada	12	80	3730	4662.50
Motor		12	80	3730	4662.50
Motor		12	80	3730	4662.50
Motor		12	80	3730	4662.50
Motor		12	80	3730	4662.50
Motor		12	80	3730	4662.50
Motor	Recepción leche	12	81	3730	4604.94
Motor		12	80.9	3730	4610.63
Motor	Aséptica	12	80	3730	4662.50
Motor		12	80	3730	4662.50
Motor		12	85	3730	4388.24
Motor	Tratamiento térmico	12	80	3730	4662.50
				TOTAL	117752.57

Fuente: Elaboración propia

Con el valor total de la potencia ajustada a su eficiencia y carga real, se realiza la evaluación financiera, pero primero se determina el valor del ahorro anual que tendrá el remplazo de los motores actuales en relación con los motores eficientes.

Según el pliego tarifario, la empresa se encuentra categorizada como una industria con “Tarifa general con demanda horaria diferenciada”, la cual se aplica a los consumidores industriales que disponen de un registrador de demanda horaria, en la Taba 2.23, se presenta una extracción del pliego tarifario de los valores a pagar de la empresa en [\$/kWh], los cuales serán utilizados en la evaluación financiera.

Tabla 2.23. Pliego tarifario

Rango de consumo	Demanda (USD/kW – mes)	Energía (USD/kWh)	Comercialización (USD/Consumidor)
NIVEL DE VOLTAJE	MEDIO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA		
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	4.576	0.0897	1.414
L-D 18:00 hasta 22:00 horas		0.1037	
L-D 22:00 hasta 08:00 horas ⁵		0.0501	
L-V 08:00 hasta 18:00 horas		0.0897	

Fuente: Elaboración propia con base a [6]

En la siguiente tabla se presenta el ahorro estimado anual en [\$], el cual es un valor fundamental para poder calcular los indicadores financieros.

Tabla 2.24. Evaluación de ahorro de costos anuales

Motores actuales		Motores eficientes	
Potencia ajustada [W]	117752.57	Potencia real [W]	96980.00
Horas de funcionamiento diario [h]	12	Horas de funcionamiento diario [h]	12
De 8:00 -18:00	10	De 8:00 -18:00	10
De 6:00 -8:00	2	De 6:00 -8:00	2
Energía anual S-D-F [kWh]	85959	Energía anual S-D-F [kWh]	70795
Energía anual L -V [kWh]	429797	Energía anual L -V [kWh]	353977
Costo anual de energía L-V [\$]	38552.78	Costo anual de energía L-V [\$]	31751.73
Costo anual de energía S-D-F [\$]	4306.56	Costo anual de energía S-D-F [\$]	3546.84
Pago por Demanda y Mantenimiento ⁶	109.55	Pago por Demanda y Mantenimiento	109.55
Costo total convencional Anual [\$]	42,968.90	Costo total convencional Anual [\$]	35,408.14
		Ahorro estimado anual en [\$]	7,560.76
		% de Ahorro anual	17.72

Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la tabla 2.25. se determina el VAN y el TIR calculados para un flujo efectivo de 5 años y una tasa de descuento del 8%.

⁵ Conforme al numeral 4 de la resolución Nro. 043/11. El valor de este cargo tarifario se aplica para el periodo complementario de los días S, D, F.

⁶ El pago por demanda y mantenimiento es la suma del pago por demanda anual y el costo del mantenimiento.

Tabla 2.25. Evaluación financiera para motores tipo IE2 y IE3

Evaluación económica motores IE2			
Costo de Inversión [\$]	17758	Ahorro de operación anual [\$]	7615.67
Costo de Instalación [\$]	120	Periodo simple de recuperación [años]	2.3
Costo total inversión [\$]	17878	Tasa de descuento: i	0.08
Flujo efectivo		VAN	TIR
Fo	17,878.00	\$12,529.16	22%
Año 1	7051.55		
Año 2	6529.21		
Año 3	6045.56		
Año 4	5597.74		
Año 5	5183.10		
Evaluación económica motores IE3			
Costo de Inversión [\$]	27092	Ahorro de operación anual [\$]	7615.67
Costo de Instalación [\$]	120	Periodo simple de recuperación [años]	3.6
Costo total inversión [\$]	27212	Tasa de descuento: i	0.08
Flujo efectivo		VAN	TIR
Fo	-27,212.00	\$3,195.17	4.03%
Año - 1	7051.55		
Año - 2	6529.21		
Año - 3	6045.56		
Año - 4	5597.75		
Año - 5	5183.10		

Fuente: Elaboración propia

La evaluación financiera del cambio de motores de eficiencia tipo IE2, determina que la medida es factible, debido a que genera un ahorro de operación anual de \$ 7615.67 y un periodo simple de recuperación de 2.3 años, con valores positivos de VAN y una TIR aceptable.

Por otro lado, el cambio de motores con eficiencia tipo IE3 considera una inversión inicial de \$27.212, con un periodo simple de recuperación de 3.6 años; este caso la TIR es de 4.03%. Al ser el VAN positivo, pero la TIR inferior a la tasa evaluada, será una decisión de la empresa la implementación de la medida.

El análisis financiero del resto de motores significativos de la empresa se podrá encontrar en el ANEXO XIV.

2.4.2 Implementación del sistema de arranque para motores

La implementación de un sistema de arranque de motores es una opción para evitar las sobrecorrientes generadas en un arranque directo. Para esto, la selección del tipo de arranque a utilizar es fundamental, ya que cada uno conlleva unas características dadas y

una corriente de arranque determinada. Los motores con arranque directo tendrán un incremento de corriente de 1-8 veces la corriente del motor a plena carga, aunque este arranque sea en un intervalo de tiempo muy corto, producirá sobrecargas a los circuitos de alimentación, afectación del aislamiento y caídas de voltaje muy incidentes en la red, que afectarán a la vida útil de la instalación.

Para los motores utilizados en la industria, se evaluará la implementación de arrancadores estrella-triángulo y arrancador suave el cual es una alternativa para la reducción de la corriente, dado que el arranque se vuelve lineal y sin picos, lo que a su vez garantiza una operación confiable incluso durante una caída de voltaje. [15]

Como primer punto se identifica los motores que se analizarán, a los cuales se mide su corriente de arranque, con el fin de determinar la potencia de arranque, misma que se muestra en la 2.26.

Tabla 2.26. Cálculo de potencia de arranque.

Motor	Potencia	Arranque directo		
		I nominal [A]	I arranque [A]	Potencia arranque [W]
1 - 5HP	4362.57	15.2	121.6	26752
7.5HP	6272.42	22.0	176	38720
10 HP	8429.38	28.0	224	49280
15 HP	13814.81	42.0	336	73920
30 HP	24593.41	80.0	640	140800
40 HP	38702.98	147.0	1176	258720
50 HP	46049.38	239.0	1912	420640

Fuente: Elaboración propia

Una vez calculada la potencia de arranque que tienen los motores, se realiza el cálculo de ahorro anual, en el cual se compara el arranque directo con el arranque estrella triángulo y con un arrancador suave. En la tabla 2.27 se presenta todos los parámetros utilizados para encontrar el ahorro estimado anual en dólares para arrancadores para un motor de 5HP, en el ANEXO XIV se presentan los cálculos para el resto de los motores significativos.

Tabla 2.27. Cálculo de ahorro anual en [\$]

Arrancador directo		Arrancador estrella - triángulo	
Potencia real [W]	26752.00	Potencia [W]	1114.67
Tiempo de arranque [h]	0.0041	Tiempo de arranque [h]	0.009
Energía anual [kWh]	40.00	Energía anual [kWh]	4
Costo anual de energía S-D-F [\$]	0.0501	Costo anual de energía S-D-F [\$]	0.0501
Pago de Demanda y Mantenimiento	374.91	Pago de Demanda y Mantenimiento	221.07

Costo total convencional Anual [\$]	1,199.47	Costo total eficiente Anual [\$]	261.84
		Ahorro estimado anual en [\$]	1,075.14
		% de Ahorro anual	89.63
Arrancador suave			
		Potencia [W]	2750.00
		Tiempo de arranque [h]	0.011
		Energía anual [kWh]	2008
		Costo anual de energía S-D-F [\$]	0.0501
		Pago de Demanda y Mantenimiento	221.07
		Costo total eficiente Anual [\$]	221.62
		Ahorro estimado anual en [\$]	1.45
		% de Ahorro anual	0.065

Fuente: Elaboración propia

A continuación, utilizando el valor del ahorro estimado anual encontrado en la tabla 2.27, se podrá determinar la viabilidad de la evaluación económica para la implementación de arrancadores en el motor de 5 HP. También se realizará el cálculo del VAN y el TIR utilizando un flujo efectivo de 5 años y una tasa de descuento del 8%.

Tabla 2.28. Evaluación económica.

Evaluación económica arrancador estrella - triangulo			
Costo de Inversión [\$]	2077	Ahorro de operación anual [\$]	1.82
Costo de Instalación [\$]	1500	Periodo simple de recuperación [años]	1965.09
Costo total inversión [\$]	3577	Tasa de descuento: i	0.08
Flujo efectivo		VAN	TIR
Fo-0	-3577	-\$3.569.73	0
Año - 1	995.50		
Año - 2	921.76		
Año - 3	853.48		
Año - 4	790.26		
Año - 5	731.72		
Evaluación económica arrancador suave			
Costo de Inversión [\$]	358.18	Ahorro de operación anual [\$]	221.62
Costo de Instalación [\$]	1500	Periodo simple de recuperación [años]	2.07
Costo total inversión [\$]	458.18	Tasa de descuento: i	0.08
Flujo efectivo		VAN	TIR
Fo-0	-458	\$426.70	29%
Año - 1	205.21		
Año - 2	190.01		
Año - 3	175.93		

Año - 4	162.90		
Año - 5	150.83		

Fuente: Elaboración propia

La implementación de un arranque estrella triangulo no es una propuesta viable considerando que la inversión es de \$ 3.577 y el ahorro anual será de \$ 1.82, por lo que el cálculo del periodo simple de recuperación es de 1965 años, lo cual da un indicio la rentabilidad del proyecto.

En el caso del arrancador suave se debe identificar cuáles son las cargas que pueden operar con un arrancador suave, la empresa por ejemplo cuenta con; 5 bandas transportadoras, 2 montacargas, 2 ascensores, estas cargas necesitan el arrancador suave por su funcionalidad. Del análisis financiero se tiene un periodo de recuperación de 2.07 años, con una inversión de \$458,18 y un ahorro anual del \$221,62, de la misma forma analizando el valor del TIR que es del 29%, lo que determina la factibilidad de la medida.

2.4.3 Implementación de un sistema de control de motores

La industria no cuenta con un área de control del encendido y apagado automático de los equipos. Actualmente la empresa podría estar experimentando desperdicio de recurso humano, ya que un trabajador debe trasladarse hasta la ubicación de los equipos para el encendido y apagado, lo cual además provoca que el equipo opere más tiempo del programado debido al tiempo que le toma al operador trasladarse. Este tiempo puede ser ocupado por el en otra actividad, además que desde un control a distancia se tiene un control óptimo de máquinas y procesos.

La implementación de este sistema automatizado con PLCs puede iniciar con una pequeña área ya que el PLC tiene la ventaja de incrementar sus entradas, salidas y expender su automatización por medio de un módulo extra.

Con la implementación del centro de control se espera tener un manejo remoto completo de los sistemas eléctricos de la empresa y una mejor gestión de la energía consumida por los procesos industriales, ya que estos sistemas contemplan la medición y operación, así como el reporte de problemas de cada circuito, lo que contribuirá a su vez a la optimización de procesos y su consecuente ahorro económico para el consumo eléctrico.

A continuación, se presenta el análisis de costos operativos de un sistema automatizado con respecto a uno no automatiza, tomando en cuenta únicamente el tiempo de operación extra de 4 motores de 5HP. En la siguiente tabla se observa el incremento del tiempo de funcionamiento el cual se ocupará para calcular el ahorro anual.

Tabla 2.29. Horas de funcionamiento de un motor con y sin automatización.

Motor	Potencia individual	Potencia ajustada	Sin automatización			Automatización PLC de 4 I/O
			Horas de funcionamiento	Horas de funcionamiento extra		Horas de funcionamiento
	[W]	[W]	[h]	[min]	[h]	[h]
4 – 5HP	4362.57	17450.29	8	20	0.33	8.33

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2.30, se presenta todos los parámetros utilizados para realizar el cálculo de ahorro anual estimado, con el fin de comparar la operación de los motores sin automatización con respecto a un sistema automatizado por medio de un PLC de 4 I/O. En el ANEXO XIV se presenta a detalle los cálculos.

Tabla 2.30. Cálculo de ahorro estimado para un sistema automatizado.

Sin automatización		Con automatización	
Potencia ajustada [W]	17450.29	Potencia real [W]	17450.29
Horas de funcionamiento diario [h]	8.333	Horas de funcionamiento diario [h]	8
Energía anual S-D-F [kWh]	53078	Energía anual S-D-F [kWh]	50955
Energía anual L -V [kWh]	53078	Energía anual L -V [kWh]	50955
Costo anual de energía L-V [\$]	4761.09	Costo anual de energía L-V [\$]	4570.65
Costo anual de energía S-D-F [\$]	2659.20	Costo anual de energía S-D-F [\$]	2552.83
Pago de demanda y Mantenimiento	457.01	Pago de Demanda y Mantenimiento	257.01
Costo total convencional Anual [\$]	7,877.31	Costo total convencional Anual [\$]	7,380.50
		Ahorro estimado anual en [\$]	496.81
		% de Ahorro anual	6.31

Fuente: Elaboración propia

A continuación, utilizando el valor del ahorro estimado en la tabla 2.30, se podrá determinar la evaluación financiera para la implementación de un sistema automatizado a través de un PLC de 4 I/O para cuatro motores de 5 HP. Para realizar el cálculo del VAN y el TIR se utilizó un flujo efectivo de 5 años y una tasa de descuento del 8%.

Tabla 2.31. Evaluación económica

Evaluación económica Sistema automatizado			
Costo de Inversión [\$]	2526.23	Ahorro de operación anual [\$]	496.81
Costo de Instalación [\$]	1000	Periodo simple de recuperación [años]	7.10
Costo total inversión [\$]	3526.23	Tasa de descuento: i	0.08
Flujo efectivo	VAN		TIR
Fo-0	-3526	(\$1,542.60)	-17%

Año - 1	460.01	
Año - 2	425.94	
Año - 3	394.39	
Año - 4	365.17	
Año - 5	338.12	

Fuente: Elaboración propia

Analizando los parámetros financieros se tiene un VAN de \$ – 1,542.60 y un TIR negativo de 17% lo cual indica que la implementación de una automatización por medio de un PLC no es una inversión factible. Si la empresa opta por implementar un sistema automatizado, es necesario analizar a fondo esta medida incrementando más equipos porque el PLC permite el uso de un módulo extra al cual sirve para conectar más equipos, por estos motivos se puede decir que aunque los parámetros financieros no son viables, la propuesta es una medida interesante de ahorro del consumo de energía y que la decisión final será criterio de la empresa, en función a los tiempos que está requiera la recuperación de la inversión.

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En esta sección se presenta el análisis de resultados obtenidos del estudio realizado, tanto para el tema de rediseño, como de propuestas de eficiencia energética. De la misma forma se presenta las conclusiones y recomendaciones del trabajo.

3.1 Resultados

3.1.1. Rediseño de las instalaciones eléctricas

En la fase de análisis y recopilación de datos se identificaron algunos problemas asociados al sistema de fuerza de la planta industrial, entre los cuales destacan: desbalances de voltajes, tableros y conductores sobrecargados, protecciones deficientes, daño en aislamiento de conductores y equipos, pérdidas eléctricas, entre otros.

Para estos problemas se identificaron posibles soluciones a través de las acciones descritas en el capítulo 2.3.1, dentro de las cuales se consideró el rediseño de la instalación eléctrica en varias áreas de la empresa, cuyos aspectos principales de describen a continuación:

Tabla 3.1. Detalle del rediseño propuesto para las instalaciones eléctricas

Propuesta rediseño de las instalaciones eléctricas	
Propuesta	Descripción
Tableros	La propuesta contempló un cambio total de los tableros en mal estado, un retiro de los tableros fuera de funcionamiento, y un mantenimiento a los tableros que se encuentran en un estado adecuado. Por otro lado, también se realizó una revisión del dimensionamiento de circuitos alimentadores para evitar la sobrecarga y calentamiento de los mismo y reorganización y distribución de circuitos entre los tableros. Se incluyó además circuitos de reserva para los tableros a fin de flexibilizar a la instalación para cualquier servicio extra que requiera la empresa.
Conductores	La propuesta con respecto a los conductores contempla el cambio del calibre del conductor en los circuitos que se encuentren sobrecargados, así como el cambio de conductores para aquellos circuitos que tenían desgaste de su aislamiento, tratando así de disminuir los problemas de operatividad que esto genera.
Protecciones	La propuesta implica el remplazo de protecciones que no estaban ajustadas a las necesidades de protección de sus circuitos correspondientes, permitiendo así cumplir con normativa y protegiendo al equipo adecuadamente.
Planos y Diagramas	La propuesta incluyó el desarrollo de planos unifilares para toda la planta y por área, planos del sistema de fuerza, planos de la ubicación de motores y los equipos especiales, información que será útil para el personal de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Propuestas de eficiencia energética

En la fase de propuestas de eficiencia energética pudo verificar varias propuestas con respecto al sistema de fuerza, por lo que capítulo 2.3, propone varias medidas con su respectiva descripción de eficiencia, donde se optó por realizar el análisis de las propuestas que tengan un mayor impacto en el crecimiento de la empresa, esos puntos son:

- Remplazo de motores estándar por motores de alta eficiencia.
- Arranque de motores.
- Sistema de control y automatización y control.

A continuación, se presentan un resumen de los resultados obtenidos

Remplazo de motores estándar por motores de alta eficiencia.

Uno de los principales problemas asociados a la carga de la industria es el uso u operación de motores estándar que estarían afectando la eficiencia global de la industria. Una posible solución es el remplazo de estos motores por motores eficientes, pero esta sustitución se debe de realizar con un análisis financiero previo.

Tomando en consideración que la planta cuenta con más de 100 motores, el análisis se realizó para los motores más representativos.

La tabla 3.2, presenta un resumen del ahorro económico que lo alcanzaría con la implementación de la propuesta de sustitución de motores.

Tabla 3.2. Resumen de ahorro, propuesta remplazo de motores.

Tipo	Equipo	Costo de inversión [\$]	Tiempo de recuperación [años]	Ahorro económico [\$]	Ahorro anual [%]
IE2	Motor 5HP	17878	2.35	7,615.67	17.72
	Motor 7.5 HP	9536	2.18	4,365.08	16.23
	Motor 10HP	6678	2.04	3,279.11	16.63
	Motor 15HP	4518	1.58	2,866.12	18.79
	Motor 30 HP	5486	1.93	2,842.09	14.65
	Motor 40 HP	3948	1.29	3,056.33	21.17
	Motor 50 HP	4816	0.46	10,372.08	16.02
IE3	Motor 5HP	27212	3.57	7560.75	17.60
	Motor 7.5 HP	14530	3.33	4365.07	16.23
	Motor 10HP	10200	3.11	3279.10	16.63
	Motor 15HP	7020	2.45	2866.12	18.79
	Motor 30 HP	8040	2.83	2842.08	14.65
	Motor 40 HP	6068	1.99	3056.33	21.17
	Motor 50 HP	8128	0.78	10372.07	16.02

Fuente: Elaboración propia

La evaluación financiera del remplazo de motores de eficiencia tipo IE2 y IE3, determina que la medida es factible porque se tiene un importante ahorro económico; sin embargo, la empresa tendrá que realizar un análisis más profundo para determinar la cantidad de motores que podrían reemplazarse dadas las características de la inversión (de capital intensivo) y el tipo al cual optaría el remplazo.

Además del tema financiero, se sugiere a la industria, que, para tomar la decisión sobre el remplazo de sus motores, tome en consideración los criterios que se describen en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Criterios para el remplazo de motores eficientes

Cambio de motores estándar por motores eficientes	
Situación	Análisis a efectuar
Modificación de instalaciones	Cuando se vaya a realizar una modificación o una instalación nueva se puede aprovechar ese momento para sustituir en su mayoría los motores por motores nuevos y con mejor característica.
Equipo antiguo	Dependiendo del tiempo de vida del equipo, analizando varios parámetros como; vibración, rebobinado, y un registro de números de mantenimiento va a existir casos que es preferible reemplazar el motor actual por un motor nuevo con mejores características.
Operación a baja carga	Cuando se vaya a seleccionar un motor, se debe de identificar como se lo va a operar ya que la capacidad del motor debe cumplir con las horas de funcionamiento, porque si se usa un motor con mucha capacidad y el área de trabajo es muy pequeña están desperdiciando el funcionamiento del equipo adquirido.
Como parte de un programa de mantenimiento preventivo	El uso de un motor que ha pasado por varios mantenimientos, que han incluido rebobinados, no es recomendable, debido a que se ve afectada notablemente, generando pérdidas y un consumo no óptimo de energía. En tal sentido, es recomendable llevar un registro o bitácora del número de mantenimientos que se han realizado para motores, así como el control de su vida útil, y la implementación de mantenimiento de mantenimientos preventivos.

Fuente: Elaboración propia

Implementación de sistema de arranques para motores

El uso de motores en la empresa provoca problemas en la instalación eléctrica por los picos corrientes que aparecen durante el arranque directo. Los motores producen un torque elevado el cual supera la corriente de placa del equipo y esto genera recalentamientos en los conductores, que además de degradar a la instalación, genera pérdidas eléctricas y consecuentemente mayor gasto por consumo de energía.

La tabla 3.4, presenta un resumen del ahorro económico que lo alcanzaría con la implementación de la propuesta de la implementación de arrancadores.

Tabla 3.4. Resumen de ahorro, propuesta implementación arrancador estrella – triangulo y arrancador suave.

Tipo	Equipo	Costo de inversión [\$]	Ahorro económico [\$]	Ahorro anual [%]
Arrancador estrella – triangulo	Motor 5HP	2077	1.82	0.82
	Motor 7.5 HP	2427	2.64	1.04
	Motor 10HP	2777	3.36	1.19
	Motor 15HP	3127	5.04	1.62
	Motor 30 HP	3477	9.59	2.79
	Motor 40 HP	4377	17.62	4.55
	Motor 50 HP	5277	28.65	5.08
Arrancador suave	Motor 5HP	358.18	1.45	0.65
	Motor 7.5 HP	482.52	1.80	0.71
	Motor 10HP	482.52	2.59	0.92
	Motor 15HP	690.82	3.86	1.24
	Motor 30 HP	1198.99	7.24	2.10
	Motor 40 HP	3904.49	13.07	3.38
	Motor 50 HP	4592.92	23.97	4.25

Fuente: Elaboración propia

La implementación de arrancadores estrella-triangulo y arrancadores suaves no es una propuesta viable analizándola financieramente, porque implica una inversión muy alta con relación al ahorro y el tiempo de recuperación, este tiempo supera el flujo activo el cual se consideró como base de 5 años; sin embargo, la empresa debería tomar en consideración aspectos como: el sobrecalentamiento y el estado de la instalación. De esta manera se tendrá una evaluación más profunda sobre la propuesta, ya que al tener un arranque directo este produce una corriente de arranque elevada, sobrecalentado a los conductores con lo que empresa podría tener pérdidas por calentamiento e incluso daños en las instalaciones.

Además, para considerar la factibilidad de la implementación de los arrancadores la empresa puede evaluar algunas ventajas y desventajas mencionadas en la tabla 3.5.

Tabla 3.5. Ventajas y desventajas de los arrancadores

Ventajas y desventajas de los arrancadores	
Propuesta	Descripción
Arranques de motores	La implementación de un sistema de arranque es necesario para la protección del motor y de la instalación de este, con el cual se podrá garantizar una continuidad del servicio con lo que en este proyecto se propone implementar un sistema de arranque estrella

	<p>triangulo el cual tiene la ventaja de reducir la corriente de arranque a la tercera parte y un arranque por arrancadores suaves los cuales estos producen un ahorro significativo de energía con respecto al arranque directo</p>
Arrancador directo	
Ventajas	<p>Arranque muy simple y económico. Par de arranque elevado, aunque esto no siempre es beneficioso para la carga y a instalación.</p>
Desventajas	<p>Corrientes de arranques elevados que producirán efectos negativos a la red de distribución, especialmente en aquellas que no tienen suficiente capacidad o regulación.</p>
Advertencia	<p>La elevada corriente de arranque puede provocar una caída de voltaje perjudicial sobre la línea que alimenta el contactor de arranque. El sistema de protección, el fusible y relé térmico, debe ser dimensionado para soportar la corriente de arranque y durante el tiempo que el motor acelere hasta obtener la velocidad nominal.</p>
Arrancador estrella-triángulo	
Ventajas	<p>Corriente de arranque reducida a 1/3 del valor que alcanzaría en arranque directo. Arranque relativamente simple y económico.</p>
Desventajas	<p>La corriente transitoria elevada en el momento de la conmutación de estrella a triángulo. En este problema juegan un papel importante, el tiempo de arranque y el tiempo que dure la conmutación. Está pausa breve de conmutación más o menos esta entre 30 y 60 ms.</p>
Arrancador suave	
Ventajas	<p>Control total del arranque del motor. Mucho menor desgaste mecánico del motor. Mayor ahorro eléctrico. Protección al motor.</p>
Desventajas	<p>Costo elevado. Par reducido en el arranque.</p>

Fuente: Elaboración propia

Implementación de un sistema de automatización y control.

Implementar un sistema de automatización es muy importante para mejorar u optimizar la productividad y competitividad de cualquier industria; y si bien es cierto los procesos industriales entre empresas son muy distintos, hoy por hoy los sistemas de automatización se pueden adaptar fácilmente a cada particularidad con el fin de mejorar los procesos dentro las industrias.

A continuación, en tabla 3.6 se presenta un análisis de las ventajas y desventajas de este tipo de sistemas para las instalaciones industriales, la cual es una medida que se propone a la industria para que la estudie a profundidad.

Luego en la Tabla 3.7 se presenta una valoración económica - a nivel macro -, del costo que significaría para la empresa, la implementación de la automatización de un proceso.

Tabla 3.6. Ventajas de una automatización de procesos industriales.

Ventajas	Nivel de calidad	Permite ejecutar los procesos con un nivel elevado de precisión que, a diferencia de un proceso manual, elimina los tiempos muertos, interrupciones por errores o cambio de área.
	Ahorro de costos	Aumenta la eficiencia energética y de uso de materias primas, así, se reducen los costes asociados a suministros y stock.
	Tiempo de producción	Dada la eficiencia y precisión del proceso automatizado, se reduce significativamente el tiempo de producción.
	Seguridad del personal	Se incrementa la seguridad del personal, especialmente en procesos que incluyen grandes pesos, temperaturas elevadas o entornos peligrosos. En el ranchito se puede implantar en áreas donde se utilicen químicos, o desechos orgánicos.
	Producción más flexible	La automatización permite adaptar el producto a las características y requerimientos específicos de cada empresa. Además, permite realizar tareas que de forma manual no se puede cumplir.
	Mejora del flujo de datos	Se produce una mejor integración en las redes de comunicación de datos, lo que permite reducir el tiempo de reacción ante cambios o alteraciones en la producción, así como tomar decisiones más precisas.
	Ventaja competitiva	Aumenta la competitividad en el mercado, ya que se puede dar una mejor respuesta a las necesidades de este, ofrecer productos de mejor calidad en menor tiempo, reaccionar de forma más rápida y flexible a los cambios.

Desventajas	Personal especializado	El personal necesario para gestionar procesos automatizados es más especializado, por lo que puede ser más difícil de encontrar y más caro de contratar.
	Coste de la inversión	Para algunas empresas, el coste inicial de la inversión puede percibirse como elevado, si no tienen en cuenta el ROI.
	Dependencia tecnológica	En función del proveedor escogido, y dada la elevada especialización de alguna maquinaria, la empresa puede verse ligada por contratos de mantenimiento o necesidades de desarrollo específicas.
	Obsolescencia tecnológica	En cualquier tipo de industria existe el riesgo de obsolescencia, por lo que el proyecto inicial debe tener en cuenta la amortización de la inversión y el ROI, entre otros factores.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.7. Resumen de ahorro, propuesta Implementación de un sistema de automatización y control.

Tipo	Equipo	Costo de inversión [\$]	Tiempo de recuperación [años]	Ahorro económico [\$]	Ahorro anual [%]
Automatización	PLC	3526.23	7.10	496.81	6.31

Fuente: Elaboración propia

Si bien la automatización parece una propuesta interesante a nivel de productividad y competitividad de la industria, desde el ámbito de eficiencia energética, no sería financieramente viable debido a que los ahorros alcanzados son bajos y el tiempo de recuperación puede parecer grande para la empresa, por lo que la decisión de implementación debe tomarse bajo otros criterios, como el análisis de ahorros no solo en el tema energético, sino a nivel de productividad.

3.2 Conclusiones

En este Trabajo de Integración Curricular se realizó un diagnóstico de la situación energética del sistema de fuerza de la industria El Ranchito, información que sirvió como base para analizar y proponer una serie de medidas de eficiencia energética para la industria, lo cual es fundamental para cualquier empresa que desee mejorar sus procesos productivos y reducir el consumo de electricidad.

Para el diagnóstico energético se realizó un recorrido y una inspección visual por todas las 39 áreas de la industria, con el fin de levantar y recopilar toda la información asociada a su operación y el funcionamiento de las instalaciones eléctricas, Además, se realizó un

registro de medidas de variables eléctricas: voltajes, armónicos y consumo de energía, con un analizador de red conectado a los tableros principales.

El Ranchito es una industria que no solamente busca mejorar continuamente sus procesos, sino que además está comprometida con el medioambiente y sociedad, por lo que considera que el ahorro de energía y eficiencia energética por parte de la empresa es un importante aporte a la sostenibilidad del planeta, al que pueden aportar desde su posición de consumidores responsables, por lo que facilitaron el acceso para la obtención de toda la información y datos requeridos para el desarrollo de este trabajo, así como con la identificación de los principales problemas que podrían estar afectando su desempeño en pro de buscar soluciones a los mismos.

Como principales problemas se detectó la falta de información eléctrica de la planta, como diagramas unifilares, planos actualizados de la infraestructura, inventario de equipos, y bitácoras de mantenimiento; información que es fundamental para la planificación de cualquier acción relacionada con la operación y expansión de la planta. Así mismo se identificó sobrecarga en tableros y conductores, problemas de sobrecalentamiento, daños de aislamientos, falta de etiquetado, y protecciones que no estarían cumpliendo su función.

En lo que respecta a equipos y motores, se identificó que varios de los motores que operan las cargas de la industria, han cumplido, o estarían cerca de cumplir su vida útil, lo que estaría afectando su eficiencia. Así mismo, en otros casos se identificó que la eficiencia de tales motores era de tipo IE1, lo que también estaría afectando la eficiencia en conjunto de la industria.

Todos estos aspectos llevaron a determinar que la empresa requiere de un plan de eficiencia energética, que incluya en primera instancia un rediseño de las instalaciones eléctricas, con el fin de actualizar la infraestructura a las nuevas cargas, dimensionando adecuadamente tableros, alimentadores y circuitos derivados. Aspectos que fueron justamente analizados en este Trabajo de Integración Curricular, y que se presentan en el cuerpo y anexos del documento.

En lo concerniente a las medidas de eficiencia energética identificadas, se incluyeron además acciones como: implementación de arranque para motores, sustitución de motores, implementación de un plan de mantenimiento que no solo considere el ámbito correctivo, sino además preventivo para preservar la vida útil de las instalaciones, entre otras. Todas estas medidas conllevan diferentes beneficios en el ahorro energético, consumo eléctrico, optimización de recursos para el funcionamiento del sistema de fuerza, y el mejoramiento en la calidad y seguridad de las instalaciones eléctricas.

Todas las medidas se evaluaron financieramente, con el fin de identificar qué medida es rentable, en que tiempo se puede recuperar la inversión y cuáles serían las ventajas y desventajas de su implementación; ventajas que más allá del tema económico, se orientan además a la mejora del bienestar de sus trabajadores y productividad.

3.3 Recomendaciones

Para las medidas de eficiencia energética que se identificaron en este trabajo, y que requieren de un aporte de capital intensivo, se recomienda que se desarrollen con ayuda de profesionales en la rama, sobre todo en la adquisición e implantación de los instrumentos, ya que una mala práctica ocasionaría que la propuesta no tenga el impacto esperado provocando que la inversión no sea recuperable.

Se recomienda atender la sugerencia de implementar como buena práctica de la empresa, la planificación de mantenimientos predictivos, lo cual ahorraría gastos en mantenimientos correctivos, al prolongar la vida útil del equipo. Para el desarrollo de este tipo de mantenimientos se requiere de equipos de medición de parámetros como; vibración, voltaje, corriente, temperatura, etc., que deberán adquiridos por la empresa.

Se recomienda como estudio complementario al estudio de eficiencia presentado en este trabajo de integración curricular, se evalué el reemplazo de los dos bancos de capacitores para mejorar el factor de potencia, puesto que aún con los bancos se estarían experimentado problemas de bajo factor de potencia.

Otro estudio complementario que podría desarrollarse a futuro sería la implementación de energías alternativas para el autoabastecimiento de energía eléctrica de la industria. La micro generación fotovoltaica se ha convertido en una opción muy sustentable y económicamente rentable debido a señales regulatorias establecidas en la normativa actual.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] H. Gilberto Enríquez, *Guía Práctica para el Cálculo de Instalaciones Eléctricas " Basada en las normas técnicas para instalaciones eléctricas NOM - 001-SE-1994, Incluye NEC 1996.*, 1 ed. México, 1993.
- [2] I. A. N. Standars, *American National Electric Code*, 2014th ed. Estados Unidos, 2017.
- [3] IEC 60038, *Estándar internacional " Voltajes estandar IEC - Las tensiones nominales,*" 7.0 ed. Ginebra.

- [4] P. M. Espinoza Martinez, R. J. Martínez de Jesus, and T. R. L. Daniel, "Análisis técnico en el ahorro de energía eléctrica en motores de inducción de corriente alterna," ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA, 2010.
- [5] G. Salazar, "Asignatura de Calidad De Energía," Quito, 2019.
- [6] ARCONEL-035/19, "Pliego Tarifario Para Las Empresas Eléctricas de Distribución - Servicio Público de Energía Eléctrica. Periodo: Enero-Diciembre 2020," *Resolución Nro. ARCONEL – 035/19*, vol. 19, p. 35, 2019.
- [7] WEQ, "Instalación y Mantenimiento de Motores Eléctricos Trifásicos," p. 132, 2002.
- [8] Energía, "Organización Latinoamericana de energía," *Eficiencia Energética*, vol. 1999, no. December, p. 76, 2020.
- [9] L. D. Nuñez and D. O. Tulcanazo, "Guía de rediseño de las instalaciones eléctricas y estudio de eficiencia energética en iluminación y motores de servicios generales del centro comercial 'EL RECREO,'" Escuela Politécnica Nacional, 2019.
- [10] J. M. Núñez, "EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEL HOSPITAL PROVINCIAL GENERAL DE LATACUNGA," Escuela Politécnica Nacional, 2011.
- [11] I. M. Mahla, "Proyectos de motores eléctricos eficientes," *Die Usach*, p. 104, 2008.
- [12] Dra. Gavela Patricia, "ANÁLISIS FINANCIERO DE LAS INVERSIONES EN EFICIENCIA ENERGÉTICA," Quito, 2019.
- [13] R. A. Brealey and S. C. Myers, "Principios de Finanzas Corporativas Novena edición," *Free Libr.*, pp. 1–1066, 2003, [Online]. Available: https://www.u-cursos.cl/usuario/b8c892c6139f1d5b9af125a5c6dff4a6/mi_blog/r/Principios_de_Finanzas_Corporativas_9Ed__Myers.pdf.
- [14] Agencia de Regulación y control de electricidad, "RESOLUCIÓN Nro. ARCONEL-053/18," *Arconel*, vol. 1, no. 1, pp. 1–40, 2018, [Online]. Available: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/053-18-Proyect-Regulac-Sustitutiva-a-Reg-N-CONELEC-004-01-Calidad-del-servicio-de-dist-y-comercializaci'n-de-EE.pdf>.
- [15] I. P. A. Sanchez, *DIAGRAMAS DE CONTROL INDUSTRIAL*. 1990.

5 ANEXOS

ANEXO I – Matriz de control de eficiencia.

ANEXO II – Levantamiento de cargas.

ANEXO III – Identificación Tableros principales y de sub-distribución.

ANEXO IV – Redistribución de los circuitos.

ANEXO V – Evaluación funcional de los tableros y protecciones.

ANEXO VI – Equipos de medición.

ANEXO VII – Evaluación del estado funcional de los motores representativos.

ANEXO VIII – Distribución de los tableros, motores y cargas especiales.

ANEXO IX – Número de circuitos para los tableros

ANEXO X – Cálculo de calibres de conductores.

ANEXO XI – Diagrama unifilar general

ANEXO XIII – Diagrama unifilar por áreas.

ANEXO XIV – Evaluación financiera.