



Análisis del sistema eléctrico de bajo voltaje de la empresa “Qaray Alimentos” para determinar condiciones de operación asociados al proceso productivo.

Quinapanta Tenelema, Vanessa Estefanía

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electromecánica

Ing. Freire Llerena, Washington Rodrigo

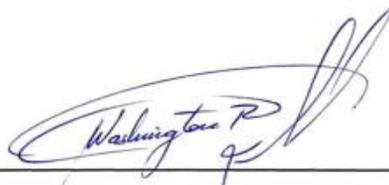
27 de junio de 2023

Latacunga

Reporte de verificación de contenido

Document Information

Analyzed document	TESIS QUINAPANTA.docx (D171132515)
Submitted	2023-06-22 14:58:00
Submitted by	Juan Carlos Altamirano
Submitter email	jc.altamiranoc@uta.edu.ec
Similarity	4%
Analysis address	jc.altamiranoc.uta@analysis.urkund.com



Ing. Freire Llerena, Washington Rodrigo

Director



Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: "Análisis del sistema eléctrico de bajo voltaje de la empresa "Qaray Alimentos" para determinar condiciones de operación asociados al proceso productivo" fue realizado por la señorita **Quinapanta Tenelema, Vanessa Estefanía**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 27 de junio de 2023

Ing. Freire Llerena, Washington Rodrigo

C.C. 1801910884



Departamento de Eléctrica y Electrónica
Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Responsabilidad de autoría

Yo, **Quinapanta Tenelema, Vanessa Estefanía**, con cédula de ciudadanía 1804772232, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Análisis del sistema eléctrico de bajo voltaje de la empresa "Qaray Alimentos" para determinar condiciones de operación asociados al proceso productivo"** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 27 de junio de 2023

Quinapanta Tenelema, Vanessa Estefanía

C.C. 1804772232



Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Autorización de Publicación

Yo, **Quinapanta Tenelema, Vanessa Estefanía**, con cédula de ciudadanía 1804772232, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Análisis del sistema eléctrico de bajo voltaje de la empresa “Qaray Alimentos” para determinar condiciones de operación asociados al proceso productivo”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga, 27 de junio de 2023

Quinapanta Tenelema, Vanessa Estefanía

C.C. 1804772232

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación está dedicado en primer lugar DIOS mi pilar fundamental, a mis padres por brindarme su amor y confianza en mí, así como también a mis hermanas que son mi orgullo, los quiero.

Familia, mil gracias por su apoyo y saben lo agradecida que estoy con ustedes.

Vane Quinapanta.

Agradecimiento

Estoy inmensamente agradecida con mi DIOS, por ser un padre maravilloso y nunca me abandona, que gracias a su infinito amor y bondad he superado muchos obstáculos.

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a quienes forman parte de mi existir, de mi formación personal y académica:

Mi Familia por sus palabras, abrazos y apoyo en los momentos difíciles, son mi hogar y refugio.

Mi estimado director de Trabajo, Ing. Washington Freire, por su confianza, guía y conocimientos durante el desarrollo del proyecto.

Al Ingeniero Vicente Quispe, por su confianza, paciencia y sabiduría para poder llegar a término este proyecto.

Al Ing. Andrés Rivera propietario de la empresa Qaray Alimentos, por permitirme realizar este proyecto en sus instalaciones y abrirme sus puertas con la mejor calidez humana.

A todas las personas que formaron parte de mi camino y en especial a las que están presentes por ser amigos, soporte y amor.

Mi querida Universidad y Carrera, por transformarme en profesional, a sus queridos docentes que impartieron sus conocimientos en el transcurso de este camino.

Vane Quinapanta.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenido	2
Certificación	3
Responsabilidad de auditoría	3
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	8
ÍNDICE DE TABLAS	15
ÍNDICE DE FIGURAS	17
Capítulo I: Problemática.....	21
Planteamiento del problema	21
Antecedentes.....	21
Justificación e importancia.....	23
Objetivos	24
<i>Objetivo general</i>	24
<i>Objetivos específicos</i>	24
Capítulo II: Marco Teórico.....	25
Antecedentes Investigativos	25
Fundamentación Teórico	26

<i>Calidad de la energía eléctrica</i>	26
Perturbaciones de la calidad de energía eléctrica	26
<i>Distorsión de forma de onda</i>	28
<i>Variaciones de corta duración</i>	30
<i>Variaciones de larga duración</i>	31
Analizador de Red	33
<i>Funcionamiento del equipo a la red</i>	33
Equipo analizador de red METREL 2883	33
Termografía	35
Técnicas de Termografía	35
<i>Termografía Cuantitativa Comparativa</i>	35
<i>Termografía Cualitativa Comparativa</i>	36
Consideraciones para la medición térmica	36
<i>Monitoreo de sistemas mecánicos</i>	36
<i>Monitoreo de sistemas eléctricos</i>	37
Criterios de evaluación	38
Cámara termográfica	38
<i>Condiciones Normales de Operación de Cámara Termográfica</i>	39
Tipos de cámaras térmicas	40
<i>Según la tecnología empleada</i>	40
<i>Según su modo de operación</i>	40

	10
Mantenimiento Industrial	41
<i>Mantenimiento Preventivo.....</i>	<i>41</i>
<i>Mantenimiento Predictivo.....</i>	<i>42</i>
<i>Mantenimiento Correctivo.....</i>	<i>42</i>
Fundamento Conceptual	43
Fundamentación Legal.....	44
<i>Normativa para control de Calidad de Energía.....</i>	<i>44</i>
<i>Marco Regulatorio en el Ecuador</i>	<i>45</i>
<i>Regulación ARCERNR 002/20</i>	<i>45</i>
Calidad de producto	46
<i>Nivel de voltaje.....</i>	<i>46</i>
Perturbación rápida de voltaje (Flicker)	47
Desequilibrio de voltaje.....	47
Distorsión armónica de Voltaje	48
Calidad responsabilidad de consumidor	49
<i>Distorsión armónica de corriente.....</i>	<i>49</i>
Norma de termografía.....	51
<i>Según la norma ASTM 1934</i>	<i>51</i>
Hipótesis	52
Sistema de Variables	53
<i>Variable independiente.....</i>	<i>53</i>

	11
<i>Variable Dependiente</i>	53
Capítulo III: Metodología	54
Modalidad de la investigación	54
Tipos de investigación	54
Diseño de la investigación	55
Técnicas de recolección de datos	55
<i>Observación del área de análisis</i>	55
<i>Instrumentos de apoyo</i>	55
Técnicas de análisis de datos	56
<i>Clasificación y procesado de datos</i>	56
Técnicas de comprobación de hipótesis	56
Situación Actual de la Planta	56
<i>Descripción de la planta en estudio</i>	56
<i>Determinación del área de estudio</i>	57
<i>Diagrama Unifilar de la planta</i>	58
Capítulo IV: Análisis de Resultados	63
Procedimiento del trabajo	63
Levantamiento de información eléctrica	63
Análisis de nivel de voltaje	64
<i>Resultados de análisis de nivel de voltaje</i>	65
Análisis de desequilibrio de voltaje	67

	12
<i>Resultados del análisis de desequilibrio de voltaje.....</i>	<i>67</i>
Armónicos.....	69
<i>Análisis de la Distorsión Armónica de Voltaje</i>	<i>69</i>
<i>Análisis de la Distorsión Armónica Total de Corriente</i>	<i>70</i>
Análisis de demanda de Potencia eléctrica.....	73
<i>Análisis de la Potencia Activa</i>	<i>74</i>
Análisis de la Potencia Aparente	75
Análisis de la Potencia Reactiva.....	76
Análisis del Factor de Potencia.....	78
Simulación del sistema actual de la empresa	78
<i>Modelación del sistema</i>	<i>79</i>
Cargabilidad de los conductores	84
Pérdidas de Potencia en los conductores	85
Análisis termográfico	86
<i>Inspección termográfica del tablero principal de distribución.....</i>	<i>86</i>
<i>Inspección termográfica del tablero de distribución 2.....</i>	<i>88</i>
<i>Inspección termográfica tablero de protección del transformador elevador ..</i>	<i>89</i>
<i>Inspección termográfica del tablero de distribución 3 (Control del molino)...</i>	<i>91</i>
Capítulo V: Propuesta	93
<i>Tema de la propuesta.....</i>	<i>93</i>
<i>Datos Informativos</i>	<i>93</i>

	13
Objetivos	93
<i>Objetivo General.....</i>	<i>93</i>
<i>Objetivos Específicos</i>	<i>93</i>
Diseño de la Propuesta	94
<i>Escenario 1.....</i>	<i>94</i>
<i>Escenario 2.....</i>	<i>95</i>
<i>Escenario 3.....</i>	<i>97</i>
<i>Selección del capacitor</i>	<i>100</i>
Selección de la Propuesta	104
Plan de mantenimiento.....	107
Cronograma de Mantenimiento según análisis eléctrico.....	107
Plan de mantenimiento según análisis termográfico	108
<i>Tableros de distribución.....</i>	<i>108</i>
Análisis económico para la implementación del escenario 3	109
<i>Presupuesto para el balance de cargas</i>	<i>109</i>
<i>Presupuesto para el cambio de conductores</i>	<i>110</i>
<i>Presupuesto para el banco de capacitores.....</i>	<i>112</i>
<i>Presupuesto de mantenimiento de tableros eléctricos y de control</i>	<i>113</i>
Análisis de Costos	114
Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones.....	116
Conclusiones.....	116

Recomendaciones	119
Bibliografía	120
Anexos	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Impactos de los problemas de calidad de energía</i>	27
Tabla 2	<i>Rangos de voltaje admisible</i>	46
Tabla 3	<i>Límites máximos de armónicos de voltaje</i>	49
Tabla 4	<i>Niveles máximos de distorsión armónica de corriente</i>	50
Tabla 5	<i>Clasificación de las fallas según la diferencia de temperatura</i>	52
Tabla 6	<i>Transformador principal</i>	59
Tabla 7	<i>Transformador elevador</i>	59
Tabla 8	<i>Datos de los conductores del sistema eléctrico</i>	60
Tabla 9	<i>Datos de Cargas Conectadas</i>	61
Tabla 10	<i>Información de Potencia Instalada del Sistema Actual</i>	63
Tabla 11	<i>Cumplimiento de los índices de nivel de voltaje</i>	67
Tabla 12	<i>Nivel de referencia permitido para desequilibrio de voltaje</i>	67
Tabla 13	<i>Valores de desbalance de voltaje</i>	69
Tabla 14	<i>Distorsión Armónica de voltaje por cada línea</i>	69
Tabla 15	<i>Factor de Distorsión de demanda Total</i>	72
Tabla 16	<i>Ingreso de valor de voltaje nominal correspondiente</i>	80
Tabla 17	<i>Ingresar los datos de los transformadores</i>	81
Tabla 18	<i>Ingresar los datos de las cargas que están distribuidas por barra</i>	82
Tabla 19	<i>Ingresar el calibre de conductores</i>	83
Tabla 20	<i>Nivel de Voltaje en barras – Sistema Actual</i>	83
Tabla 21	<i>Porcentaje de Factor de potencia en barras – Sistema Actual</i>	84
Tabla 22	<i>Cargabilidad de conductores</i>	85
Tabla 23	<i>Reporte Termográfico del Tablero Principal de Distribución</i>	86
Tabla 24	<i>Reporte Termográfico de la Acometida</i>	87

Tabla 25 <i>Reporte termográfico del tablero de distribución 2</i>	89
Tabla 26 <i>Reporte Termográfico del Tablero de Protección del Transformador elevador</i>	90
Tabla 27 <i>Reporte Termográfico del Tablero de Distribución 3</i>	92
Tabla 28 <i>Niveles de voltajes en barras - Sistema Actual y Propuesta</i>	95
Tabla 29 <i>Porcentaje de Nivel de Voltaje. Propuesta – S. Actual</i>	96
Tabla 30 <i>Distribución de las cargas – S. Actual y Propuesta</i>	97
Tabla 31 <i>Niveles de voltajes en barras - Sistema Actual y Propuesta</i>	98
Tabla 32 <i>Valores de Factor de Potencia – Sistema Actual / Propuesta</i>	101
Tabla 33 <i>Cuadro comparativo de las propuestas</i>	104
Tabla 34 <i>Programación de mantenimiento de tableros eléctricos y de control</i>	108
Tabla 35 <i>Presupuesto para el balanceo de cargas</i>	109
Tabla 36 <i>Presupuesto de cable preensamblado 2/0</i>	110
Tabla 37 <i>Presupuesto de cable de cobre THHN 1/0 AWG</i>	111
Tabla 38 <i>Presupuesto para el banco de capacitores de 7.5kVAr</i>	112
Tabla 39 <i>Presupuesto para plan de mantenimiento</i>	113
Tabla 40 <i>Costo de inversión de las propuestas</i>	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Analizador de Red Metrel 2883</i>	34
Figura 2 <i>Indicadores de calidad de energía eléctrica</i>	45
Figura 3 <i>Ubicación geográfica de la planta de Qaray Alimentos</i>	57
Figura 4 <i>Plano arquitectónico</i>	58
Figura 5 <i>Diagrama unifilar de la empresa</i>	62
Figura 6 <i>Curvas de nivel de voltaje máximo de las tres líneas</i>	64
Figura 7 <i>Curvas de nivel de voltaje mínimo de las tres líneas</i>	65
Figura 8 <i>Nivel de voltaje mínimo – Día crítico</i>	66
Figura 9 <i>Porcentaje de desequilibrio de Voltaje</i>	68
Figura 10 <i>Armónicos de voltaje por cada fase</i>	70
Figura 11 <i>Resultado de la lcc por medio del software Etap 19.01</i>	71
Figura 12 <i>Resultado de la corriente de las tres líneas</i>	71
Figura 13 <i>Armónicos de corriente por cada fase</i>	73
Figura 14 <i>Curva de duración de la demanda diaria máxima de potencia activa total</i>	74
Figura 15 <i>Curva de duración de la demanda diaria máxima de potencia activa por fase</i>	75
Figura 16 <i>Curva de duración de la demanda diaria máxima de potencia aparente total</i>	75
Figura 17 <i>Curva de duración de la demanda diaria máxima de potencia aparente por fase</i>	76
Figura 18 <i>Curva de duración de la demanda diaria máxima de potencia reactiva total</i>	77
Figura 19 <i>Curva de duración de la demanda diaria máxima de potencia reactiva por fase</i>	77
Figura 20 <i>Factor de potencia equivalente del sistema eléctrico diario</i>	78
Figura 21 <i>Modelación del diagrama unifilar actual de la planta</i>	79
Figura 22 <i>Datos de la barra Poste 1</i>	80
Figura 23 <i>Datos del transformador elevador STD-440</i>	81

Figura 24 Datos de carga trifásica “Motor Molino”	82
Figura 25 Cambio de Tap al Transformador de Distribución	95
Figura 26 Modelado y simulación del escenario 2	96
Figura 27 Niveles de voltajes en barras - Sistema Actual y Propuesta	99
Figura 28 Triangulo de potencias con compensación capacitiva	100
Figura 29 Nivel de Factor de Potencia entre el sistema actual y la propuesta	102
Figura 30 Conexión del banco de condensadores automáticos de 7.5 kVAr.....	102
Figura 31 Simulación del diagrama unifilar – Propuesta.....	103
Figura 32 Cronograma de tareas	107

Resumen

En el presente trabajo de titulación tiene como objetivo elaborar un diagnóstico de calidad de energía al sistema eléctrico de Bajo Voltaje a la empresa Qaray Alimentos que es una planta con una trayectoria de más de 5 años en el proceso de industrialización de harina para el consumo local, a lo largo de su trayectoria se han efectuado cambios en su estructura debido al aumento de la demanda a través de los años. Metodológicamente, el estudio está orientado a analizar la situación del sistema eléctrico actual de la empresa, con el fin de conocer el proceso productivo y los equipos involucrados considerados como críticos; para así realizar una serie de propuestas de mejora que puedan cumplir con los estándares que se detallan en la normativa ARCERNNR 002/20 y el uso de la termografía infrarroja con el fin de evaluar el estado de los tableros eléctricos y de control según el nivel de deficiencia en el que se categorizan, propuesta por la normativa ATSM 1934. La tesis se concluyó con la presentación de la situación actual de la planta, el estudio de varias propuestas para mejorar el sistema eléctrico del cual se eligió el mejor escenario el cual comprende el balanceo de cargas, reforzamiento en los conductores, diseño de un banco de condensadores y plan de mantenimiento preventivo gracias al diagnóstico técnico de herramientas utilizadas como el analizador de redes y cámara termográfica, además del análisis económico- financiero del proyecto.

Palabras clave: calidad de energía eléctrica, regulación ARCERNNR 002-20, termografía, perturbaciones eléctricas.

Abstract

In the present titling work, the objective is to prepare a diagnosis of energy quality for the Low Voltage electrical system at the company Qaray Alimentos, which is a plant with a history of more than 5 years in the process of industrializing flour for local consumption. Throughout its history, changes have been made to its structure due to the increase in demand over the years. Methodologically, the study is oriented to analyze the situation of the current electrical system of the company, in order to know the production process and the equipment involved considered as critical; In order to carry out a series of improvement proposals that can comply with the standards detailed in the ARCERNNR 002/20 regulation and the use of infrared thermography in order to evaluate the state of the electrical and control panels according to the level of deficiency in which they are categorized proposed by the ATSM 1934 standard. The thesis was concluded with the presentation of the current situation of the plant, the study of several proposals to improve the electrical system from which the best scenario was chosen, which includes load balancing, conductor reinforcement, design of a power bank. capacitors and preventive maintenance plan thanks to the technical analysis of tools used such as the network analyzer and thermographic camera, in addition to the economic-financial analysis of the project.

Key words: Electric power quality, regulation ARCERNNR 002-20, thermography, electrical disturbances.

Capítulo I

Problemática

Planteamiento del problema

A lo largo de los años en la red eléctrica de distribución se han originado perturbaciones que pueden ocurrir por muchas razones, afectando así a la calidad del servicio eléctrico, estas anomalías pueden ser provocadas por las instalaciones de equipos electrónicos que carecen de modificaciones para que funcionen dentro del sistema eléctrico actual y por la construcción de instalaciones eléctricas sin un análisis previo de la carga a nivel de toda la industria que deberá ser alimentada por la red de distribución que llega a la empresa.

La energía eléctrica es esencial para el sector industrial, estas plantas están bajo una constante modernización en sus equipos los cuales permiten optimizar los procesos de producción, pero estos al no tener una correcta distribución eléctrica genera efectos adversos como pérdidas de energía y por consiguiente elevados costos de facturación del servicio eléctrico.

Actualmente, en la empresa Qaray Alimentos, ubicada en el sur de la ciudad de Ambato, se evidenciaron físicamente puntos calientes en los equipos de control electromecánico. Otro problema es que el sistema eléctrico de la empresa al ser trifásico puede provocar desbalance de carga que afectan a la calidad de energía especialmente en sus parámetros como caída de voltaje, desbalance de voltaje, armónicos y flickers, lo que disminuye la productividad y un aumento en los costes de energía.

Antecedentes

Actualmente en el país se ha registrado un importante incremento en el desarrollo industrial superando las previsiones de crecimiento más recientes realizados por el Banco Central del Ecuador (BCE). A nivel de todo el Ecuador las industrias cuyas actividades es el

servicio de alimentación ha tenido un aumento de actividades del 17.4% debido a la reactivación progresiva para el consumo interno (Soria, 2021). Los procesos industriales de una empresa independientemente cual sea su actividad demanda una vasta cantidad de consumo de energía eléctrica; debido a esta razón el MERNNR (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables de la República del Ecuador) ha propuesto crear planes para la iniciativa del buen desempeño de los procesos industriales para disminuir el consumo de electricidad sin reducir la cantidad de producto, es decir aumentando el rendimiento de la fábrica lo que hará que aumente su productividad. (Gancino, 2018)

El aumento de producción en la empresas que se dedican a la elaboración de productos alimenticios ha hecho que exista la necesidad de aumentar nuevos equipos y maquinarias que ayuden a cubrir la demanda de producción, lo que acrecienta el consumo de energía con la que la empresa opera, estos equipos que no estaban contempladas en una planificación inicial se denominan cargas sensibles que son la raíz de la degradación energética, aumentando la preocupación por la supervisión de la calidad eléctrica, de tal forma que gestionar un control energético después de la instalación de estas cargas ayudará a mantener estándares de producción y rentabilidad. (Chica, 2021)

Por tal motivo que la terminología de calidad de energía ha cobrado relevancia en las industrias en el cual entidades expertas en el tema han desarrollado estándares o técnicas de medición que emiten indicadores o índices orientados a la verificación de calidad de energía, estas instituciones son la IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), IEC (Internacional Electrotechnical Comission) y NEMA (The National Electrical Manufacturers Association) y para el caso de Ecuador se rige bajo la regulación No. ARCERNNR – 002/20 de calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica. Esta norma establece los indicadores para establecer la calidad de energía mediante procedimientos de medición y evaluación, según corresponda. (ARCERNNR-002/20, 2020).

Actualmente, para mantener una buena gestión de la calidad de energía, las industrias han optado por la implementación de estudios y análisis para mejorar la eficiencia de la energía eléctrica que consumen los equipos, componentes y maquinarias que operan en la empresa, para evitar eventos que afecten su correcto funcionamiento.

Otra técnica para diagnosticar el rendimiento de los equipos en el sector industrial es la aplicación de la termografía, que ayuda a detectar anomalías que se pueden corregir con planes de mantenimiento en el sistema eléctrico de la planta industrial.

Justificación e importancia

La empresa “Qaray Alimentos” pionera en la ciudad de Ambato; dedicado a la producción, empaque y distribución de harinas, ha tenido un crecimiento paulatino en su producción gracias a la adquisición de equipos nuevos para el proceso de molienda en todas sus etapas, todo esto con el fin de abastecer la creciente demanda de clientes a los que distribuye.

A pesar de que los equipos son nuevos, se han determinado problemas en la calidad de energía eléctrica debido a que la empresa se encuentra bajo el funcionamiento de un sistema eléctrico trifásico donde las perturbaciones dinámicas y las que están en régimen estable podrían acarrear problemas de caídas de voltaje, desbalance de voltaje, armónicos y flickers los mismos que conducen a un incorrecto funcionamiento del sistema de servicio eléctrico que alimenta a la maquinaria el cual ha genera paradas o sobrecalentamiento en los equipos más aun cuando trabajan a plena carga. El siguiente estudio presenta una propuesta técnica según la normativa que cumple la regulación ARCERNNR - 002/20 correspondiente a la calidad de energía como también una propuesta técnica de plan de mantenimiento fundamental para los equipos como tableros por lo cual es necesario el uso de dispositivos calibrados en la investigación de campo.

Objetivos

Objetivo general

Determinar las condiciones de operación asociados al proceso productivo de la empresa “Qaray Alimentos” mediante el análisis del sistema eléctrico de bajo voltaje con la finalidad de proponer mejoras que incluyan criterios de calidad de energía.

Objetivos específicos

- Realizar un levantamiento de carga en la empresa Qaray Alimentos para conocer el consumo energético eléctrico actual.
- Aplicar pruebas a la instalación eléctrica de la empresa incluyendo termografías y calidad de energía para la obtención de datos que permiten elaborar una evaluación del sistema eléctrico y el consumo de energía.
- Modelar el sistema eléctrico de la industria para realizar los respectivos estudios en estado estacionario mediante el uso de herramientas computacionales.
- Calcular los indicadores de acuerdo con la normativa ARCERNNR 002/20 que refiere a la calidad de energía.
- Realizar el análisis del reporte termográfico de los puntos calientes encontrados en la planta.
- Elaborar una propuesta de mejora de funcionamiento del sistema eléctrico por medio de simulación.
- Proponer un plan de mantenimiento que dé solución a las fallas eléctricas encontradas durante el reporte termográfico.
- Analizar la viabilidad técnica y económica de las propuestas a implementarse en la empresa “Qaray Alimentos”.

Capítulo II

Marco Teórico

Antecedentes Investigativos

Luis Riera Tapia en su trabajo de fin de grado “Propuesta Técnica para el mejoramiento del sistema eléctrico de la Planta Procesadora de Productos Lácteos Alpina S.A. del Cantón Montúfar” señala que, un correcto diseño del sistema eléctrico promueve el funcionamiento eficiente de las instalaciones y equipos con el fin de asegurar la calidad de energía, lo cual presentan una propuesta técnica para el mejoramiento del sistema eléctrico de la planta industrial, realizaron un diagnóstico de las instalaciones eléctricas de ALPINA, utilizando analizadores de redes eléctricas para obtener registros en tiempo real de los parámetros. Finalmente se utilizaron históricos de consumo para determinar los costos por penalización de demanda y los valores facturados por consumo energético. (Riera Tapia, 2022).

Según Alex Molina y Luis Mieles en su trabajo de titulación “Análisis de calidad de energía en el sistema eléctrico, de la empresa Provefrut en el cantón Latacunga de ELEPCO S.A, para disminución de pérdidas de energía” se propone mejorar la calidad en el suministro de energía eléctrica de la industria y evitar fallos en los equipos del área de empaquetado, para la toma de datos se empleó el analizador de redes s FLUKE 435 ii, en la parte de bajo voltaje del alimentador, obteniendo mediciones cada 10 minutos en un periodo de siete días como lo establece la norma CONELEC 005/18, finalmente, se procede a plantear la propuesta con la evaluación técnica y económica que demuestra la factibilidad del proyecto. (Molina & Mieles, 2019).

Según Isabel Balcázar en su proyecto de grado “Aplicación de la termografía infrarroja en tableros eléctricos de distribución para mejorar la seguridad y calidad de la energía eléctrica” señala que tiene como objetivo principal de aplicar termografía en la unidad de negocios Chimbote de Hidrandina S.A., específicamente la radial CHN011 Pardo. La investigación es aplicada, en donde se toma en cuenta los fenómenos termográficos para la inspección y

control de las instalaciones de los tableros de distribución de baja tensión, las conexiones y los accesorios que contiene, teniendo en cuenta algunos factores que pudieran alterar o brindar datos equivocados, como el clima principalmente imposibilitando la toma de mediciones termográficas. (Balcázar, 2016).

Fundamentación Teórico

Calidad de la energía eléctrica

La calidad del suministro eléctrico obedece a las condiciones normales de operación de los sistemas eléctricos lo que se puede considerar que la calidad de la energía es la combinación de la disponibilidad del abastecimiento eléctrico, juntamente con la calidad de tensión, la frecuencia, la forma de onda y la corriente suministrada, entendiéndose que la falta de calidad de energía es la desviación de estas magnitudes de su condición ideal, las mismas que son afectadas por diversos fenómenos electromagnéticos que se generan en las redes, dichas perturbaciones son provocadas por descargas atmosféricas, cargas no lineales, operaciones, maniobras, mal funcionamiento de los equipos los mismos que causan problemas en el entorno comercial o residencial, y dentro ámbito económico es de elevada magnitud (IECOR, 2018).

La energía eléctrica es fundamental para el sustento de la industria para lo cual requiere cumplir con varios parámetros de calidad con el propósito de garantizar las necesidades de los consumidores o clientes.

Perturbaciones de la calidad de energía eléctrica

Identificar los problemas de calidad de energía actualmente se torna cada vez más primordial en las industrias esto se debe a las fallas generadas en las operaciones del sistema eléctrico las cuales ocasionan daños en los equipos siendo consecuencia de los altos costos del servicio y el desperdicio innecesario de la energía. Las perturbaciones en la calidad de energía se enmarcan en varias categorías como se muestra en la Tabla 1 del cual los

transitorios tienen mayor impacto y más severo en el aspecto económico de los equipos eléctricos.

La clasificación los problemas de la calidad de la energía varían según la gravedad esto es considerando el daño económico que provocan al equipo.

Tabla 1

Impactos de los problemas de calidad de energía

Problemas de la calidad de energía	Causas	Consecuencias
Fluctuaciones de voltaje	Conmutación de carga	Alto voltaje, bajo voltaje, parpadeo de iluminación.
Voltaje Sag	Fallo en el sistema, arranque de grandes cargas, excesiva carga de la red, variación de voltaje de la fuente, corriente de Inrush, cableado defectuoso.	Problemas de sobrecarga, bloqueo intermitente.
Voltaje Swell	Arranque / parada de cargas pesadas, variación de voltaje en la fuente, corriente de Inrush, cableado defectuoso	Pérdida de datos, daño de equipos, bloqueos intermitentes, datos ilegibles.
Ruido	Interferencia electromagnética, mala conexión a tierra	Perturbaciones en la sensibilidad de los equipos.
Distorsión de forma de onda	Ruido en el sistema	Sobrecalentamiento y saturación de los transformadores.

Problemas de la calidad de energía	Causas	Consecuencias
Variaciones de frecuencia de potencia	Carga pesada	Afecta en primordial a los motores.
Armónicos	Si se aplica un voltaje sinusoidal a través de la carga no lineal	Pérdidas en equipos eléctricos, sobrecalentamiento en transformadores o motores.
Transitorio	Conmutación PE, amortiguador RLC, Circuitos, iluminación.	Perturbación en equipos eléctricos.
Flicker	Fluctuación de voltaje de alimentación	Daño de los equipos en el lado de la carga.
Pico de Voltaje	Arranque/parada de cargas pesadas, fuentes de alimentación mal dimensionadas o transformadores mal regulados	Pérdida de datos, parpadeo de luces y pantallas, paro o daño de equipos sensibles

Nota. Esta tabla muestra una lista de problemas causas y efectos de calidad de energía.

Recuperado de Hossain, Rida, Padmanaban, Ay, & Imtiaj (2018).

El impacto de los problemas de calidad en el servicio de energía eléctrica afecta a varios equipos y sistemas es por tal razón que se desarrolla estándares o categorías por normas vigentes sobre la calidad de energía los cuales son claves en el análisis para así determinar mediciones, resultados y puntualizar los fenómenos electromagnéticos que provocan las fallas en el sistema.

Distorsión de forma de onda

Se considera como un desvío en régimen permanente de la forma de onda de corriente y voltaje en relación de la señal sinusoidal pura.

Armónicos. Un armónico son tensiones o corrientes que están en el sistema eléctrico a múltiplo de la frecuencia fundamental. La distorsión armónica es una malformación de corriente eléctrica que ingresan a los equipos electrónicos que consumen electricidad de manera no lineal como computadoras, variadores de frecuencia, iluminación Led, etc. En un sistema ideal de potencia el voltaje o tensión suministrada a los equipos del consumidor y la corriente de carga dan como resultados ondas de senos perfectas, caso que en la práctica es otra cosa puesto que las condiciones nunca son ideales por lo cual las formas de ondas son con frecuencia distorsionada. Debido al incremento del empleo de convertidores electrónicos y de potencia se ha tomado mayor interés en la generación de corrientes armónicas y las causas que tienen sobre el sistema de potencia, como también los sistemas de distribución de energía residencial, edificios y sistema de distribución de la empresa eléctrica. Los efectos de los armónicos pueden conllevar a costes técnicos y económicos ambos van de la mano provocando mayor consumo eléctrico, pérdidas de distribución, paradas de procesos industriales (Riera Tapia, 2022).

Solución de los armónicos. Para el análisis de los armónicos es preciso emplear simulaciones que permiten la modelización de la realidad de los fenómenos presentes en la red y aplicar las mejoras correspondientes.

Según (De Velasco, 2004) los pasos esenciales para el análisis de los armónicos en la red son los siguientes:

- Identificar y definir el problema: consiste en recoger la información para conocer el problema real existente y el que requiere una solución.
- Medición de armónicos en la instalación: después de conocer el problema se miden los armónicos en las condiciones normales de operación.
- Diagnóstico previo considerando las posibles causas o razones: ejecución de análisis de los posibles motivos que causen anomalías y se examinan las posibles fuentes

perturbadoras junto con su impacto.

- Simulación de modelo del sistema de la planta: ayuda conocer las condiciones de funcionamiento real de la instalación, permitiendo la conexión de cualquier equipo que está dentro de la red.
- Prueba del modelo con las posibles soluciones: facilita poder aplicar las mejores soluciones técnicas y conseguir la solución más conveniente desde el punto de vista técnico – económico.

Ruido. Este fenómeno es una señal indeseable de alta frecuencia que proviene del propio sistema el cual es causado por fallas u operaciones defectuosos de los equipos, instalación inadecuada de componentes en el sistema por parte de los usuarios o empresas distribuidoras.

El ruido eléctrico obstaculiza el funcionamiento del circuito y eventualmente daña el equipo disminuyendo la producción comercial e industrial.

Variaciones de corta duración

Depresión de tensión (SAG). Se considera como una corta caída de voltaje del 10% o más por debajo del valor nominal del suministro de red. Se produce durante un periodo de $\frac{1}{2}$ de ciclo a 1 minuto según se establece en las normas vigentes, estas caídas de voltaje son eventos comunes que generan la mala calidad de energía y puede ocurrir varias veces en el año en un punto de común acoplamiento (PCC) que es típico en los sitios industriales o más aun en los terminales de los equipos.

Comúnmente la depresión de tensión puede ser producto de fallas en el sistema como también generados por la entrada de grandes unidades de carga o el arranque de motores grandes. La duración de este tipo de perturbación se elimina por medio de la operación de los dispositivos de protección (Elspec LTD, 2017).

En las industrias el arranque de los equipos como motores, bombas con mayor consumo de corriente pueden ocasionar saturación de la línea. Otra de las causas reside en la extensa distancia de conexión desde el transformador eléctrico de alimentación que está más cerca hacia la acometida, es decir que cuanto mayor sea la resistencia de la línea mayor será la caída de tensión en el sistema (Riello ups, 2018).

Salto de tensión (SWELL). Los Swells se conceptualizan como un incremento momentáneo del voltaje rms al 10% o más por encima del voltaje nominal de los equipos en un lapso de 0.5 de ciclo a 1 minuto, los saltos de voltaje pueden ser causa por varios factores como cuando se apaga una carga grande.

La dilatación de voltaje puede ocurrir como fallo entre una línea y tierra haciendo que se eleve momentáneamente el nivel de voltaje de las fases del circuito trifásico. Además, los altos voltajes conllevan a un mayor desgaste y deterioro de los equipos como los dispositivos de control, los variadores u otros que producen interrupción de su operación al momento que se accionan sus protecciones. (Riello ups, 2018).

Variaciones de larga duración

Sobretensión. Se define sobrevoltaje a los incrementos de voltaje entre dos puntos de un circuito por encima de su límite máximo de diseño, el tiempo de duración de este tipo de variaciones es mayor a un minuto diferenciándose del voltaje swell debido a que duran mucho más tiempo.

En estas condiciones los dispositivos conectados a la red pueden ser contraproducentes dependiendo de la intensidad y la duración de la sobretensión puede provocar una sucesión de problemas como reducción de su vida útil y el desempleo de la maquinaria y equipos eléctricos.

Desequilibrio de Voltaje. Un sistema eléctrico trifásico se dice que está equilibrado o simétrico en el momento en el que los voltajes y corrientes trifásicos tienen la misma magnitud y cuando existe una desigualdad entre las fases del sistema trifásico se denomina desequilibrio de voltaje es decir que existe un desplazamiento entre las fases diferente a 120 grados o que no tienen la misma magnitud en las tres fases lo que suscita problemas por sobrecalentamiento en alguna de las fases.

Las consecuencias de extensos desequilibrios de voltaje en el sistema y equipos conectados a la red pueden ser amplios y graves, tal como la disminución drástica de los ciclos de vida de los equipos, anticipar el reemplazo de estos e incrementar significativamente los costos de mantenimiento y operación del sistema eléctrico.

Según la IEEE- 1159 al existir un desbalance de 3.5% en el voltaje produciría hasta un 25% de aumento en el calentamiento de los motores de inducción trifásicos los cuales directamente afectan la producción y confiabilidad de los equipos.

Parpadeo (Flickers). Los flickers son variaciones bruscas de tensión de la red eléctrica, se los define como la impresión subjetiva de fluctuación de la iluminancia de acuerdo con la Comisión de Electrotecnia Internacional (CEI-555-1).

Este fenómeno visual se presenta cuando no existe una correcta regulación de voltaje debido a cargas conectadas a una misma fuente común la cual alimenta a otras cargas que demandan mayor potencia de manera constante y variable provocando que el sistema de iluminación genere parpadeos, así como también variaciones de tensión de la red eléctrica (Pila & Zambrano, 2021).

Los efectos de los flickers ante la percepción humana generan inconvenientes para lo cual se han establecido estándares internacionales que regulan los niveles de voltaje que estén dentro de los límites permisibles para mejorar las áreas de trabajo con una óptima intensidad de luz.

Analizador de Red

Los analizadores de red realizan mediciones locales de casi todos los parámetros eléctricos que son esenciales para una correcta calidad de energía, muchos de estos dispositivos permiten la facilidad de visualizar los ángulos de fase, la tensión monofásico-trifásica, los valores rms de corriente y voltaje, los valores de potencia activa – reactiva, la frecuencia de la red y el factor de potencia, todas estas se guardan en la memoria del dispositivo para realizar el análisis de cada variable conforme a las normas vigentes (Hernandez, 2021)

En los últimos años la calidad de energía ha sido clave para el ahorro de energía eléctrica, eliminando los problemas técnicos tales como los componentes armónicos, consumo excesivo de tensión, sobrecargas, etc con el cual se logra ganancias de energía entre un 10 a 15%, disminuyendo los costos del servicio.

En sectores industriales es crucial saber cuáles son los eventos que ocurren en red y evitar paros por lo cual por medio del analizador de calidad de energía se monitorea y administra la red las 24 horas del día los 7 días de la semana.

Funcionamiento del equipo a la red

El analizador de red está diseñado para colocarse en cualquier tipo de instalación, consta de una memoria interna en el cual se archivan los parámetros de medición, para el buen funcionamiento del equipo algunos usan más de un software capaces de exportar o importar los parámetros eléctricos por medio de un display (Oyarzún, 2022).

Dependiendo del modelo el analizador de red puede ser modular o expandible y disponer de funciones extras asociadas a un parámetro eléctrico calculado o medido.

Equipo analizador de red METREL 2883

Es un analizador de calidad de energía trifásico específicamente está diseñado para registrar la energía y realizar el cálculo de la eficiencia, es así como se disminuye el consumo

de energía reduce los costos del servicio y un gran ahorro económico, el equipo Energy Máster es una herramienta útil para registrar a largo plazo y después procesar los datos que se registraron en la grabación.

Las funciones de medición son los siguientes:

- Tensión RMS, pico, factor de cresta
- Corriente RMS, pico, factor de cresta
- Potencia activa, reactiva, aparente
- Mediciones de potencia de cumplen fielmente con IEEE 1459
- Desequilibrio, medición de parpadeos
- Análisis de armónicos e Inter armónicos hasta el armónico 50, medición de la THD
- Energía activa, reactiva, generada, consumida
- Captura y registro de eventos en el suministro eléctrico

Figura 1

Analizador de Red Metrel 2883



Nota. La figura indica el analizador de red empelado para la toma de datos. Tomada de (Metrel, 2019).

Termografía

La inspección por termografía es un método de prueba que permite detectar anomalías en conexiones, aislamiento deteriorado, calentamiento excesivo emitidas por los objetos sin entrar en contacto con ellos, siendo una herramienta primordial para detectar o prever puntos calientes.

La termografía es el proceso de emplear la cámara infrarroja para buscar áreas excesivamente calientes o frías en un componente que funciona a condiciones normales, mediante la captura de radiación infrarroja en el espectro electromagnético. (Caluña & López, 2019)

La termografía se suele usar más comúnmente en el mantenimiento predictivo, el mismo que se basa en la comprensión del estado y ejecución de los equipos gracias a la toma de mediciones de diversas variables.

Técnicas de Termografía

Termografía Cuantitativa Comparativa

Es un método efectivo para evaluar el estado de una máquina o componente por medio de la comparación de valores de temperatura aproximados entre elementos idénticos o valores de referencia. Es un método que entrega información muy útil en el momento de determinar la severidad de la condición del componente que se analiza.

El correcto empleo de esta técnica será importante, ya que se realizan con una cámara termográfica y otra herramienta de medición de temperatura para lograr datos específicos y exactos. Este tipo de técnica necesita más datos sobre las condiciones ambientales, como la emisividad y la reflectividad. (Risoul, 2018)

La emisividad de un objeto puede describirse simplemente como la cantidad de energía que dicho objeto emite o irradia a una cierta temperatura. Los valores de emisividad van desde

0 hasta 1, en cuanto a la práctica los objetos emiten valores de 0.01 a 0.99 en escala de emisividad.

En cuanto la reflexión se conoce como la radiación que se refleja en un objeto antes que se sea absorbido por ese objeto como energía térmica, es decir es la capacidad de un material de reflejar la radiación infrarroja, todo depende de las propiedades de la superficie, temperatura y tipo de material.

Termografía Cualitativa Comparativa

Las inspecciones cualitativas usan únicamente la cámara termográfica y su importancia radica en tener una buena imagen limpia y nítida que no requieren datos específicos o exactos esto quiere decir que este tipo de técnica es la más simple no requiere ningún ajuste en el instrumento infrarrojo para compensar las condiciones atmosféricas, ambientales o emisividades de la superficie (Caluña & López, 2019).

La medición cualitativa compara el patrón infrarrojo de un objeto con otro similar o idéntico que opera en condiciones de funcionamiento iguales o parecidos, si existen patrones térmicos diferentes se identifica una anomalía debido a la variación de intensidad entre varios componentes similares.

Consideraciones para la medición térmica

El monitoreo a intervalos o períodos continuos de la condición o estado de una maquinaria es objetivo clave para el mantenimiento preventivo y predictivo, facilitando una temprana detección de fallas con altos valores económicos e identificando las prioridades del mantenimiento.

Monitoreo de sistemas mecánicos

Los sistemas mecánicos generan energía térmica durante su período de operación normal, y existe un problema térmico en el instante en que el equipo alcanza temperaturas excesivas que pueden ser producto de pérdidas del material, desgaste, fricción, bloqueos,

vibraciones, fallas en la refrigeración, poniendo en riesgo la integridad y la vida útil del componente.

En la totalidad de los equipos o procesos están diseñados para eliminar energía térmica cuando operan en condiciones normales, lo que al identificar un patrón térmico no indica que se descubrió el problema, una vez que se obtiene y analiza un patrón térmico y existe una anomalía en este patrón puede apuntar a un problema en el sistema o proceso (Equipo de EVTECH, 2019).

En las aplicaciones mecánicas el uso de la termografía es más eficiente para llegar al área donde se genera el problema y así poder indicar la causa del sobrecalentamiento, la mayoría de las veces este fenómeno es provocado por un componente que ante la cámara térmica no es visible directamente, frecuentemente este calor es transferido por los materiales hacia el exterior en la superficie suscitando un patrón térmico y es cuando la cámara térmica puede censarlo.

Monitoreo de sistemas eléctricos

Instalaciones de alta tensión. En este tipo de instalaciones se genera calor cuando la corriente eléctrica pasa por medio de un elemento resistivo el cual al incrementarse esta resistencia la temperatura se excede del límite establecido provocando cortes de tensión inesperados, oxidación de interruptores, defectos de aislamiento, incendios por cortocircuitos, etc. Estos y demás defectos se podrían detectar en una fase inicial al momento del uso de la cámara termográfica ayuda a llegar al problema con exactitud, determinar la gravedad del daño y calcular el tiempo de reparación del componente.

Instalaciones de baja tensión. Por medio de las cámaras termográficas se puede inspeccionar componentes y sistemas eléctricos de varios tamaños y no se limita solamente a las aplicaciones de alta tensión, por lo cual también es posible examinar las instalaciones de baja tensión.

Con ellas es permitido observar regularmente cuadros eléctricos y centros de control de motores que ayuda a la detección de anomalías o averías tales como conexiones de alta resistencia, conexiones corroídas, daños en el interior de fusibles, disyuntores, entre otros.

Criterios de evaluación

Las temperaturas de referencia y los criterios de evaluación toman en consideración las temperaturas históricas desde un punto específico o grupos de componentes en el momento que operan en su condición ideal.

Diferencia de temperatura. Se fundamenta en las temperaturas que indican los fabricantes sobre los elementos, componentes o maquinarias, pero cabe mencionar que este tipo de criterio no es universal para toda clase de maquinaria, debido a varias particularidades como las variaciones locales en la aplicación, el proceso, el ciclo de trabajo inclusive el medio ambiente.

Criterios por el material. Se originan cuando la integridad del propio material está en graves situaciones lo que apunta a realizar una supervisión, simultáneamente los criterios por el diseño de material guardan relación con el anterior porque estos ocurren cuando la integridad del diseño es la principal preocupación y es la razón para inspeccionar (Morales, 2018).

Cámara termográfica

El equipo que mide la emisión natural de radiación infrarroja de un cuerpo registra dicha intensidad de radiación y lo convierte en una imagen térmica electrónica se lo denomina cámara termográfica.

Son herramientas no invasivas que permiten realizar diagnósticos e inspecciones del estado de los equipos e instalaciones eléctricas o mecánicas, permitiendo identificar y documentar a una fase temprana algún problema térmico grave, por tal razón estos equipos son sumamente usados en mantenimiento.

Condiciones Normales de Operación de Cámara Termográfica

Un espacio con temperatura normal es el cual proporciona una temperatura adecuada para que el desempeño del equipo sea eficaz, el ambiente puede favorecer al desarrollo de los equipos y alargar la vida de estos (Silva, Salazar, Ponce, & Herrera, 2017).

Se detallan los pasos para realizar a una correcta imagen térmica:

- Primeramente, para encender la cámara es primordial verificar que este en un correcto estado y cerciorarse que sus componentes estén aislados, esto es la batería, el lente óptico y la tarjeta de memoria.
- Para el control de la imagen, es vital calibrar los tres parámetros esenciales como es la emisividad, rango de temperatura a medir que no exceda el valor mínimo o máximo respectivo y la humedad a la que se trabaja.
- Al momento de medir la temperatura con la cámara termográfica se debe considerar que el rango de la temperatura sea la correcta, una adecuada posición de la cámara para lograr un mejor enfoque óptico del equipo a analizar sin dejar de un lado áreas importantes, cuando ya esté estabilizado la cámara tener presionado el gatillo de esta hasta ver que la imagen fue capturada en la pantalla de la cámara.
- Finalmente, esta imagen se guarda en la microSD del equipo para después enlazar al ordenador mediante el cable USB o micro USB y el software.

Tipos de cámaras térmicas

Según la tecnología empleada

Refrigeradas. Este tipo de equipos tienen un sensor generador de imágenes de radiación térmica que está en una unidad sellada al vacío, está incluido a un refrigerador que se ejecuta a temperaturas bajas, también conocido como enfriamiento criogénico. Tiene elementos como el antimonio de indio el cual es usado en el sensor, haciendo que este tipo de cámaras tengan un alto costo de fabricación, consumo de energía y demanda mayor mantenimiento, pero su ventaja permite tener niveles altos de sensibilidad (Kapter, 2021).

No refrigerada. Estos equipos están hechos con óxidos de vanadio, tienen un sensor micro bolómetro el cual no requiere enfriamiento y su costo es menor. Su empleo es detectar variaciones de calor a distancias cortas, específicamente son usadas en sector industrial para el análisis de partes mecánicas, circuitos eléctricos, y medición de temperatura para los seres humanos (Kapter, 2021).

Según su modo de operación

Pasiva. Para este caso la radiación que es censada por la cámara es emitida por el cuerpo bajo inspección sin requerir de un estímulo externo. La radiación generalmente es resultado de un proceso de transferencia de calor como la conducción, convección o radiación. Como, por ejemplo; el rozamiento mecánico, movimiento mecánico continuo, corriente eléctrica, cualquier proceso eléctrico o mecánico del equipo en análisis (Mancuzo, 2022).

Activas. Se estimulan la superficie del cuerpo con ayuda de alguna fuente de calor como lámparas halógenas, rayos UV, corriente eléctrica o algún otro estímulo externo que eleva la temperatura del material que puede estar integrada o no a la cámara, generando mayor nivel de sensibilidad para la toma de la imagen.

Mantenimiento Industrial

El mantenimiento en las industrias representa una elevada dimensión de los costos operativos, este incluye revisiones a detalle de todas las instalaciones, equipos, maquinarias o cualquier componente de un proceso industrial con el propósito de detectar fallas y repararlas a tiempo.

La rentabilidad y productividad de las empresas depende en gran porcentaje del mantenimiento que se han implementado en las mismas, por lo cual es preciso adoptar una estrategia bien elaborada y optimizada para cerciorar que los equipos funcionen de la forma más segura posible.

Para comprender el mantenimiento industrial es necesario dividirlo en tres tipos los mismos que dependen de la etapa en los que se debe realizar y que actividades incluyen en cada tipo de mantenimiento (LINE-X, 2020).

Mantenimiento Preventivo

Este tipo consta de la búsqueda y reparación de problemas menores en equipos, instalaciones, herramientas que son usadas dentro de la empresa disminuyendo su ocurrencia para prevenir accidentes, fallos o averías en un futuro.

Para poner en marcha este mantenimiento se debe contar con el historial de las piezas y elaborar un seguimiento de las averías anteriores para así lograr identificar los rangos de tiempos dentro de los cuales el equipo podría sufrir una falla (TWI, 2021).

Ventajas del mantenimiento preventivo

- Incrementa el ciclo de vida del producto al disminuir el desgaste
- Mantiene los costos de energía en tarifas lo más bajas posibles
- Prevención de reparaciones mayores
- Disminuye la frecuencia de paradas
- Reduce riesgos para los sistemas de seguridad.

Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento industrial predictivo se basa en datos por medio de la investigación y observación los cuales buscan posibles anomalías en los equipos. Los datos son un medio para conocer cuándo podrá ocurrir una falla en la maquinaria, realizar este tipo de mantenimiento constantemente teniendo una visión a largo plazo para aumentar la efectividad de las operaciones y rentabilidad de la empresa (Caluña & López, 2019).

Este tipo de mantenimiento usa la técnica de la termografía por medio del empleo de la cámara térmica la misma que se lo considera como una herramienta no invasiva para la supervisión y análisis del estado de las piezas, instalaciones a una fase temprana y que los costos de reparación no sean costosos.

Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo se aplica después que se informa el problema en la línea de producción, haciendo énfasis en la reparación del elemento que provocó el paro inesperado del equipo, para el cual se puede aplicar el mantenimiento de corrección inmediato o diferido esta última indica retiro del equipo para ser llevado a reparar. (Yépez, 2016).

Este tipo de medidas correctivas trae consigo consecuencias como:

- Paradas imprevistas de un equipo específico, reduciendo las horas de producción.
- Afecta la continuidad del proceso
- Representa costes de reparación y repuestos no planificados

- La proyección del tiempo que tomará al sistema estar fuera de operación es impredecible.

Fundamento Conceptual

Calidad de producto. Según ARCERNR-002/20 (2020) se considera como atributo de la calidad de servicio eléctrico relacionado con la forma de las señales de voltaje que son entregadas por la empresa distribuidora y también hace énfasis al nivel de voltaje, perturbaciones rápidas de voltaje y armónicos.

Punto de frontera. Según ARCERNR-002/20 (2020) es la frontera de conexión entre las instalaciones de propiedad de la empresa distribuidora con las instalaciones de la propiedad de un consumidor.

Distorsión armónica Total. Es una medida que representa cuanto se distorsiona la onda de corriente o voltaje de su forma de onda sinusoidal convencional, esta distorsión ocurre en múltiplos de la frecuencia fundamental (50 o 60 Hz).

Factor de potencia. Según Risoul (2021) se considera como una unidad de medida de la eficiencia eléctrica y de tal manera determinar el rendimiento de un equipo eléctrico, esta se calcula por medio de la relación existente entre la potencia aparente y la potencia activa.

Método no destructivo. Es una técnica de ensayo sin contacto que se obtiene por medio de la temperatura de una superficie de un cuerpo a través de la captación de radiación infrarroja que ésta emite, se emplea la cámara termográfica.

Cargas lineales. Se consideran aquellas cargas convencionales o idealizadas es decir que los parámetros de voltaje y corriente se comportan de manera lineal para Corriente continua, mientras que en Corriente alterna se considera que el voltaje y corriente están desfazadas con su ángulo respectivo.

Cargas no lineales. Según la NEC (1996) define una carga no lineal donde la forma de onda de corriente de estado estable no sigue a la forma de onda del voltaje que se aplica.

Fundamentación Legal

Normativa para control de Calidad de Energía

Se detallan las características más importantes de las normativas que son empleadas para la medición de la calidad de energía.

La Norma UNE-EN 61000-4-30 (2015) “Define la calidad de energía eléctrica como una característica física del suministro de electricidad, la cual debe llegar al consumidor o cliente en condiciones normales, sin producir perturbaciones ni interrupciones en los procesos del mismo”. Además, define los métodos y la interpretación de los resultados de los parámetros de calidad de energía de las redes eléctricas comuna frecuencia fundamental de 50 Hz o 60Hz, los parámetros que considera esta norma son la frecuencia, la amplitud de la tensión de alimentación, Flicker, los huecos de tensión y sobretensiones, las interrupciones de tensión, las tensiones transitorias, desequilibrio de tensión y mediciones de corriente.

La norma IEEE Std 519 (IEEE Std 519, 2014) reglamenta la calidad de le energía eléctrica en la etapa de generación y distribución con el único propósito de recomendar límites para la distorsión armónica según dos criterios que son: límites para el nivel de voltaje armónico regida a la compañía de distribución de electricidad y limitación sobre la cantidad de corriente armónica que un consumidor puede inyectar a la red de distribución. Esta normativa indica un consenso general de pautas y practicas recomendadas para las empresas distribuidoras y los clientes con el fin de minimizar y controlar el impacto de los armónicos ocasionados por las cargas no lineales.

Marco Regulatorio en el Ecuador

En caso del Ecuador, el código de red dispuesto por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR – 002/20) establece índices de calidad de energía del Sistema Eléctrico Nacional.

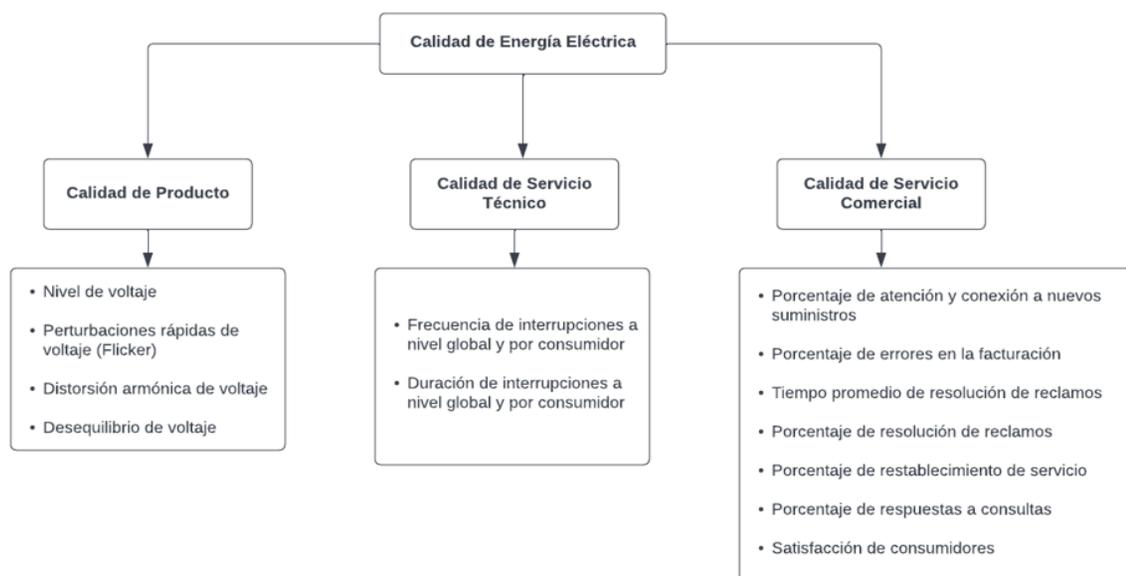
Para llevar a cabo el cumplimiento de estas disposiciones, los puertos de carga deben acatar con los requerimientos de factor de potencia, frecuencia, tensión, corriente, calidad de energía, lo cual es preciso el empleo del analizador.

Regulación ARCERNNR 002/20

Según la Regulación ARCERNNR (2020), que gestiona la calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica menciona tres ámbitos en los que se evalúa la calidad de prestación del servicio.

Figura 2

Indicadores de calidad de energía eléctrica



Nota. Indicadores de la calidad de energía eléctrica según ARCERNNR 002/20.

Calidad de producto

Nivel de voltaje

Se define al cambio de tensión existente en un punto de medición, el cual se compara el voltaje eficaz medido o RMS con relación al valor nominal.

Este índice de nivel de voltaje se encuentra con la Ecuación 1.

$$\Delta V_k = \frac{V_k - V_N}{V_N} \times 100 \text{ [%]} \quad (1)$$

Donde:

ΔV_k es variación del voltaje de suministro respecto al voltaje nominal en el punto k

V_k es voltaje eficaz, medido en un intervalo k de 10 minutos

V_N es voltaje nominal en el punto k de medición

Límites. Los rangos de voltajes aceptados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Rangos de voltaje admisible

Nivel de Voltaje	Rango admisible
Bajo Voltaje	$\pm 8.0\%$
Medio Voltaje	$\pm 6.0\%$
Alto Voltaje (Grupo 1 y Grupo 2)	$\pm 5.0\%$

Nota. Se muestra las variaciones de voltaje admitidos con relación al valor de voltaje nominal.

Tomada de ARCERNNR (2020).

Se considera que la empresa distribuidora cumple con el índice de nivel de voltaje al momento que los valores registrados en un punto de medición se encuentren dentro del rango admitido en un 95% o más, durante el periodo a prueba (7 días consecutivos) ARCERNNR (2020).

Perturbación rápida de voltaje (Flicker)

Las perturbaciones rápidas de voltaje se estiman por medio del índice de severidad por flicker de corta duración (P_{st}), acorde a la norma IEC 61000-4-15, se calcula la severidad de corto plazo a intervalos de 10 minutos y se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}} \quad (2)$$

Donde

P_{st} es el índice de severidad

P son los niveles de efecto flicker que sobrepasan durante 0.1%, 1%, 3%, 10%, 50% del tiempo total del intervalo de medida.

Límites. El índice de severidad del flicker P_{st} no debe ser superior a la unidad, y se lo considera como el límite de irritabilidad en relación con la fluctuación máxima de brillo que el ojo del ser humano puede tolerar sin molestias en una muestra detallada de población.

Se considera que la empresa distribuidora de energía si cumple con el índice de severidad por flicker de corta duración al momento que los valores registrados en un punto de medición sean menores a los límites indicados en un 95% o más, durante el periodo a prueba (7 días consecutivos) ARCERNR (2020).

Desequilibrio de voltaje

Si existiese desequilibrio de voltaje en un punto del sistema de distribución se determina con la siguiente expresión.

$$\text{Desequilibrio de Voltaje} = \left| \frac{V^-}{V^+} \right| \times 100[\%] \quad (6)$$

Donde

V^- Componente de secuencia negativa de voltaje, determinado como el promedio de las medidas registradas.

V^+ Componente de secuencia positiva de voltaje, determinado como el promedio de las medidas registradas.

Límite. El valor límite para el índice de desequilibrio de voltaje en un punto dado deberá ser del 2% para todos los niveles de voltaje.

Se considera que la empresa distribuidora de energía si cumple con el índice de desequilibrio de voltaje al momento que los valores registrados en un punto dado sean menores a los límites máximos indicados en un 95% o más, durante el periodo a prueba (7 días consecutivos).

Distorsión armónica de Voltaje

Se estimará la distorsión armónica individual de voltaje y la distorsión armónica total del voltaje, de acuerdo con las siguientes expresiones.

$$V_{h,k} = \sqrt{\left(\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (V_{h,i})^2\right)} \quad (3)$$

$$DV_{h,k} = \frac{V_{h,k}}{V_{h,1}} \times 100 \text{ [%]} \quad (4)$$

$$THD_k = \left[\frac{1}{(V_{h,1})} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (V_{h,k})^2} \right] \times 100 \quad (5)$$

Donde

$V_{h,k}$ es la armónica de Voltaje h en el intervalo k de 10 minutos

$V_{h,i}$ es el valor de voltaje eficaz o rms del voltaje armónico h, en voltios

$DV_{h,k}$ es el factor de distorsión armónica individual de voltaje, en el intervalo de 10 min.

THD_k es el factor de distorsión armónica de voltaje total

$V_{h,1}$ es el valor eficaz o rms del punto de medición, en voltios

Límites. Los límites máximos del factor de distorsión armónica individual de voltaje y del factor de distorsión armónica total de voltaje son:

Tabla 3*Límites máximos de armónicos de voltaje*

Nivel de Voltaje	Factor de distorsión armónica individual [%]	THD [%]
<i>Bajo Voltaje</i>	5.0	8.0
<i>Medio Voltaje</i>	3.0	5.0
<i>Alto Voltaje (Grupo 1)</i>	1.5	2.5
<i>Alto Voltaje (Grupo 2)</i>	1.0	15

Nota. Se tomará para el caso de estudio los valores de la red de Bajo Voltaje. Tomada de ARCERNR (2020).

Se diría que la empresa distribuidora cumple con el factor de distorsión armónica individual y total de voltaje al momento que los valores registrados en un punto de medición sean menores a los límites máximos indicados en un 95% o más, durante el periodo a prueba (7 días consecutivos) ARCERNR (2020).

Calidad responsabilidad de consumidor

Distorsión armónica de corriente

Se estima la distorsión armónica de corriente individual y la distorsión de demanda total, según las siguientes expresiones.

$$I_{h,k} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (I_{h,i})^2} \quad (7)$$

$$DI_{h,k} = \frac{I_{h,k}}{I_{h,1}} \times 100 \text{ [%]} \quad (8)$$

$$TDD_k = \left[\frac{1}{I_{h,1}} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (I_{h,k})^2} \right] \times 100 \text{ [%]} \quad (9)$$

Donde

$I_{h,k}$ armónica de corriente h , en intervalos k de 10 minutos.

$I_{h,i}$ es el valor eficaz o rms de armónica de corriente (para $h = 2,3... 50$).

$DI_{h,k}$ es factor de distorsión armónica individual de corriente, intervalos k de 10 minutos.

TDD_k es el factor de distorsión de demanda total.

$I_{h,1}$ es el valor eficaz de la componente fundamental de corriente a 60Hz.

En la siguiente tabla se presentan los límites de distorsión armónica de corriente individual y la distorsión de demanda total.

Tabla 4

Niveles máximos de distorsión armónica de corriente

Nivel máximo de armónicos impares						
[% de la corriente máxima de demanda]						
I_{cc}/I_L	$3 \leq h$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	TDD
	< 11					
< 20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20 < 50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50 < 100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100 < 1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
> 1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

Nota. Se debe tomar en consideración que son valores únicamente para armónicos impares.

Tomada de ARCERNR (2020).

Además, los límites para armónicos pares corresponden el 25% de los límites de armónicos impares indicados en la Tabla 4.

Donde:

I_{cc} es la corriente máxima de cortocircuito en el PCC (Punto de común acoplamiento).

I_L es la corriente máxima de carga a frecuencia fundamental a 60 Hz.

Norma de termografía

Según la norma ASTM 1934

La norma ASTM se encarga de desarrollar normas que se emplean para investigaciones, sistemas de calidad, comprobación y aceptación de productos. La norma ASTM E1934 es una guía para examinar equipos eléctricos y mecánicos por medio de la termografía infrarroja, esta norma proporciona directrices detalladas para el desarrollo de una metodología al momento de realizar una inspección termográfica, para lo cual se añaden algunos apartados como: (ASTM INTERNATIONAL, 2010).

- Las responsabilidades comunes del consumidor final y del termógrafo infrarrojo al emplear la termografía infrarroja.
- Una guía del contenido específico requerido para documentar las inspecciones termográficas infrarrojas cualitativas y cuantitativas del equipo eléctrico y mecánico.
- Recopilación en una lista de todos los sistemas y equipos que serán inspeccionados.
- Un sistema de informe recomendado para facilitar la cobertura de anomalías y dar seguimiento a la condición del equipo con el tiempo para comparar las condiciones actuales con las pasadas.
- Un termógrafo calificado deber realizar inspecciones de equipo eléctrico energizado y debe ser asistido por un electricista con licencia, ingeniero, profesional u otra persona que conoce el equipo y esté calificado para trabajar con el equipo energizado.
- Las inspecciones termográficas se deben realizar con cámaras termográficas infrarrojas

- La carga eléctrica y las condiciones ambientales debes ser consideradas.
- Las carcasas de los armarios deben ser abiertos para una vista directa de los componentes eléctricos siempre que sea posible.

Tabla 5

Clasificación de las fallas según la diferencia de temperatura

Nivel	Diferencia de temperaturas en base a las comparaciones entre los componentes y el aire ambiente	Diferencia de temperaturas en base a las comparaciones entre similares componentes bajo cargas similares	Clasificación	Acción
1	1 – 10°C O/A	1 a 3°C O/S	Posible deficiencia	La posible deficiencia; investigación de órdenes.
2	11 – 20°C O/A	4 a 15°C O/S	Probables deficiencias	Indica probables deficiencias; la reparación en la próxima parada.
3	21 – 40°C O/A	-----	Deficiencia	Reparación tan pronto como sea posible
4	> 40°C O/A	> 15°C O/S	Deficiencia mayor	Discrepancia importante; Reparar inmediatamente.

Nota. Tomada de (ASTM, 2010).

Hipótesis

¿Mediante el análisis del sistema eléctrico de bajo voltaje, se puede determinar las condiciones de operación asociadas al proceso productivo de la empresa “Qaray Alimentos” para proponer mejoras que incluyan criterios de calidad de energía?.

Sistema de Variables***Variable independiente***

Análisis del sistema eléctrico de bajo voltaje.

Variable Dependiente

Condiciones de operación en la empresa “Qaray Alimentos” para proponer mejoras que incluyan criterios de calidad de energía.

Capítulo III

Metodología

Modalidad de la investigación

Para el desarrollo de este tema de titulación se evaluó y analizó la calidad de energía eléctrica existente en la empresa por medio de un levantamiento de cargas de los equipos eléctricos y maquinarias, de tal manera que permite elaborar un diagrama unifilar del sistema eléctrico actual. Se destaca que la investigación para el presente proyecto se basa en una investigación aplicada a la calidad de la energía eléctrica, con el propósito de elaborar una propuesta que asegure una mejor eficiencia energética y permita cumplir índices establecidos por la regulación ecuatoriana ARCERNNR 002/20 y la norma ASTM 1934 para los niveles termográficos.

Tipos de investigación

La presente investigación adopta los siguientes tipos:

En la primera etapa inicia con una amplia investigación bibliográfica, el cual se centra en la búsqueda de la mayor cantidad de fundamentación teórica, análisis, efectos y criterios sobre la calidad de energía eléctrica y termografía para comprender la relación existente entre el diagnóstico y el problema.

En la segunda etapa se emplea la investigación descriptiva que permite el análisis de cada uno de los datos que serán evaluados tales como los índices de calidad de energía y los criterios de inspección térmica en los tableros de control y distribución eléctrica de la planta, que permitirá que los mismos trabajen adecuadamente sin causar pérdidas eléctricas.

La tercera etapa emplea la investigación de campo que se desarrolló en la planta Qaray Alimentos, lugar donde se realiza un barrido de la existencia de cada una de las cargas con sus respectivos datos técnicos y levantamiento del diagrama unifilar de la empresa.

La cuarta etapa que se emplea es la investigación exploratoria que consiste en establecer una propuesta en base a los problemas identificados en el sistema eléctricos actual de la empresa, donde se obtiene datos o variables cuantitativos y cualitativos gracias a los equipos empleados y así obtener un diagnóstico eléctrico fiable con valores reales.

Diseño de la investigación

El presente proyecto se enfoca en realizar un diagnóstico de la calidad de la energía eléctrica, por medio del uso de equipos como el analizador de redes se obtienen los datos eléctricos los mismos son comparados con la normativa ARCERNR 002-20 y, mediante el uso de histogramas, graficas o tablas en Excel se comparan si cumplen la normativa, además se emplea la cámara termográfica y se evalúa con los niveles de deficiencia según la norma ASTM 1934, de esta forma establecer posibles soluciones que ayuden a mejorar el consumo eléctrico dentro de la planta.

Técnicas de recolección de datos

Según (Aguar, 2016) Las técnicas de recolección de datos son la manera en cómo se obtienen los datos y en cuanto a los instrumentos se definen como los medios materiales, ambos hacen posible que se adquiera la información requerida para la investigación.

Observación del área de análisis

Esta técnica permite un registro visual de lo que ocurre dentro de la planta, con el propósito de conocer del funcionamiento y los tiempos empleados para los procesos que se ejecutan en la empresa, de tal forma permite identificar cuáles son los posibles problemas que acarrearán a la calidad de energía eléctrica.

Instrumentos de apoyo

Se emplearon varios instrumentos para la recolección de datos y validar la información técnica tal como el voltaje, potencia, corriente, factor de potencia, entre otros, para lo cual por medio de afiches se realizó el inventario de los equipos existentes en cada una de las áreas

dentro de la planta, información de conductores, transformadores, tableros de distribución y hacer el estudio de carga y levantamiento del diagrama unifilar de la red eléctrica por medio del software ETAP.

Técnicas de análisis de datos

Clasificación y procesado de datos

Para el avance del proyecto se emplea los datos técnicos de las placas de los equipos y la distribución eléctrica de la empresa “Qaray Alimentos” para el desarrollo del diagrama unifilar de la situación actual de la empresa, posteriormente para el análisis se procesan los datos adquiridos por los instrumentos de medición como es el analizador METREL MI2883, el mismo que se instaló en la planta por un periodo de siete días, en intervalos de diez minutos según recomienda la regulación ARCERNR 002-20, así también se realiza la toma de imágenes térmicas con la cámara termográfica de tal forma que permiten elaborar un diagnóstico de la situación, formular una propuesta y las conclusiones.

Técnicas de comprobación de hipótesis

En términos generales la validación se elabora por medio de una propuesta técnico - económica para la reconfiguración del sistema eléctrico de la planta empleando cambios en los conductores, balanceo de cargas y la colocación de banco de capacitores, los mismos que permitirán a la empresa un ahorro eficiente en su producción.

Situación Actual de la Planta

El presente apartado se da a conocer un breve resumen de la condición actual de la empresa para de esta manera tener conocimiento de cómo se encuentra distribuido cada una de las cargas (equipos y maquinas) y así proceder al inicio del diagnóstico correspondiente.

Descripción de la planta en estudio

La empresa Qaray Alimentos se dedica a la dedicado a la producción, empaque y distribución de harinas, ha tenido un crecimiento paulatino en su producción gracias a la

adquisición de equipos nuevos para el proceso de molienda en todas sus etapas, se encuentra ubicada en la ciudad de Ambato entre las calles Bosmediano y Gregorio Escobedo.

Figura 3

Ubicación geográfica de la planta de Qaray Alimentos.

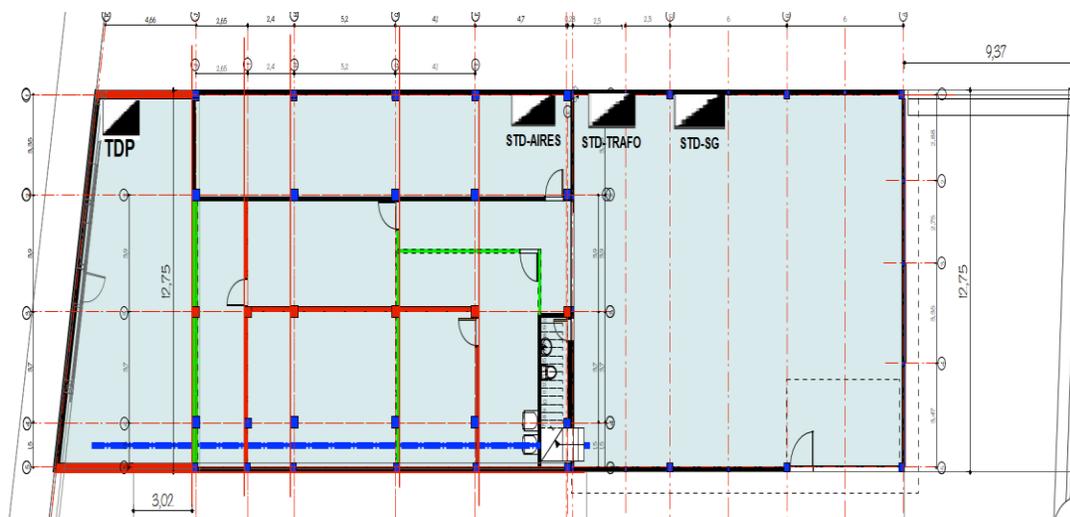


Nota. Mapa de la ubicación geográfica de la planta Tomada de Google Maps.

Determinación del área de estudio

La empresa tiene un transformador de 50 kVA, con un nivel de voltaje trifásico de 13.8/7.9 kV en el lado de MV y 220/127 V en el lado de bajo voltaje el cual alimenta de energía al medidor principal y se distribuye en los diferentes tableros de distribución que están dentro de la empresa, así también en sus instalaciones internas cuenta con un transformador trifásico seco - elevador de 220/127 V a 440/254 V de 18 kVA de uso privado.

Figura 4

Plano arquitectónico

Nota. En la figura se visualiza la distribución de los tableros eléctricos dentro del área de estudio.

Diagrama Unifilar de la planta

En la figura se presenta el diagrama unifilar actual de la empresa, en el que se puede visualizar que la energía eléctrica parte de desde la red trifásica de Medio Voltaje de 13800/220V por medio del conductor 3X4 AWG +1X4 AWG que llega hasta el medidor de la planta y de ahí se dirige hasta el tablero principal TDP, el cual se distribuye al tablero STD-TRAFO en el cual se encuentra ubicado el transformador elevador de 18 kVA y posteriormente por medio de los conductores 3X8 AWG +1X8 AWG se dirige al tablero STD AIRES en el cual se encuentra las cargas principales como los motores que son los equipos primordiales para la producción de molienda y finalmente del tablero STD-TRAFO por medio de los conductores 3X8 AWG +1X8 AWG se dirige al tablero STD-SG donde están las cargas de servicio general como iluminación y tomacorrientes.

Transformador de distribución. A continuación, se detallan las características del transformador de distribución:

Tabla 6

Transformador principal

Datos Técnicos	
<i>Marca</i>	Ecuatran
<i>Voltaje de entrada</i>	13,8kV
<i>Voltaje de salida</i>	0,220/0,127 Kv
<i>Capacidad</i>	50kVA
<i>Configuración bajo voltaje</i>	Estrella
<i>Frecuencia</i>	60Hz

Nota. Características del transformador principal de distribución.

Transformador elevador. En el área de Molienda se encuentra ubicada un transformador elevador de uso exclusivo para el motor trifásico de 440V.

Tabla 7

Transformador elevador

Datos Técnicos	
<i>Voltaje de entrada</i>	0.220 kV
<i>Voltaje de salida</i>	0.44 kV
<i>Capacidad</i>	18kVA
<i>Configuración</i>	Estrella
<i>Frecuencia</i>	50/60Hz

Nota. Características del transformador elevador, a un voltaje de salida de 0.44 kV, para el uso exclusivo del motor trifásico.

Conductores

Se presenta los parámetros de los conductores en la siguiente Tabla.

Tabla 8

Datos de los conductores del sistema eléctrico

Parámetros de los Conductores						
Ítem	Conductor [AWG]	Longitud [m]	Resistencia [Ω/km]	Capacidad de conducción de corriente [A]	Caída de Voltaje	
					[ΔV]	[U]
Alimentador 1	4	41	0.847	93.18	2.441	%
Acometida Motores	8	4,5	2.1021	39.94	0.594	%
Acometida SG	8	1	2.1021	74.38	0,246	%
Acometida Molino	8	4,5	2.1021	32.66	1.381	%

Nota. Se presenta datos como longitud, resistencia, corriente, y caída de voltaje de los conductores que alimentan a los circuitos del sistema eléctrico, y se visualiza que en el tramo del alimentador 1 tiene un valor alto de 2.44% de caída de voltaje.

Cargas

Para el diagrama unifilar se considera los equipos conectados con su potencia nominal y se muestra en la siguiente tabla.

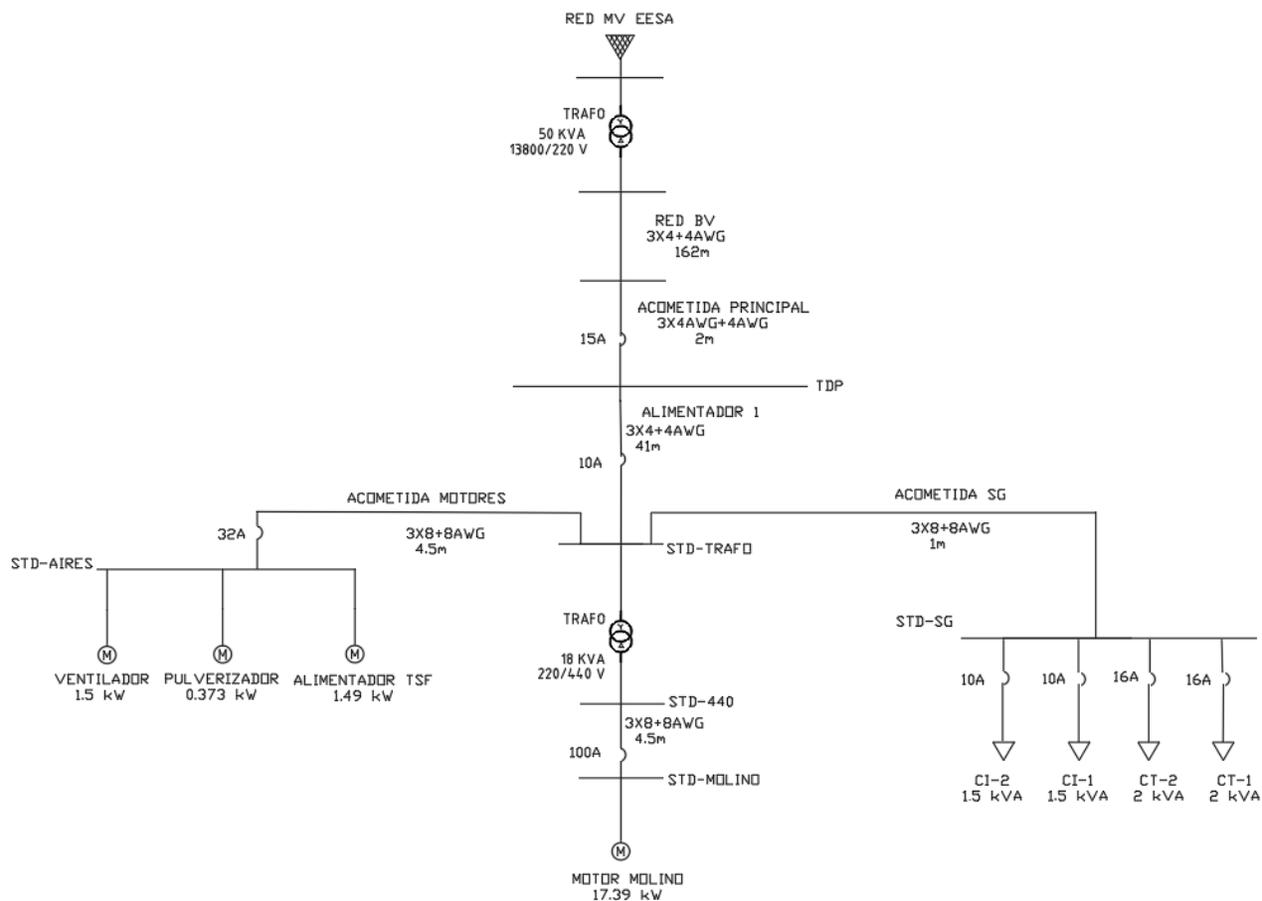
Tabla 9*Datos de Cargas Conectadas*

Motores		
Equipo	Potencia [kW]	FP [%]
Motor Ventilador	1,5	78
Motor Pulverizador	0.373	78
Motor Alimentador TSF	1.49	74
Motor Molino	17,3	83
Iluminación		
Equipo	Potencia [KW]	Unidad
Bodega 1	1,5	kW
Bodega 2	1,5	kW
Tomas		
Área	Potencia [kW]	Unidad
Bodega 1	2	kW
Bodega 2	2	kW

Nota. Se muestra las potencias de las cargas instaladas en el sistema eléctrico a analizar.

Figura 5

Diagrama unifilar de la empresa



Nota. La figura muestra la distribución de las cargas eléctricas dentro de la empresa.

Capítulo IV

Análisis de Resultados

Procedimiento del trabajo

En este capítulo se analiza los datos registrados que se obtuvieron durante la medición en el tablero principal de distribución de la empresa con el equipo analizador de red marca Metrel modelo MI 2883, del cual se logró obtener 1009 muestras de cada parámetro eléctrico, así como también se realiza el análisis de los datos recolectados por medio de la termografía con el fin de establecer un plan técnico – económico.

Para elaborar el diagnóstico de la calidad de energía eléctrica y del reporte termográfico, se justificará con las normativas correspondientes.

Levantamiento de información eléctrica

Se realiza la recolección de datos técnicos de cada una de las placas de las diferentes cargas eléctricas que se conectan a la red eléctrica. En la siguiente tabla 10 se puede observar la potencia instalada que se conecta al transformador de distribución de la empresa Qaray Alimentos el mismo que es de 50 kVA.

Tabla 10

Información de Potencia Instalada del Sistema Actual

Ítem	TC [W]		M. Ventilador [W]	M. Alimentador TSF [W]	M. Molino [W]	M. Pulverizador [W]	Iluminación [W]				PI [W]
	200	2200	1500	1492	17300	550	15	20	40	200	TOTAL
							6				90
ÁREA 1	CI-1							3			60
	CI-1							8			320
	CT-1	15									3000
	CI-1									9	1800
ÁREA 2	CT-1	9									1800
	CT-2		2								4400
	CT-3			1							1500
	CT-4				1						1492
	CT-5					1					17300
	CT-6						1				550

Ítem	TC [W]		M. Ventilador [W]	M. Alimentador TSF [W]	M. Molino [W]	M. Pulverizador [W]	Iluminación [W]			PI [W]	
	200	2200	1500	1492	17300	550	15	20	40	200	TOTAL
ÁREA	CI-1									2	400
	CI-2									1	200
3	CT-1	4									800
	CT-2										0
ÁREA	CI-1								2		40
4	CT-1	4									800
SUMA TOTAL											34552

Nota. En la tabla se indica la potencia total instalada de la planta.

Análisis de nivel de voltaje

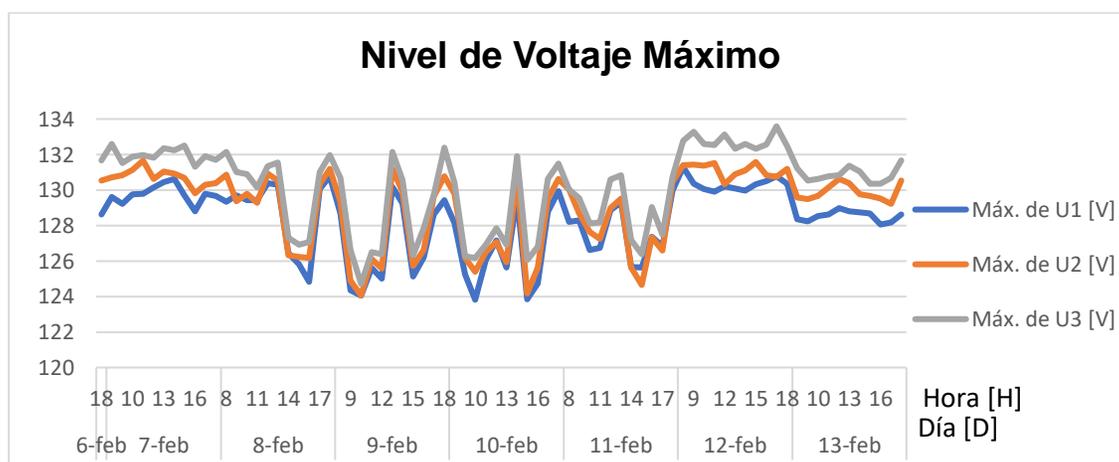
Para el análisis de nivel de voltaje en el sistema eléctrico de la empresa, se considera la recomendación dada por la regulación ARCERNR 002-20.

Para lo cual se realiza un registro de medición durante un periodo de 7 días continuos, en intervalos de 10 minutos, el incumplimiento de la normativa será cuando la variación de nivel de voltaje para sistemas de BV este fuera del límite del $\pm 8\%$.

Para determinar las curvas de voltaje de las tres fases en el periodo de una semana de mediciones se empleó el programa de Excel obteniendo así las siguientes figuras, que se observa la curva máxima y mínimas de voltajes de las tres líneas.

Figura 6

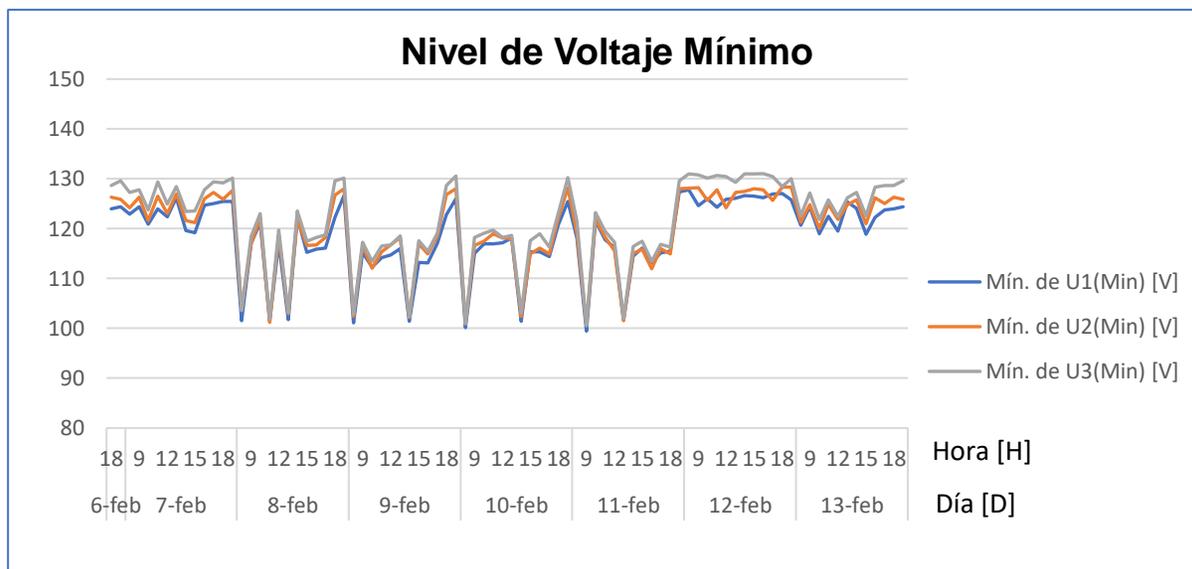
Curvas de nivel de voltaje máximo de las tres líneas



Nota. Se muestra la gráfica de curvas de nivel máximo de voltaje al largo de los 7 días de medición, y se considera únicamente las horas de trabajo de 8:00 a 18:00 y se determina que se encuentra en el máximo rango permitido que son los 137.16V.

Figura 7

Curvas de nivel de voltaje mínimo de las tres líneas



Nota. Se muestra la gráfica de curvas de nivel mínimo de voltaje a lo largo de los 7 días de medición, y se considera únicamente las horas de trabajo de 8:00 a 18:00 horas para tener una mejor visualización.

Resultados de análisis de nivel de voltaje

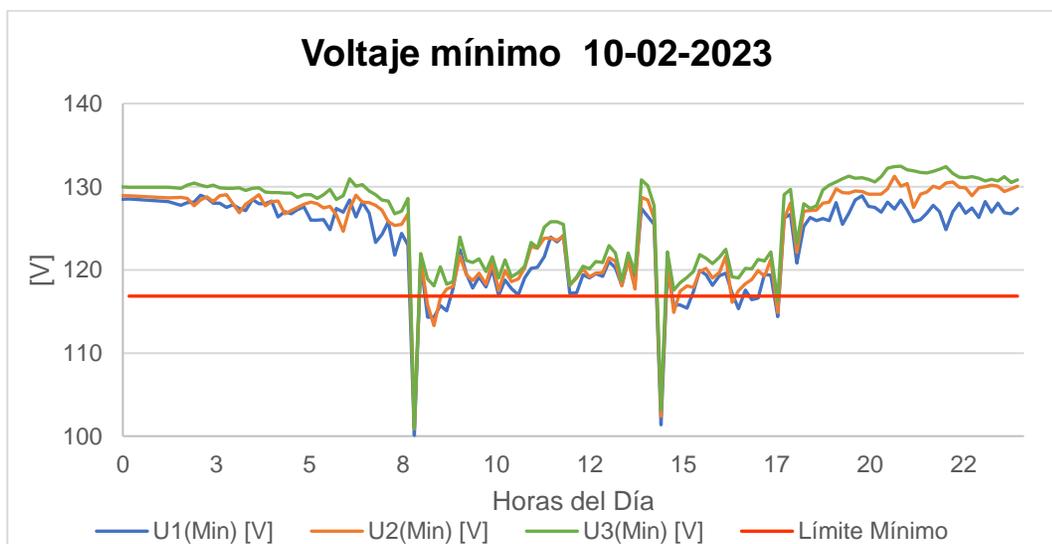
Para el análisis de nivel de voltaje se determinará por el día más crítico a lo largo de la semana de medición, siendo este el día 10/02/2023 correspondiente al cuarto día de registro de datos el cual tiene mayores caídas de voltaje según se visualiza en la figura 6.

En la figura se muestra el comportamiento de voltaje del sistema eléctrico en las 3 líneas (L1, L2, L3). Observando que existe caída de voltaje considerable de voltaje entre las fases durante el periodo de las 24Horas, el cual alcanza un voltaje de 100.12V en la mañana a las 08:20 am momento el cual se encienden la maquinaria, pero este pico bajo de voltaje es

instantáneo, no es continuo, pero se aconseja que se instale arrancadores suaves para el encendido y paro de los motores.

Figura 8

Nivel de voltaje mínimo – Día crítico



Nota. Nivel mínimo de voltaje en las tres líneas durante el periodo de 24 Horas. Los picos bajo de voltaje registrados son producidos por el encendido y apagado de los motores en la planta de producción de harina.

En la tabla 11 se indica el resultado del cumplimiento de los límites mínimos y máximos para el índice de nivel de voltaje de las tres fases, el cual existe un evento que registra un valor bajo de voltaje en la Línea 1.

Tabla 11

Cumplimiento de los índices de nivel de voltaje

Análisis de voltaje de los valores registrados 2023/02/10					
Ítem	Voltaje Nominal [V]	Voltaje mínimo [V]	Voltaje máximo [V]	Cumple con el rango mínimo admisible [-8%]	Cumple con el rango máximo admisible [+8%]
Línea 1	127	100.12	130.91	No	Si
Línea 2	127	100.96	132.56	No	Si
Línea 3	127	100.84	133.98	No	Si

Nota. En la siguiente tabla se registran caídas de voltaje menores al -8% en las tres líneas y los valores máximos de voltajes están en el rango permitido de variación al +8% según la normativa.

Análisis de desequilibrio de voltaje

El desbalance de voltaje es medido como el cociente entre el voltaje de secuencia negativa sobre el voltaje de secuencia positiva $\left| \frac{V^-}{V^+} \right| \times 100\%$ y deberá permanecer por debajo del 2% según lo dispone la regulación ecuatoriana ARCERNNR para todos los niveles de voltaje.

Resultados del análisis de desequilibrio de voltaje

Para el análisis de desequilibrio de voltaje el período de medición debe ser de 7 días con intervalos de diez minutos cada hora según lo estipula la normativa ARCERNNR 002-20.

La Tabla 12 presenta los valores de referencia de desequilibrio de voltaje de acuerdo con el nivel de voltaje.

Tabla 12

Nivel de referencia permitido para desequilibrio de voltaje

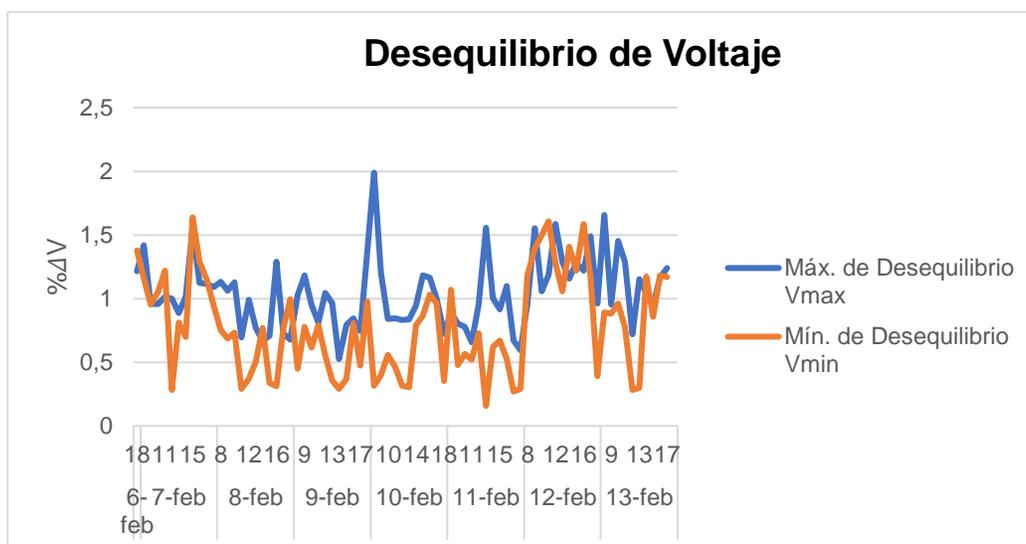
Nivel de Voltaje	Valor de referencia
Bajo Voltaje	2%

Nota. La tabla muestra el valor límite permitido para desequilibrio de voltaje en BV.

La Figura 9 muestra que la curva de desequilibrio de voltaje mínimo y máximo cumple el valor límite de desbalance de voltaje alcanzando un valor máximo de 1.98 % el día 10/02/2023 en horas de la mañana a las 8:00 am.

Figura 9

Porcentaje de desequilibrio de Voltaje



Nota. En la gráfica se aprecia que no existe desbalance de voltaje a lo largo de la medición de los 7 días.

La Tabla 13 se elabora con el total de valores máximos y mínimos registrados en el día más crítico de medición y se evalúa si cumple con el porcentaje estipulado para el desequilibrio de voltaje.

Tabla 13*Valores de desbalance de voltaje*

Análisis de desbalance de Voltaje		
Fase	Desbalance [%]	Cumple ARCERNNR [2%]
Mínimo	0.15	Si
Máximo	1.98	Si

Nota. De un total de 1008 datos, se obtiene los siguientes datos los mismos como se presenta en la tabla están dentro del margen permitido por la regulación ARCERNNR 002/20, pero se encuentra próximo a superar el límite.

Armónicos

Análisis de la Distorsión Armónica de Voltaje

El analizador de calidad de energía registra un THD máximo de 9.77V en la línea 1, el cual se encuentra dentro del margen permitido del $\pm 8\%$ del voltaje nominal que equivale a un valor de Voltaje máximo autorizado del 10.16V según establece la Regulación ARCERNNR 002/20 en base a la norma internacional IEEE Std-519-2014, además se puede apreciar que en el Tabla 14 la línea 2 y 3 que registran un TDH Max de 7.088V y 7.042V respectivamente, lo que indica que las tres líneas del sistema eléctrico cumplen con la normativa.

Tabla 14*Distorsión Armónica de voltaje por cada línea*

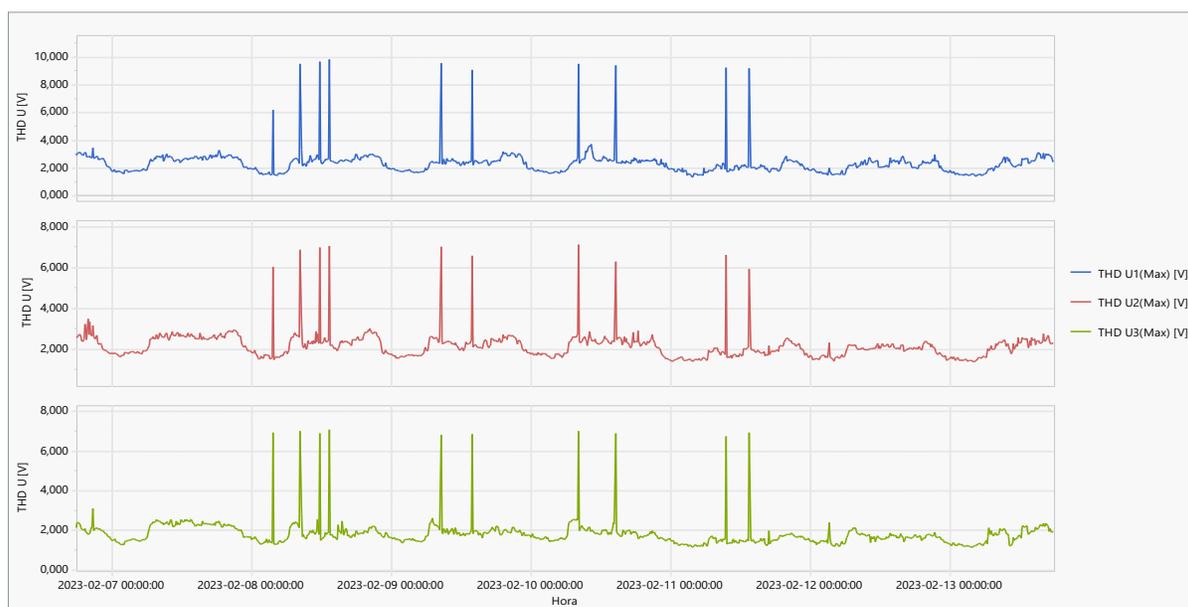
THD Voltaje	Máximo THD [V]	Mínimo THD [V]	ARCERNNR 002/20
Línea 1 [F-N]	9,77	1,286	Cumple
Línea 2 [F-N]	7,088	1,32	Cumple

THD Voltaje	Máximo	Mínimo	ARCERNNR
	THD [V]	THD [V]	002/20
Línea 3 [F-N]	7,042	1,101	Cumple

Nota. En la tabla se muestra los valores máximos y mínimos de la distorsión armónica de voltaje.

Figura 10

Armónicos de voltaje por cada fase



Nota. En la gráfica se muestra el THD de las tres líneas, alcanzando un máximo en la línea 1 de 9.77V continuamente la línea 2 con 7.088V y línea 3 con 7.042V, pero que son valores que están dentro del límite establecido por normativa. Tomada de Metrel PowerView v3.

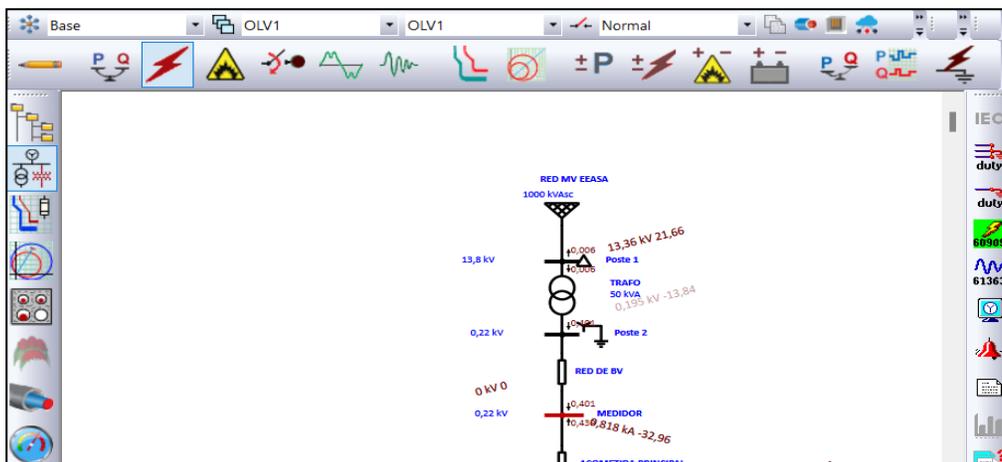
Análisis de la Distorsión Armónica Total de Corriente

Para el análisis de factor de distorsión armónica individual de corriente, primeramente, se debe obtener los valores de corriente máxima de cortocircuito en el PCC (Punto de acoplamiento común) y la corriente máxima de carga a la frecuencia fundamental de 60Hz, de

tal modo que se usa el software Etap para calcular la I_{cc} trifásica y la I_L para cada fase, como se muestra en las figuras.

Figura 11

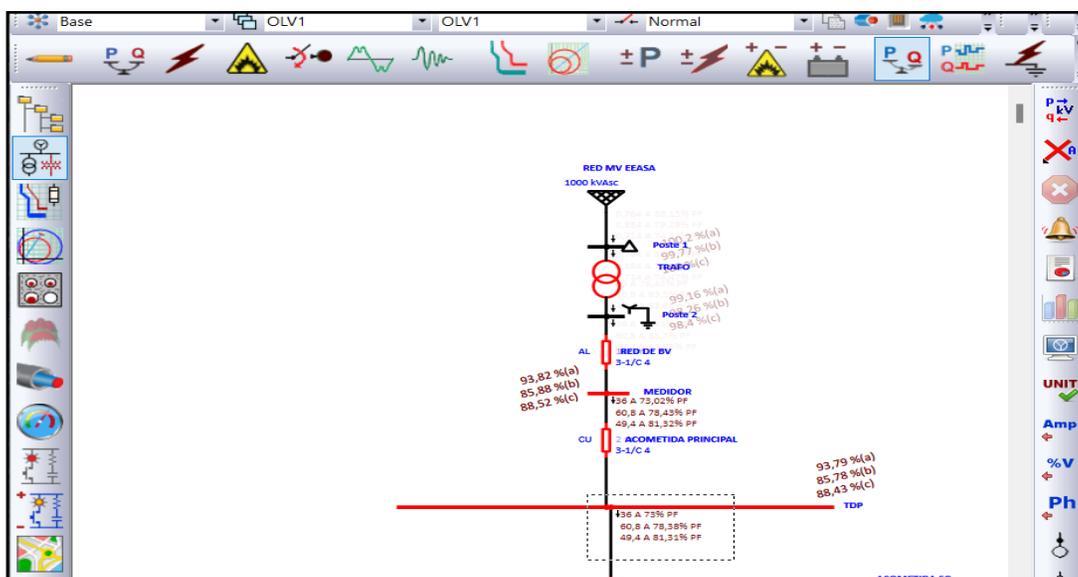
Resultado de la I_{cc} por medio del software Etap 19.01



Nota. La corriente máxima de cortocircuito en el PCC (Punto de acoplamiento común) es de 0.818 [kA]. Tomada de Etap 19.01.

Figura 12

Resultado de la corriente de las tres líneas.



Nota. Las corrientes de carga a frecuencia fundamental para las tres fases. Tomada de Etap 19.01.

Para el cálculo de I_{cc}/I_L se conoce que la corriente máxima de cortocircuito en el PCC es de 0.818kA y la corriente máxima de carga a frecuencia fundamental es de 60.8A, lo cual el valor de I_{cc}/I_L es de 13.453 que representa que los niveles máximos de distorsión armónica de corriente deben estar dentro del 5% como se muestra en la Tabla 4.

Es así como el analizador de calidad de energía registra un TDD (Distorsión de demanda total) que supera el margen permitido que establece la regulación ARCERNNR 002/20 en base a la normativa IEEE Std-519-2014, como se observa en las Líneas 1, 2 y 3 registran un TDD máximo de 7.656, 7.443 y 7.397 respectivamente, indicando que incumplen la normativa.

Tabla 15

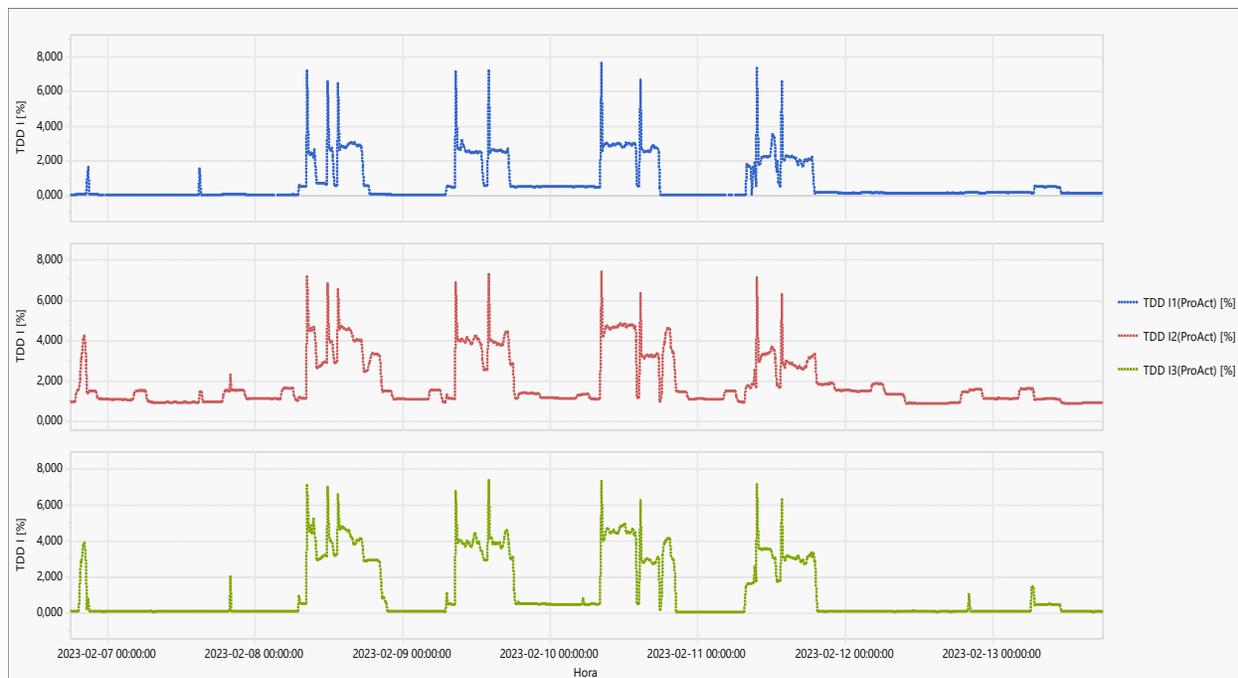
Factor de Distorsión de demanda Total

Análisis de Distorsión Armónica de Corriente TDD			
TDD	Máximo	Mínimo	ARCERNNR
Corriente	TDD [%]	TDD [%]	002/20
Línea 1 [F-N]	7,656	0,018	No Cumple
Línea 2 [F-N]	7,443	0,865	No Cumple
Línea 3 [F-N]	7,397	0,054	No Cumple

Nota. En la tabla se muestra los valores de factor de distorsión de demanda total los cuales no cumplen con el rango máximo establecido del 5%, esto se debe principalmente al momento del arranque de los motores.

Figura 13

Armónicos de corriente por cada fase



Nota. Se muestra las curvas de armónicos de corriente por cada fase de la semana de medición. Tomada de Metrel PowerView.

Análisis de demanda de Potencia eléctrica

Para determinar las curvas de comportamiento de duración de la demanda diaria de la potencia activa, reactiva y aparente por fase y total se utilizan histogramas de frecuencia de los datos registrados por analizador de redes cada 10 minutos durante 7 días como recomienda la regulación 002/20 de calidad de energía del suministro de energía realizada por el ARCERNNR.

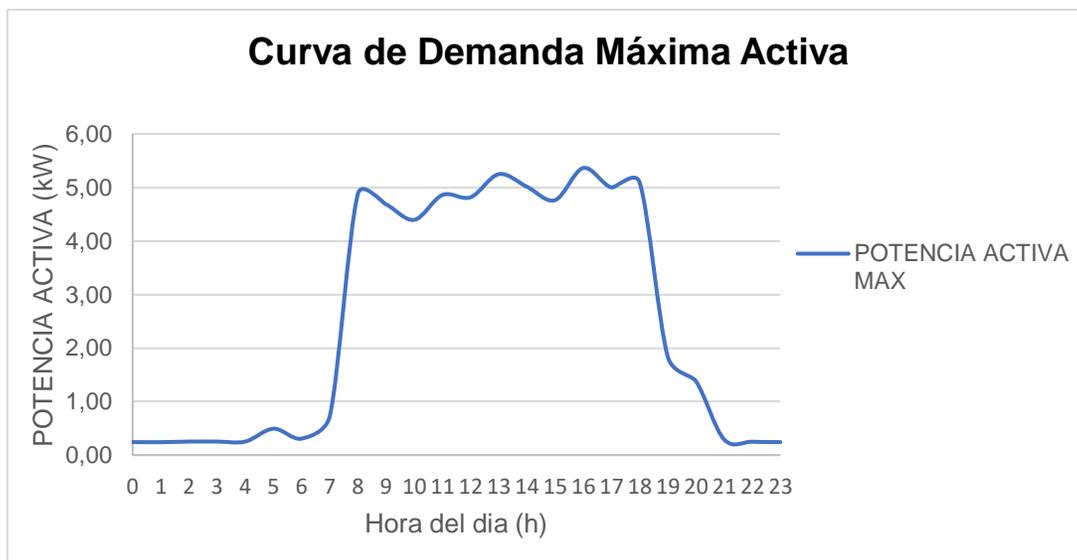
La muestra de datos corresponde a 6 registros por hora por los 7 días con un total de 42 para establecer la frecuencia por cada hora del día, obteniendo un equivalente de datos por día de 1008 datos tabulados para determinar la curva de comportamiento de la demanda en un día (24 horas).

Análisis de la Potencia Activa

En la figura 8 se puede observar que la demanda máxima de potencia activa se presenta entre las 15:00 y 17:00 con un valor de 5.36 kW.

Figura 14

Curva de duración de la demanda diaria máxima de potencia activa total

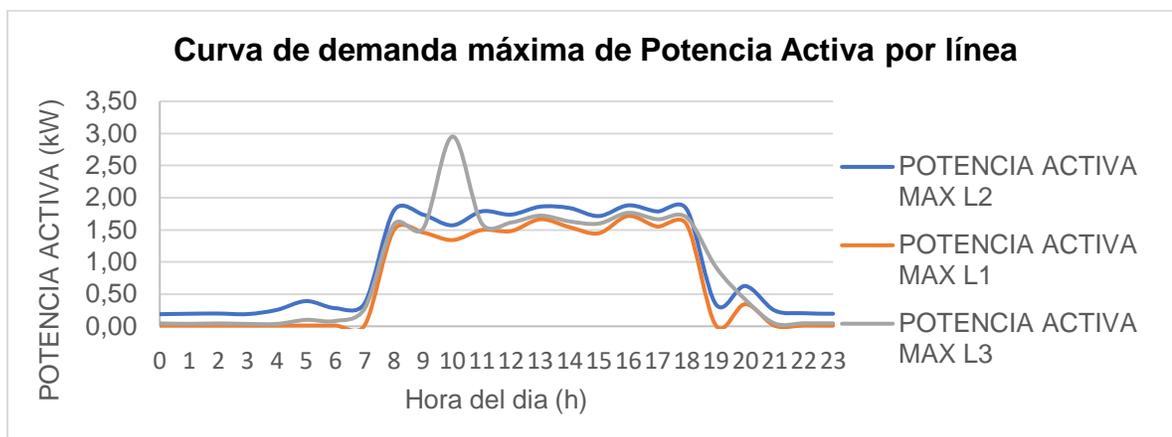


Nota. La curva indica el comportamiento de la demanda máxima activa con los datos más representativos en las horas de la semana de medición.

En la figura 15 se puede observar el análisis de las curvas de demanda máxima de potencia de activa por cada fase del sistema eléctrico, donde el desequilibrio de potencia en las líneas no es muy relevante a lo largo del día, permaneciendo constante desde las 8:00 hasta las 18:00, a excepción de la línea 3 L3 que experimenta un pico a las 10:00, la línea L2 experimenta mayor carga y la línea L1 experimenta menor carga, por lo tanto, se podría planificar equilibrar las cargas hasta donde sea factible técnicamente.

Figura 15

Curva de duración de la demanda diaria máxima de potencia activa por fase



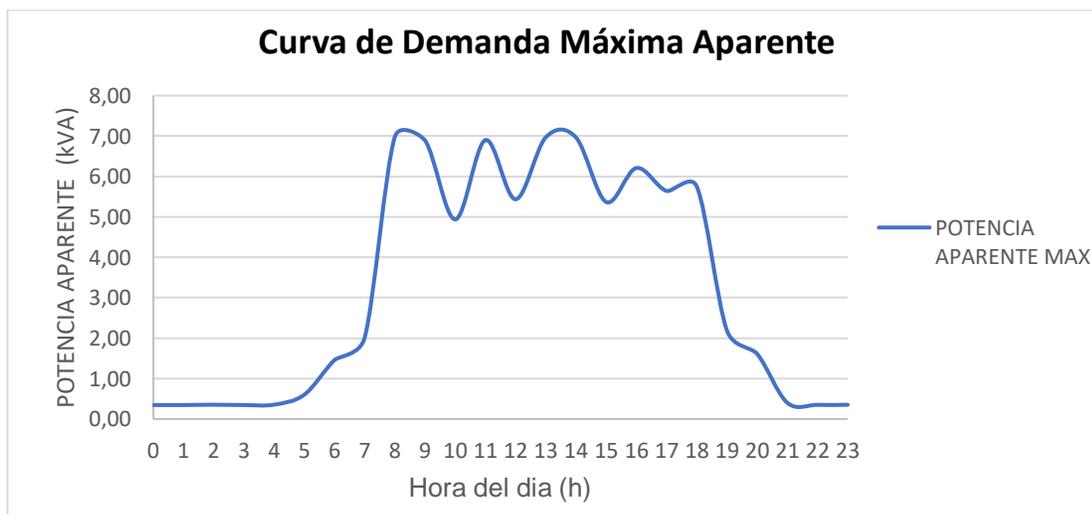
Nota. La figura representa lo datos de potencia activa que más se repiten en cada hora de los días de medición, se realiza con histograma de frecuencias.

Análisis de la Potencia Aparente

En la figura 16 se puede observar que la demanda máxima de potencia aparente presenta picos en la mañana y en la tarde, siendo el valor más alto de 7,1 kVA entre las 13:00 y 14:00 de la tarde.

Figura 16

Curva de duración de la demanda diaria máxima de potencia aparente total

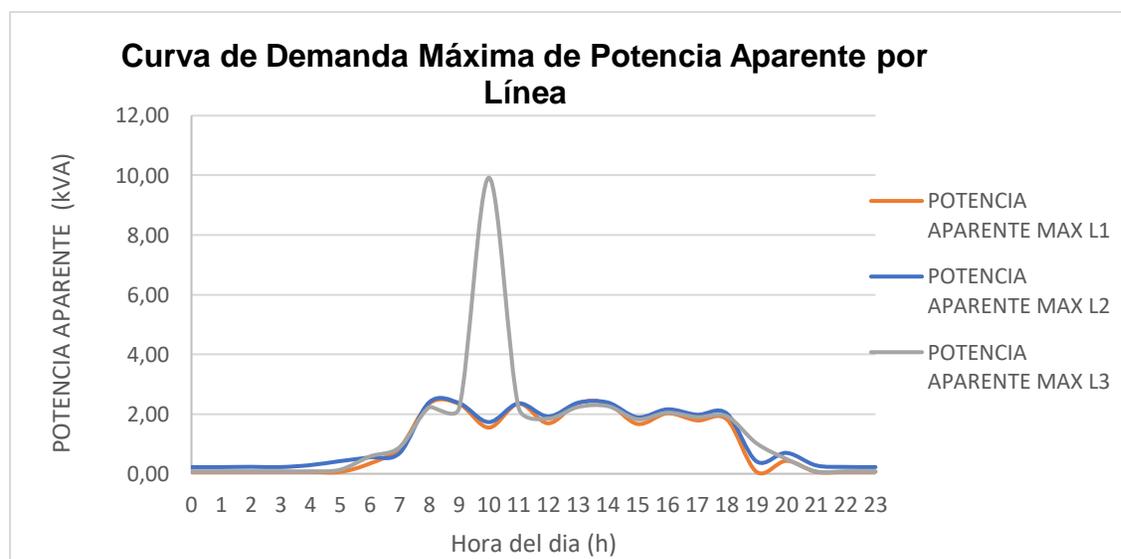


Nota. La curva indica el comportamiento de la demanda máxima aparente con los datos más representativos en las horas de los días medición.

En la figura 17 se puede observar el comportamiento de las curvas de demanda máxima de potencia aparente por cada fase del sistema eléctrico prácticamente están equilibradas, es decir, experimentan el mismo valor de potencia a lo largo del día, permaneciendo constante desde las 8:00 hasta las 18:00, a excepción de la línea L3 que experimenta un pico a las 10:00 de 10 kVA.

Figura 17

Curva de duración de la demanda diaria máxima de potencia aparente por fase



Nota. La figura representa los datos de potencia aparente que más se repiten en cada hora de los días medición, se realiza con histograma de frecuencias.

Análisis de la Potencia Reactiva

En la figura 18 se puede observar que la demanda máxima de potencia reactiva se presenta picos en la mañana y en la tarde, siendo el valor más alto de 6.03 kVAr entre las 13:00 y 14:00 horas de la tarde.

Figura 18

Curva de duración de la demanda diaria máxima de potencia reactiva total

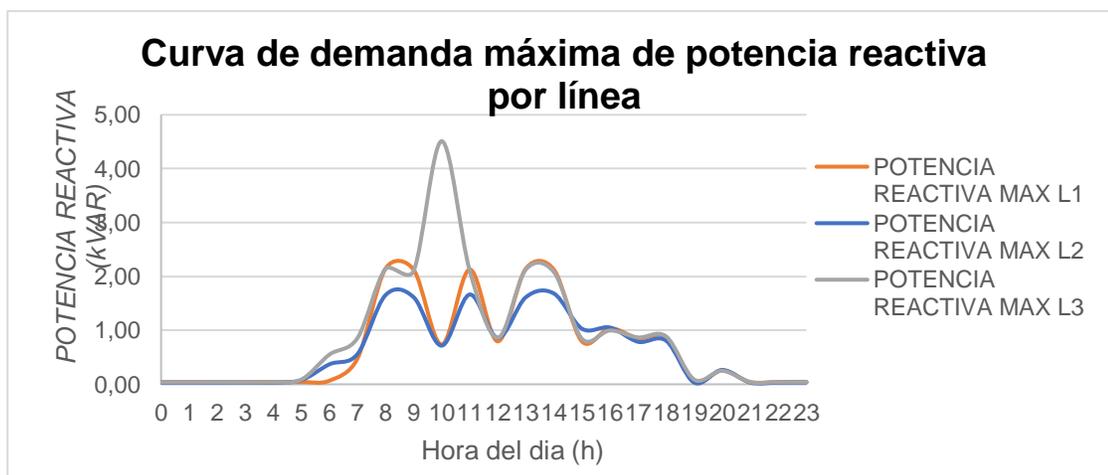


Nota. La curva indica el comportamiento de la demanda máxima reactiva con los datos más representativos en las horas de los días medición.

En la figura 19 se puede observar el comportamiento de las curvas de demanda máxima de potencia reactiva por cada fase del sistema eléctrico, el mismo que experimenta un desequilibrado no tan pronunciado, siendo la fase de mayor potencia reactiva la línea L3 y la de menor la línea L2 a lo largo del día, la línea L3 que experimenta un pico a las 10:00 de la mañana de 4.5 kVAr, la línea L3 requiere un análisis con mayor énfasis que permita identificar el origen de los picos de potencia.

Figura 19

Curva de duración de la demanda diaria máxima de potencia reactiva por fase



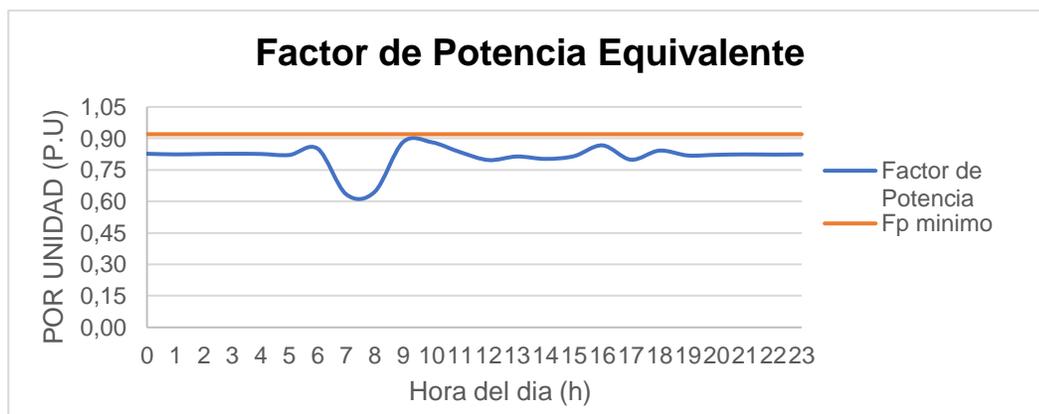
Nota. La figura representa los datos de potencia reactiva de las tres líneas que más se repiten en cada hora de los días medición, se realiza con histograma de frecuencias.

Análisis del Factor de Potencia

Para determinar el factor de potencia equivalente del sistema eléctrico analizado, se utilizaron histogramas de frecuencia con el objeto de identificar el valor estadístico más recurrente registrado por el analizador de redes eléctricas. Siendo el valor 0.92 como el mínimo requerido por las empresas eléctricas distribuidoras de energía en el Ecuador para ser considerado como un valor adecuado.

Figura 20

Factor de potencia equivalente del sistema eléctrico diario



Nota. En la figura se puede observar que el factor de potencia que experimenta el sistema eléctrico de la fábrica Qaray Alimentos está por debajo del valor mínimo requerido por la empresa eléctrica distribuidora encargada de esa zona de concesión que corresponde a la Empresa Eléctrica Ambato, es decir, se debe planificar el mejoramiento del factor de potencia como una solución a corto plazo y así evitar penalizaciones por bajo factor de potencia.

Simulación del sistema actual de la empresa

Con respecto a la simulación del sistema actual de la planta, primeramente, se elabora el modelado del sistema con los datos recopilados de forma manual para cada elemento que

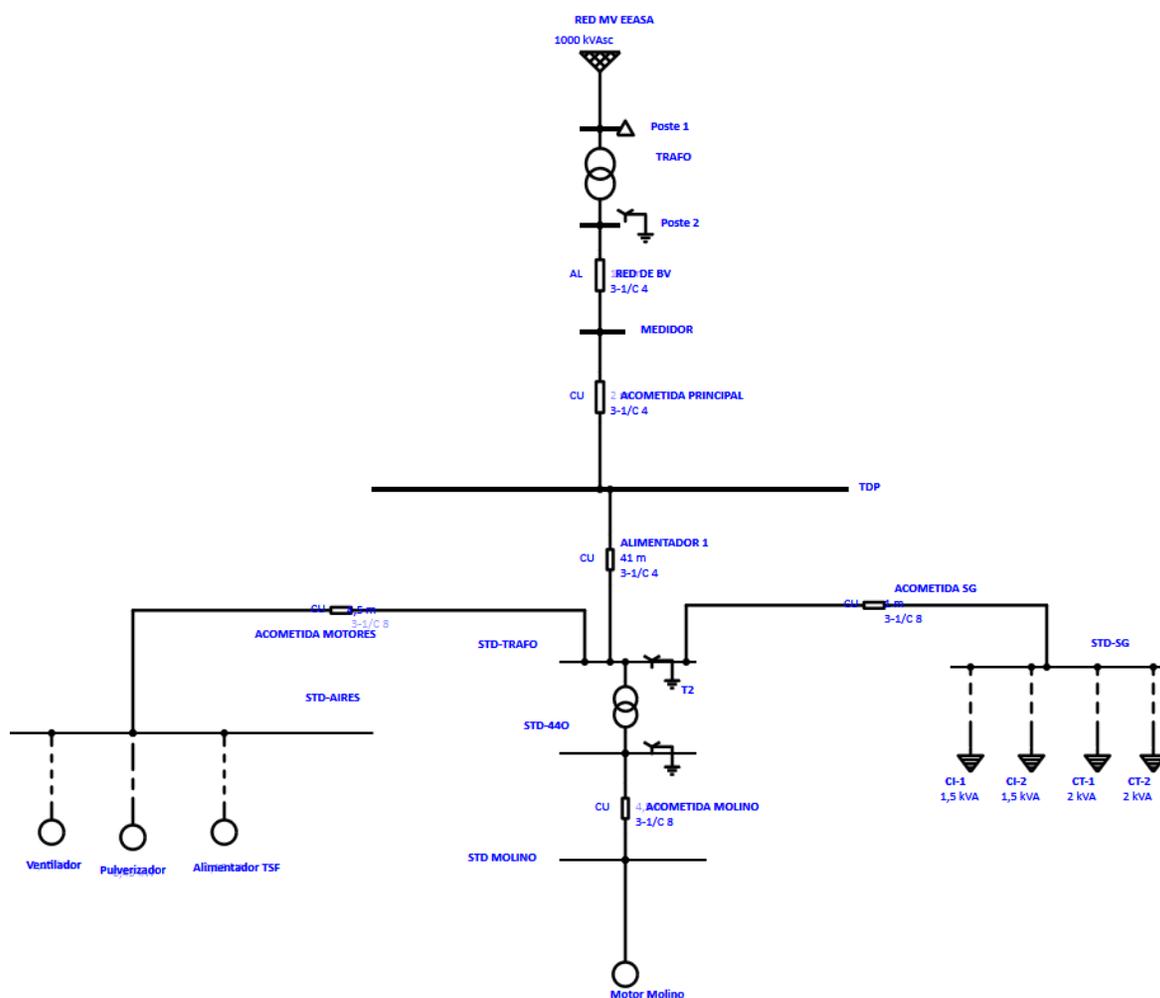
conforma el diagrama eléctrico como cables, barras, cargas, transformadores, de tal forma que permita elaborar un análisis certero de la condición actual.

Modelación del sistema

Se modela y simula en ETAP la situación actual del sistema eléctrico de la red de BV de la empresa, de los datos de cargas obtenidos manualmente y en base al diagrama unifilar.

Figura 21

Modelación del diagrama unifilar actual de la planta



Nota. La grafica muestra la distribución de cargas con sus respectivos datos técnicos.

A continuación, se detallan los pasos para modelar sistema eléctrico de la planta con los datos técnicos de cada una de las cargas a evaluarse en el presente proyecto.

Tabla 16

Ingreso de valor de voltaje nominal correspondiente

Ítem	Voltaje Nominal [KV]
Poste 1	13.8
Poste 2	0.22
Medidor	0.22
TDP	0.22
STD-TRAFO	0.22
STD- AIRES	0.22
STD-440	0.44
STD MOLINO	0.44
STD-SG	0.22

Nota. Presenta los voltajes nominales de cada barra del sistema eléctrico.

Figura 22

Datos de la barra Poste 1

Bus Editor - Poste 1

Reliability	Remarks	Comment																	
Info	Phase V	Load	Motor/Gen	Rating	Arc Flash	Protection	Harmonic												
13,8 kV 0 Amps				Asymmetrical 0 kA															
Info ID Poste 1 Nominal kV 13,8				Revision Data Base															
Bus Voltage <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>% V</th> <th>kV</th> <th>Angle</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Initial</td> <td>100</td> <td>13,8</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Operating</td> <td>100</td> <td>13,8</td> <td>-0,1</td> </tr> </tbody> </table>					% V	kV	Angle	Initial	100	13,8	0	Operating	100	13,8	-0,1	Condition Service <input checked="" type="radio"/> In <input type="radio"/> Out State As-Built			
	% V	kV	Angle																
Initial	100	13,8	0																
Operating	100	13,8	-0,1																

Nota. Se detalla la información de las barras como nivel de voltaje nominal y el ID.

Tabla 17

Ingresar los datos de los transformadores

Ítem	Voltaje Nominal [kV]		Potencia Nominal [KVA]
	Primario	Secundario	
TRAFO	13.8	0.22	50
STD-TRAFO	0.22	0.44	18

Nota. En la tabla se muestra los voltajes y potencias nominales de los transformadores.

Figura 23

Datos del transformador elevador STD-440

Nota. Esta imagen muestra los datos del transformador que se ingresan en el sistema.

Tabla 18

Ingresar los datos de las cargas que están distribuidas por barras

Ítem	Equipos	línea A-B-C	# Conexión	Voltaje Nominal [kV]	Factor de Potencia [%]	Potencia [kW]
			1F- 2F - 3F			
STD- AIRES	VENTILADOR	C	1F	0,127	0,78	1,5
	PULVERIZADOR	C	1F	0,127	0,78	0,55
	ALIMENTADOR TSF	C	1F	0,127	0,78	1,49
STD-SG	CI-1	B	1F	0,127	0,78	1,5
	CI-2	B	1F	0,127	0,78	1,5
	CT-1	B	1F	0,127	0,78	2
	CT-2	B	1F	0,127	0,78	2
STD MOLINO	MOTOR MOLINO	A-B-C	3F	0,44	0,78	17,3

Nota. La tabla muestra los datos de las cargas que se ingresan en la modelación del sistema.

Figura 24

Datos de carga trifásica "Motor Molino"

The screenshot displays the 'Induction Machine Editor - Mtr2' window. At the top, there are tabs for 'Cable Amp', 'Protection', 'Reliability', 'Remarks', and 'Comment'. Below these are various input fields and sections:

- Info:** ID: Mtr2, Bus: STD MOLINO, 0.44 kV.
- Equipment:** Tag #, Name, Description, App. Type: Motor, Data Type: Estimated, Priority: Normal.
- Demand Factor:** Continuous: 100, Intermittent: 52, Spare: 0 %.
- Voltage Limit:** Min. Transient: 80.
- Revision Data:** Base.
- Condition:** Service: In (selected), Out; State: As-Built.
- Connection:** 3 Phase (selected), 1 Phase; Quantity: 1.
- Configuration:** Normal, Status: Intermittent.

Nota. La grafica muestra los datos que se cargan en la simulación, considerando como un factor de coincidencia del 52%.

Tabla 19

Ingresar el calibre de conductores

Ítem	Calibre [AWG]	Longitud [m]
Red de BV	4	162
Acometida Principal	4	2
Alimentador 1	4	41
Acometida Motores	8	4,5
Acometida Molino	8	4,5
Acometida SG	8	1

Nota. La tabla indica el calibre y longitud de los conductores de la red eléctrica de la plata.

Simulación de la Situación Actual de la empresa

Una vez que se modela y simula el sistema de red actual se obtiene la Tabla 14, esta muestra que el nivel de voltaje de la Línea 2 es inferior en comparación con la Línea 1 y Línea 3 en cada una de las barras, en el caso de la se barra principal STD la Línea 2 tiene un 86.22% de voltaje nominal lo que presenta un voltaje de 110V la misma que incumple la normativa debido a que el rango mínimo permitido es de 116.84V o un nivel de voltaje del 92% de manera que requiere un análisis.

Tabla 20

Nivel de Voltaje en barras – Sistema Actual

Barra	% Voltaje Situación Actual		
	L1	L2	L3
MEDIDOR	93,82	85,88	88,52
TDP	93,79	85,78	88,43
STD-TRAFO	93,36	83,66	86,70
STD-AIRES	93,30	83,75	86,51
STD-SG	93,40	83,57	86,70
STD-440	89,00	83,45	83,80
STD MOLINO	88.94	83.39	83.73

Nota. La tabla muestra los niveles de voltajes en cada una de las líneas de las barras del sistema actual.

En cuanto al Factor de Potencia se obtiene valores bajos al 92% que es el valor mínimo permitido por normativa, por consiguiente, se propone la implementación de banco de condensadores que ayudaran establecer el rendimiento del sistema eléctrico de la planta.

Tabla 21

Porcentaje de Factor de potencia en barras – Sistema Actual

Barra	% Factor de potencia Sistema Actual		
	Línea 1	Línea 2	Línea 3
MEDIDOR	73,02	78,38	81,32
TDP	73,00	78,38	81,32
STD-TRAFO	71,92	76,48	82,61
STD-AIRES	78,00	0	78,00
STD-SG	0	78	0
STD-440	75,25	80,07	78,49
STD MOLINO	75,2	80,05	78,46

Nota. Se presenta un bajo factor de potencia en cada una de las barras.

Cargabilidad de los conductores

En este apartado se realiza un análisis de la cargabilidad en los conductores del sistema eléctrico de la empresa, del cual se aprecia que están dentro de los rangos admisibles dicho margen de seguridad evita sobrecargas y está por debajo del 100% de cargabilidad, pero existen casos en los que solo están en funcionamiento una línea dado que son cargas monofásicas como son los ramales de la Acometida SG y la Acometida Motores, de este modo se comprueba que el sistema es asimétrico.

Tabla 22*Cargabilidad de conductores*

% Cargabilidad de Conductores			
Ítem	Línea 1	Línea 2	Línea 3
Red de BV	35.91	60.76	49.34
Alimentador 1	37.84	64.03	49.39
Acometida SG	0.00	58.63	0.00
Acometida Principal	47.93	81.10	65.85
Acometida Motores	5.87	0.00	28.98
Acometida Molino	26.89	27.67	31.2

Nota. La tabla muestra el porcentaje de cargabilidad en los conductores y la línea B en la mayoría de los casos tiene mayor carga alcanzando un valor máximo de 81.10%.

Pérdidas de Potencia en los conductores

Se realiza el cálculo de pérdidas del todo el sistema eléctrico de la planta de la situación actual para lo cual emplea la siguiente formula:

$$\Delta P = P_{in} - \Sigma P$$

Donde

P_{in} =Potencia de entrada o entrega

ΣP = Sumatoria de potencias consumida

$$\Delta P = (12.83 - [0.625 + 0.299 + 0.741 + 2.51 + 2.58 + 2.86 + 0.572 + 0.572 + 0.763 + 0.763])kW$$

$$\Delta P = 12.83 - 12.285 [kW]$$

$$\Delta P = 0.545 kW$$

$$\%P_{PERDIDAS} = \frac{\Delta P}{P_{in}}$$

$$\%P_{PERDIDAS} = \frac{0.545kW}{12.83kW} * 100\% = 4.24\%$$

Análisis termográfico

En este apartado se realiza el análisis termográfico de cada tablero de distribución de la planta en base a la normativa Internacional ASTM 1934 que se evalúa según el diferencial de temperatura, de tal forma que permite tener un mejor enfoque de la situación actual de la empresa.

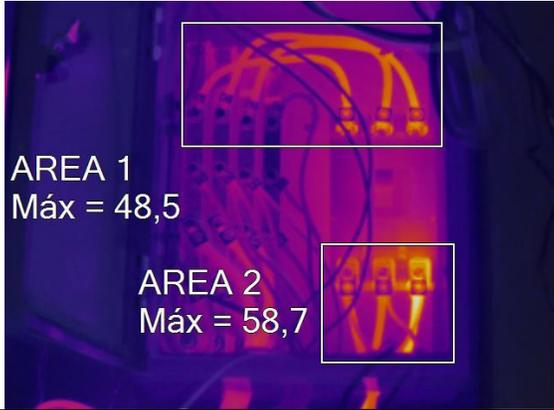
Inspección termográfica del tablero principal de distribución

Se realizó una inspección termográfica en el tablero principal de la planta, se muestra que el Área 1 presenta una temperatura máxima de 48.5°C, evidenciando una sobrecarga en los conductores que enlazan las barras y el breaker principal, en los bornes del breaker se observa un ligero incremento de temperatura. En cuanto el Área 2 se observa una anomalía térmica en el terminal 6 del breaker principal y una posible sobrecarga en los conductores de salida, en base lo indicado en la normativa ASTM 1934 respecto a la anomalía térmica y por ser catalogado como una Deficiencia se recomienda que sea reparado (ajuste de terminal) tan pronto sea posible, respecto a la posible sobrecarga de los conductores se sugiere un análisis de corriente para cotejar resultados y determinar la correspondencia de incrementar el calibre de conductor.

Tabla 23

Reporte Termográfico del Tablero Principal de Distribución

IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA					
<i>Información de la imagen</i>					
Fecha de inspección	6/5/2023	Temp. Ambiente	19°C	Distancia al objetivo	1.32m
Ubicación	Tablero de Distribución Principal	Temp. Reflejada	19°C	Ajuste de humedad	0.2
Nombre del equipo	Fluke Thermography	Velocidad del viento	14Km/h	Emisividad	0.95
Modelo de Cámara	Ti450-16120599	Transmisión	0,67	Otros Parámetros	Área 1:48.5° Área 2: 58.7°

IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA	
<i>Información de la imagen</i>	
Imagen Térmica	Imagen de luz visible
 <p>AREA 1 Máx = 48,5</p> <p>AREA 2 Máx = 58,7</p>	
Detalle	
Possible Problema	Anomalía térmica por sobrecarga y falso ajuste
Prioridad de reparación	Reparar tan pronto sea posible

Nota. En la tabla se detalla el reporte termográfico del tablero principal de distribución el cual muestra que existe sobrecarga en los conductores trifásicos de 220V que alimentan a la planta lo que se sugiere ser reparado lo más pronto posible.

Se realizó también una inspección en el circuito que alimenta el tablero principal (acometida) el cual se evidencia en el área 1 una posible sobrecarga en los conductores del circuito que alimenta el tablero de distribución 2, el diferencial de temperatura respecto a la temperatura ambiente indica que existe una Posible Deficiencia.

Tabla 24

Reporte Termográfico de la Acometida

IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA					
<i>Información de la imagen</i>					
Fecha de inspección	6/5/2023	Temp. Ambiente	19°C	Distancia al objetivo	1.16m
Ubicación	Tablero de Distribución Principal (acometida)	Temp. Reflejada	19°C	Ajuste de humedad	0.2

IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA					
<i>Información de la imagen</i>					
Nombre del equipo	Fluke Thermography	Velocidad del viento	14Km/h	Emisividad	0.95
Modelo de Cámara	Ti450-16120599	Transmisión	0,67	Otros Parámetros	Área 1: 48.5°C
Imagen Térmica			Imagen de luz visible		
					
Detalle					
Posible Problema	Anomalía térmica por sobrecarga y falso ajuste				
Prioridad de reparación	Reparar en el próximo mantenimiento programado				

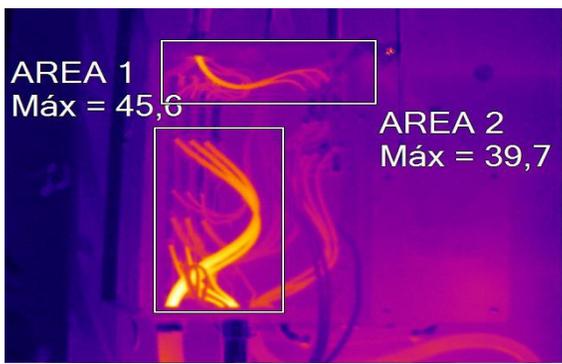
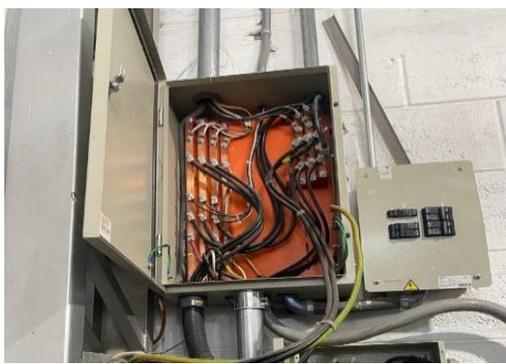
Nota. En la tabla se observa el reporte termográfico de la acometida de la planta el cual detalla que existe una anomalía térmica y se sugiere ser atendido en el próximo mantenimiento.

Inspección termográfica del tablero de distribución 2

En la revisión térmica del tablero de distribución 2 de la planta se evidencia que el Área 1 refleja un valor de 45.6°C y el Área 2 con un valor de 39.7°C lo que demuestra una posible sobrecarga en los conductores, sin embargo debido a que la temperatura no es uniforme en el trayecto de los conductores, se sugiere que se realice mediciones de corriente a plena carga para cotejar con los resultados termográficos y descartar una falsa sobrecarga producto de un reflejo del material aislante del conductor.

Tabla 25

Reporte termográfico del tablero de distribución 2

IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA					
<i>Información de la imagen</i>					
Fecha de inspección	6/5/2023	Temp. Ambiente	19°C	Distancia al objetivo	2.56m
Ubicación	Tablero de Distribución 2	Temp. Reflejada	19°C	Ajuste de humedad	0.2
Nombre del equipo	Fluke Thermography	Velocidad del viento	14Km/h	Emisividad	0.95
Modelo de Cámara	Ti450-16120599	Transmisión	0,67	Otros Parámetros	Área 1: 45.6°C Área 2: 39.7°C
Imagen Térmica			Imagen de luz visible		
					
Detalle					
Posible Problema	Anomalía térmica por sobrecarga y falso ajuste				
Prioridad de reparación	Reparar en el próximo mantenimiento programado				

Nota. En la tabla se observa el reporte termográfico del tablero de distribución numero dos el cual detalla que existe una sobrecarga en los conductores de 220V que alimentan a los motores monofásicos.

Inspección termográfica tablero de protección del transformador elevador

En el diagnostico termográfico del tablero de protección del transformador se logró evidenciar que en el punto 1 tiene un valor máximo de temperatura de 107.7°C presentando una anomalía

térmica crítica situada en los terminales 3 y 5 del breaker principal, posiblemente se debe a un deficiente ajuste mecánico de los bornes del equipo de protección y de acuerdo con lo indicado en la normativa ASTM esta anomalía está catalogada como Deficiencia Mayor.

Así también en el Área 1 y 2 se evidencia posible sobre carga en los conductores, existe un diferencial de temperatura de 53°C por lo que existe una Deficiencia Mayor y debe ser reparada inmediatamente.

Además, para cotejar con los resultados termográficos, se midió valores de corriente en las tres líneas y se obtiene que la Línea 1 corresponde un valor de 80 amperios, Línea 2 un valor de 102 amperios y Línea 3 presenta un valor de 90 amperios, que demuestra que los conductores están sobrecargados, puesto que el calibre empleado número 8 AWG tolera una corriente máxima de 55 amperios a una temperatura de trabajo de 90°C y es preciso determinar la pertinencia del incremento de conductor.

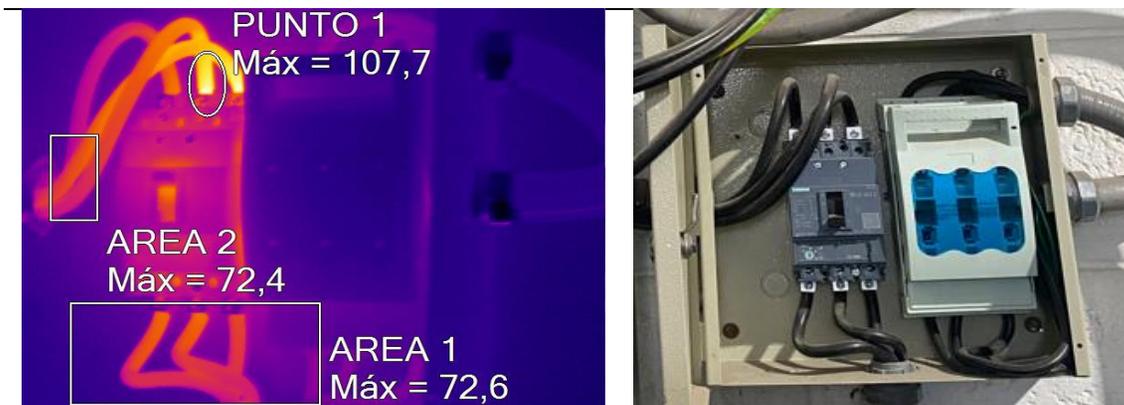
Tabla 26

Reporte Termográfico del Tablero de Protección del Transformador elevador

IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA					
<i>Información de la imagen</i>					
Fecha de inspección	6/5/2023	Temp. Ambiente	19°C	Distancia al objetivo	0.8m
Ubicación	Tablero Protección del Transformador Elevador	Temp. Reflejada	19°C	Ajuste de humedad	0.2
Nombre del equipo	Fluke Thermography	Velocidad del viento	14Km/h	Emisividad	0.95
					Área 1: 45.6°C
Modelo de Cámara	Ti450-16120599	Transmisión	0,67	Otros Parámetros	Área 2: 39.7°C
					Punto 1: 107.7°C
Imagen Térmica			Imagen de luz visible		

IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA

Información de la imagen



Detalle

Posible Problema	Anomalía térmica por sobrecarga y falso ajuste
Prioridad de reparación	Reparar inmediatamente

Nota. En la tabla se observa el diagnóstico termográfico del tablero de protección del transformador elevador el mismo que detalla que existe anomalías por sobrecarga y se sugiere reparar de inmediato.

Inspección termográfica del tablero de distribución 3 (Control del molino)

Se realizó las tomas térmicas del tablero de control y protección del molino el cual se obtuvo muestras significativas para analizar por cuanto existe varias alertas de sobrecarga.

En el área 2 se evidencia posible sobrecarga tanto en los conductores como en el breaker, de acuerdo con el diferencial de temperatura se evidencia que existe una Deficiencia Mayor y que debe ser reparada inmediatamente.

En el punto 1 se evidencia una anomalía térmica en el borne 2 del guardamotor, de acuerdo con la normativa ASTM esta anomalía está catalogada como Deficiencia Mayor y debe ser reparada inmediatamente, se sugiere el ajuste mecánico del borne en mención.

Tabla 27

Reporte Termográfico del Tablero de Distribución 3

IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA					
<i>Información de la imagen</i>					
Fecha de inspección	6/5/2023	Temp. Ambiente	19°C	Distancia al objetivo	2.51m
Ubicación	Tablero de Distribución 3	Temp. Reflejada	19°C	Ajuste de humedad	0.2
Nombre del equipo	Fluke Thermography	Velocidad del viento	14Km/h	Emisividad	0.95
Modelo de Cámara	Ti450-16120599	Transmisión	0,67	Otros Parámetros	Área 2: 64.5°C Punto 1: 70.4°C

Imagen Térmica

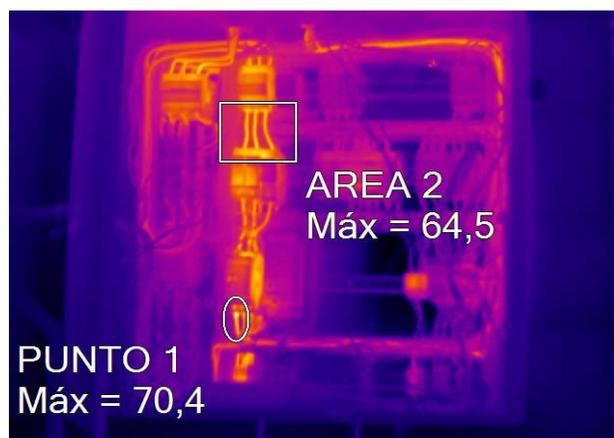
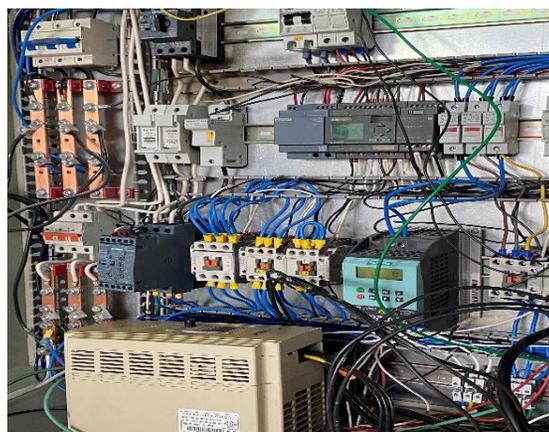


Imagen de luz visible

**Detalle**

Posible Problema	Anomalía térmica por sobrecarga y falso ajuste
Prioridad de reparación	Reparar inmediatamente

Nota. En la tabla se muestra a detalle el reporte termográfico del tablero de control y protección del molino, el cual evidencia anomalías térmicas como sobrecargas y puntos térmicos elevados el cual requiere un análisis de cargabilidad a los circuitos que muestran alarma de color y programar acciones que mejoren el funcionamiento eléctrico y térmico adecuado.

Capítulo V

Propuesta

Tema de la propuesta

Análisis del sistema eléctrico de Bajo Voltaje de la empresa “Qaray Alimentos” para determinar condiciones de operación asociados al proceso productivo.

Datos Informativos

Nombre de la Compañía. Empresa Qaray Alimentos

Dirección. Provincia de Tungurahua, Cantón Ambato, Calles Bosmediano y Gregorio Escobedo.

Tipo de la empresa. Compañía Alimenticia

Beneficiarios. Empresa Qaray Alimentos

Objetivos

Objetivo General

Elaborar un plan de mejora de la calidad de energía y evitar el agotamiento eléctrico por temperatura en los equipos eléctricos de la empresa “Qaray Alimentos”, empleando la normativa ARCERNR 002-20 y ASTM 1934.

Objetivos Específicos

- Modelar y simular la red de bajo voltaje en el software ETAP con los datos de cargas instaladas.
- Analizar las condiciones de operación actual y las propuestas de mejora por medio de la simulación.
- Elegir la propuesta más eficiente que permita a la empresa el mejoramiento y cumplimiento de las normativas de calidad de energía y termografía.
- Establecer un plan de mantenimiento preventivo adecuado
- Presentar un análisis aproximado de costo para la implementación de las propuestas.

Diseño de la Propuesta

Para el desarrollo de las presentes propuestas se procura cumplir los siguientes parámetros, con el fin de mejorar la calidad del sistema eléctrico de la empresa de tal manera que se solucione los problemas identificados y los índices eléctricos cumplan con lo que establece la normativa.

A continuación, para elaborar el plan de mejora se toma en consideración los siguientes aspectos:

- Diseño del diagrama unifilar del sistema actual
- Elaboración de balance de cargas que están conectadas al sistema eléctrico de la planta
- Refuerzo de calibre en conductores
- Aumento del Tap en el transformador de distribución
- Retiro del Transformador elevador
- Mejora del factor de potencia
- Plan de mantenimiento preventivo

Escenario 1

Se propone realizar el cambio de Tap en el transformador de distribución con el propósito de variar la relación de transformación y ajustar el voltaje que suministra al sistema de red de bajo Voltaje.

Como se observa en la figura 25 se simula el cambio de Tap a -5% al transformador de distribución el mismo que alimenta a la planta, y se muestra un cambio en el voltaje del sistema trifásico de la barra TDP así pues se obtiene un valor de voltaje en la Línea 1 de 124V, en la Línea 2 de 113V y Línea 3 un valor de 115V como se indica en la siguiente Tabla 27.

Tabla 28

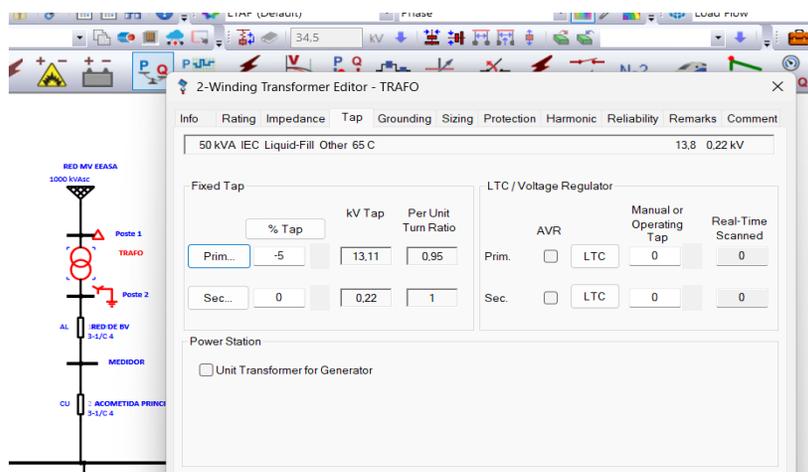
Niveles de voltajes en barras - Sistema Actual y Propuesta

Ítem	Ítem	Sistema Actual [V]	Escenario 1 [V]
Barra TDP	Línea 1	119	124
	Línea 2	109	113
	Línea 3	112	115
Barra STD MOLINO	Línea 1	226	232
	Línea 2	212	217
	Línea 3	213	215

Nota. En la tabla se muestra los niveles de voltaje de sistema actual y la propuesta de mejora para que el nivel de voltaje cumpla con el mínimo de rango establecido.

Figura 25

Cambio de Tap al Transformador de Distribución



Nota. Cambio de Tap en la simulación del escenario 1.

Escenario 2

Se plantea una segunda propuesta para mejorar el sistema eléctrico de la planta, que consiste en el retiro del transformador elevador (220/440 V) instalado en el interior de la planta y acoplar un nuevo motor trifásico a 220V.

En la figura 26 se modela y simula la propuesta dos, de manera que se obtiene los siguientes resultados con relación a la mejora del nivel de voltaje.

Tabla 29

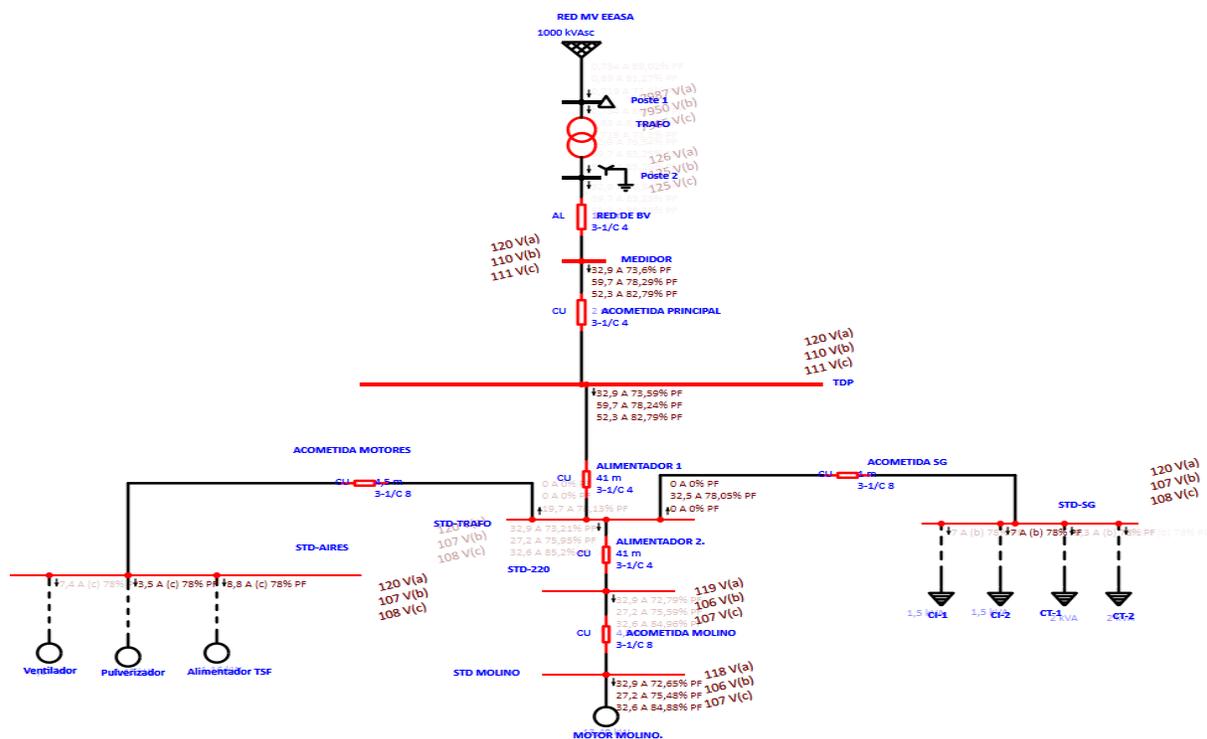
Porcentaje de Nivel de Voltaje. Propuesta – S. Actual

Ítem	Ítem	Sistema Actual	Escenario 2
Barra TDP	Línea 1	93.79%	94.56%
	Línea 2	85.78%	86.22%
	Línea 3	88.43%	87.34%
Barra STD MOLINO	Línea 1	88.94%	93.10%
	Línea 2	83.39%	83.22%
	Línea 3	83.73%	84.07%

Nota. Se muestra una pequeña mejoría en la caída de voltaje en las barras principal y barra de motor trifásico.

Figura 26

Modelado y simulación del escenario 2



Nota. La figura muestra el modelado y simulado del escenario 2.

Escenario 3

En este escenario se plantea el mejoramiento del sistema eléctrico de la empresa y se propone el aumento del calibre de conductores en la Red de bajo voltaje, la Acometida Principal y el Alimentador1, además se realizó una mejor distribución de la cargabilidad y dimensionamiento de un banco de condensadores.

Balance de cargas

Actualmente, la empresa cumple con el porcentaje máximo de desequilibrio de voltaje, pero se propone realizar el balance de cargas, las mismas que están conectadas al sistema eléctrico, con el propósito de disminuir la cargabilidad en los conductores y mejor distribución de estas.

En la tabla se observa la situación actual de distribución de cargas dentro la empresa, juntamente con la propuesta.

Tabla 30

Distribución de las cargas – S. Actual y Propuesta.

BARRA ORIGEN	EQUIPOS	LÍNEA A-B-C		# CONEXIÓN
		S. ACTUAL	PROPUESTA	1F- 2F - 3F
STD-AIRES	Ventilador	C	C	1F
	Pulverizador	C	C	1F
	Alimentador TSF	C	C	1F
STD-SG	CI-1	B	A	1F
	CI-2	B	A	1F
	CT-1	B	B	1F
	CT-2	B	B	1F
STD MOLINO	Motor Molino	A-B-C	A-B-C	3F

Nota. La tabla indica el balance de carga propuesto para el sistema de red

Cambio de conductores

Se propone el refuerzo del calibre en los conductores; Red de Bajo Voltaje, la Acometida Principal y el Alimentador 1, con el propósito de mejorar el nivel de voltaje en el que se encuentra la empresa actualmente.

La Tabla 30 indica los porcentajes de valores de tensión de las líneas de cada barra del sistema actual y de la propuesta, el cual muestra que los niveles de voltaje mejoran considerablemente en cada una de las líneas cumpliendo la normativa ecuatoriana así se consigue un voltaje máximo de 123 V que representa el 96.73%, esto en la barra principal.

Tabla 31

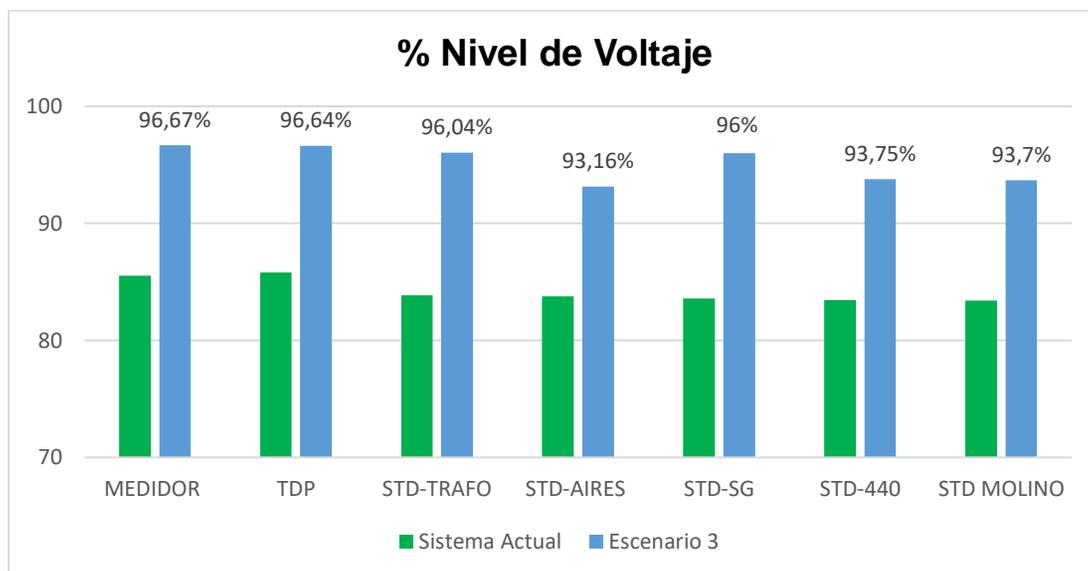
Niveles de voltajes en barras - Sistema Actual y Propuesta

Barra	% Voltaje Sistema Actual			% Voltaje Propuesta		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3
MEDIDOR	93,82	85,88	88,52	96,73	96,67	96,76
TDP	93,79	85,78	88,43	96,73	96,64	96,73
STD-TRAFO	93,36	83,66	86,70	96,15	96,04	96,15
STD-AIRES	93,30	83,75	86,51	96,10	96,13	95,99
STD-SG	93,40	83,57	86,70	96,14	96,00	96,16
STD-440	89,00	83,45	83,80	93,83	93,75	93,82
STD MOLINO	88,94	83,39	83,73	93,78	93,70	93,77

Nota. En la tabla se muestra los niveles de voltaje de sistema actual y la propuesta de mejora para que el nivel de voltaje cumpla con el mínimo de rango establecido del 8%, existe una gran mejora en la barra STD-440 donde está ubicada el transformador elevador.

Figura 27

Niveles de voltajes en barras - Sistema Actual y Propuesta



Nota. En la gráfica se muestra los niveles de voltajes mínimos del sistema actual y de la propuesta, en la que se evidencia que existe una gran mejoría gracias al refuerzo de los conductores además los voltajes en las líneas están dentro del rango permitido por normativa.

Mejoramiento del factor de Potencia

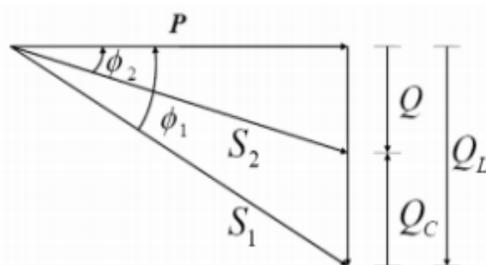
Debido a que existe un bajo valor de factor de potencia en el sistema actual de la planta, se propone implementar un banco de capacitores con valores comerciales que permite alcanzar el valor requerido por la empresa distribuidora, evitando las penalizaciones por incumplimiento al valor mínimo de factor de potencia.

El factor de potencia se compensa en la acometida de la planta porque es el punto de medición de las empresas eléctricas para verificar si existe un valor mínimo de FP (FACTOR DE POTENCIA).

Para la compensación del factor de potencia se debe reducir la potencia reactiva esto es posible colocando capacitores en paralelo con la carga.

Figura 28

Triángulo de potencias con compensación capacitiva



Nota. La figura indica el triángulo de potencias con compensación capacitiva.

Donde:

Q_L es la potencia aparente actual

Q_C suministro de reactivos del capacitor

ϕ_1 Angulo actual del factor de potencia

ϕ_2 Angulo de factor de potencia con compensación

Selección del capacitor

Datos del diseño

$$S_1 = 4.28 \text{ kVA}$$

$$fp_1 = 0.73 \text{ pu}$$

Para el cálculo del capacitor a emplearse se considera la siguiente ecuación:

$$fp = \frac{P}{S_1} = \cos[\phi] \quad (9)$$

$$P = fp_1 * S_1$$

$$P_1 = 0.73 * 4.28 = 3.1244 \text{ kW}$$

$$\phi_1 = \cos^{-1}(fp_1) \quad (10)$$

$$\phi_1 = \cos^{-1}(0.73) = 43.11$$

$$\tan[\phi_1] = \frac{Q_L}{P_1} \quad (11)$$

$$Q_L = 3.1244 \text{ kW} * \tan(43.11)$$

$$Q_L = 2.92 \text{ kVAr}$$

Se considera un factor de potencia deseado de $fp_{deseado} = 0.98$

$$\phi_2 = \cos^{-1}(fp_{deseado})$$

$$\phi_2 = \cos^{-1}(0.98) = 11.478^\circ$$

$$\tan[\phi_1] = \frac{Q_2}{P_1}$$

$$Q_2 = 3.1244 \text{ kW} * \tan(11.478)$$

$$Q_2 = 0.6344 \text{ kVAr}$$

$$Q_{CT} = 3 * [Q_1 - Q_2] = 7.3 \text{ kVAr}$$

El capacitor que se selecciona por cuestiones comerciales es de 7.5 kVAr.

En la Figura 29 y Tabla 31, muestran los valores y el comportamiento de las curvas del factor de potencia en la barra del sistema actual y la propuesta, el cual indica que existe una mejoría del factor de potencia, alcanzado un 96.66% como valor máximo, permitiendo a la empresa cumplir con la norma vigente y evitar penalizaciones por parte de la empresa eléctrica.

Tabla 32

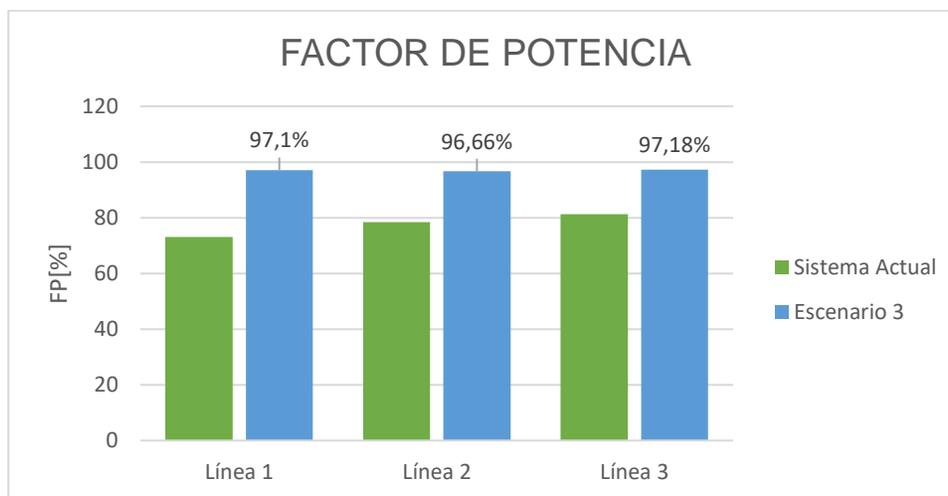
Valores de Factor de Potencia – Sistema Actual / Propuesta

Barra Acometida / Medidor	% Factor de Potencia [FP]	
	Sistema Actual	Propuesta
Línea 1	73.02	97.1
Línea 2	78.43	96.66
Línea 3	81.32	97.18

Nota. La tabla muestra el mejoramiento del factor de potencia en la barra de la acometida que es el punto de análisis, para lo cual se selecciona el capacitor de 411 μF con una potencia reactiva de 7.5kVAr existente en el mercado.

Figura 29

Nivel de Factor de Potencia entre el sistema actual y la propuesta

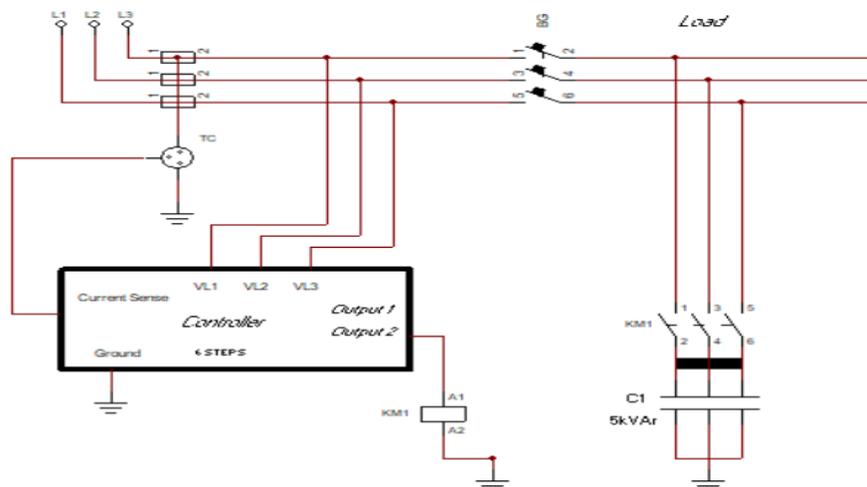


Nota. En la gráfica se muestra que el factor de potencia mejora considerablemente en comparación con la situación actual.

A continuación, se presenta la conexión de un banco de capacitores de alimentación trifásica de 7.5 kVAr, el mismo que cuenta con un transformador de corriente, mismo que censa la corriente del sistema, se incluye también un relay de factor de potencia, dos contactores como interruptores del capacitor y elementos de protección.

Figura 30

Conexión del banco de condensadores automáticos de 7.5 kVAr.

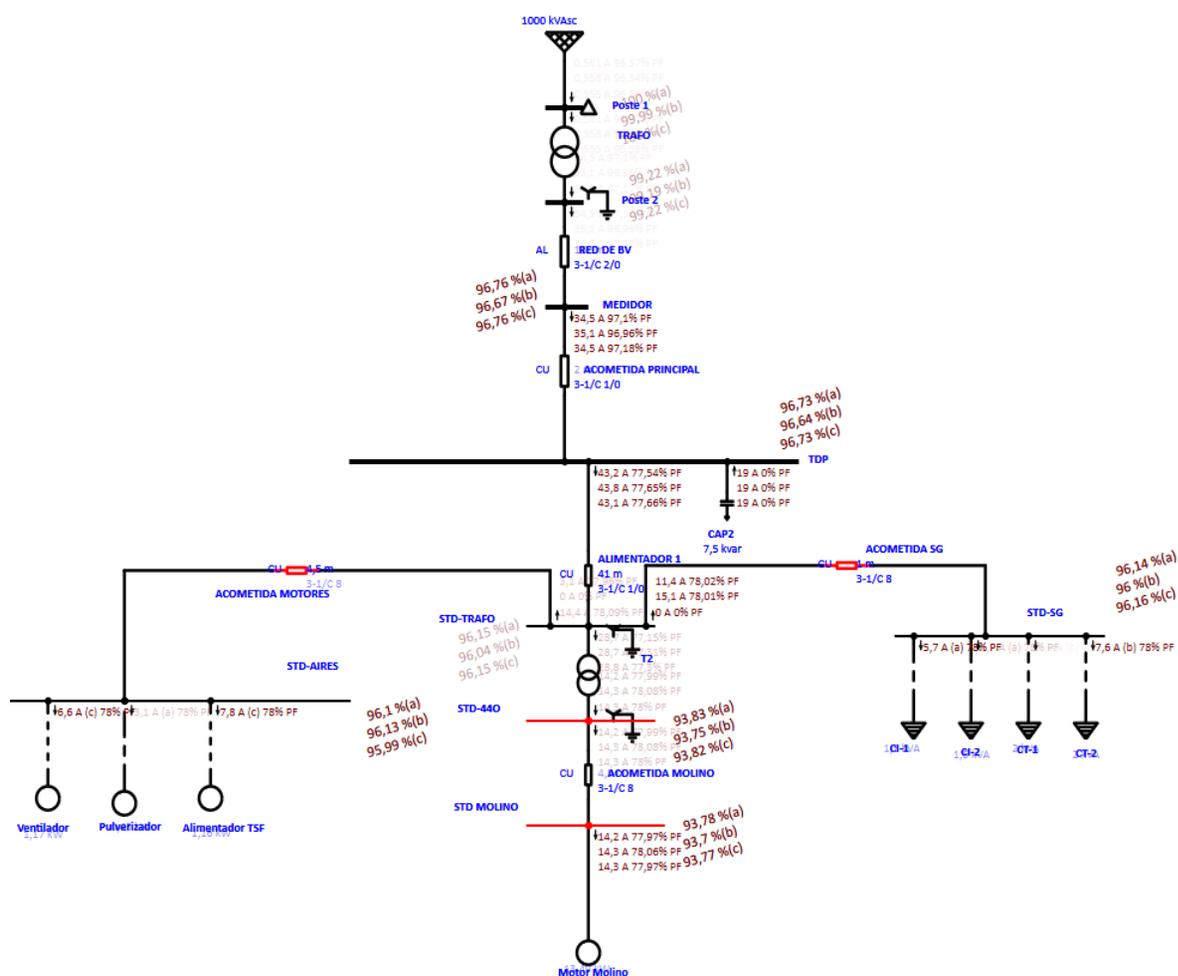


Nota. La gráfica muestra el modelado de conexión de los dos bancos de capacitores de 7.5kVAr.

De esta forma se simula el escenario tres y se aprecia el mejoramiento en el sistema eléctrico, de este modo se cumple con índices de calidad de energía eléctrica que rige la normativa ARCERNNR 002/20.

Figura 31

Simulación del diagrama unifilar - Propuesta



Nota. El flujo de carga desbalanceada muestra que los niveles de voltaje y el factor de potencia mejoraron considerablemente en comparación con la situación actual de la red eléctrica de la empresa.

Selección de la Propuesta

Se presenta un cuadro comparativo de los diferentes escenarios, dando a conocer las ventajas y desventajas que tiene cada una de las propuestas y se define la opción más favorable técnica considerando los objetivos de la presente investigación.

Tabla 33

Cuadro comparativo de las propuestas

Ítem	Ventajas	Desventajas	Cumplimiento normativo ARCERNNR 002/20
Escenario 1	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Permite elevar el voltaje de salida del transformador en Bajo Voltaje y así mejorar el nivel de voltaje que llega la empresa. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Con el cambio de TAP en el Transformador no se logró con totalidad mejorar el nivel de voltaje pues el nivel de voltaje que llega a la barra STD MOLINO no llega al voltaje nominal recomendado por la regulación. 	No cumple
“Cambio de Tap”	<ul style="list-style-type: none"> ✓ En cuanto al factor técnico/económico es reducido puesto que únicamente se requiere mover el TAP del TRAFO y no implica costos de instalaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ No cumple con índices de calidad de energía de la norma ARCERNNR 002/20, como el nivel de voltaje que es inferior a lo mínimo establecido, también el factor de potencia es inferior a lo normalizado (92%). 	

Ítem	Ventajas	Desventajas	Cumplimiento normativo ARCERNR 002/20
<p>Escenario 2</p> <p>“Cambio de nivel de voltaje del sistema eléctrico del molino”</p>	<p>✓ Retirar el transformador elevador logró disminuir la caída de voltaje de 88% al 93%.</p>	<p>✓ El factor técnico – económico es muy elevado al retirar el transformador, los tableros eléctricos y dimensionar los conductores para el nuevo motor de 220V.</p> <p>✓ Se requerirá dimensionar el banco de capacitores para cumplir con el factor de potencia normalizado.</p> <p>✓ En comparación con la situación actual, para el escenario 2 existe ahorro de energía aproximadamente de 1.84kWh/día, pero en costo de consumo eléctrico es sumamente mínimo el mismo que no es rentable para la recuperación de inversión económica.</p>	No cumple

Ítem	Ventajas	Desventajas	Cumplimiento normativo ARCERNR 002/20
<p>Escenario 3</p> <p>“Readecuación del sistema eléctrico”</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ El realizar un mejor balance de cargas se reduce los sobrecalentamientos y mejora la calidad de energía eléctrica y permite mejor rendimiento en los equipos de la planta. ✓ El cambio de conductores evitará exista sobrecargas en los mismos por mal dimensionamiento de estos, por tanto, se evidencia que modificar el calibre de los conductores disminuye las caídas de voltaje. ✓ Para el mejoramiento del factor de potencia se requiere del dimensionamiento de banco de capacitores automático de 7.5kVAr. ✓ Ayuda afrontar las anomalías térmicas que se evaluaron en el diagnóstico termográfico del sistema eléctrico, principalmente con el cambio de conductor en la acometida y alimentador1. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ El factor técnico - económico representa una gran inversión puesto que son algunos cambios de requiere la planta para mejorar su calidad de energía eléctrica y así contrarrestar anomalías como desbalance, caídas de voltaje y bajo factor de potencia. 	Si Cumple

Nota. Se presenta las ventajas, desventajas y su cumplimiento con la normativa de los diferentes escenarios

Se escoge el escenario 3 como propuesta más viable para un mejor rendimiento energético del sistema eléctrico de la “Planta Qaray Alimentos”.

Plan de mantenimiento

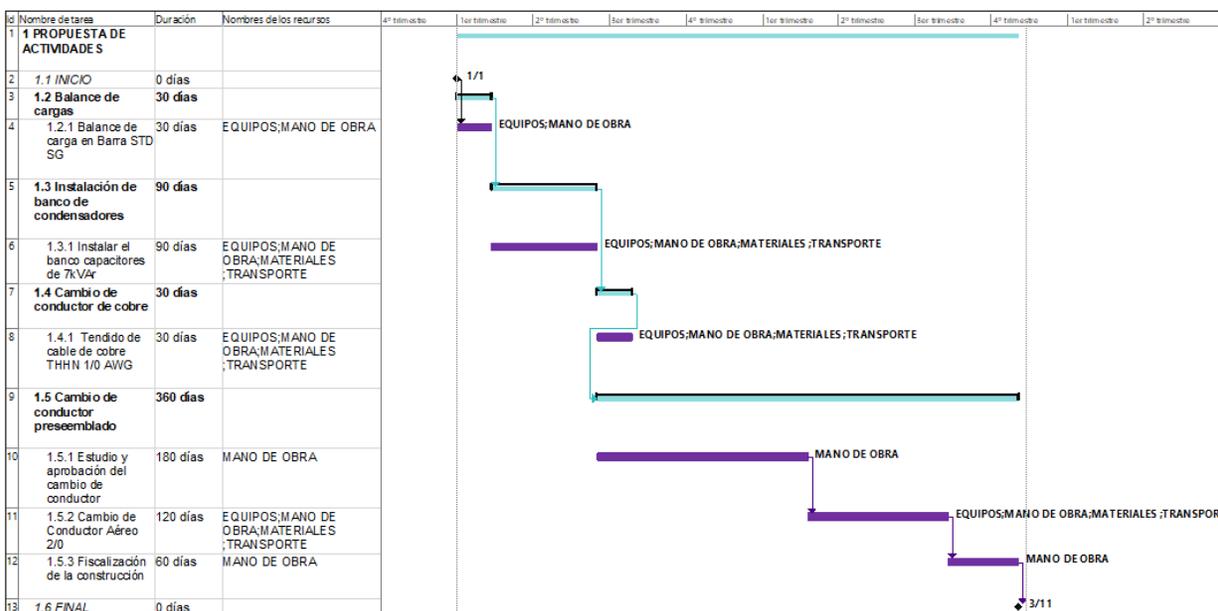
El propósito del presente apartado es exponer un cronograma de tareas de mantenimiento acorde a la propuesta elegida para las modificaciones o instalaciones dentro del sistema eléctrico de la planta.

Cronograma de Mantenimiento según análisis eléctrico

En base al diagnóstico de la calidad de energía eléctrica se elaboró un cronograma de actividades que darán solución a las diferentes anomalías que existen en el sistema eléctrico de la planta. Se elabora el cronograma ponderando la actividad que menos afecte en el proceso productivo en primera instancia y que menor costo represente, además se estableció periodos de duración para cada tarea en base al impacto que generará en la producción.

Figura 32

Cronograma de tareas



Nota. En la figura se enlista las tareas de la propuesta con sus fechas previstas de comienzo y final.

Plan de mantenimiento según análisis termográfico

En este apartado se presenta los planes de mantenimiento para los diferentes tableros de distribución de la planta “Qaray Alimentos” los mismos que están propuestos para las necesidades de la empresa según los resultados del análisis termográfico.

Tableros de distribución

Con el fin de conservar en buen estado funcional los contactores, interruptores, conductores, barrajes y todos los elementos en general que conforman un tablero, se realiza el programa de mantenimiento preventivo y correctivo, el cual consiste en una revisión física, limpieza, pruebas eléctricas, así como también el ajuste de conexiones. Para lo cual es necesario utilizar el equipo de seguridad, herramientas apropiadas y equipos de medición conveniente.

Tabla 34

Programación de mantenimiento de tableros eléctricos y de control

PLAN DE MANTENIMIENTO A TABLEROS ELÉCTRICOS Y DE CONTROL					
Ítem	Actividad	Intervalo	Duración (minutos)	Equipo de pruebas	Responsable
1	Ajustar conexiones del tablero	Semestral	30	Herramientas manuales	Operario / Electricista
2	Limpiar el tablero	Semestral	30	Herramientas manuales	Operario / Electricista
3	Medición de Voltajes	Semestral	60	Multímetro	Operario / Electricista
4	Pruebas de continuidad de cableado	Semestral	60	Multímetro	Operario / Electricista

Nota. En la tabla se observa el plan de mantenimiento sugerido para los tableros eléctricos y de control de la planta detallando intervalo de tiempo, herramientas y personal encargado para ejecutar las tareas establecidas.

Análisis económico para la implementación del escenario 3

Las propuestas que se plantea son con el objetivo de mitigar las anomalías mejorando los niveles de calidad de energía suministrada en los equipos y maquinarias para que estos trabajen de manera correcta y rindan al máximo.

Los costos de rendimiento para la mano de obra se determinan en base a los precios mínimos estipulados por la Contraloría General del Estado del Ecuador y para los costos indirectos / utilidades y otros costos indirectos se establece del 15 y 5 % respectivamente.

Presupuesto para el balance de cargas

El análisis económico para el balanceo de cargas propuesto se determina a través de la matriz APUS (Análisis de precios unitarios), en el cual la mano de obra y herramienta menor son los apartados a considerar para el costo total de rubro.

Tabla 35

Presupuesto para el balanceo de cargas

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	1				
DETALLE:	Balanceo de cargas				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta menor	5%MO				4,33
SUBTOTAL M					4,33
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Residente de obra	1	4,56	4,56	0,1000	45,60
Liniero	1	4,10	4,10	0,1000	41,00
SUBTOTAL N					86,60
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
SUBTOTAL O				0,00
TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
SUBTOTAL P				0,00
TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				90,93
INDIRECTOS Y UTILIDADES			15,00%	13,64
OTROS INDIRECTOS			5,00%	4,55
COSTO TOTAL				109,12
VALOR PROPUESTO DEL RUBRO 1				109,12

Nota. La tabla muestra el costo total del rubro de balanceo de cargas.

Presupuesto para el cambio de conductores

Se da a conocer los costos de los rubros que intervienen en la ejecución de cambio de conductores en los sectores estratégicos indicados en la propuesta, para lo cual se elabora un Análisis de Precios Unitarios (APUS).

En las Tabla 27 y 28 se presenta a detalle los materiales, personal y transporte que se deberá emplear para el cambio de conductor del ramal de Red de Bajo Voltaje, Acometida principal y Alimentador 1.

Tabla 36

Presupuesto de cable preensamblado 2/0

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	2				
DETALLE:	Tendido y regulado de cable preensamblado de 2/0				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta menor	5%MO				0,32
SUBTOTAL M					0,32
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Residente de obra	1	4,56	4,56	5,0000	0,91
Técnico en seguridad y salud en el trabajo	1	4,55	4,55	5,0000	0,91
Jefe de grupo	1	4,55	4,55	5,0000	0,91
Liniero	2	4,10	4,10	5,0000	1,64
Asistente técnico	1	4,05	4,05	5,0000	0,81

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Chofer	1	5,95	5,95	5,0000	1,19
SUBTOTAL N					6,37
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Cable preensamblado 3x2/0+1x1/0	m	1,00	5,60	5,60	
SUBTOTAL O					5,60
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Camioneta 1 Ton.	u	1	1,50	1,50	
SUBTOTAL P					1,50
TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					13,79
INDIRECTOS Y UTILIDADES				15,00%	2,07
OTROS INDIRECTOS				5,00%	0,69
VALOR PROPUESTO POR METRAJE				16,55	
COSTO TOTAL DEL RUBRO 2					\$2680,89

Nota. La tabla muestra el costo total del rubro 2 que corresponde a los 162 metros que ocupa el ramal de Bajo Voltaje del diagrama unifilar elaborado en la Figura 4.

Tabla 37

Presupuesto de cable de cobre THHN 1/0 AWG.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	3				
DETALLE:	Tendido de cable de cobre THHN 1/0 AWG.				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta menor	5%MO				0,13
SUBTOTAL M					0,13
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Jefe de grupo	1	4,55	4,55	5,0000	0,91
Liniero	2	4,10	4,10	5,0000	1,64
SUBTOTAL N					2,55
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Cables de cobre THHN 1/0 AWG	m	1,00	7,60	7,60	
SUBTOTAL O					7,60
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
Camioneta 1 Ton.	u	1	1,50	1,50
SUBTOTAL P				1,50
TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				11,78
INDIRECTOS Y UTILIDADES			15,00%	1,77
OTROS INDIRECTOS			5,00%	0,59
VALOR PROPUESTO POR METRAJE				14,13
COSTO TOTAL DEL RUBRO 3				607,72

Nota. La tabla muestra el costo total del rubro 3 que corresponde a los 43 metros que ocupan los ramales de la acometida principal y alimentador 1 del diagrama unifilar elaborado en la Figura 4.

Presupuesto para el banco de capacitores

La empresa Qaray Alimentos por motivo de presentar un bajo factor de potencia se propone implementar un banco de un condensador automático de potencia reactiva de 7.5kVAr a 220V, con el propósito de mejorar el índice de factor de potencia y evitar penalizaciones.

La Tabla 29 muestra el análisis de precios unitarios para la instalación de banco de condensadores, para lo cual se determina los equipos, los cuales representan el 5% de la mano de obra así también se incluyen los materiales y el transporte correspondiente.

La estimación de duración de un banco de condensadores es de 5 años.

Tabla 38

Presupuesto para el banco de capacitores de 7.5kVAr

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	4				
DETALLE:	Instalación de banco de capacitores automático				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta menor	5%MO				6,61
SUBTOTAL M					6,61
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Residente de obra	1	4,56	4,56	0,1000	45,60
Jefe de grupo	1	4,55	4,55	0,1000	45,50

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Liniero	1	4,10	4,10	0,1000	41,00
SUBTOTAL N					132,10
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Capacitor Trifásico de 7.5kVAr	u	1,00	65,00	65,00	
Controlador de factor de potencia	u	1,00	230,00	230,00	
Gabinete metálico	u	1,00	70,00	70,00	
Transformadores de corriente	u	1,00	30,00	30,00	
Accesorios de conexión y sujeción	kit	1,00	50,00	50,00	
Elementos de protección (breakers)	kit	1,00	100,00	100,00	
Elementos de control electromecánica (contactor)	kit	1,00	90,00	90,00	
SUBTOTAL O					635,00
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Camioneta 1 Ton.	u	1	75,00	75,00	
SUBTOTAL P					75,00
TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				848,71	
INDIRECTOS Y UTILIDADES			15,00%	127,31	
OTROS INDIRECTOS			5,00%	42,44	
COSTO TOTAL DEL RUBRO				1018,45	
VALOR PROPUESTO				1018,45	

Nota. La tabla indica el APUS para la instalación de banco de condensadores.

Presupuesto de mantenimiento de tableros eléctricos y de control

Realizada el diagnostico de termografía se elaboró el plan de mantenimiento a los tableros de distribución y control con el propósito de reducir puntos calientes y sobrecargas en los equipos mencionados. En la Tabla 30 se muestra el análisis de precios unitarios para el mantenimiento en el cual se determina equipos, mano de obra y materiales para llevar a cabo esta actividad.

Tabla 39

Presupuesto para plan de mantenimiento

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	5				
DETALLE:	Plan de mantenimiento para tableros eléctricos y control				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Herramienta menor	5%MO				4,33
SUBTOTAL M					4,33
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Residente de obra	1	4,56	4,56	0,1000	45,60
Jefe de grupo	1	4,55	4,55	0,1000	45,50
Electricista	2	4,10	4,10	0,1000	82,00
SUBTOTAL N					173,10
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Limpia contactos	u	3,00	7,00	21,00	
SUBTOTAL O					0,00
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
SUBTOTAL P					0,00
TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					202,76
INDIRECTOS Y UTILIDADES				15,00%	30,41
OTROS INDIRECTOS				5,00%	10,14
COSTO TOTAL					243,31
VALOR PROPUESTO DEL RUBRO 5					243,31

Nota. La tabla muestra el presupuesto para el mantenimiento de tableros eléctricos.

Análisis de Costos

El uso eficiente de la energía eléctrica consiste en emplear de mejor manera los diversos equipos eléctricos, por lo que la gestión eléctrica está sean recomendaciones, cambios o implementaciones en las instalaciones de la empresa “Qaray Alimentos”, están orientados a que con varias inversiones y pronta ejecución se consiga mejorar la calidad del servicio eléctrico.

Así pues, se elabora la Tabla 40 que presenta los costos totales de los rubros según la opción más económica y cuál es la actividad que se debería desarrollar primero sin afectar el proceso productivo de la empresa.

Tabla 40*Costo de inversión de las propuestas*

Actividad	Costo Total
Balance de cargas	109,12
Plan de mantenimiento	243,31
Instalación de banco de capacitores automático	1 018,45
Tendido de cable de cobre THHN 1/0 AWG.	607,72
Tendido y regulado de cable preensamblado de 2/0	2 680,89
<i>Costo Total Inversión</i>	<i>4 845.46</i>

Nota. La Tabla muestra el costo total de inversión de las actividades propuestas para mejorar la calidad de energía en la empresa.

Capítulo VI

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Se realizó el estudio de los parámetros eléctricos como nivel de voltaje, desbalance de voltaje y factor de potencia en base a la normativa ARCERNNR 002/20, fue posible determinar la calidad de energía eléctrica que se suministra en la planta y conforme con los criterios técnicos que establece la normativa permitió comparar con el sistema eléctrico actual de la empresa.
- De acuerdo con el diagnóstico realizado en las instalaciones eléctricas de la empresa se estableció que los niveles de voltaje máximo con un valor de 132.56 V en la línea 2, 130.91 V en la línea 1 y 133.98 V en la línea 3 cumplen con el rango límite establecido del $\pm 8\%$ del Voltaje nominal, además el nivel de desequilibrio de voltaje representa un valor del 1.98% en un día de producción (8:00 am a 18:00 pm) y está en cumplimiento con la normativa.
- En base a los datos entregados por el analizador de energía METREL 2383, los armónicos de corriente TDD están dentro de los rangos según la normativa ARCERNNR 002/20 o la IEEE Std-519-2014, demostrando que la relación de I_{cc}/I_L es < 20 , considera que el porcentaje al 11vo armónico es del 4%, además no se evidencia potencia de distorsión por ser cargas lineales.
- Se comprobó que el escenario 1 o cambio de TAP no indica mayor ventaja puesto que aún existe visibles caídas de voltaje en el punto de acoplamiento común, en la línea 1 presenta un valor del 97%, en la línea 2 un 88% y línea 3 un valor de 90% lo que representa valores inferiores a lo estipulado por la normativa, del mismo modo el calentamiento en los conductores no se reduce en su totalidad, siendo este escenario poco confiable para la mejoría del sistema eléctrico de la planta, en cuanto al segundo

escenario o retiro del transformador elevador, demuestra que la caída de voltaje aumentando al 93% según la propuesta pero la inversión técnico-económico no es viable porque necesitará mucho tiempo de recuperación (mayor a 3 años), y se concluye que esta propuesta no es factible implementarse.

- Una vez realizado el análisis de calidad de energía vs la termografía se propone el escenario 3, el cual primero se plantea el cambio del conductor de la red eléctrica de Bajo Voltaje (3x4AWG +4AWG) que alimenta a la planta, para lo cual se modela y simula con un conductor preensamblado de 2/0 AWG, también el cambio en los conductores de la acometida principal el alimentador 1 los cuales se modelan con conductores de 1/0 AWG, del mismo modo se redistribuye las cargas de la acometida de servicios generales CI-1, CI-2, CT-1 y CT-2 a las líneas 1 y 2 para disminuir sobrecargas en los conductores, además el sistema eléctrico actual muestra un factor de potencia del 78% para lo cual se diseña y modela un banco de condensadores automático de 7.5 kVAr demostrando que el factor del potencia incrementa a un valor del 96.9% que están dentro del rango permitido por normativa, de tal forma que estas propuestas que están en el escenario 3 son las más viables para el mejoramiento de la calidad de energía eléctrica de la planta “Qaray Alimentos”.
- Como resultado del análisis termográfico se visualizó sobrecalentamiento de conductores que como el Alimentador 1 y la Acometida con conductores que tienen un calibre de 3x4AWG + 4AWG para lo cual se propone (escenario 3) el dimensionamiento de un calibre más robusto con un valor de 3x1/0 AWG +1/0 AWG en ambos tramos y así reducir estas sobrecargas evitando daños en los equipos de producción, asimismo en el caso de los terminales del breaker de protección principal del transformador elevador que muestra deficiencia mayor con una temperatura del 107°C bornes de conexión de la línea 2 y se plantea el ajuste de mecánico de los mismos y el incremento de calibre del conductor.

- Se propone un plan de mantenimiento preventivo y correctivo en el sistema eléctrico en base a los resultados del analizador de calidad de energía, análisis termográfico y la propuesta seleccionada (escenario 3) con el fin de aumentar la vida útil de las maquinarias o equipos y de tal forma reducir las fallas térmicas presentadas en los tableros de distribución y/o control.
- Del estudio elaborado se puede señalar que, el método de análisis termográfico demostró ser una herramienta eficaz en el monitoreo de la condición y el diagnóstico de los elementos que conforman la red de bajo voltaje que se aplicó a la empresa de molienda “Qaray Alimentos”, dicho método no es invasivo y registra la temperatura en tiempo real de los equipos, cuyas mediciones al ser contrastadas con la norma internacional ASTM 1934 se determina que los niveles de criticidad térmica se encuentran en un rango de discrepancia importante y se precisa reparación inmediata.

Recomendaciones

- Debido a la aplicación de normativas de calidad de energía eléctrica como el ARCERNNR 002/20 para los niveles de voltaje, desbalance de voltaje, factor de potencia y demás parámetros es preciso que los usuarios industriales elaboren este tipo de estudios en sus plantas de producción con el propósito de evitar penalizaciones y del mismo modo alargar la vida útil de sus equipos.
- La planta industrial en su tablero de distribución principal cuenta con un breaker fijo, pero se recomienda la instalación de un breaker regulable para el incremento de futuras cargas al sistema y así evitar mayores sobrecargas.
- Es posible reducir el consumo de energía con el reemplazo de conductores en los puntos ya establecidos y mantenimiento de los equipos, del mismo modo lo recomendable en este caso se sugiere a la empresa tener cargas trifásicas para que la cargabilidad sea mayormente simétrica.
- Se recomienda un estándar de funcionamiento o planificación de arranque de las cargas de mayor magnitud con el fin de evitar picos de voltaje y de esta manera inhibirse de altas penalizaciones por el factor de potencia tan bajo, así como también aprovechar los horarios de consumo en los cuales el costo del KWh es inferior y reducir costos en la facturación.
- Se aconseja la instalación de arrancadores suaves para los motores con el propósito de disminuir los altos valores de armónicos de corrientes, las sobrecargas en los conductores, los picos de voltaje y así optimizar en el arranque y paro de los motores.

Bibliografía

- Aguiar, M. (2016). *Saber Metodología*. Obtenido de <https://sabermetodologia.wordpress.com/2016/02/15/tecnicas-e-instrumentos-de-recoleccion-de-datos/>
- ANSI/NETA . (2017). Thermographic Survey Suggested Actions Based Temperature Rise.O/A: Over Ambient: (Sobre Temperatura ambiente); O/S: Over Similar: (Sobre Temperatura de un cuerpo similar en condiciones normales). Obtenido de <https://es.scribd.com/document/490608587/TABLASANSI-NETA-ATS-2017-E-en-es>
- ARCERNNR-002/20. (2020). *Calidad de servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica*. Quito: Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables.
- ASTM INTERNATIONAL. (2010). *Standard guide for examining Electrical and Mechanical Equipment with infrared Thermography*. Obtenido de <https://impic.es/wp-content/uploads/2017/03/ASTM-E1934-99a2010.pdf>
- Balcázar, I. (2016). *Aplicación de la termografía infrarroja en tableros eléctricos de distribución para mejorar la seguridad y calidad de la energía eléctrica*. Obtenido de <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/2651>
- Barrientos, A. (1997). *Fundamentos de Robótica*. Madrid: McGraw-Hill.
- Caluña , E., & López, D. (2019). *Aplicación de técnicas predictivas en aisladores inspección visual, efecto corona y termografía en líneas de subtransmisión de la zona costera del país para establecer un plan de mantenimiento y evaluación técnica - económica. [Tesis de pregrado, ESPEL]*. Repositorio Institucional, Latacunga.
- Chica, W. (2021). *Análisis de producción de consumo energético de una empresa siderúrgica de Guayaquil durante el año 2019*. Guayaquil: Universidad Politecnica Salesiana.
- Consulting, F. &. (24 de 04 de 2009). *Artes Blancas*. Obtenido de <https://www.artesblancas.com/proceso-productivo-de-la-harina/>

- De Velasco, L. (2004). El problema de los armónicos en las redes industriales y del sector terciario, DYNA Ingeniería e Industria. *Scielo Colombia*, 1- 4. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000081&pid=S0012-7353201200030000800004&lng=en
- Elspec LTD. (2017). *Acerca de nosotros: Elspec LTD*. Obtenido de <https://www.elspec-ltd.com/que-son-las-caidas-de-tension-dips-y-swells/?lang=es>
- Equipo de EVTECH. (11 de Julio de 2019). *EVTECH*. Obtenido de <https://evtech.cl/termografia-en-aplicaciones-mecanicas/>
- Fluke. (2020). *Acerca de nosotros: Fluke*. Obtenido de <https://www.fluke.com/es-ec/informacion/blog/motores-sistemas-de-impulsion-bombas-compresores/desequilibrio-de-tension>
- Gancino, G. (2018). *Análisis de escenarios de la gestión energética del sector industrial del Ecuador*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Hernandez, K. (2021). *Diagnóstico y evaluación de las instalaciones eléctricas en la empresa de servicios en tecnología y telecomunicaciones Woden Ecuador S.A. on criterios de eficiencia energética. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Nacional]*. Repositorio Institucional, Quito.
- Hossain, E., Rida, M., Padmanaban, S., Ay, S., & Imtiaj, K. (2018). Analysis and Mitigation of Power Quality Issues in Distribuid Generation System Using Custom Power Devices. *IEEE Access*, 4.
- IECOR. (2018). *Calidad de energía eléctrica*. Obtenido de <https://www.iecor.com/calidad-de-energia-electrica/>
- IEEE. (2014). IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems. *IEEE 519-2014*, 1-112. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/210894>

- IEEE Std 519. (2014). *Practica recomendada IEEE y requisitos para el control armonico en sistemas de energia electrica*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/399050108/IEEE-Std-519-2014-espanol-pdf>
- Kapter. (4 de Enero de 2021). *Acerca de nosotros: Kapter*. Obtenido de <https://www.kapter.mx/2021/01/04/tipos-y-clasificacion-de-camaras-termograficas/>
- LINE-X. (2020). *Acerca de nosotros: LINE-X*. Obtenido de <https://www.linex.mx/mantenimiento-industrial-es-importante/>
- Mancuzo, M. (21 de Octubre de 2022). *Compara Software*. Obtenido de <https://blog.comparasoftware.com/termografia/>
- Metrel. (2019). *Kit estandar MI 2883*. Obtenido de <https://www.metrel.es/es/shop/sets/mi-2883-st.html>
- Molina, A., & Mieles, L. (2019). *“Análisis de calidad de energía en el sistema eléctrico, de la empresa Provefrut en el cantón Latacunga de ELEPCO S.A, para disminución de pérdidas de energía*. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/5585/1/PI-001113.pdf>
- Morales, J. (2018). *Metodología para el análisis de fallas en los motores eléctricos por medio del estudio termográfico. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]*. Repositorio Institucional, Guayaquil.
- NEC. (1996). *Código Eléctrico Nacional*. Obtenido de https://www.academia.edu/33438654/NEC_1996_Espa%C3%B1ol
- Oak Ridge National, L. (2011). *EVALUATION OF THE 2010 TOYOTA PRIUS*. Washington D.C: Ut Battelle.
- Oña Moreno, C. (2022). *Análisis de la calidad de energía eléctrica aplicando la regulación ARCONEL 005-18 en la subestación de la CNEL EP unidad de negocios Santo Domingo*.

Oyarzún, G. (21 de Octubre de 2022). Obtenido de Compara Software:

<https://blog.comparasoftware.com/analizador-redes/>

Penrose, H. (20 de Diciembre de 2019). *The Ram Review*. Obtenido de

<https://theramreview.com/the-impact-of-voltage-unbalance-on-induction-electric-motors/>

Pila Pila, H., & Zambrano, M. (s.f.). *Estudio del Flicker en una instalación eléctrica*. [Tesis de pregrado, Univeridad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional, Guayaquil.

Riello ups. (2018). *Acerca de nosotros: Riello ups*. Obtenido de <https://www.riello->

[ups.com/questions/48-what-s-the-difference-between-a-voltage-sag-and-a-surge](https://www.riello-ups.com/questions/48-what-s-the-difference-between-a-voltage-sag-and-a-surge)

Riera Tapia, L. (2022). *Propuesta Técnica para el mejoramiento el sistema eléctrico de la planta procesadora de productos lacteos ALPINA S.A. del Cantón Montufar* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Institucional, IBARRA. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11945>

Risoul. (27 de Diciembre de 2018). *Acerca de nosotros: Risoul*. Obtenido de

<https://www.risoul.com.mx/blog/3-metodos-para-realizar-inspecciones-termograficas-con-fluke#:~:text=conforme%20vayan%20surgiendo.-,Termograf%C3%ADa%20comparativa,del%20estado%20de%20los%20equipos.>

Risoul. (Febrero de 2021). *Blog de Risoul*. Obtenido de <https://www.risoul.com.mx/blog/que-es-el-factor-de-potencia-y-en-que-me-beneficia>

Rodriguez , J. (2017). *Calidad de suministro eléctrico. Penetración de armónicos, mitigación de sus efectos en las plantas industriales*. Repositorio Instirucional, Madrid. Obtenido de <https://e->

[archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/18041/PFC_Joana_Rodriguez_Luque.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/18041/PFC_Joana_Rodriguez_Luque.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Silva, A., Salazar, M., Ponce, J., & Herrera, G. (2017). Procedimiento para la inspeccion de tableros eléctricos con termografía infrarroja. 4.

- Soria, M. (31 de Marzo de 2021). *La economía ecuatoriana creció 4.2% en 2021, superando las previsiones de crecimiento más reciente*. Obtenido de [https://www.bce.fin.ec/boletines-de-prensa-archivo/la-economia-ecuatoriana-crecio-4-2-en-2021-superando-las-previsiones-de-crecimiento-mas-recientes#:~:text=Durante%20el%20cuarto%20trimestre%20de,comercio%20\(10%2C2%25\)](https://www.bce.fin.ec/boletines-de-prensa-archivo/la-economia-ecuatoriana-crecio-4-2-en-2021-superando-las-previsiones-de-crecimiento-mas-recientes#:~:text=Durante%20el%20cuarto%20trimestre%20de,comercio%20(10%2C2%25)).
- TWI. (2021). *Acerca de nosotros: TWI*. Obtenido de <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-preventive-maintenance>
- UNE-EN 5160. (2011). *Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/465115796/Perturbaciones-de-Tension-Norma-EN-50160-Caracteristicas-de-la-tension-suministrada-por-las-redes-generales-de-distribucion-pdf>
- UNE-EN 61000-4-30. (2015). *Compatibilidad electromagnética CEM*. Obtenido de https://www.en.aenor.com/_layouts/15/r.aspx?c=N0055654
- Yépez, B. (2016). *Análisis termográfico de la subestación San Lorenzo y su alimentador primario principal para elaborar un plan de mantenimiento predictivo*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Institucional, Ibarra.

Anexos