

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN LA EMPRESA DE SERVICIOS EN TECNOLOGÍA Y TELECOMUNICACIONES WODEN ECUADOR S.A. CON CRITERIOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

HERNÁNDEZ PANTOJA KATHERINE DANIELA

katherine.hernandez@epn.edu.ec

DIRECTOR: M.Sc. PATRICIA ELIZABETH OTERO VALLADARES

patricia.otero@epn.edu.ec

CODIRECTOR: Ph.D. HUGO NEPTALÍ ARCOS MARTÍNEZ

hugo.arcos@epn.edu.ec

Quito, mayo 2021

AVAL

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Katherine Daniela Hernández Pantoja, bajo nuestra supervisión.

M.sc. Patricia Elizabeth Otero Valladares
DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ph.D. Hugo Neptalí Arcos Martínez
CODIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Katherine Daniela Hernández Pantoja, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración dejo constancia de que la Escuela Politécnica Nacional podrá hacer uso del presente trabajo según los términos estipulados en la Ley, Reglamentos y Normas vigentes.

Katherine Daniela Hernández Pantoja

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres José Hernández y Vilma Pantoja quienes confiaron en mi capacidad, con su sacrificio y esfuerzo me brindaron la oportunidad y los recursos necesarios para obtener una profesión para mi futuro.

A Dios por haberme bendecido con la vida y salud para seguir realizando mis metas.

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la empresa WODEN Ecuador S.A. por permitir el desarrollo de este trabajo, por la ayuda brindada a lo largo de estos meses.

Agradezco a todos los profesores de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional, que supieron inculcarme conocimiento y amor por la carrera a lo largo de estos años de vida estudiantil, para obtener una profesión y ser una persona de provecho para la sociedad, especial mención a la M.sc. Patricia Otero por ser la guía y directora de este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AVAL	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN	XVI
ABSTRACT	XVII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS.....	2
1.1.1. Objetivo general.....	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
1.2. ALCANCE	2
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	4
2.1.1. Acometida.....	4
2.1.2. Equipo de medición	4
2.1.3. Interruptores	4
2.1.4. Transformador	5
2.1.5. Tablero principal	5
2.1.6. Tablero de distribución o derivados	5
2.1.7. Alimentador principal	5
2.1.8. Alimentadores secundarios.....	5
2.1.9. Interconexión	5
2.2. SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....	6
2.2.1. Magnitudes fotométricas.....	6

2.3. ALUMBRADO EN INTERIORES.....	8
2.3.1. Altura de suspensión de la luminaria	9
2.3.2. Iluminación directa	10
2.3.3. Iluminación semidirecta	10
2.3.4. Iluminación difusa	10
2.3.5. Iluminación semi indirecta.....	10
2.3.6. Iluminación indirecta	11
2.3.7. Cálculo del índice del local	11
2.3.8. Método de cuadrícula para medición de iluminación	11
2.3.9. Luxómetro MAVOLUX 5032B USB.....	13
2.3.10. Comprobación de resultados	14
2.3.11. Importancia de la calidad de un sistema de iluminación	14
2.3.12. Niveles de iluminación estándar	14
2.4. TIPOS DE LÁMPARAS USADAS EN LA INDUSTRIA.....	15
2.4.1. Lámpara de alta intensidad de descarga (HID)	15
2.4.2. Lámpara fluorescente industrial.....	16
2.4.3. Lámparas led industriales	16
2.5. TERMOGRAFÍA.....	17
2.5.1. Calor	18
2.5.2. Temperatura	18
2.5.3. Tipos de termografía.....	18
2.6. CÁMARAS TERMOGRÁFICAS	20
2.6.1. Campo de visión	21
2.6.2. Funcionamiento de Cámara termográfica Ti32.....	21
2.6.3. Pasos para obtener una medición térmica.....	22
2.7. CONSIDERACIONES PARA UNA MEDICIÓN TÉRMICA.....	23
2.7.1. Termograma	23

2.7.2. Encuadre de la imagen	23
2.7.3. Consideraciones sobre la medición de temperatura	24
2.7.4. Humedad relativa	24
2.7.5. Enfoque	24
2.8. CONDUCTORES ELÉCTRICOS	24
2.8.1. Tipos de conductores de acuerdo con su instalación y número de hebras.....	25
2.8.2. Clasificación de conductores según sus condiciones de empleo	26
2.9. CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA	27
2.9.1. Nivel de voltaje.....	27
2.9.2. Perturbación-Flicker	28
2.9.3. Armónicos	29
2.9.4. Factor de potencia	30
2.10. MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS	31
2.11. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INDUSTRIAS	32
2.12. SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA	32
2.12.1. Norma ISO 5001	32
2.12.2. Objetivo de la norma ISO 50001	33
2.13. SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA	33
2.13.1. Instrumento de medición Fluke 1630-2 FC	34
2.14. PROTECCIONES ELÉCTRICAS DE INSTALACIONES DE BAJO VOLTAJE	35
2.14.1. Interruptor magnetotérmico.....	36
2.14.2. Dimensionamiento por cortocircuito.....	36
2.14.3. Dimensionamiento por sobre corriente	38
3. DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LAS INSTACIONES ELÉCTRICAS DE LA EMPRESA WODEN ECUADOR S.A	40

3.1. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR	40
3.2. UBICACIÓN	40
3.3. LEVANTAMIENTO DE CARGA DE LA EMPRESA WODEN S.A	41
3.4. CLASIFICACIÓN DE CARGA INSTALADA	42
3.5. CARGA INSTALADA POR GRUPOS	42
3.6. SITUACIÓN ACTUAL	43
3.6.1. Transformador	43
3.6.2. Medidor	44
3.6.3. Tablero de control principal.....	45
3.6.4. Tableros secundarios.....	47
3.6.5. Compresor	52
3.6.6. Circuitos de iluminación	54
3.6.7. Análisis del sistema de distribución interno	64
3.6.8. Sistema de puesta a tierra	72
3.6.9. Resumen de problemas encontrados	73
3.7. NIVELES DE ILUMINACIÓN.....	74
3.8. COMPROBACIÓN TERMOGRÁFICA	76
3.9. PARÁMETROS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA	82
3.9.1. Niveles de voltaje.....	83
3.9.2. Flicker	84
3.9.3. Armónicos.....	85
3.9.4. Factor de potencia	86
3.9.5. Corrientes	87
3.10. VALORACIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO	89
3.10.1. Facturación eléctrica.....	89
3.10.2. Registro histórico de facturación.....	90
3.10.3. Balance de energía.....	91

3.10.4. Incidencia de consumo eléctrico	92
3.11. MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA APLICABLES EN LA EMPRESA WODEN S.A	94
3.11.1. Sistema de iluminación	94
3.11.2. Motor eléctrico	96
3.11.3. Compresores	96
3.11.4. Equipos de computación.....	97
4. PROPUESTA DE MODERNIZACIÓN Y EFICIENCIA ENERGÉTICA	99
4.1. TRANSFORMADOR	99
4.2. CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA.....	99
4.3. SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....	103
4.4. MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN MOTORES	106
4.5. MANTENIMIENTO	106
4.6. ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO	108
4.6.1. Inversión requerida	108
4.6.2. Valor actual neto.....	109
4.6.3. Tasa interna de retorno TIR.....	109
4.6.4. Cálculo del TIR y VAN para medidas de eficiencia energética	110
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	111
5.1. SISTEMA DE ILUMINACIÓN	112
5.2. TRANSFORMADOR	113
5.3. MOTORES.....	113
5.4. PLAN DE MANTENIMIENTO.....	113
5.5. PRIORIDAD DE LAS MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	114
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	115
6.1. CONCLUSIONES	115
6.2. RECOMENDACIONES	117

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118
8. ANEXOS	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Cálculo de altura de luminaria, según tipo de local [17]	10
Tabla 2.2 Cálculo del índice local (k) [17]	11
Tabla 2.3 Niveles de iluminación recomendado para oficinas [6]	14
Tabla 2.4 Niveles de iluminación recomendado para plantas de proceso [6]	15
Tabla 2.5 Tipos de conductores según su uso y número de hebras [31]	26
Tabla 2.6 Variación de voltaje admitidos según CONELEC [33].....	28
Tabla 2.7 Porcentaje de tolerancia para armónicos según CONELEC [33].....	30
Tabla 2.8 Límites de resistencia de puesta a tierra [38].....	34
Tabla 2.9 Corrientes nominales normalizadas para interruptores termomagnéticos	39
Tabla 3.1 Carga instalada por área.....	41
Tabla 3.2 Potencia instalado por grupo	42
Tabla 3.3 Potencia instalada por lugares	43
Tabla 3.4 Características del transformador	44
Tabla 3.5 Características del compresor ABAC Genesis.....	52
Tabla 3.6 Carga eléctrica de tablero #1	65
Tabla 3.7 Límites de caída de voltaje [44].....	69
Tabla 3.8 Medición de resistencia de puesta a tierra.....	72
Tabla 3.9 Resumen de problemas encontrados	73
Tabla 3.10 Niveles de iluminación empresa WODEN S.A	75
Tabla 3.11 Resultados de análisis termográficos.....	76
Tabla 3.12 Criterios para termografía	77
Tabla 3.13 Resultados térmicos, primer interruptor térmico con problemas	78
Tabla 3.14 Diagnóstico de primer interruptor térmico con problemas.....	79
Tabla 3.15 Resultados térmicos, segundo interruptor térmico con problemas	80
Tabla 3.16 Diagnóstico de segundo interruptor térmico con problemas	80
Tabla 3.17 Resultados térmicos, tercer interruptor térmico con problemas	81
Tabla 3.18 Diagnóstico de tercer interruptor térmico con problemas.....	81
Tabla 3.19 Medición de niveles de voltaje	83
Tabla 3.20 Límites de voltaje aplicando la normativa ARCONEL 053/18	83
Tabla 3.21 Mediciones de flicker.....	84
Tabla 3.22 Distorsión armónica de voltaje	85

Tabla 3.23 Mediciones de factor de potencia.....	86
Tabla 3.24 Medición de corrientes	88
Tabla 3.25 Tarifas de bajo voltaje con demanda horaria	89
Tabla 3.26 Registro histórico de facturación 2019-2020 empresa WODEN S.A..	90
Tabla 3.27 Cálculo de energía mensual de la empresa WODEN S.A	92
Tabla 3.28 Potencia instalada en el área exterior	93
Tabla 3.29 Carga instalada sistema de iluminación.....	95
Tabla 4.1 Demanda de diseño calculado	99
Tabla 4.2 Niveles de iluminación fuera de normativa.....	103
Tabla 4.3 Potencia instalada de sistema de iluminación.....	104
Tabla 4.4 Energía mensual del sistema de iluminación	105
Tabla 4.5 Áreas consideradas para mantenimiento.....	107
Tabla 4.6 Inversión requerida para implementar medidas de eficiencia energética	108
Tabla 4.7 Flujo neto de efectivo	110
Tabla 4.8 Flujo neto de efectivo	110
Tabla 4.9 Flujo neto acumulado.....	110
Tabla 4.10 VAN y TIR	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Altura de suspensión de luminaria [16].....	9
Figura 2.2. Geometría de local a iluminar [17].....	11
Figura 2.3. Luxómetro MAVOLUX 5032B.....	13
Figura 2.4. Lámpara HID [20]	15
Figura 2.5. Lámparas fluorescentes en ambiente industrial [22]	16
Figura 2.6. Lámparas LED en ambiente industrial [22].....	17
Figura 2.7. Termografía de referencia [27]	19
Figura 2.8. Termografía de tendencias térmicas [27]	20
Figura 2.9. Ilustración de FOV e IFOV [28].	21
Figura 2.10. Funcionamiento de cámara termográfica [28]	22
Figura 2.11. Cámara termográfica TI32 marca Fluke [29]	22
Figura 2.12. Partes de un conductor eléctrico [31]	24
Figura 2.13. Ramas de la calidad de la energía eléctrica según CONELEC [33]	27
Figura 2.14. Ciclo planificar-hacer-verificar-actuar (PHVA) de norma ISO 50001	33
Figura 2.15. Fluke 1630-2 FC.....	35
Figura 2.16. Interruptores magnetotérmicos [41].....	36
Figura 2.17. Curva característica de un magnetotérmico [41]	37
Figura 2.18. Tipos de curva de disparo del interruptor magnetotérmico [41].....	38
Figura 3.1. Ubicación de la empresa WODEN S.A.....	40
Figura 3.2. Clasificación de cargas.....	42
Figura 3.3. Potencia instalada por grupos	43
Figura 3.4. Transformador de distribución de la empresa WODEN S.A.....	44
Figura 3.5. Medidor de energía	45
Figura 3.6. Tablero de control principal	46
Figura 3.7. Contactos flojos de interruptor en tablero principal.....	47
Figura 3.8. Hallazgos en tablero principal	47
Figura 3.9. Hallazgos en tablero secundario # 1	48
Figura 3.10. Hallazgos en tablero secundario # 2	49
Figura 3.11. Hallazgos en tablero secundario # 3	50
Figura 3.12. Hallazgos en tablero secundario # 4	51
Figura 3.13. Hallazgos en tablero secundario # 5	52

Figura 3.14. Compresor ABAC Genesis.....	53
Figura 3.15. Iluminación área de accesorios y cosmética parte 1	54
Figura 3.16. Iluminación área de accesorios y cosmética parte 2	55
Figura 3.17. Iluminación área administrativa	55
Figura 3.18. Iluminación área de pintura	56
Figura 3.19. Iluminación bodega CNT parte 1	57
Figura 3.20. Iluminación bodega CNT parte 2.....	58
Figura 3.21. Iluminación bodega CNT parte 3.....	58
Figura 3.22. Iluminación cabina de pintura parte 1	59
Figura 3.23. Iluminación cabina de pintura parte 2.....	59
Figura 3.24. Iluminación centro médico	60
Figura 3.25. Iluminación Call Center	61
Figura 3.26. Iluminación área de control de calidad DIRECTV.....	61
Figura 3.27. Hallazgos en laboratorio #1	62
Figura 3.28. Hallazgos en laboratorio CNT.....	62
Figura 3.29. Hallazgos en laboratorio #2.....	63
Figura 3.30. Hallazgos en comedor.....	64
Figura 3.31. Diagrama unifilar general de la empresa WODEN S.A	69
Figura 3.32. Imagen térmica del primer interruptor térmico con problemas en tablero de control.....	78
Figura 3.33. Imagen térmica del segundo interruptor térmico con problemas en tablero de control.....	79
Figura 3.34. Imagen térmica del tercer interruptor térmico con problemas en tablero de control.....	81
Figura 3.35. Analizador de energía FLUKE 1748	83
Figura 3.36. Gráfica de niveles de voltaje en las fases A, B y C	84
Figura 3.37. Gráfica de flicker pst en las fases A, B y C.....	85
Figura 3.38. Gráfica de armónicos de voltajes en las fases A, B y C	86
Figura 3.39. Gráfica del factor de potencia en las fases A, B y C.....	87
Figura 3.40. Gráfica de las corrientes en las fases A, B, C y neutro	88
Figura 3.41. Consumo energético periodo 2019-2020 empresa WODEN S.A ..	91
Figura 3.42. Dispositivos instalados en el área exterior	94
Figura 3.43. Potencia instalada (iluminación).....	95

Figura 4.1. Conexión de banco de capacitores para corrección de factor de potencia.....	103
Figura 4.2. Ficha para mantenimiento preventivo empresa WODEN S.A	107

RESUMEN

El presente estudio técnico se enfoca en el diagnóstico y evaluación de las instalaciones eléctricas de la empresa WODEN S.A situada en la ciudad de Quito, el objetivo principal es identificar posibles medidas que contribuyan a la mejora de la eficiencia energética. El análisis inicia con el diagnóstico de las instalaciones eléctricas, para lo cual se llevó a cabo visitas de campo, mediciones de parámetros eléctricos, mediciones de calidad de energía y pruebas termográficas.

La descripción de la situación actual del sistema eléctrico de la empresa es muy importante, para lo cual se lo contrastó con las normas vigentes UNE 12464-1 y ARCONEL que corresponden al cumplimiento de los niveles de iluminación y calidad de energía respectivamente. Posteriormente se realizó el análisis termográfico del tablero principal en base a las especificaciones de la normativa ANSI/NETA ATS-2009, con el fin de hallar posibles anomalías como fugas eléctricas, contactos flojos y sobrecargas.

La identificación de medidas para mejorar la eficiencia energética se basa en el análisis de la situación actual, puesto que se establece la carga instalada por áreas y se determina el grupo que representa un mayor consumo de energía al mes. Una vez diagnosticado el sistema e identificadas las posibles medidas se procedió a realizar el análisis técnico-económico de las inversiones a realizar, con el fin de calcular los indicadores VAN y TIR que serán de ayuda para conocer la factibilidad de la inversión.

El estudio demuestra y concluye que el cambio de luminarias no es factible debido a que la frecuencia de uso de las luminarias no es significativa, además el sistema de iluminación representa un pequeño porcentaje de la carga total. Por otro lado, el cambio de motores tampoco es viable porque la frecuencia de uso y la cantidad de ellos por cambiar de estos es muy reducida. Razón por la cual, se considera que la mejor medida de eficiencia energética que se puede proponer para el caso particular de la empresa WODEN S.A. es la implementación de un plan de mantenimiento predictivo.

PALABRAS CLAVE: Eficiencia energética, calidad de energía, potencia instalada, energía, factor de potencia.

ABSTRACT

This technical study focuses on the diagnosis and evaluation of the electrical installations of the company WODEN S.A located in the city of Quito; the main objective is to identify possible measures that contribute to the improvement of energy efficiency. The analysis begins with the diagnosis of the electrical installations, for which field visits, measurements of electrical parameters, power quality measurements and thermographic tests were carried out.

The description of the current situation of the electrical system of the company is very important, for which it was contrasted with the current UNE 12464-1 and ARCONEL standards that correspond to compliance with lighting levels and energy quality, respectively. Subsequently, the thermographic analysis of the main board was carried out based on the specifications of the ANSI / NETA ATS-2009 standard, to find possible anomalies such as electrical leaks, loose contacts and overloads.

The identification of measures to improve energy efficiency is based on the analysis of the current situation, since the installed load is established by areas and the group that represents the highest energy consumption per month is determined. Once the system had been diagnosed and the possible measures had been identified, the technical-economic analysis of the investments to be made was carried out, to calculate the NPV and IRR indicators that will help to determine the feasibility of the investment.

The study shows and concludes that the change of luminaires is not feasible because the frequency of use of the luminaires is not significant, in addition the lighting system represents a small percentage of the total load. On the other hand, the change of motors is not viable either because the frequency of use and the quantity to change of these is very low. For this reason, it is considered that the best energy efficiency measure that can be proposed for the particular case of the company WODEN S.A. is the implementation of a predictive maintenance plan.

KEYWORDS: Energy efficiency, energy quality, installed power, energy, power factor.

1. INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética se refiere a la utilización de la energía de forma más rentable para llevar a cabo un servicio o proceso de fabricación, por medio de la cual se minimiza el desperdicio de energía y se reduce el consumo de energía primaria. Los sistemas de eficiencia energética tienen como objetivo emplear menos energía al momento que se realiza cualquier actividad dependiente de la energía eléctrica, al mismo tiempo que se minimiza los impactos ambientales negativos como resultado del consumo de energía [1]. Las empresas que lideran el camino en el área de eficiencia energética a menudo obtienen recompensas, mientras que las empresas que no abordan estos problemas se encuentran en desventaja competitiva. Además, la reducción del consumo energético contribuye de forma directa a la disminución del número de centrales eléctricas que se necesitaran a futuro para satisfacer la demanda, lo que permitiría disminuir gastos del Sistema Eléctrico de Potencia.

Las industrias usan una gran cantidad de energía, a menudo de forma ineficiente, además contribuyen de forma importante a la generación de emisiones de CO₂. El sector industrial aporta en gran medida al crecimiento económico, sin embargo, no existe un conflicto inherente entre el crecimiento económico y la eficiencia energética industrial. Las industrias que poseen el equipamiento necesario suelen gestionar de forma exitosa la eficiencia energética, por lo que son sostenibles y más competitivas en los mercados mundiales. La optimización de los sistemas industriales se traduce en una mayor productividad y fiabilidad [2].

Los gerentes de las empresas industriales siempre buscan alternativas para lograr una producción más confiable y rentable. El uso de materiales, producción, calidad de costos laborales y la reducción de residuos se encuentran sujetos a un control periódico de la gestión con el fin de disminuir el consumo de energía y agilizar las prácticas de manufactura. La mejora de la eficiencia de los sistemas eléctricos contribuye al resultado final de la instalación industrial, al mismo tiempo que mejora el control y fiabilidad de estos sistemas. El aumento de la producción en base a la óptima utilización de los activos de la empresa se convierte en un beneficio colateral. Los costos de mantenimiento se pueden disminuir debido a una mejor coincidencia de los equipos con la demanda dando como resultado un menor desgaste de estos [3].

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GENERAL

Diagnosticar y evaluar las instalaciones eléctricas de la Empresa de Servicios en Tecnología y Telecomunicaciones WODEN Ecuador S.A. con la finalidad de proponer mejoras que incluyan criterios de eficiencia energética.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un levantamiento de carga en la empresa WODEN Ecuador S.A para conocer el consumo energético eléctrico actual.
- Aplicar pruebas a la instalación eléctrica de la empresa incluyendo termografías, pruebas de iluminación, niveles de voltaje y calidad de energía para la obtención de datos que permitan elaborar una evaluación del sistema eléctrico y el consumo de energía.
- Detectar oportunidades de ahorro de energía eléctrica y de aplicación de medidas de eficiencia energética para instalaciones eléctricas.
- Realizar propuestas de mejora del funcionamiento de las instalaciones eléctricas.
- Analizar la viabilidad técnica y económica de las propuestas de ahorro y eficiencia energética eléctrica.

1.2. ALCANCE

En el presente trabajo de titulación se evaluará el estado actual de las instalaciones eléctricas de la empresa WODEN Ecuador S.A, bajo criterios de eficiencia energética, incluyendo la verificación del correcto funcionamiento de: transformador, protecciones, sistema de puesta a tierra, conductores y sistema de respaldo de energía; para lo cual se requerirá mediciones de: voltaje, corriente, resistencia, potencia, factor de potencia, contenido armónico, niveles de iluminación y temperatura. Estos datos serán obtenidos utilizando equipos de medición como: multímetro, analizador de energía eléctrica,

luxómetro y cámara termográfica, los mismos que serán facilitados por la empresa WODEN S.A.

Con este procedimiento se podrá exponer un diagnóstico del estado de la instalación que incluirá la identificación de pérdidas, requerimientos de mantenimiento o cambio de equipos y áreas con uso ineficiente de energía eléctrica. Además, con la termografía que se aplicará a los circuitos para la detección de puntos calientes se planteará de ser necesario el cambio de conductores con lo que se disminuirá las pérdidas.

Finalmente se propondrá medidas de mejora con la inclusión de criterios de eficiencia energética para instalaciones y seguridad eléctricas. Estas propuestas serán validadas con un análisis costo beneficio.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Se denomina instalación eléctrica a un conjunto de elementos, que permite la transmisión y distribución de energía eléctrica desde el punto de suministro hasta los equipos que lo utiliza. Estos incluyen: tableros, interruptores, transformadores, bancos de capacitores, equipos de detección, equipos de control local o remoto, cables, conexiones, contactos, conductos y soportes [4].

2.1.1. ACOMETIDA

La acometida puede entenderse como el punto de conexión entre la red propiedad de la empresa y el alimentador que proporciona energía al usuario. La acometida también puede entenderse como una línea (aérea o subterránea), que se conecta a la red de alimentación por un lado y al sistema de medición por otro. En el terminal de entrada de la conexión de servicio, generalmente se coloca un apartarrayos para proteger la instalación y el equipo de descargas de alto voltaje, que puede producirse por motivos atmosféricos, o también por conexión o desconexión en la red de suministro [4].

2.1.2. EQUIPO DE MEDICIÓN

Es un dispositivo propiedad de la empresa suministradora que se coloca en la acometida de cualquier usuario con la finalidad de cuantificar el consumo de energía eléctrica según las condiciones del contrato de compra. Este equipo estará sellado y debe protegerse de interferencias externas y colocarse en un lugar de fácil acceso para su lectura e inspección [5].

2.1.3. INTERRUPTORES

Un interruptor es un dispositivo que se utiliza para abrir o cerrar un circuito a través del cual fluye una corriente. Se puede utilizar como medio de conexión o desconexión y, si posee el equipo necesario, también puede cubrir la función de protección contra sobrecarga y cortocircuitos [5].

2.1.4. TRANSFORMADOR

Un transformador es un dispositivo que se utiliza para cambiar el voltaje de la fuente de alimentación al voltaje requerido. En instalaciones grandes (o complejas), pueden requerirse varios niveles de voltaje, lo que se puede lograr instalando varios transformadores (generalmente agrupados en subestaciones) [5].

2.1.5. TABLERO PRINCIPAL

El tablero principal es aquel que se ubica inmediatamente después del transformador y contiene un interruptor general. El transformador se conecta a la entrada del interruptor, y a la salida se conectan barras que son las encargadas de distribuir la energía eléctrica a diferentes circuitos a través de interruptores derivados [6].

2.1.6. TABLERO DE DISTRIBUCIÓN O DERIVADOS

Cada área de la instalación suele estar alimentada por uno o más tableros de derivación. Los tableros constan de interruptores generales, dependiendo de la distancia desde el tablero hacia la alimentación y la cantidad de circuitos provistos [6].

2.1.7. ALIMENTADOR PRINCIPAL

Es aquel que lleva la energía eléctrica desde la subestación de potencia hasta los transformadores de distribución [7].

2.1.8. ALIMENTADORES SECUNDARIOS

Son conductores encargados de distribuir la energía eléctrica desde los transformadores de distribución hasta las acometidas de los consumidores finales [7].

2.1.9. INTERCONEXIÓN

Para la interconexión de equipos, se puede utilizar conductores de cobre o de aluminio, que pueden ser cableados (conductor de varios hilos) o sólidos (un solo hilo). Se pueden colocar dentro de tuberías, o bandejas. A excepción de las líneas aéreas, los conductores

siempre deben estar cubiertos con una capa de material aislante, que determina la temperatura máxima de funcionamiento.

2.2. SISTEMA DE ILUMINACIÓN

El sistema de iluminación es un conjunto de elementos diseñados para brindar una visibilidad clara, así como los aspectos estéticos requeridos en espacios y actividades específicos. Para ello, se pueden seleccionar los mejores equipos de iluminación y lámparas que proporcionen el nivel de iluminación adecuado para cada tarea, y que minimicen los efectos del deslumbramiento directo y reflejado, y en todos los casos busquen optimizar el uso de energía y reducir los costos operativos [8].

Un sistema de iluminación generalmente consta de los siguientes elementos:

Lámparas: son las encargadas de convertir la energía eléctrica en energía luminosa (luz).

Luminarias: se refiere a toda la estructura que contiene lámparas, balastos, elementos de corrección del factor de potencia y accesorios, que se utilizan para controlar y guiar el flujo luminoso de una o más lámparas.

Dispositivos de control: Son todos los dispositivos que se utiliza para controlar el sistema de iluminación como interruptores, fotocélulas, controladores de tiempo, sensores de movimiento, entre otros [8].

2.2.1. MAGNITUDES FOTOMÉTRICAS

La luminotecnia estudia diferentes formas de generación de luz (artificial), además del control y aplicación con fines específicos. La luz es un tipo de energía que incluye parte del espectro electromagnético visible para el ojo humano. El espectro incluye ondas cósmicas, microondas, rayos gamma, radar, ondas de radio, rayos ultravioleta y rayos X. El ojo humano es sensible a un pequeño rango de espectro, desde la longitud púrpura (400 nanómetros) hasta el rojo (750 nanómetros) en cuanto a longitud de onda se refiere [9].

Los conceptos que se manejan en iluminación son:

2.2.1.1. Intensidad luminosa

La intensidad luminosa se define como el flujo luminoso por unidad de ángulo sólido que se propaga en una dirección determinada [9]. Su unidad de medida es la candela (cd).

2.2.1.2. Flujo luminoso

Es la cantidad de luz radiada en todas las direcciones por una fuente de luz por segundo, su unidad de medida es el lumen (lm) [10].

2.2.1.3. Eficacia luminosa

Es la relación entre el flujo luminoso producido y la potencia eléctrica utilizada por una lámpara, su unidad de medida es lúmenes por vatio (lm/W) [11].

2.2.1.4. Iluminancia

Es la cantidad de flujo luminoso que se dirige a un área unitaria de una superficie, su unidad de medida es el lux (lx) [11].

2.2.1.5. Luminancia

Mide la densidad de la intensidad de la luz reflejada a una dirección dada, indicando la cantidad de energía luminosa que será detectada por el ojo humano que mira la superficie desde un ángulo de visión particular, su unidad de medida es candela por metro cuadrado (cd/m²) [11].

2.2.1.6. Índice de rendimiento de color (IRC)

Se refiere a la capacidad de una fuente de luz para reproducir fielmente los colores en comparación con las fuentes de luz natural. El rango de medición de IRC es de 0 a 100. El valor de 0 representa la distorsión total del color y 100 representa la reproducción real [12].

2.2.1.7. Temperatura del color

La temperatura del color se refiere a la tonalidad o apariencia de la luz que se emite desde una fuente luminosa. Se expresa en grados Kelvin y permite conocer el tipo de color que entrega una lámpara. Los colores cálidos se encuentran cercanos a 3000 °K, mientras que colores fríos se encuentran alrededor de 5000 °K [13].

2.3. ALUMBRADO EN INTERIORES

La iluminación interior se puede definir en dos niveles: local y regular. El primero se refiere a las necesidades de iluminación de tareas específicas que se producen en diferentes puntos del espacio a iluminar. El nivel general corresponde a la iluminación de todas las áreas restantes. Cuando se determinan diferentes niveles de iluminación para cada área, también se puede llamar iluminación regular por área, lo que es más económico [12].

Una vez definido el nivel de iluminación, tal como se indica en el párrafo anterior, se debe prestar atención a la colocación de equipos de iluminación para reducir el deslumbramiento directo o reflejado o las sombras no deseadas. En relación con el tamaño, la reflectividad, la exposición y el contraste con el fondo, también se requiere un análisis completo de los objetos involucrados en la tarea de visión [6]. Para lo cual se debe considerar los siguientes factores:

Tamaño del local: se refiere a las dimensiones tanto de largo, ancho y altura del local. Estos datos son necesarios para determinar la superficie total a ser iluminada [14].

Plano de la luminaria: se refiere a la altura a la cual se mide o verifica los niveles de iluminancia.

Nivel de iluminación media: es un valor normado que se lo puede consultar en base al tipo de actividad que se va a desarrollar en el lugar a ser iluminado.

Tipo de luminaria: se lo selecciona en base a criterios específicos del lugar a iluminar como: [15]

- Forma y distribución de la luz
- Rendimiento del conjunto luminaria-lámpara.
- Limitaciones de deslumbramiento que pueda afectar a los usuarios.

- Nivel de complejidad en la instalación y mantenimiento.
- La estética que aporta al sitio.

Tipo de lámpara: se refiere a la elección de una lámpara que cumpla con ciertos criterios técnicos analizados en el diseño como: temperatura del color, índice de reproducción cromática y tipo de tecnología. La tecnología tiene relación directa con la eficacia de la fuente luminosa y la vida útil del dispositivo [15].

2.3.1. ALTURA DE SUSPENSIÓN DE LA LUMINARIA

Para determinar la altura de suspensión de una luminaria es necesario obtener algunos datos propios del lugar a iluminar como se ilustra en la Figura 2.1.

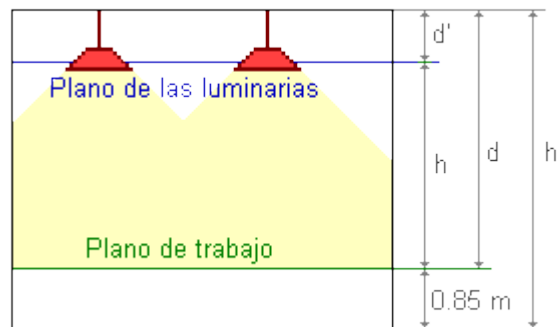


Figura 2.1. Altura de suspensión de luminaria [16]

En donde:

d' es la altura entre el plano de las luminarias y el techo.

d es la altura desde el plano de trabajo hasta el techo.

h' se refiere a la altura total del local a iluminar.

h se refiere a la altura entre el plano de trabajo y el plano de las luminarias.

Una vez que se conozca los datos mencionados con anterioridad se procede a realizar el cálculo de la altura de suspensión en base al tipo de local.

Tabla 2.1 Cálculo de altura de luminaria, según tipo de local [17]

Tipo de Local	Altura de luminaria
Locales con altura normal (aulas, viviendas, oficinas, entre otras)	Lo más alto posible.
Locales con iluminación directa, semidirecta y difusa	Mínimo: $h = \frac{2}{3}(h' - 0.85)$ Óptimo: $h = \frac{4}{5}(h' - 0.85)$
Locales con iluminación indirecta	$d' = \frac{1}{4}(h' - 0.85)$ $h = \frac{3}{4}(h' - 0.85)$

2.3.2. ILUMINACIÓN DIRECTA

Se refiere al flujo luminoso (90%-100%) que llega directamente sobre la superficie a iluminar. Este tipo de iluminación es la que produce sombras profundas y el peligro de deslumbramiento.

2.3.3. ILUMINACIÓN SEMIDIRECTA

Se refiere a una pequeña parte del flujo luminoso, aproximadamente del 10% al 40% que llega sobre la superficie a iluminar después de haber efectuado una reflexión en techos y paredes.

2.3.4. ILUMINACIÓN DIFUSA

Consiste en un flujo luminoso de aproximadamente del 40% al 60% que se divide, una parte se dirige hacia el techo y la parte restante se dirige hacia el suelo. Este tipo de iluminación contribuye a eliminar las sombras y logra extender la superficie luminosa. El resultado será una iluminación sin deslumbramiento y suave.

2.3.5. ILUMINACIÓN SEMI INDIRECTA

Consiste en una parte de aproximadamente el 10% al 40% del flujo luminoso, que cae directamente sobre la superficie a iluminar, mientras que el porcentaje restante se refleja en el techo y llega a la superficie en cuestión. Este tipo de iluminación proporciona un rendimiento luminoso bastante bajo. Para aumentar el rendimiento, se recomienda pintar las paredes y el techo con colores claros.

2.3.6. ILUMINACIÓN INDIRECTA

En este tipo de iluminación, la mayor parte del flujo de luz (90% -100%) se dirige hacia el techo, se refleja y luego llega a la superficie a iluminar. Este tipo de iluminación requiere lámparas con alto rendimiento lumínico para obtener niveles de iluminación aceptables. Vale la pena mencionar el costo, porque es el más caro, pero debido a que la iluminación en los objetos es muy suave y no produce contraste de brillo se logra un mejor efecto de iluminación.

2.3.7. CÁLCULO DEL ÍNDICE DEL LOCAL

El índice de local (k) depende de la geometría de este y se calcula como se muestra a continuación.

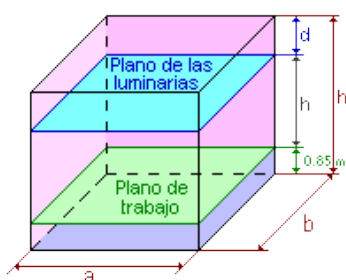


Figura 2.2. Geometría de local a iluminar [17]

Tabla 2.2 Cálculo del índice local (k) [17]

Sistema de iluminación	Índice de local
Iluminación directa, directa indirecta, general difusa y semidirecta	$k = \frac{axb}{hx(a + b)}$
Iluminación indirecta y semi indirecta	$k = \frac{3xaxb}{2x(h + 0.85)x(a + b)}$

2.3.8. MÉTODO DE CUADRÍCULA PARA MEDICIÓN DE ILUMINACIÓN

El método de la cuadrícula es una técnica que consiste en crear una cuadrícula sobre el área de medición, en donde cada punto de intersección será un punto de medición. La técnica se basa en dividir el interior de la zona en varias áreas iguales, de tal forma que se creen zonas cuadradas o rectangulares. Sobre las zonas creadas se mide la iluminancia

en el centro de cada área a 0.8 metros de altura, posteriormente se calcula el valor medio de iluminancia.

Para determinar el número de puntos de medición se emplea la ecuación (2.1) y el índice de local de la zona a medir como se presentó anteriormente en la Tabla 2.2.

$$N_{min} = (k + 2)^2 \quad (2.1)$$

En donde:

k es el índice de local redondeado al entero superior. Para valores mayores a 3, el valor de k es 4.

N_{min} es el número mínimo de puntos de medición.

Una vez obtenidos los puntos de medición se procede a recolectar las mediciones en el centro de cada área, para posteriormente calcular la iluminancia media (E_{media}) con la ecuación (2.2).

$$E_{media} = \frac{\sum \text{valores medidos [lux]}}{\text{Cantidad de puntos medidos}} \quad (2.2)$$

El resultado obtenido se debe comparar con lo exigido por el decreto 351/79 anexo IV según las siguientes consideraciones:

- Según el tipo de edificio, local y tarea visual.
- Según la intensidad media de iluminación para diferentes fines visuales.

Una vez verificada la iluminancia media E_{media} se debe verificar la uniformidad de la iluminancia como lo establece el decreto 351/79 anexo IV [18]. El criterio se describe con la ecuación (2.3).

$$E_{mínima} \geq \frac{E_{media}}{2} \quad (2.3)$$

En donde:

$E_{mínima}$ es la iluminancia mínima y se refiere al menor valor registrado en la medición.

E_{media} es la iluminancia media.

Si cumple con la relación descrita anteriormente en la ecuación (2.3) implica que la uniformidad de la iluminación cumple con las exigencias de la legislación.

Según la tabla 4 del anexo IV del Decreto 351/79 la uniformidad de iluminancia no debe ser inferior al 0.8.

$$\text{Uniformidad de la iluminancia} = \frac{\text{Iluminancia mínima}}{\text{Iluminancia media}} \quad (2.4)$$

2.3.9. LUXÓMETRO MAVOLUX 5032B USB

Es un instrumento que posee sensibilidad especial para medir niveles de iluminación, para lo cual se puede seleccionar las unidades lux y footcandle. El rango de medición del luxómetro se adapta automáticamente al valor de medición; sin embargo, es posible configurarlo de forma manual. Además, posee una tecla Hold para fijar el valor de medición actual. El luxómetro se puede convertir en un medidor de densidad luminosa mediante un adaptador, lo que proporciona un valor resultante en cd/m^2 [19].



Figura 2.3. Luxómetro MAVOLUX 5032B

2.3.10. COMPROBACIÓN DE RESULTADOS

La comprobación de resultados consiste en verificar si la iluminancia media obtenida en la instalación concuerda con los valores que establecen normas de iluminación. Para lo cual se utiliza la ecuación (2.5).

$$E_m = \frac{nl\phi_L x f_u x f_m}{S} \quad (2.5)$$

En donde:

E_m es el nivel de iluminación medio en luxes.

nl es el número de luminarias.

ϕ_L es el flujo luminoso por lampara en lúmenes.

f_u es el factor de utilización.

f_m es el factor de mantenimiento.

S es el area a ser iluminada en m^2 .

2.3.11. IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN

La iluminación del lugar de trabajo es un factor clave para mantener condiciones de trabajo correctas. La iluminación debe permitir la realización de una tarea garantizando al mismo tiempo la salud de los empleados. Muchas leyes y reglamentos regulan la iluminación de los lugares de trabajo.

2.3.12. NIVELES DE ILUMINACIÓN ESTÁNDAR

Los niveles de iluminación se encuentran normados dependiendo de la actividad de la empresa o comercio. A continuación, en las tablas se presentan los niveles de iluminación recomendados por la normativa UNE 12464-1.

Tabla 2.3 Niveles de iluminación recomendado para oficinas [6]

Lugar	Nivel de iluminación recomendado[lx]
Oficinas normales, mecanografiado y salas de proceso de datos.	500
Oficinas generales extensas	750
Salas de dibujo	750
Salas de conferencia	500

Tabla 2.4 Niveles de iluminación recomendado para plantas de proceso [6]

Lugar	Nivel de iluminación recomendado[lx]
Zonas generales del interior de la planta	300
Procesos automatizados	150
Zonas de control y laboratorios	500
Inspección	750

2.4. TIPOS DE LÁMPARAS USADAS EN LA INDUSTRIA

Existen tres tipos de lámparas que normalmente se aplican en ambientes industriales, estas son:

- Lámparas de alta intensidad de descarga (HID).
- Lámparas fluorescentes
- Lámparas LED.

2.4.1. LÁMPARA DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA (HID)

Las lámparas HID son baratas, sin embargo, poseen la mayor depreciación de flujo luminoso y no existen opciones referentes a la temperatura del color. La temperatura del color de las lámparas de sodio oscila entre los 2200-2400 °K por lo que son muy amarillentas, mientras que los halógenos metálicos oscilan entre los 4000-4500 °K por lo que son más blancas.



Figura 2.4. Lámpara HID [20]

Los sistemas de iluminación HID necesitan un lapso para que se caliente la lámpara y alcance su máximo brillo, además requiere de un lapso de enfriamiento una vez apagada la lámpara antes de volver a encenderla.

2.4.2. LÁMPARA FLUORESCENTE INDUSTRIAL

La iluminación fluorescente es una alternativa a la iluminación HID y se ajusta mejor a un presupuesto menor. Las lámparas fluorescentes son una solución eficiente desde la perspectiva eléctrica porque consumen menor energía que las lámparas HID. La temperatura del color para las lámparas fluorescentes es mucho más amplia, el rango varía desde 2700 °K a 6500 °K, además existen lámparas de diversas formas y tamaños lo cual proporciona flexibilidad a la hora de iluminar el área [21].



Figura 2.5. Lámparas fluorescentes en ambiente industrial [22]

La gran desventaja de los fluorescentes son las temperaturas. En lugares muy fríos o calientes los fluorescentes no funcionan de forma adecuada y afecta de forma negativa a la vida útil de la lámpara.

El tiempo de vida útil de las lámparas fluorescentes se reduce considerablemente ante ciclos de encendido y apagados recurrentes, por lo tanto, no se recomienda su uso en lugares que requiera un conmutado recurrente.

2.4.3. LÁMPARAS LED INDUSTRIALES

Son lámparas de estado sólido que utiliza un grupo de diodos emisores de luz (LED). Estos son componentes electrónicos combinados con materiales semiconductores de diferentes características que son capaces de convertir la energía eléctrica directamente en energía luminosa, luego de ser polarizados.

Las lámparas LED tienen un rango de aplicación muy amplio, además permiten ahorrar energía de manera significativa en comparación con la iluminación tradicional. Algunas de las ventajas más relevantes de los sistemas de iluminación LED es su larga vida útil, bajo consumo de energía, mínima emisión de calor y ultravioleta. Tampoco contienen gases ni metales pesados, por lo que su nivel de contaminación es menor que los demás, ya que, inclusive las lámparas fluorescentes compactas de bajo consumo contienen mercurio.



Figura 2.6. Lámparas LED en ambiente industrial [22]

A continuación, se mencionan las ventajas de la tecnología LED:

- Operan con voltajes muy bajos.
- Al no poseer partes mecánicas el tiempo de vida es muy prolongado.
- Ofrece una eficiencia muy elevada.
- Los costos en cuanto a mantenimiento son reducidos.
- Su instalación es flexible.
- Tiempo de conmutación al encendido muy reducidos.
- No le afectan vibraciones, por lo que su campo de uso se extiende.
- No emite ninguna clase de radiación.
- Tiene la capacidad de reproducir colores vivos y saturados sin necesidad de filtros.

2.5. TERMOGRAFÍA

La tecnología de imagen térmica (termografía) es una tecnología que captura imágenes de radiación emitidas por objetos sin entrar en contacto con ellos, por lo que se ha convertido en una herramienta básica para predecir y detectar puntos calientes.

Con esta tecnología se puede medir la temperatura a distancia sin contacto físico con el objeto a estudiar, al capturar la radiación infrarroja en el espectro electromagnético. Usando cámaras termográficas, es posible convertir la energía radiante en información de temperatura [23].

La termografía se usa mucho en el mantenimiento predictivo, se basa en el hecho de que todos los objetos emiten radiación electromagnética porque la temperatura de todos los objetos es superior al cero absoluto. Por tanto, el principio de mantenimiento predictivo se basa en una comprensión permanente del estado y operatividad del equipo mediante la medición de diferentes variables. El control de estas variables determina el uso del mantenimiento predictivo [23].

2.5.1. CALOR

El calor es una forma de energía y se puede transferir de un sistema a otro debido a las diferencias de temperatura. Esto lo refleja claramente la primera ley de la termodinámica, o principio de conservación de la energía, que define el calor como la energía necesaria que el sistema debe intercambiar para compensar la diferencia entre trabajo y energía interna [23].

2.5.2. TEMPERATURA

La temperatura permite conocer el nivel de energía térmica que posee un cuerpo. Las partículas de un objeto se mueven a cierta velocidad, por lo que cada partícula tiene una cierta energía cinética. El valor medio de la energía cinética está directamente relacionado con la temperatura corporal. Por lo tanto, cuanto mayor sea la energía cinética promedio de las partículas, mayor será la temperatura y cuanto menor sea la energía cinética promedio, menor será la temperatura [24] [25].

2.5.3. TIPOS DE TERMOGRAFÍA

Al no existir una solución única para todas las inspecciones térmicas, se debe ajustar el método de acuerdo con el tipo de equipo que se va a verificar y el nivel de detalle requerido

[26]. En otras palabras, existen tres métodos típicos para resolver la mayoría de las situaciones que puede encontrar:

1. Termografía de referencia
2. Termografía de tendencias térmicas
3. Termografía comparativa

2.5.3.1. Termografía de referencia

La termografía de referencia se la lleva a cabo cuando el dispositivo está funcionando en condiciones normales, en este caso la termografía establece un punto de referencia para que el dispositivo obtenga imágenes termográficas. Los resultados se comparan con imágenes de componentes similares que requieran análisis de imágenes térmicas. Es importante mencionar que la termografía se debe realiza cuando el equipo se encuentra funcionando a plena carga [23].



Figura 2.7.Termografía de referencia [27]

2.5.3.2. Termografía de tendencias térmicas

La termografía de tendencias térmicas se refiere a los pasos que deben seguir los analistas para comparar secuencialmente los resultados obtenidos en un mismo componente, pero en función del tiempo. Antes de obtener una imagen térmica del dispositivo, se debe verificar que la velocidad del viento no sea muy alta, y no se debe realizar la imagen térmica en ambientes lluviosos o de alta emisividad.

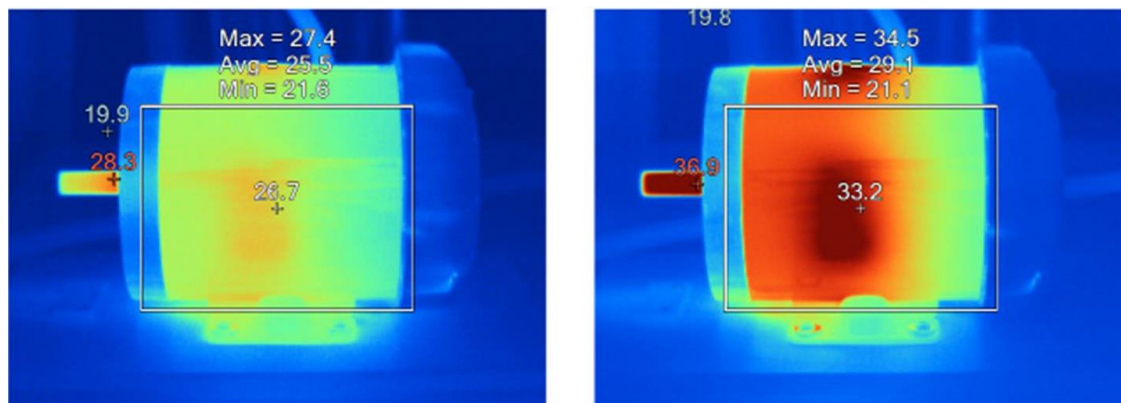


Figura 2.8. Termografía de tendencias térmicas [27]

2.5.3.3. Termografía comparativa

La termografía comparativa es un proceso utilizado para comparar componentes similares en condiciones similares con el fin de evaluar el estado del equipo bajo inspección. El uso correcto de la termografía comparativa puede convertirse en un indicador del estado del equipo analizado. Es muy importante determinar el margen de error aceptable antes de comenzar la inspección y trabajar con mucho cuidado para evitar exceder los límites establecidos [27].

2.6. CÁMARAS TERMOGRÁFICAS

Una cámara termográfica es una herramienta que se utiliza para identificar puntos calientes de componentes defectuosos en un sistema eléctrico, por lo que el mantenimiento preventivo se planifica de esta manera, de modo que se pueda evitar el mantenimiento correctivo. El uso de cámaras termográficas en la planificación del mantenimiento evita fallas innecesarias y mejora la confiabilidad del sistema eléctrico.

Este equipo detecta el patrón térmico de un objeto en el espectro de longitud de onda infrarroja sin entrar en contacto con el objeto, generando así una imagen visible llamada termo grama. Además, es una de las herramientas más utilizadas a la hora de realizar mantenimiento predictivo, debido a que permiten detectar puntos calientes y aumentos de temperatura. A partir de estos datos será posible predecir una falla potencial sobre una máquina.

2.6.1. CAMPO DE VISIÓN

Para realizar una medición efectiva con la cámara termográfica es necesario comprender a que distancia se debe medir un dispositivo.

Campo de visión instantáneo (IFOV): “El campo de visión instantáneo es la resolución de la medida de una cámara termográfica que determina el tamaño mínimo que debe tener un objeto para que pueda medirse su temperatura con precisión a una distancia concreta [23].

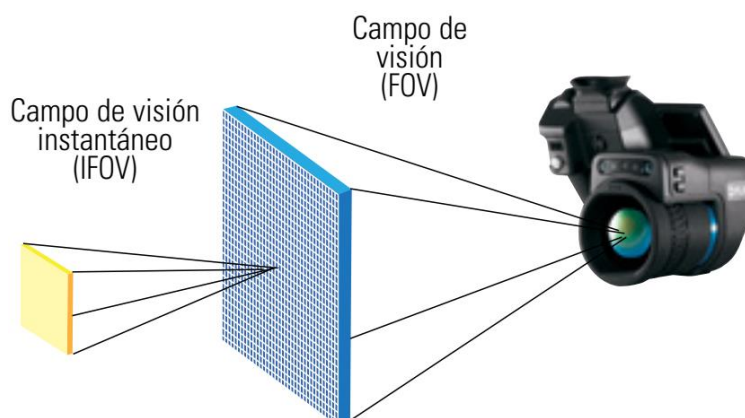


Figura 2.9. Ilustración de FOV e IFOV [28].

Campo de visión (FOV): define el tamaño observado en la imagen térmica y también el área total que la cámara puede ver. Independientemente del tamaño de la matriz, la lente es el componente que tiene mayor influencia en la configuración (FOV).

Tanto el campo de visión FOV como IFOV nos permiten obtener una medición óptima del objeto a medir, siempre y cuando se determine el ángulo y el método de procesamiento correcto.

2.6.2. FUNCIONAMIENTO DE CÁMARA TERMOGRÁFICA TI32

El proceso de medición de temperatura usando la cámara termográfica empieza cuando la radiación infrarroja que emite el objeto converge en la lente de la cámara, es entonces cuando ocurre un cambio de resistencia eléctrica en la cámara termográfica, que es percibido por el sensor y transmitido al circuito interno de la cámara [26].

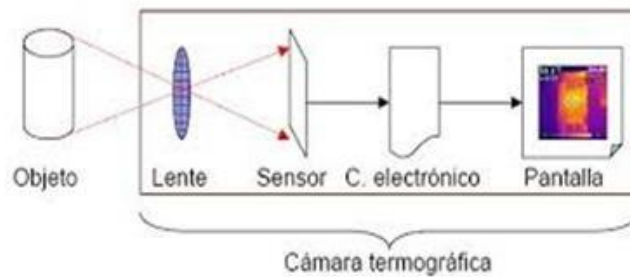


Figura 2.10. Funcionamiento de cámara termográfica [28]



Figura 2.11. Cámara termográfica TI32 marca Fluke [29]

2.6.3. PASOS PARA OBTENER UNA MEDICIÓN TÉRMICA

2.6.3.1. Encendido del equipo

En primer lugar, se debe verificar que la cámara termográfica esté en buenas condiciones, también es necesario asegurarse de que todos sus componentes, como batería, lentes óptico y tarjeta de memoria, estén instalados. Una vez que se confirme que todo es correcto, el dispositivo se podrá encender.

2.6.3.2. Control de imagen

En este paso, es muy importante calibrar tres parámetros básicos:

- La emisividad debe estar seteada a 0.85.
- El rango de temperatura no deber exceder el rango de -20°C como mínimo y 600°C como máximo. Es importante mencionar que el delta de temperatura no debe ser superior a los 5°C, para no saturar el detector infrarrojo.
- Tener en cuenta la humedad del sitio a medir.

2.6.3.3. Capturado de la imagen

Para obtener una buena imagen térmica se debe considerar:

- Que el rango de temperatura seteado sea el adecuado.
- Se debe lograr una posición correcta para obtener un enfoque óptimo, sin dejar partes importantes del dispositivo a ser medido.
- Una vez enfocado el dispositivo se debe presionar el gatillo procurando que no exista ni el más leve movimiento de la cámara térmica.

2.6.3.4. Exportar datos de medición

Una vez que la imagen se capturo automáticamente se guarda en la memoria microSD del equipo. Para transferir la imagen hacia el computador es necesario un cable USB-micro USB y tener instalado el software “Smart view”.

2.7. CONSIDERACIONES PARA UNA MEDICIÓN TÉRMICA

2.7.1. TERMOGRAMA

El termograma es una imagen objetivo (dispositivo a medir) que se procesa electrónicamente y se muestra en la pantalla, en la que diferentes tonos corresponden a la distribución de la radiación infrarroja en la superficie del dispositivo a medido.

2.7.2. ENCUADRE DE LA IMAGEN

Se refiere a la distancia necesaria que debe existir entre el objeto y la cámara termográfica, además el lente de la cámara debe estar perfectamente alineado con el objeto [30].

2.7.3. CONSIDERACIONES SOBRE LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA

La medición termográfica se debe realizar en condiciones normales, es decir en ambientes libres de lluvias, tormentas, vientos fuertes entre otros fenómenos. En el caso de efectuarse la medición en alguno de los ambientes mencionados anteriormente, los resultados de las mediciones serán erróneas [30].

2.7.4. HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa se define como la humedad del ambiente. Para realizar una medición en distancias cortas y humedad normal, la humedad relativa se puede parametrizar al 50%. Es importante notar que un valor erróneo de humedad relativa implica presentar ciertos niveles de enfriamiento, lo que produciría mediciones erróneas [30].

2.7.5. ENFOQUE

El enfoque es un parámetro sumamente importante para obtener mediciones de alta calidad. Una imagen desenfocada es sinónimo de mediciones erróneas, por lo tanto, se debe procurar mantener limpia la pantalla durante todo el proceso de toma de mediciones termográficas [30].

2.8. CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Son materiales con muy baja resistencia al paso eléctrico, su función principal es trasportar energía eléctrica de un punto a otro.

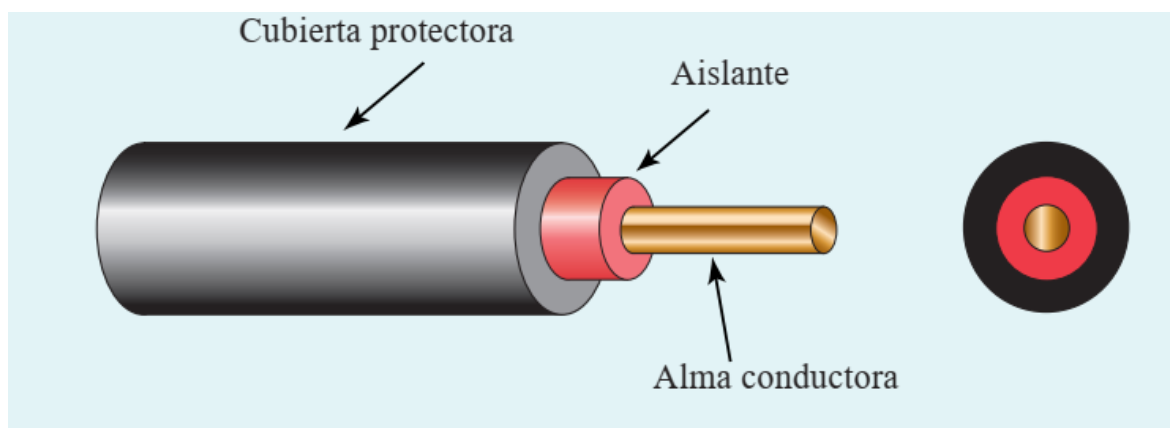


Figura 2.12. Partes de un conductor eléctrico [31]

Cubierta protectora: se encarga de proteger la integridad del aislante y del alma conductora contra cualquier tipo de daño que pueda sufrir como: golpes, rapaduras, daños mecánicos, entre otros.

Aislante: El propósito del aislamiento en un conductor es evitar que la energía eléctrica que circula a través del conductor entre en contacto con personas u objetos, ya sean tuberías, equipos u otros componentes de equipos. Asimismo, el aislamiento debe evitar que conductores de diferentes voltajes se toquen entre sí.

Alma conductora: su finalidad es transportar energía eléctrica desde centrales eléctricas hasta centros de distribución (subestaciones, redes y acometidas), para abastecer de energía a diferentes centros de consumo (industria, colectivos habitacionales, entre otros).

2.8.1. TIPOS DE CONDUCTORES DE ACUERDO CON SU INSTALACIÓN Y NÚMERO DE HEBRAS

Al diseñar un sistema, ya sea de potencia, control o información, se deben observar ciertos parámetros básicos de la especificación del cable:

- Voltaje del sistema (CC o CA), fases y neutro, sistema de potencia.
- Corriente o potencia por suministrar.
- La temperatura de trabajo, temperatura ambiente y resistencia térmica del conductor.
- Tipo de instalación, dimensiones (profundidad, radio de curvatura, distancia entre vanos, entre otros).
- Cargas intermitentes o sobrecargas.
- Tipo de aislación.
- Cubierta protectora.

Todos estos parámetros están íntimamente relacionados con el tipo de aislamiento y construcción de los conductores eléctricos, lo que permite determinar el tipo de uso que se les dará en base a estas premisas.

En base a los parámetros descritos se puede clasificar los conductores en simples y multi conductores, según su aislamiento, estructura y número de hilos como se presenta en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 Tipos de conductores según su uso y número de hebras [31]

Tipo de conductor	Alambres y cables	Voltaje de servicio	Usos
Para distribución y poder	Hilos de 7 a 21	0.6 a 35 kV	Instalaciones de fuerza y alumbrado (aéreas, tendido fijo, interiores, subterráneas)
Cables armados	Hilos de 7 a 37	600 a 35 kV	Instalaciones en minas subterráneas y tendido fijo
Para instrumentación	Hilos de 2 a 27	600 V	Interconexión en zonas de hornos y altas temperaturas
Cordones	Hilos de 26 a 104	300 V	Alimentación para computadores, lámparas, aspiradoras, radios, entre otros.
Cables portátiles	Hilos de 266 a 2107	1 a 5 kV	Instalaciones en plantas químicas y ambientes hostiles.
Cables submarinos	Hilos de 7 a 37	5 a 15 kV	Instalaciones totalmente surgidas bajo el agua.
Cables navales	Hilos de 3 a 37	750 V	Instalaciones en circuitos de poder de barcos.

2.8.2. CLASIFICACIÓN DE CONDUCTORES SEGÚN SUS CONDICIONES DE EMPLEO

2.8.2.1. Conductor de alambre desnudo

Es solo un alambre sólido, sin recubrimiento, y no muy flexible. Utilizado principalmente para puestas a tierra y para transmisión de energía en alto voltaje [32].

2.8.2.2. Conductor de alambre aislado

Es un conductor de alambre desnudo con una capa aislante que lo cubre para evitar el contacto con personas, objetos metálicos o conductores circundantes. Su uso más habitual es en instalaciones domésticas [32].

2.8.2.3. Conductor de cable flexible

Consiste en varios alambres de cobre delgados cubiertos con material aislante. Su manipulación es bastante sencilla a comparación de los conductores sólidos.

2.8.2.4. Conductor de cordón

Es la combinación de dos o más cables conductores flexibles, además de su respectivo aislamiento, también tiene un aislamiento principal que cubre todos los conductores [31].

2.9. CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La energía eléctrica al ser el principal sustento de la industria requiere cumplir con algunos parámetros de calidad para preservar las necesidades del cliente o usuario final. La regulación del CONELEC 053-18 identifica tres campos a los que se pueden aplicar el concepto de calidad [33].

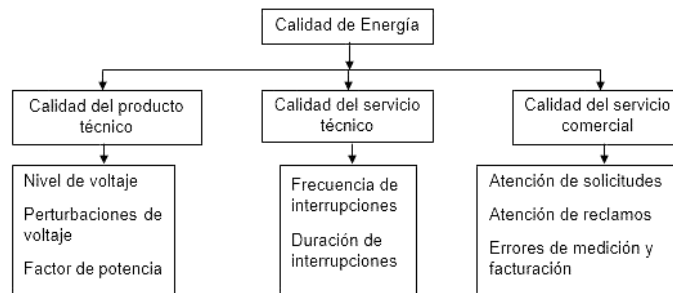


Figura 2.13. Ramas de la calidad de la energía eléctrica según CONELEC [33]

2.9.1. NIVEL DE VOLTAJE

Se refiere al cambio de voltaje que existe en el punto de medición; en donde se compara el voltaje efectivo medido (rms) con el valor nominal.

El índice de calidad de voltaje se halla aplicando la Ecuación 2.6

$$\Delta V_k = \frac{V_k - V_n}{V_n} \times 100 \quad (2.6)$$

En donde:

ΔV_k es la variación de voltaje en el punto de medición en un intervalo k de 10 minutos.

V_k es el voltaje eficaz (rms) medición en un intervalo k de 10 minutos.

V_n es el voltaje nominal en el punto de medición.

Es posible que exista variaciones de voltaje con respecto al valor nominal, cuyos valores se ajustan a la Tabla 2.6.

Tabla 2.6 Variación de voltaje admitidos según CONELEC [33]

Nivel de voltaje	Variación de voltaje
Alto voltaje	±5%
Medio voltaje	±8%
Bajo voltaje (áreas urbanas)	±8%
Bajo voltaje (áreas rurales)	±10%

Se diría que la empresa distribuidora de energía no cumple con los niveles de voltaje adecuados, cuando se compruebe que durante de 5% o más de un periodo de medición de 7 días, se obtiene voltajes fuera de los rangos establecidos [33].

2.9.2. PERTURBACIÓN-FLICKER

El flicker es una perturbación de voltaje, la cual consiste en el cambio de la amplitud de voltaje varias veces por segundo sin superar el ±10% del voltaje nominal. El ser humano lo puede detectar puesto que se produce un parpadeo en el sistema de iluminación.

2.9.2.1. Índice de calidad

Para el cálculo del índice de calidad se considera el índice de severidad de corta duración, en intervalos de medición de 10 minutos como lo establece las normas IEC. El índice de severidad se calculó con la ecuación (2.7).

$$P_{st} = \sqrt{0.0314 P_{0.1} + 0.0525 P_1 + 0.0657 P_3 + 0.28 P_{10} + 0.08 P_{50}} \quad (2.7)$$

En 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 periodo de observación.

2.9.2.2. Límites

El índice de severidad del flicker en cada punto de medición no debe exceder la unidad. Este límite se considera el límite de irritabilidad relacionado con la fluctuación máxima de brillo que el ojo humano puede soportar en una muestra de una población específica.

Se considera que la empresa distribuidora de electricidad no cumple con los límites establecidos en la norma si en más del 5% del periodo de medición de 7 días, los valores superan a la unidad [33].

2.9.3. ARMÓNICOS

Son ondas que se suman a la fundamental, produciendo una deformación y una frecuencia que es igual a un múltiplo entero de la frecuencia nominal del sistema.

El motivo principal de la aparición de estas ondas de corriente es la presencia de cargas o componentes no lineales, que generan corrientes armónicas. En la distribución de energía, este fenómeno se debe a la sobrecarga o saturación del transformador [33].

2.9.3.1. Índice de calidad

El índice de calidad se calcula en base a las ecuaciones (2.8) (2.9).

$$V_i' = \left(\frac{V_i}{V_n} \right) \times 100 \quad (2.8)$$

$$THD = \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{40} V_i^2}}{V_n} \right) \quad (2.9)$$

En donde:

V_i' es el factor de distorsión armónica individual de voltaje.

THD es el factor de distorsión total de la onda expresado en porcentaje.

V_i es el voltaje rms del voltaje armónico i , en voltios

V_n es el voltaje nominal del punto de medición expresado en voltios.

2.9.3.2. Límites

El valor RMS de cada voltaje armónico y THD se expresa como un porcentaje del voltaje nominal de cada punto de medición y no debe exceder el valor límite y THD que se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.7**. Los armónicos que se consideran son entre el segundo armónico y el cuadragésimo armónico [33].

Tabla 2.7 Porcentaje de tolerancia para armónicos según CONELEC [33]

Orden (n) de la Armónica y THD	Tolerancia V_i' o THD (% respecto al voltaje nominal del punto de medición)	
	$V > 40 \text{ kV}$ Otros puntos	$V \leq 40 \text{ kV}$ Transformadores de distribución
Impares no múltiplos de tres		
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
> 25	$0.1 + 0.6 * 25/n$	$0.2 + 1.3 * 25/n$
Impares múltiplos de 3		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
> 21	0.2	0.2
Pares		
2	1.5	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
> 12	0.2	0.5
THD	3.0	8.0

2.9.4. FACTOR DE POTENCIA

Es la razón entre la potencia activa (W) y la potencia aparente (VA); nos brinda información acerca de cuánta energía eléctrica se consume realmente y se convierte en trabajo útil. El factor de potencia es un indicador del consumo correcto de la energía eléctrica. Puede tomar un valor entre 0 y 1, donde 1 representa el mejor uso de energía.

A continuación, se presentan algunas causas de un bajo factor de potencia:

- Presencia de una gran cantidad de motores.
- Mal estado físico de la red eléctrica.
- Sub utilización de la capacidad instalada en equipos electromecánicos.

2.9.4.1. Índice de calidad

Si el 5% o más del período de evaluación, el valor del factor de potencia es inferior al límite permitido, significa que el consumidor no cumple con el índice de calidad [33].

2.9.4.2. Límite

El valor mínimo permitido para el factor de potencia es de 0.92 [33].

2.10. MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS

El mantenimiento de las instalaciones eléctricas es una buena herramienta, que puede mejorar la seguridad del personal, de los equipos y de las instalaciones, con el fin de evitar fallas, mejorando así la seguridad y productividad de cada sistema eléctrico.

En la actualidad, casi todos los procesos productivos de la industria implican el uso de energía eléctrica, por lo que es absolutamente necesario realizar mantenimiento al sistema eléctrico correspondiente de forma regular. Las pruebas de mantenimiento son estándar y se sigue procedimientos claramente definidos para detectar irregularidades en las instalaciones y equipos antes de que fallen. Las características de cada instalación requieren pruebas de mantenimiento rutinarias según su nivel de voltaje [34].

Cualquier instalación eléctrica puede tener dos estados operativos:

Normal: Determina las condiciones bajo las cuales los parámetros eléctricos están dentro de los límites permitidos (voltaje, corriente, frecuencia, impedancia).

Anormal: Determina las condiciones bajo las cuales los parámetros eléctricos exceden el rango permitido dentro de un cierto período de tiempo.

Tipos de mantenimiento

Existen cuatro tipos de mantenimiento:

Preventivo: se lo planifica y se lo realiza con el fin de evitar fallas.

Correctivo: no se lo planifica y se lo realiza una vez que el equipo ha sufrido daños.

Predictivo: se lo planifica en base a un análisis histórico del comportamiento y vida útil de cada dispositivo con el fin de predecir posibles fallas y solucionarlas antes de que ocurran.

2.11. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INDUSTRIAS

El sector industrial consume el 50% de la energía mundial, por lo cual las empresas deben adaptarse a los nuevos modelos para hacer frente a la presión de reducción el consumo de energía. Las principales motivaciones de la eficiencia energética son la protección de la atmosfera de la tierra, reducción del costo energético y mejora de la competitividad de las empresas [35].

Existen estudios que muestran que cambios tecnológicos dentro de las empresas se traducen en ahorros significativos de eficiencia energética. Las medidas que suele emplearse en la industria son:

- Infraestructura de medición avanzada (AMI).
- Sistema de generación de energías renovables.
- Reemplazo de motores antiguos por motores actuales de alta eficiencia.
- Sistemas de gestión de energía eléctrica.

2.12. SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA

La gestión de la energía hace referencia a la optimización en el uso de recursos energéticos, con la implementación de tecnologías y herramientas de gestión para mejorar los niveles de eficiencia energética de una organización.

2.12.1. NORMA ISO 5001

Es una normativa internacional estándar para establecer un Sistema de Gestión de Energía y procesos que permitan mejorar el rendimiento energético, además del uso y consumo de energía. Se puede aplicar en organizaciones o empresa de todo tipo y tamaño.

La estructura de un Sistema de Gestión de Energía (SGE) se basa en el ciclo planificar-hacer-verificar-actuar, como se presenta en la Figura 2.13.

La ISO 50001 no pretende establecer requisitos absolutos para mejorar la eficiencia energética en una organización, por lo tanto, la empresa decide cuándo, cómo y cuánto va a mejorar su rendimiento energético [36].

2.12.2. OBJETIVO DE LA NORMA ISO 50001

La norma ISO 50001 especifica los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar los sistemas de gestión de energía para permitir que las organizaciones adopten un enfoque sistemático para mejorar continuamente su desempeño energético, incluida la eficiencia energética, el uso y consumo de energía, la medición, la documentación y la información, prácticas de diseño que permitan a la organización comprar equipos, sistemas, procesos y personal que contribuyan al desempeño energético [37].

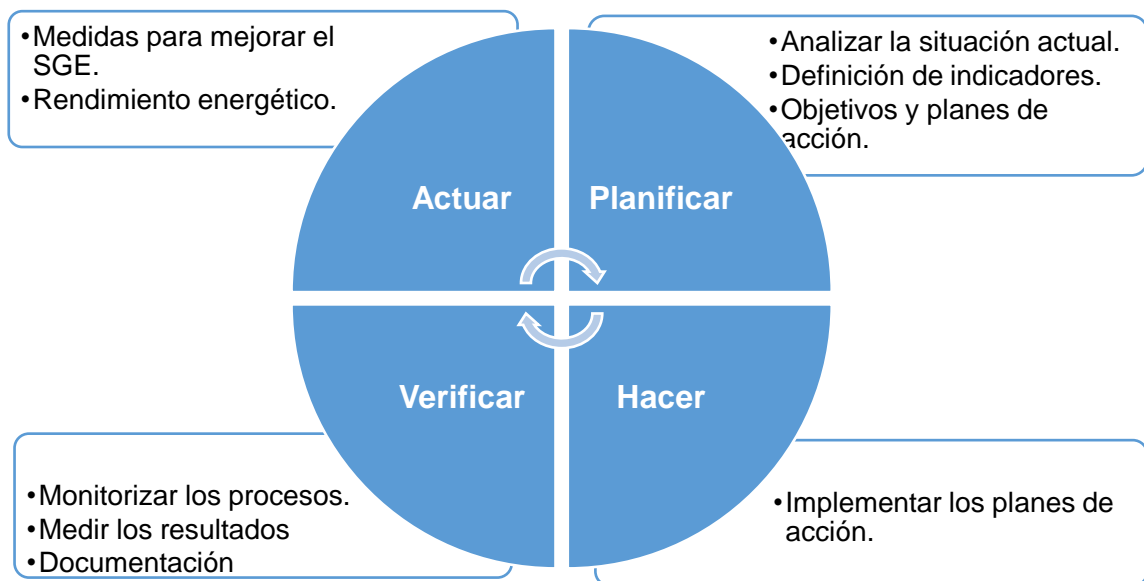


Figura 2.14. Ciclo planificar-hacer-verificar-actuar (PHVA) de norma ISO 50001

2.13. SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

Los sistemas de puesta a tierras es una medida de seguridad que conforma las instalaciones eléctricas y consiste en conducir posibles desvíos de corriente hacia la estructura de tierra, protegiendo a las personas de posibles descargas eléctricas.

Los sistemas de puesta a tierra describen las siguientes funciones:

- Asegura las condiciones de seguridad para las personas.
- Ayuda a los equipos de protección a despejar fallas de forma rápida.
- Sirve como referencia al sistema eléctrico.
- Disipa las corrientes de falla, rayo y electrostática.
- Ofrece una conexión de baja resistencia entre los puntos de conexión de los equipos y la tierra.

Según la norma IEC 60364-4-442, ANSI/IEEE 80, NTC 2050 los valores de referencia para los sistemas de puesta a tierra se describen en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8 Límites de resistencia de puesta a tierra [38]

Aplicación	Máximo valor de resistencia de puesta a tierra admitido [Ω]
Estructuras y torrecillas metálicas de líneas o redes con cable de guarda	20
Subestaciones de alta y extra alto voltaje	1
Subestaciones de medio voltaje	10
Protección contra rayos	10
Punto neutro de acometida en bajo voltaje.	25
Redes para equipos electrónicos o sensibles	10

Es importante mencionar que los valores descritos en la Tabla 2.8 no es un indicador suficiente para determinar si las personas dentro de la instalación estarían seguras. El diseñador debe garantizar que los voltajes de toque y de paso no superen los límites admisibles.

2.13.1. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN FLUKE 1630-2 FC

Es un dispositivo que comprueba la puesta a tierra en sitios de difícil acceso, incluyendo áreas pavimentadas, áreas interiores y sitios en donde no se puede enterrar picas. El medidor Fluke permite conocer la resistencia de bucle sin necesidad de desconectar el electrodo de puesta a tierra [39]. Las características principales del dispositivo son:



Figura 2.15. Fluke 1630-2 FC

- Identifica corriente de fuga sin la necesidad de desconectar la pica de puesta a tierra.
- La pinza que posee el dispositivo permite ahorrar tiempo, debido al registro automático en intervalos establecidos, con un límite de 32760 registros.
- Es posible configurar umbrales de alarma en altos y bajos, lo que permite una evaluación rápida de la medición.
- Posee un filtro pasa banda que elimina el ruido no deseado de la corriente de fuga.

2.14. PROTECCIONES ELÉCTRICAS DE INSTALACIONES DE BAJO VOLTAJE

Los dispositivos de protección controlan permanentemente el estado eléctrico de los elementos que componen un circuito y provocan la excitación de un dispositivo de apertura cuando detectan una perturbación o falla como sobrecarga o cortocircuito [40].

Los objetivos principales de todo equipo de protección son:

- Detectar y despejar una falla correctamente debido a la capacidad selectiva y sensitiva.
- Limitar los esfuerzos térmicos, dieléctricos y mecánicos en los equipos así evitando el deterioro de los materiales del circuito eléctrico debido a estos defectos.
- Mantener la estabilidad y la continuidad de servicio de la red eléctrica.

- Contribuir a la protección de las personas contra los efectos del funcionamiento anormal eléctrico.
- Proteger las instalaciones adyacentes debido a los voltajes inducidos en los circuitos adyacentes.

2.14.1. INTERRUPTOR MAGNETOTÉRMICO

Es un dispositivo de protección de circuitos eléctricos que actúa ante dos tipos de eventos, la parte magnética actúa ante un cortocircuito y la térmica actúa ante una sobrecarga del circuito, también se lo conoce como breaker y se lo ubica en los tableros de distribución. Además, posee tres sistemas de desconexión: manual, térmico y magnético. Cada uno puede actuar independientemente de los otros, estando formada su curva de disparo por la superposición de ambas características, magnética y térmica.

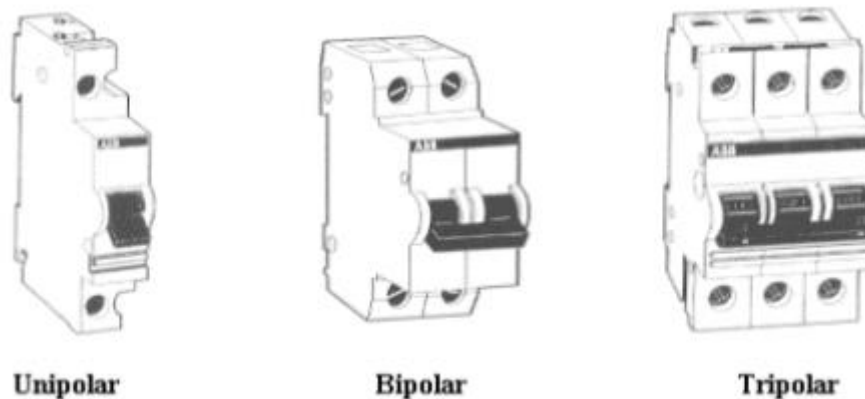


Figura 2.16. Interruptores magnetotérmicos [41]

2.14.2. DIMENSIONAMIENTO POR CORTOCIRCUITO

Se debe considerar la corriente de disparo de la falla y el tiempo de despeje de esta, como se observa en la Figura 2.17 donde la curva de desconexión de un magnetotérmico tiene:

- Zona A que corresponde a la actuación térmica.
- Zona B que corresponde a la operación magnética.
- Zona de solape C donde el disparo puede ser provocado por el elemento magnético o térmico indistintamente.

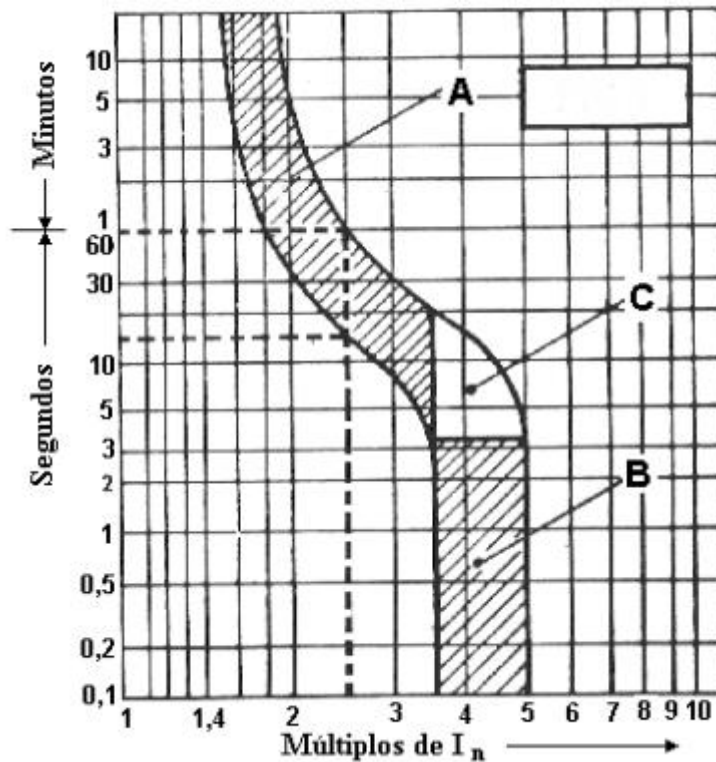


Figura 2.17. Curva característica de un magnetotérmico [41]

El comportamiento de la curva característica de un magnetotérmico depende de los límites que posea esta, debiendo adaptar en cada caso la curva correspondiente a las particularidades del circuito que se desea proteger.

- Curva B: se la emplea para instalaciones de líneas de gran longitud y generadores.
- Curva C: es la más utilizados en instalaciones domésticas, alumbrado, tomas de corriente y usos generales.
- Curva D: son adecuados para instalaciones que alimentan receptores con fuertes puntas de arranque como motores o transformadores.
- Curva Z: se utilizan para proteger instalaciones con receptores electrónicos.
- Curva MA: se utilizan para la protección de motores, pero carecen de protección contra sobrecargas.

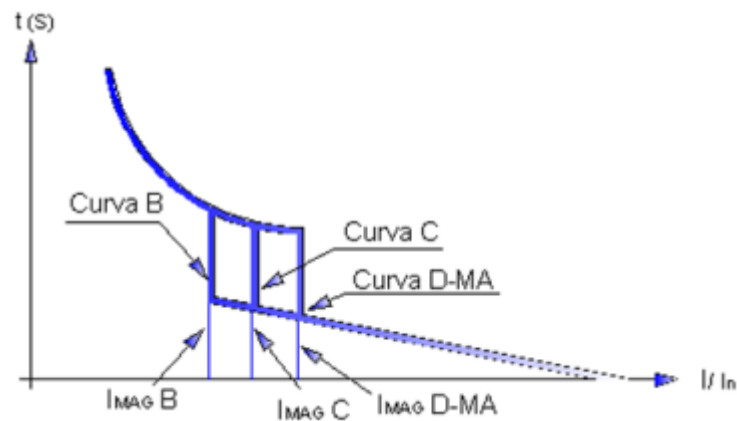


Figura 2.18. Tipos de curva de disparo del interruptor magnetotérmico [41]

2.14.3. DIMENSIONAMIENTO POR SOBRE CORRIENTE

Para dimensionar un dispositivo que proteja contra sobrecargas deben satisfacer las siguientes condiciones:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (2.10)$$

$$I_2 \leq 1,45 \times I_z \quad (2.11)$$

Donde

I_b : es la corriente nominal del circuito.

I_z : es la máxima corriente admisible.

I_n : es la corriente nominal del dispositivo de protección (para los dispositivos de protección regulables, I_n es la corriente de regulación escogida).

I_2 : es la corriente convencional de disparo del circuito.

Para interruptores termomagnéticos:

$$I_{pro} = 1,45 \times I \text{ (para interruptores domésticos)} \quad (2.12)$$

$$I_{pro} = 1,30 \times I \text{ (para interruptores industriales)} \quad (2.13)$$

Además, se debe considerar que la corriente de la protección que se elija no sea mayor a la corriente máxima que soporta el conductor [42].

Los valores sombreados de la Tabla 2.9, son los más usados en los interruptores magnetotérmicos no regulables.

Tabla 2.9 Corrientes nominales normalizadas para interruptores termomagnéticos

Valores de In (A) normalizados para interruptores magnetotérmicos							
2	4	6	10	16	20	25	35
40	50	63	80	100	125	160	200
250	315	400	425	500	630	800	1000

3. DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LAS INSTACIONES ELÉCTRICAS DE LA EMPRESA WODEN ECUADOR S.A

3.1. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR

La empresa IQ Electronics inicia sus operaciones en el año 2000 en México, ofreciendo productos y servicios que dependen del uso de equipos electrónicos. En el año 2003 la empresa se expande a países como: Puerto Rico, Venezuela, Colombia y Chile. En Ecuador nace en el año 2007 y en el año 2018 cambia de nombre a WODEN Ecuador S.A. [1].

La empresa ofrece servicios de: diagnóstico, pruebas, reacondicionamiento, reparación, almacenamiento, control de inventarios, empaquetado, alistamiento para la distribución, logística y recuperación de equipos electrónicos.

3.2. UBICACIÓN

La empresa WODEN S.A se ubica en la provincia de Pichincha, Antonio Flor N74-105 y Joaquín Mancheno Carcelén Industrial, Quito.

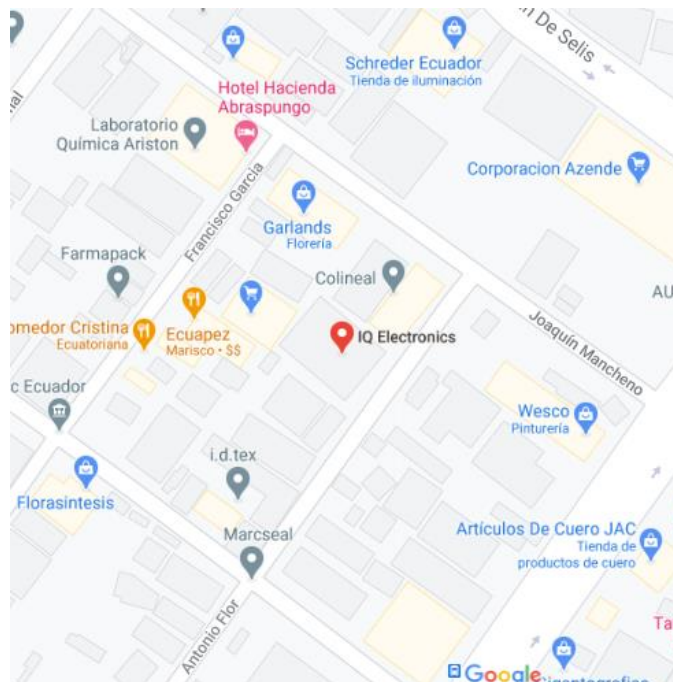


Figura 3.1. Ubicación de la empresa WODEN S.A

3.3. LEVANTAMIENTO DE CARGA DE LA EMPRESA WODEN S.A

Tabla 3.1 Carga instalada por área

Área	Ubicación	Descripción	Capacidad Instalada		
			Cant	Potencia [W]	Total [W]
Administrativa	Gerencia General	Tubo LED T8	4	18	72
		Computadora de escritorio	1	400	400
		Impresora	1	495	495
	Oficina	Tubo LED T8	4	18	72
		Computadora de escritorio	1	495	495
	Hall	Tubo LED T8	2	18	36
	Gerencia Financiera	Tubo LED T8	2	18	36
		Laptop	1	200	200
		Impresora	1	495	495
	Cafetería	Tubo LED T8	4	18	72
		Microondas	2	1450	2900
		Cafetera	1	1000	1000
Nave Industrial	Bodega General	Tubo fluorescente	42	32	1344
		Computadoras escritorio	7	400	2800
	Reacondicionamiento Cosmético	Tubo fluorescente	16	32	512
		Computadoras escritorio	3	400	1200
	Área de Pintura	Tubo fluorescente	12	32	384
		Computadoras escritorio	2	400	800
	Puntonet	Tubo fluorescente	20	32	640
		Computadoras escritorio	6	400	2400
	Burning	Tubo fluorescente	2	32	64
	Laboratorio DIRECTV	Tubo fluorescente	44	32	1408
		Computadoras escritorio	8	400	3200
		Reflector Led	6	30	180
	Control de calidad DIRECTV	Tubo fluorescente	32	32	1024
		Computadoras escritorio	5	400	2000
	Reparación General	Tubo fluorescente	28	32	896
		Computadoras escritorio	7	400	2800
	Racks DIRECTV	Tubo fluorescente	4	32	128
		Computadoras escritorio	1	400	400
	Reparación CNT	Tubo fluorescente	11	32	352
		Computadoras escritorio	2	400	800
Sala de Capacitaciones	Tubo fluorescente	4	32	128	

Se realizó la inspección de todas las áreas de la empresa WODEN S.A con el fin de conocer los equipos que operan dentro de la empresa, así como su estado y funcionamiento. El

resultado del levantamiento de carga se presenta en el ANEXO A y el plano correspondiente al mismo se adjunta en el ANEXO J.

3.4. CLASIFICACIÓN DE CARGA INSTALADA

La agrupación de cargas es muy importante, debido a que permite identificar los equipos y dispositivos que tienen un mayor gasto energético en la empresa. Por lo tanto, se procedió a realizar una agrupación de dispositivos y equipos de acuerdo con el lugar en donde se encuentran ubicados y a su función.

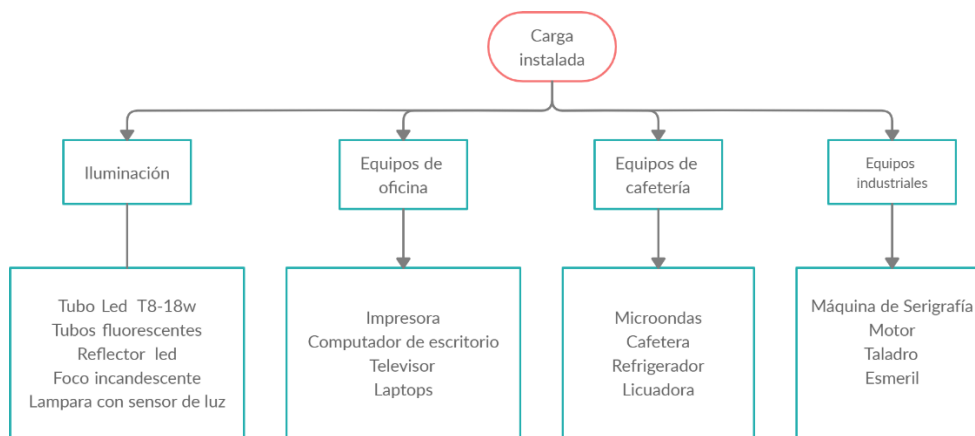


Figura 3.2. Clasificación de cargas.

3.5. CARGA INSTALADA POR GRUPOS

Con el fin de comprender la incidencia que tiene cada grupo a nivel energético sobre el total de la carga se presenta en la Tabla 3.2 la potencia instalada por cada grupo y en la Tabla 3.3 se describe la potencia instalada por los lugares inspeccionados.

Tabla 3.2 Potencia instalado por grupo

Grupo	Potencia instalada [kW]	Potencia instalada [%]
Iluminación	18.6	22%
Equipos de oficina	32.735	38%
Equipos de cafetería	10.91	13%
Equipos industriales	23.17	27%
Total	85.415	100%

Tabla 3.3 Potencia instalada por lugares

Lugares	Total [W]	Iluminación [W]	Equipos de oficina [W]	Equipos de cafetería [W]	Equipos industriales [W]
Administrativa	9647	672	5075	3900	0
Nave industrial	31235	9140	22095	0	0
Exteriores	37630	6380	1070	7010	23170
Primera Planta	6903	2408	4495	0	0
Total [W]	85415	18600	32735	10910	23170

En la Figura 3.3 se presenta el porcentaje de potencia instalada que representa cada uno de los grupos sobre el total de la carga.

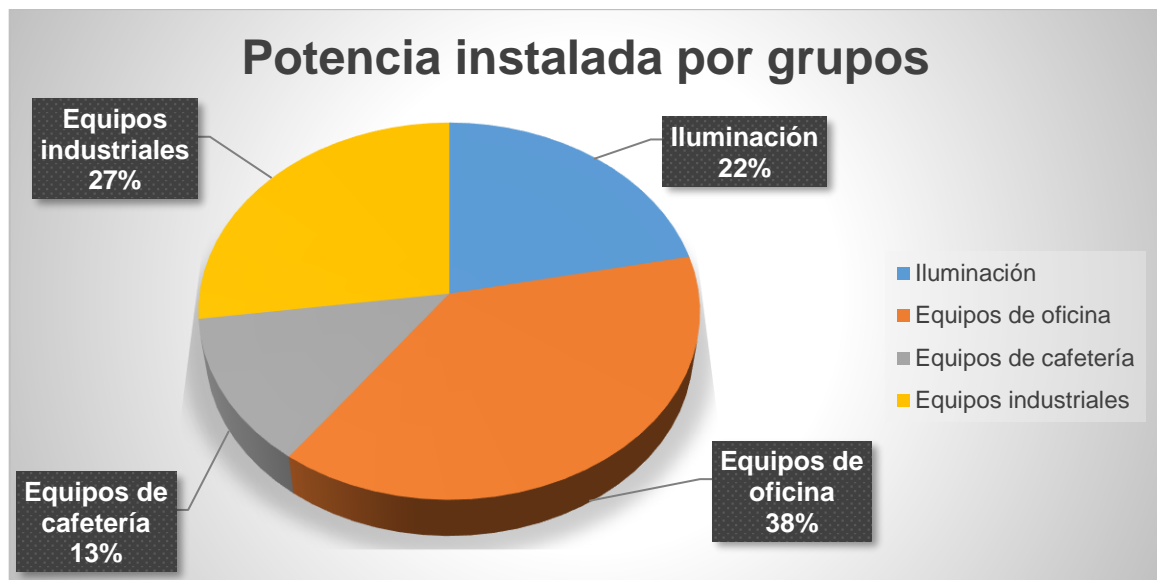


Figura 3.3. Potencia instalada por grupos

3.6. SITUACIÓN ACTUAL

3.6.1. TRANSFORMADOR

El transformador que energiza a las instalaciones de la empresa WODEN S.A es trifásico con ventilación natural, está ubicado en una estructura de dos postes y su capacidad es de 75 kVA. Es importante mencionar que, debido a la ampliación de las instalaciones, su demanda ha crecido estableciéndose la incertidumbre referente a la potencia del transformador, pues se desconoce la demanda real de las instalaciones, por lo tanto, el transformador podría estar funcionando sobrecargado lo que representaría un problema.



Figura 3.4. Transformador de distribución de la empresa WODEN S.A

Tabla 3.4 Características del transformador

Montaje	Centro de transformación aéreo
Marca	ECUATRAN S. A
Fases	3
Potencia [kVA]	75
Voltaje en MV [kV]	23.432
Voltaje en BV [V]	220/227
Impedancia [%]	2.9

3.6.2. MEDIDOR

Se encuentra ubicado en la parte interna del patio de control y su acceso está protegido por una caja de aluminio. La instalación del medidor no es la adecuada y el conductor de neutro se encuentra libre sin ningún tipo de asilamiento como se observa en la Figura 3.5.



Figura 3.5. Medidor de energía

De la inspección realizada al medidor se observó que:

- Los conductores se encuentran desordenados y no poseen sin ninguna etiqueta que los identifique. Esto influye de forma negativa en los posibles trabajos futuros que se necesite realizar sobre el medidor, debido a que sería complicado determinar de donde provienen o hacia donde se dirigen los conductores.
- El conductor de neutro se encuentra libre sin ningún aislamiento, lo cual es peligroso porque se puede producir corto circuitos.
- El conductor de neutro al estar sin aislamiento presenta sulfatación.
- La abrazadera que une todos los conductores de neutro presenta sulfatación, por lo tanto, no asegura el buen contacto entre conductores.

3.6.3. TABLERO DE CONTROL PRINCIPAL

Se encuentra ubicado en la parte interna de la nave industrial, posee varias regletas, en donde se ubican varios interruptores térmicos. Cada uno de estos corresponde a los subcircuitos que alimentan las instalaciones de la empresa.



Figura 3.6. Tablero de control principal

De la inspección realizada al tablero de control principal se observó que:

- Tiene alimentador en baja tensión 3x4/0 AWG TTU (fases) + 1x2/0 AWG TTU (neutro) + 1x2/0 AWG (tierra), este alimentador pasa por un breaker principal de 320 A.
- Los terminales de algunos interruptores térmicos se encuentran flojos, por lo que no existe un buen contacto entre el conductor y los terminales del interruptor.
- Los conductores que entran y salen del tablero principal se encuentran desordenados y dispersos, además no existe ninguna etiqueta que identifique a que circuito pertenece cada conductor.
- Se evidencia partículas de polvo dentro del tablero principal, por lo que se deduce que no existe un plan de mantenimiento adecuado.

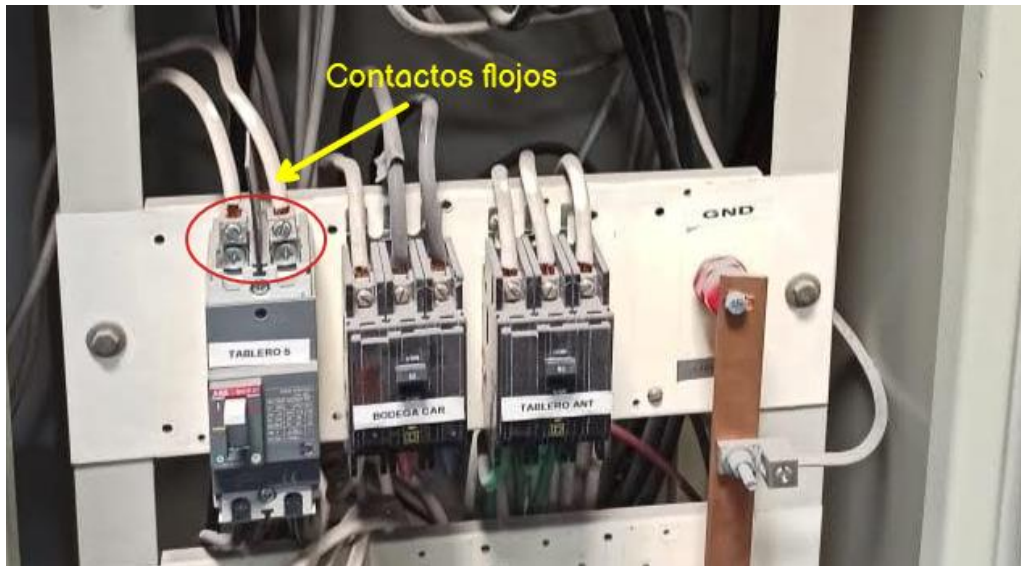


Figura 3.7. Contactos flojos de interruptor en tablero principal

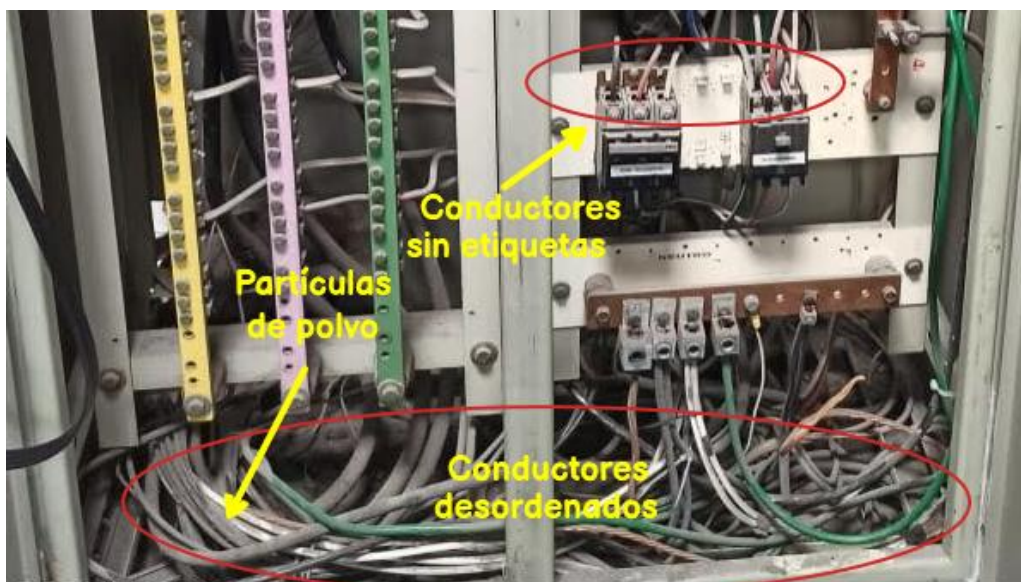


Figura 3.8. Hallazgos en tablero principal

3.6.4. TABLEROS SECUNDARIOS

Existen 5 tableros secundarios numerados del 1 al 5, cada uno de los tableros alimenta a circuitos de iluminación y fuerza en las diversas áreas que dispone la empresa WODEN S.A.

De la inspección realizada en el tablero secundario # 1 se observó que:

- Tiene alimentador en baja tensión 2x8 AWG TTU (fases) + 1x8 AWG TTU (neutro) + 1x8 AWG (tierra), este alimentador pasa por un breaker secundario de 50 A que está ubicado en el tablero principal en el pasillo de la bodega general.
- Los conductores del tablero se encuentran desordenados y dispersos.
- Existen algunas etiquetas pegadas en la tapa del tablero sin embargo no se indica de forma clara que interruptores corresponden a dichas etiquetas.
- Existen etiquetas antiguas muy desgastadas que se no son legibles, lo que produce confusión al momento de identificar un circuito en particular.
- Se evidencia partículas de polvo en el tablero, por lo que se presume que es por falta de mantenimiento.

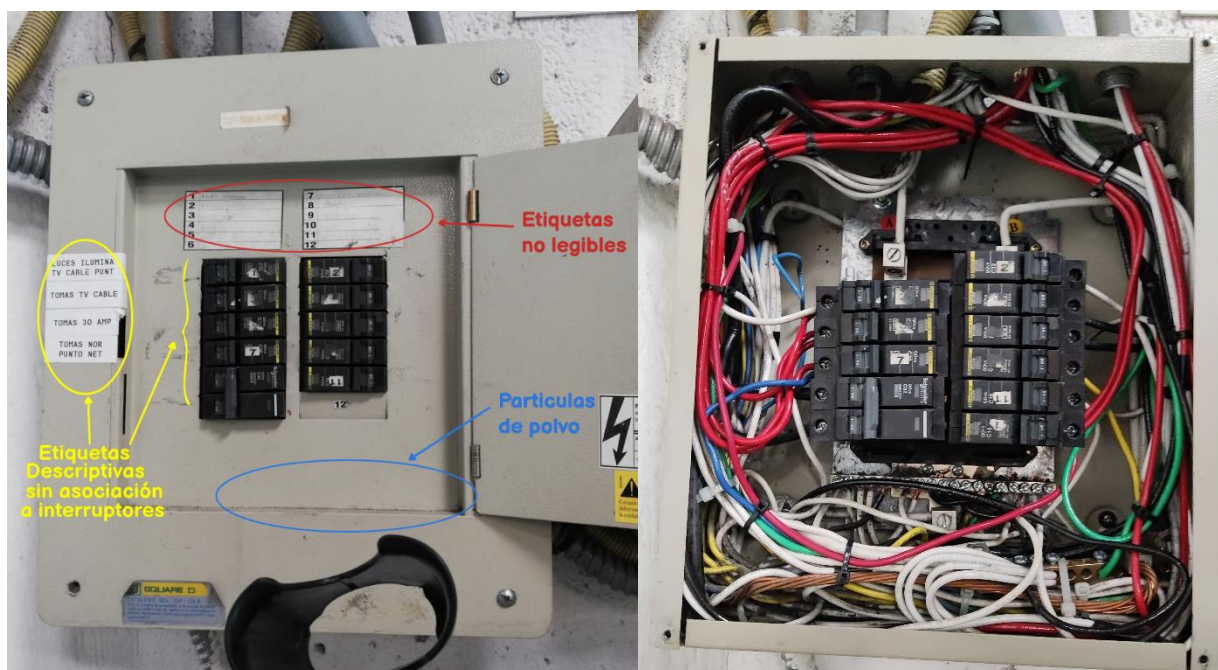


Figura 3.9. Hallazgos en tablero secundario # 1

De la inspección realizada en el tablero secundario # 2 se observó que:

- Tiene alimentador en baja tensión 3x4 AWG TTU (fases)+ 1x4 AWG TTU (neutro) + 1x8 AWG (tierra), este alimentador pasa por un breaker secundario de 50 A que está ubicado en el tablero principal en el pasillo de la bodega general.
- Los interruptores se encuentran con etiquetas, identificando a los circuitos que alimenta el tablero, sin embargo, se evidencia que algunas etiquetas anteriores se

encuentran aún pegadas lo que podría causar confusión a la hora de identificar un circuito.

- Algunos de los interruptores térmicos no poseen etiquetas que identifiquen que circuitos alimentan.

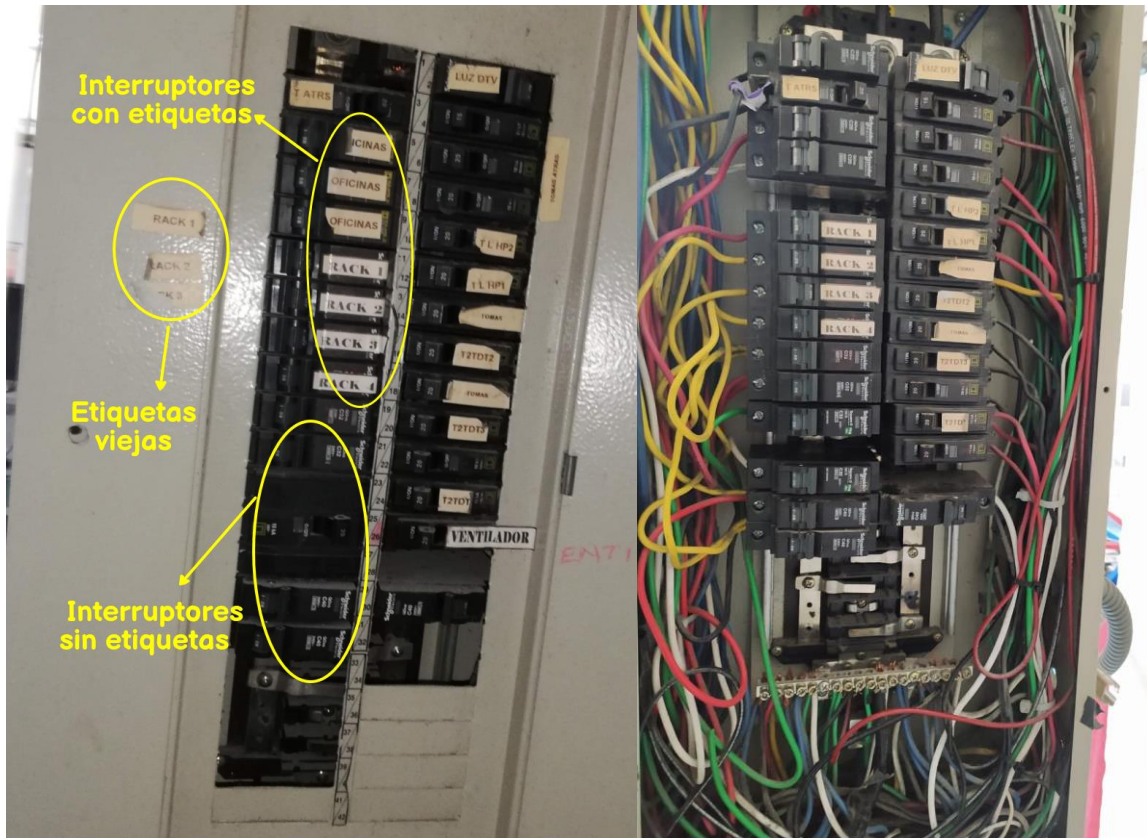


Figura 3.10. Hallazgos en tablero secundario # 2

De la inspección realizada en el tablero secundario #3 se observó que:

- Tiene alimentador en baja tensión 3 (2x6 AWG TTU) + 1 (2x6 AWG TTU) no posee conexión a tierra, este alimentador pasa por un breaker secundario de 50 A que está ubicado en el tablero principal en el pasillo de la bodega general.
- Los conductores están recogidos con amarras y correctamente ajustados a los bornes de los interruptores.
- Existen etiquetas para identificar los circuitos a los que alimenta el tablero, pero faltan etiquetas para conocer de donde proviene cada conductor que se conectan a los interruptores etiquetados.

- Se evidencia partículas de polvo dentro del tablero, por lo que se presume que es por falta de mantenimiento.

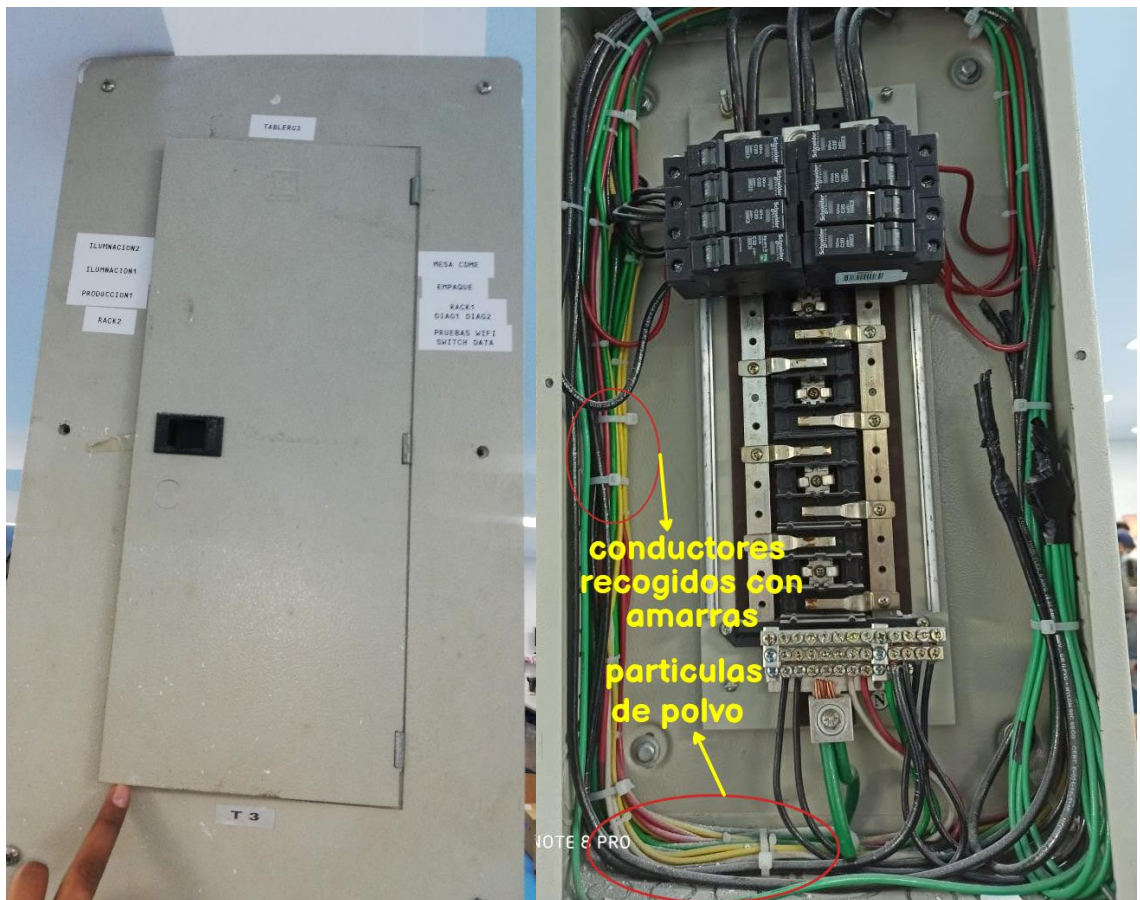


Figura 3.11. Hallazgos en tablero secundario # 3

De la inspección realizada en el tablero secundario # 4 se observó que:

- Tiene alimentador en baja tensión 3x8 AWG TTU + 1x8 AWG TTU no posee conexión a tierra, este alimentador pasa por un breaker secundario de 50 A que está ubicado en el tablero principal en el pasillo de la bodega general.
- Dentro del tablero existen canaletas para que la conexión de los conductores con sus respectivas protecciones, sin embargo, existen conexiones improvisadas que se encuentran fuera de las canaletas.
- Algunas de las canaletas se encuentran sin tapas, provocando que algunos conductores queden colgados.
- Se evidencia partículas de polvo dentro del tablero, por lo que se presume que es por falta de mantenimiento.

- Algunos conductores poseen etiquetas las cuales indican de que circuito provienen, sin embargo, existen otros conductores que no poseen etiqueta.

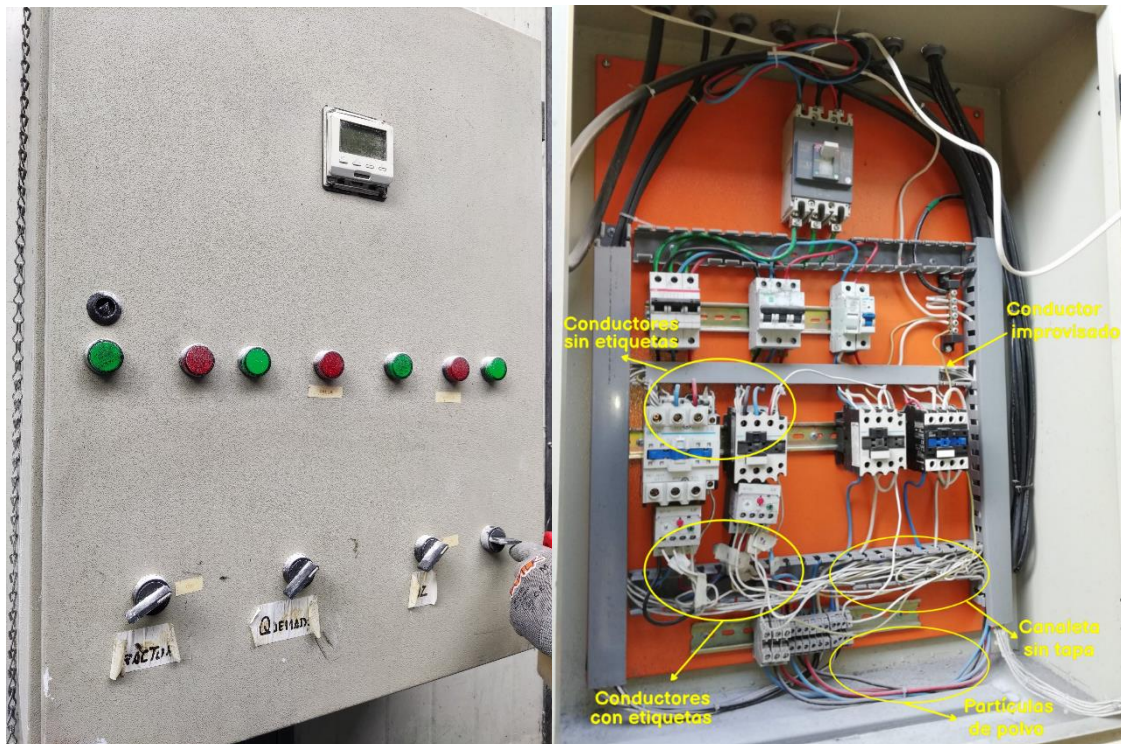


Figura 3.12. Hallazgos en tablero secundario # 4

De la inspección realizada en el tablero secundario # 5 se observó que:

- Tiene alimentador en baja tensión 2 (2x8 AWG TTU) + 1 (2x8 AWG TTU) no posee conexión a tierra, este alimentador pasa por un breaker secundario de 30 A que está ubicado en el tablero principal en el pasillo de la bodega general.
- Los conductores del tablero se encuentran desordenados y dispersos.
- No existe etiquetas que identifiquen los circuitos que alimenta cada interruptor.
- Existen partículas de polvo en el tablero, por lo que se presume que es por falta de mantenimiento.

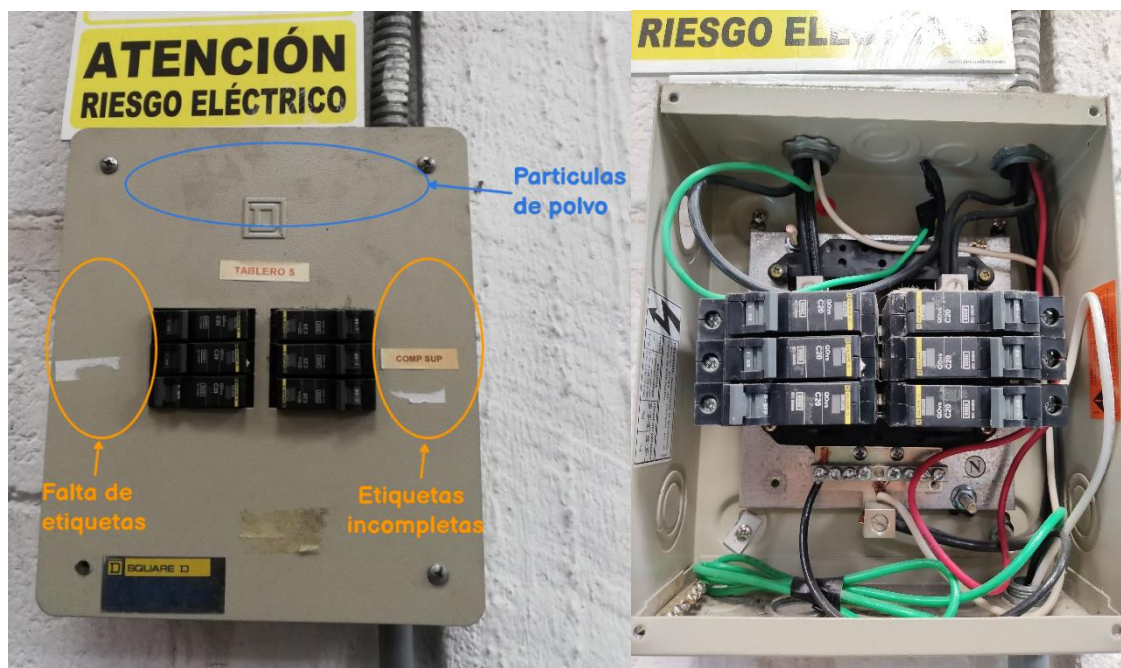


Figura 3.13. Hallazgos en tablero secundario # 5

3.6.5. COMPRESOR

El compresor que abastece a las instalaciones de la empresa WODEN S.A esta ubicado en el cuarto de máquinas, se trata de un compresor de tornillo con inyección de aceite. Este tipo de compresores permiten obtener un caudal continuo de aire comprimido con un nivel sonoro inferior a los compresores de pistón. Posee una gran potencia y el mantenimiento que requiere este tipo de compresores es sencillo. Al ser un compresor moderno de altas prestaciones su consumo de energía eléctrica esta optimizado debido a su diseño y componentes.

Tabla 3.5 Características del compresor ABAC Genesis

Tipo	Genesis 15-500
Voltaje	220 V
Frecuencia	60Hz
Presión de trabajo	10 bar
Máxima Presión	10 bar
Temperatura máxima de entrada	40 °C
Temperatura ambiente máxima	40 °C
Caudal	2110 litros/min
Motor	15 HP
Tanque de almacenamiento	500 litros



Figura 3.14. Compresor ABAC Genesis

De la inspección realizada al compresor se observó que:

- El compresor está bajo un techo que lo protege ante factores externos como la lluvia, pero no se encuentra en un cuarto que lo proteja del polvo.
- Al ser un equipo con altas prestaciones requiere muy poco mantenimiento, además su consumo eléctrico está optimizado.
- Se evidencia una gran cantidad de polvo sobre la estructura del compresor, por lo que se presume que es por falta de mantenimiento.
- El compresor está ubicado en un lugar no adecuado porque existen estantes y envases de pintura alrededor del mismo.

3.6.6. CIRCUITOS DE ILUMINACIÓN

La iluminación es un parte fundamental en la empresa WODEN S.A puesto que posee laboratorios, bodegas, áreas administrativas y call center. Una adecuada iluminación protege la integridad visual de los trabajadores para el desarrollo de sus labores diarias dentro de las áreas de trabajo y un control adecuado de las luminarias contribuye a optimizar el uso de la energía.

3.6.6.1. Área de accesorios y cosmética

De la inspección realizada en el área de accesorios y cosmética se observó que:

- Algunas luminarias se encuentran en mal estado porque algunos pedazos de su estructura están ausentes, además no están alineadas correctamente.
- Se evidencia una gran cantidad de polvo en la estructura de las luminarias, por lo que se presume que carecen de mantenimiento.
- La disposición de las luminarias no es la correcta, al parecer anteriormente existió una remodelación y no se reubico las luminarias para que se ajuste a cada puesto de trabajo.

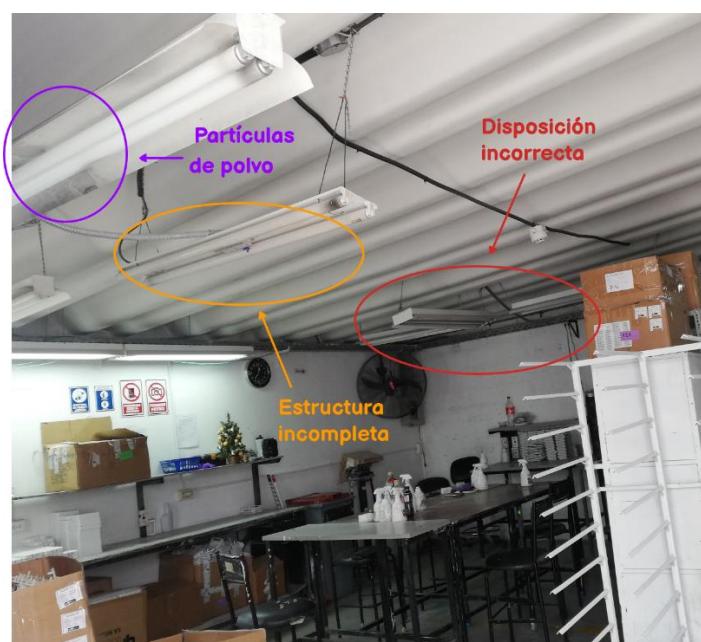


Figura 3.15. Iluminación área de accesorios y cosmética parte 1

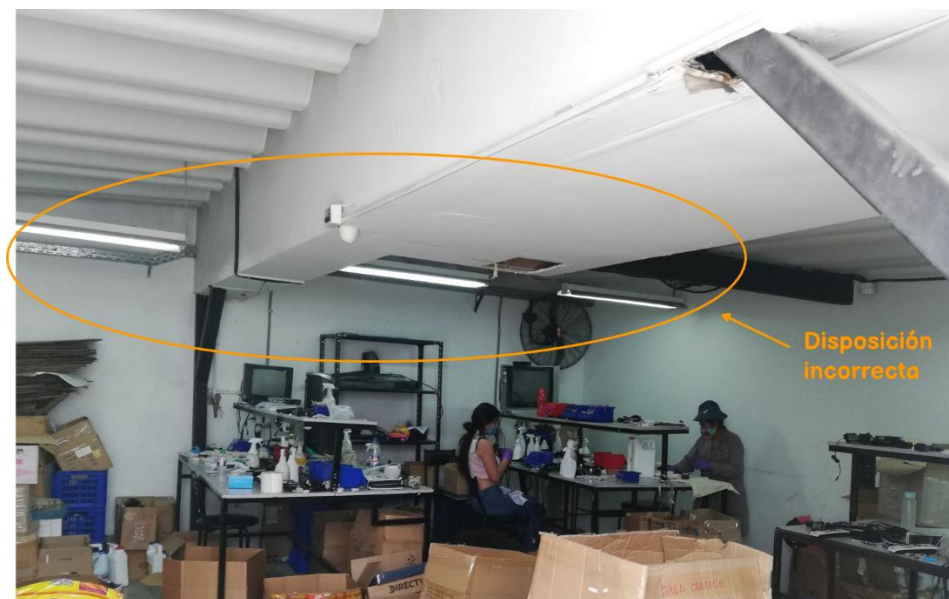


Figura 3.16. Iluminación área de accesorios y cosmética parte 2

3.6.6.2. Área administrativa

De la inspección realizada en el área administrativa se observó que:

- La disposición de las luminarias no es la correcta, lo que produce que no exista una iluminación óptima en el puesto de trabajo.
- La mala disposición de luminarias produce sombras en la oficina.

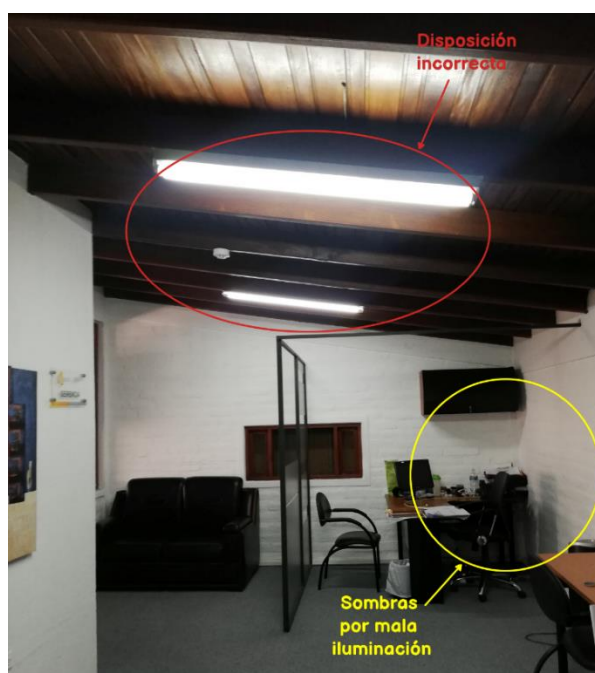


Figura 3.17. Iluminación área administrativa

3.6.6.3. Área de pintura

De la inspección realizada en el área de pintura se observó que:

- La disposición de las luminarias no es la correcta, lo que produce que no exista una iluminación óptima en los puestos de trabajo.
- La mala disposición de luminarias produce sombras en el área de trabajo.



Figura 3.18. Iluminación área de pintura

3.6.6.4. Bodegas CNT

De la inspección realizada en las bodegas CNT se observó que:

- La disposición de las luminarias no es la correcta, lo que produce que no exista una iluminación óptima en la bodega.
- Los tomacorrientes no se encuentran instalados a una altura adecuada según normativas.
- En algunos lugares el número de luminarias es insuficiente, por lo que no existe un nivel de iluminación adecuado.



Figura 3.19. Iluminación bodega CNT parte 1



Figura 3.20. Iluminación bodega CNT parte 2

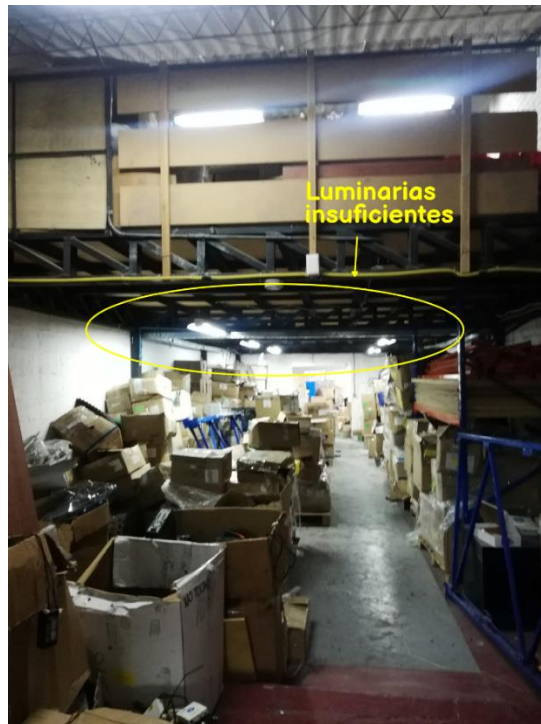


Figura 3.21. Iluminación bodega CNT parte 3

3.6.6.5. Cabina de pintura

De la inspección realizada a la cabina de pintura se observó que:

- Algunas luminarias no funcionan.
- La disposición de las luminarias es correcta.



Figura 3.22. Iluminación cabina de pintura parte 1



Figura 3.23. Iluminación cabina de pintura parte 2

3.6.6.6. Centro médico

De la inspección realizada en el centro médico se observó que:

- Existen luminarias que no funcionan, lo que afecta a la visibilidad.



Figura 3.24. Iluminación centro médico

3.6.6.7. Call Center

De la inspección realizada en el Call Center se observó que:

- La disposición de las luminarias no es la correcta, lo que produce que no exista una iluminación óptima en cada sitio de trabajo.
- Los tomacorrientes no se encuentran instalados a una altura adecuada según normativas.



Figura 3.25. Iluminación Call Center

3.6.6.8. Área de control de calidad DIRECTV

De la inspección realizada en el área de control de calidad de DIRECTV se observó que:

- Algunas lámparas no funcionan, esto que afecta la visibilidad del área de trabajo.
- Se evidencia que algunas luminarias se encuentran mal ubicadas, lo que produce que no exista una iluminación óptima en las mesas de trabajo.



Figura 3.26. Iluminación área de control de calidad DIRECTV

3.6.6.9. Laboratorios

De la inspección realizada en el laboratorio #1 se observó que:

- Algunas de las luminarias no funcionan.
- Las conexiones de las luminarias se encuentran ubicadas correctamente en canaletas.

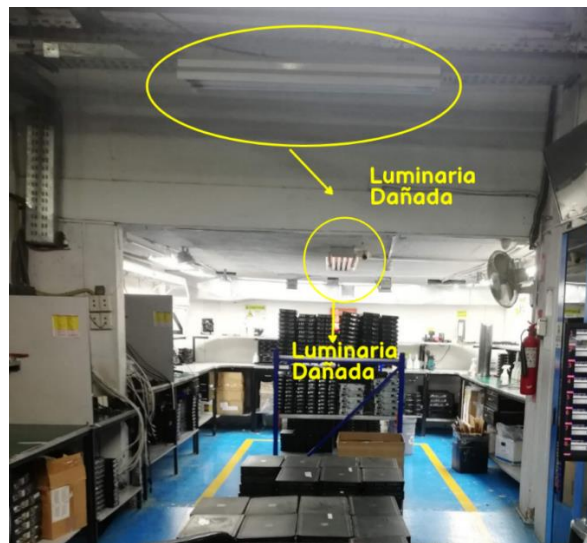


Figura 3.27. Hallazgos en laboratorio #1

De la inspección realizada en el laboratorio CNT se observó que:

- Todas las luminarias funcionan normalmente.

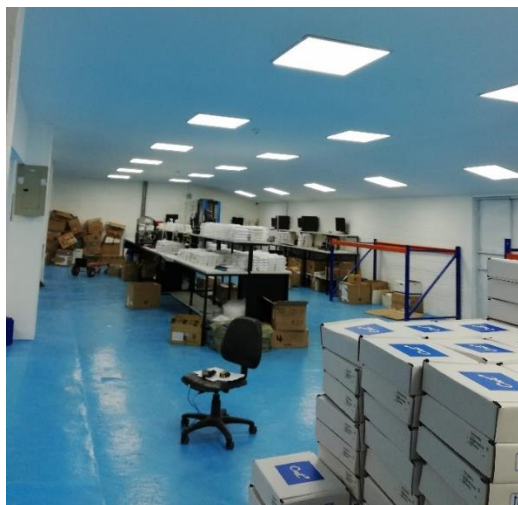


Figura 3.28. Hallazgos en laboratorio CNT

De la inspección realizada en el laboratorio #2 se observó que:

- Todas las luminarias funcionan normalmente, sin embargo, existen conductores colgados entre luminarias.

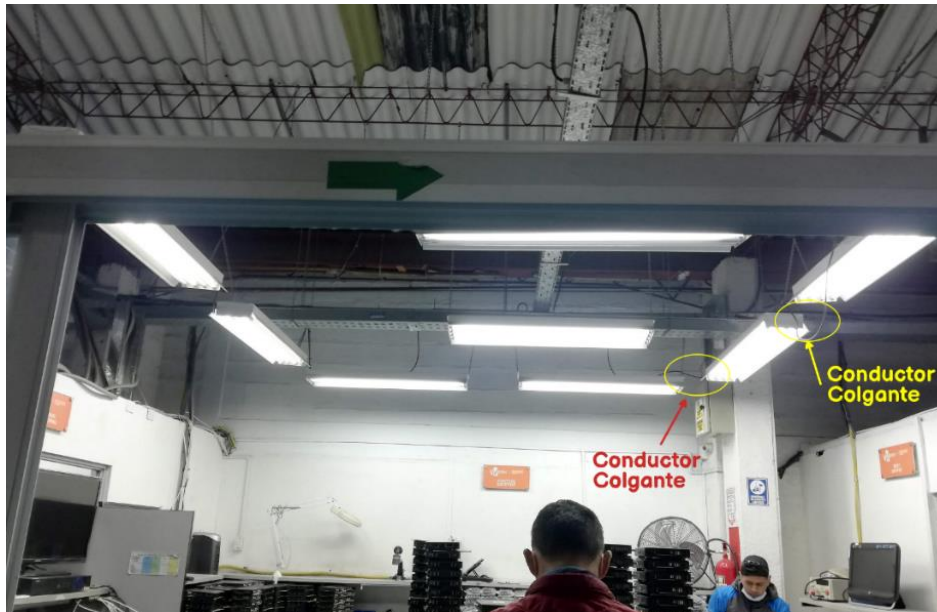


Figura 3.29. Hallazgos en laboratorio #2

3.6.6.10. Comedor

En esta área se encuentra los casilleros de cada trabajador y varias mesas con sus respectivos asientos.

De la inspección realizada en el comedor se observó que:

- Dos de las cuatro luminarias no funcionan.
- Las conexiones de las luminarias se encuentran ubicadas correctamente en canaletas.
- Las luminarias dañadas afectan en gran medida a la visibilidad, provocando que el comedor se aprecie oscuro.

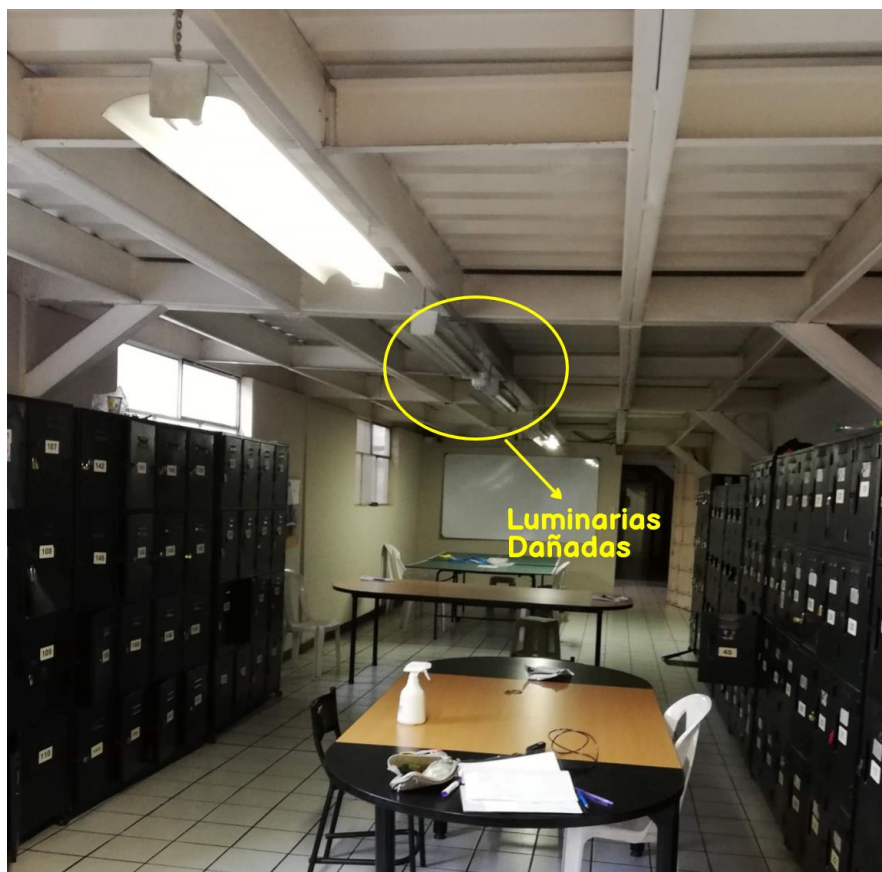


Figura 3.30. Hallazgos en comedor

3.6.7. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN INTERNO

El análisis del sistema de distribución permite conocer la situación real de las cargas de una empresa, así como su calidad. Para lo cual se debe considerar algunos parámetros de importancia como: la demanda, corriente y caída de voltaje.

3.6.7.1. Demostración del cálculo de demanda y corriente

Para conocer el valor de la demanda y corriente se procede a describir las cargas que posee la empresa, con sus descripciones, unidades y potencia respectiva. En la Tabla 3.6 se presenta la carga eléctrica para el tablero #1.

Tabla 3.6 Carga eléctrica de tablero #1

Carga	Cantidad	Potencia individual	Potencia total (W)	Corriente Calculada (A)	Factor de potencia de placa
Tubo Fluorescente	16	32	512	4.65	1
Computadoras escritorio	3	400	1200	12.12	0.9
Tubo Fluorescente	12	32	384	3.49	1
Computadoras escritorio	2	400	800	8.08	0.9
Tubo Fluorescente	20	32	640	5.82	1
Computadoras escritorio	6	400	2400	24.24	0.9
Tubo Fluorescente	2	32	64	0.58	1
Tubo Fluorescente	10	32	320	2.91	1
Tubo Fluorescente	4	32	128	1.16	1
Microondas	4	1450	5800	58.59	0.9
Focos	4	60	240	2.18	1
Potencia total			12488		
				Corriente total	123.83

El levantamiento de carga para cada uno de los tableros se presenta de forma detallada en el ANEXO H.

La corriente calculada descrita en la Tabla 3.6 se obtiene a partir de la potencia total, el voltaje y factor de potencia, aplicando las ecuaciones 3.1, 3.2 y 3.3, tanto para iluminación como para motores [43].

Para iluminación

Equipo: Tubo Fluorescente

dispositivos: 16

Potencia: 32 W

Voltaje: 110 V

$\cos \phi = 1$

$$P = P_l * disp_{num} \quad (3.1)$$

$$P = 32 W * 16$$

$$P = 512 W$$

$$I_n = \frac{P}{V * \cos \phi} \quad (3.2)$$

$$I_n = \frac{512 W}{110 V * 1}$$

$$I_n = 4.665 A$$

Para motores

Equipo: motor

dispositivos: 1

Potencia: 2000 W

Voltaje: 220 V, trifásico

$\cos \phi = 0.72$

Rendimiento: 0.8

$$P = P_I * disp_{num}$$

$$P = 2000 W * 1$$

$$P = 2000 W$$

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos \phi * n} \quad (3.3)$$

$$I_n = \frac{2000 W}{\sqrt{3} * 220 * 0.72 * 0.8}$$

$$I_n = 9.112 A$$

En donde:

P es la potencia [W].

P_l es la potencia individual del dispositivo [W].

$disp_{num}$ es el número de dispositivos del mismo tipo.

$\cos \emptyset$ es el factor de potencia.

I_n es la corriente nominal [A]

n es el rendimiento del motor.

La corriente total del tablero será la suma de los ramales individuales, dando como resultado 123.83 A, como se presenta en la Tabla 3.6.

Una vez obtenido la corriente es necesario considerar el factor de simultaneidad (F_s). Este coeficiente relaciona la potencia instalada y la potencia efectiva. Si el factor de simultaneidad es 1, implica que las todas las cargas funcionarán al mismo tiempo; sin embargo, no existe un factor definido debido a que depende del tipo de dispositivos disponibles [43]. La corriente de carga considerando el factor de simultaneidad se obtiene mediante la Ecuación 3.4.

$$I = I_n * F_s \quad (3.4)$$

En donde:

I es la corriente de carga [A].

I_n es la corriente nominal [A].

F_s es el factor de simultaneidad.

Aplicando el F_s a la corriente del tablero #1 se obtendrá la corriente de carga para el dimensionamiento de la protección.

$$I = 123.83A \times 0.8$$

$$I = 99.06 A$$

3.6.7.2. Dimensionamiento de protecciones

Para dimensionar la protección se multiplica la corriente de carga por un factor de 1.30 para cargas industriales, como se estableció en el marco teórico.

$$I_{prot} = I \times 1.30 \quad (3.5)$$

$$I_{prot} = 99.06 A \times 1.30$$

$$I_{prot} = 128.78 A$$

En base al resultado obtenido de la Ecuación 3.5 la protección será de 125 A, debido a que es el valor de protección estándar disponible en el mercado, pero no se puede colocar una protección con valor superior a la capacidad de 50 A que soporta el conductor calibre 8 AWG Cu, por lo tanto, la protección sería de 50 A. El dimensionamiento detallado para cada tablero se adjunta en el ANEXO H.

3.6.7.3. Cálculo de caídas de tensión

El diagrama unifilar general de la empresa WODEN S.A consta de un ramal principal que se deriva de la red principal y 5 ramales secundarios, que corresponden a cada uno de los tableros, como se presenta en la Figura 3.31.

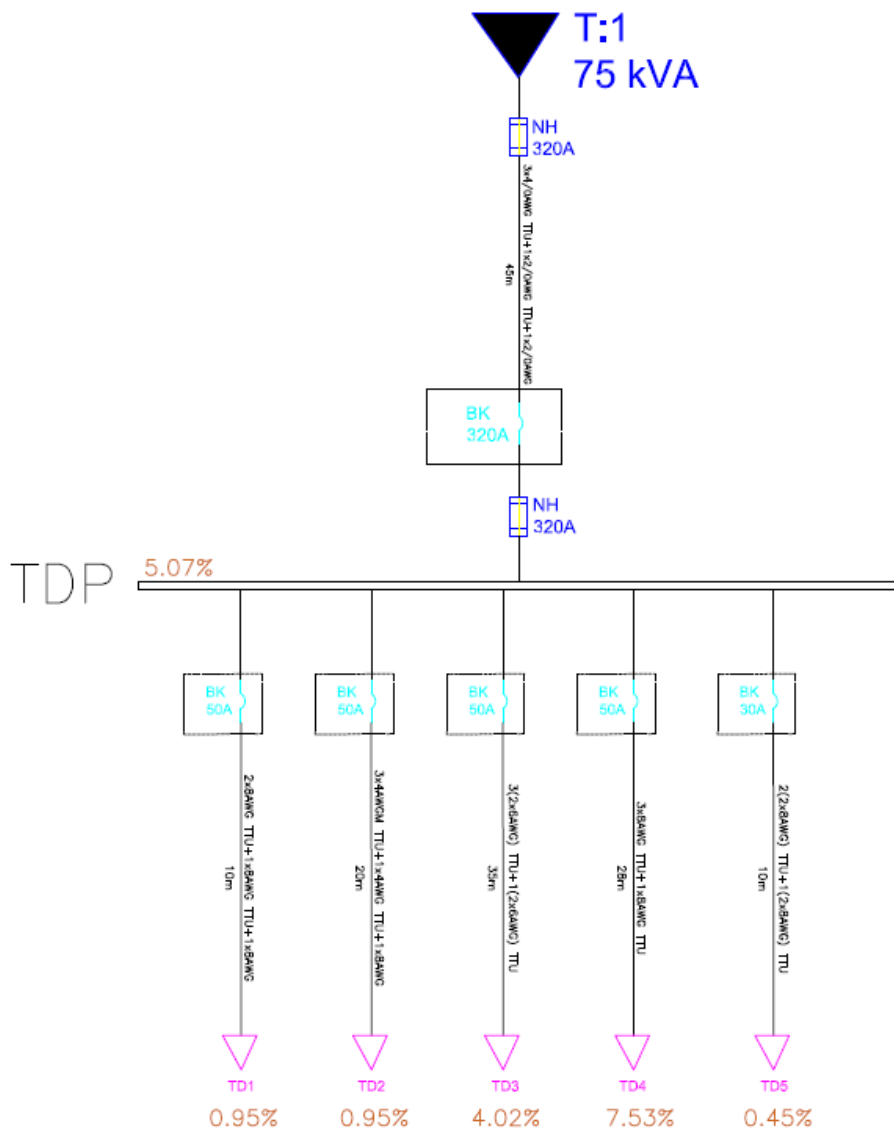


Figura 3.31. Diagrama unifilar general de la empresa WODEN S.A

Los límites para la caída de tensión para las instalaciones se presentan en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Límites de caída de voltaje [44]

Tipo de instalación	Iluminación	Otras cargas
Servicio de baja tensión en una red de distribución	2%	5%

El cálculo de caída de tensión es posible mediante la Ecuación 3.6.

$$\%V = S \times k \times l \quad (3.6)$$

En donde:

S es la potencia de carga,

k es la constante del conductor

l es la longitud del tramo.

Calculo TD 1:

$$S = V \times I \times \sqrt{3} \quad (3.7)$$

$$S = 110 \text{ V} \times 99.064 \text{ A} \times \sqrt{3}$$

$$S = 18.87 \text{ kVA}$$

Para el cable 8 AWG la constante k es 0.00504614 [43] y la distancia es de 10m, reemplazando en la ecuación 3.6 se obtiene la caída de voltaje.

$$V_{TD1} = 18.87 \text{ kVA} \times 0.00504614 \times 10 \text{ m}$$

$$V_{TD1} = 0.95 \%$$

Calculo TD 2:

$$S = 110 \text{ V} \times 120.70 \text{ A} \times \sqrt{3}$$

$$S = 22.99 \text{ kVA}$$

Para el cable 4 AWG la constante k es 0.00207002 [43] y la distancia es de 20m, reemplazando en la ecuación 3.6 se obtiene la caída de voltaje.

$$V_{TD2} = 22.99 \text{ kVA} \times 0.00207002 \times 20 \text{ m}$$

$$V_{TD2} = 0.95 \%$$

Calculo TD 3:

$$S = 110 V \times 187.07 A \times \sqrt{3}$$

$$S = 35.64 kVA$$

Para el cable 6 AWG la constante k es 0.00322112 [43] y la distancia es de 35m, reemplazando en la ecuación 3.6 se obtiene la caída de voltaje.

$$V_{TD3} = 22.99 kVA \times 0.00322112 \times 20 m$$

$$V_{TD3} = 4.01 \%$$

Calculo TD 4:

$$S = 220 V \times 139.85 A \times \sqrt{3}$$

$$S = 53.28 kVA$$

Para el cable 8 AWG la constante k es 0.00504614 [43] y la distancia es de 28m, reemplazando en la ecuación 3.6 se obtiene la caída de voltaje.

$$V_{TD4} = 53.28 kVA \times 0.00504614 \times 28 m$$

$$V_{TD4} = 7.52 \%$$

Calculo TD 5:

$$S = 110 V \times 46.35 A \times \sqrt{3}$$

$$S = 8.83 kVA$$

Para el cable 8 AWG la constante k es 0.00504614 [43] y la distancia es de 10m, reemplazando en la ecuación 3.6 se obtiene la caída de voltaje.

$$V_{TD5} = 8.83 kVA \times 0.00504614 \times 10 m$$

$$V_{TD5} = 0.44 \%$$

Calculo TDP:

$$I_T = I_{TD1} + I_{TD2} + I_{TD3} + I_{TD4} + I_{TD5}$$

$$I_T = 99.06 + 120.70 + 187.07 + 139.84 + 46.35$$

$$I_T = 593.05 \text{ A}$$

$$S = 220 \text{ V} \times 593.05 \text{ A} \times \sqrt{3}$$

$$S = 225.98 \text{ kVA}$$

Para el cable 4/0 la constante k es 0.000498114 [43] y la distancia es de 45m, reemplazando en la ecuación 3.6 se obtiene la caída de voltaje.

$$V_{TDP} = 225.98 \text{ kVA} \times 0.000498114 \times 45 \text{ m}$$

$$V_{TDP} = 5.07 \%$$

Como se evidencia es necesario redimensionar el alimentador del TD4, aumentando el calibre del cable, para que la caída de tensión cumpla con los porcentajes admitidos de la Tabla 3.7.

3.6.8. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Para comprobar el estado de la malla de puesta a tierra se procedió a realizar 9 mediciones en diferentes partes del sistema como se muestra en el ANEXO K. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8 Medición de resistencia de puesta a tierra

Área	Valor medido [Ω]	Valor promedio [Ω]
Tablero principal	0.379	0.387
	0.387	
	0.394	
Medidor principal	0.567	0.411
	0.274	
	0.393	
Transformador	0.321	0.302
	0.288	
	0.296	

Según la normativa técnica IEC 60364-4-442, ANSI/IEEE 80 el valor máximo de resistencia de puesta a tierra para redes de equipos electrónicos o sensibles es de 10 Ω . Por lo tanto los valores descritos en la Tabla 3.88 cumplen con la normativa de puesta a tierra [38].

3.6.9. RESUMEN DE PROBLEMAS ENCONTRADOS

De las inspecciones realizadas en las diferentes áreas se encontraron aspectos coincidentes como:

- La mayoría de las conexiones no respetan los colores que establece la norma para identificar las fases y el neutro.
- En la mayoría de los circuitos, los conductores carecen de etiquetas que los identifiquen.

A continuación, en la Tabla 3.9 Resumen de problemas encontrados se presenta un resumen de los problemas encontrados.

Tabla 3.9 Resumen de problemas encontrados

Lugar supervisado	Observaciones
Medidor	Los conductores se encuentran desordenados
	No existe etiquetas que identifique los conductores.
	Conductor de neutro libre sin asilamiento y sulfatado.
	Abrazadera de conductores de neutro floja.
Tablero de control principal	Terminales de interruptores flojos
	No existe etiquetas que identifique los conductores.
	Presencia de partículas de polvo dentro del tablero
Tablero de secundario #1	Etiquetas viejas y nuevas pegadas sobre el tablero
	Interruptores sin etiquetas que identifiquen los circuitos
	Presencia de polvo por falta de mantenimiento
Tablero secundario #2	Etiquetas viejas y nuevas pegadas sobre el tablero
	Presencia de polvo por falta de mantenimiento
	Interruptores sin etiquetas que identifiquen los circuitos
Tablero secundario #3	Etiquetas viejas y nuevas pegadas sobre el tablero
	Interruptores sin etiquetas que identifiquen los circuitos
	Presencia de polvo por falta de mantenimiento
Tablero secundario #4	Conductores fuera de las canaletas
	Canaletas sin tapa
	Presencia de partículas de polvo dentro del tablero
	No existe etiquetas que identifique los conductores.
Tablero secundario #5	Etiquetas viejas y nuevas pegadas sobre el tablero
	Interruptores sin etiquetas que identifiquen los circuitos
	Presencia de polvo por falta de mantenimiento
Compresor	Presencia de polvo por falta de mantenimiento
Área de accesorios y cosmética	Múltiples luminarias en mal estado
	Presencia de polvo por falta de mantenimiento

	Disposición incorrecta de luminarias sobre el área de trabajo
Lugar supervisado	Observaciones
Área administrativa	Disposición incorrecta de luminarias sobre el área de trabajo
Área de pintura	Disposición incorrecta de luminarias sobre el área de trabajo
Bodega CNT	Tomacorrientes instalados a una altura inadecuada
	Disposición incorrecta de luminarias sobre el área de trabajo
	Número de luminarias insuficiente
Cabina de pintura	Luminarias sin funcionar
	Disposición incorrecta de luminarias sobre el área de trabajo
Centro médico	Luminarias sin funcionar
Call Center	Disposición incorrecta de luminarias sobre el área de trabajo
	Tomacorrientes instalados a una altura inadecuada
	Luminarias sin funcionar
	Disposición incorrecta de luminarias sobre el área de trabajo
	Varias luminarias quemadas
	Todas las luminarias funcionan correctamente
	Conductores colgados entre luminarias
Varias luminarias quemadas	

3.7. NIVELES DE ILUMINACIÓN

Para verificar que los niveles de iluminación se encuentren dentro del rango normal de operación, se procedió a capturar mediciones de iluminancia de cada área de la empresa WODEN S.A con un luxómetro. Los resultados obtenidos se describen en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10 Niveles de iluminación empresa WODEN S.A

	Ubicación	Nivel de Iluminación			Verificación
		Medido	Mínimo	Recomendado	
Administrativa	Gerencia General	100	300	500	No cumple
	Oficina 1	100	300	500	No cumple
	Hall	10	150	200	No cumple
	Gerencia Financiera	121	300	500	No cumple
	Oficinas	101	300	500	No cumple
	Cafetería	139	200	300	No cumple
	Centro medico	490	300	500	Si cumple
Planta Industrial	Bodega General	73	150	200	No cumple
	Reacondicionamiento Cosmético	438	300	500	Si cumple
	Área de Pintura	468	500	750	No cumple
	Puntonet	993	500	750	Si cumple
	Burning	305	200	300	Si cumple
	Laboratorio DIRECTV	514	500	750	Si cumple
	Control de calidad DIRECTV	526	500	750	Si cumple
	Reparación	965	1000	1500	Si cumple
	Rack Pruebas DTV	423	500	750	No cumple
	Reparación CNT	570	500	750	Si cumple
	Entrada Sala de Capacitaciones	90	75	100	Si cumple
	Sala de Capacitaciones	207	300	500	No cumple
	Departamento de Sistemas	139	300	500	No cumple
	Sistemas	169	450	500	No cumple
	Dirección de Operaciones	164	450	500	No cumple
	DTH CNT	677	500	750	Si cumple
	Internet CNT	621	500	750	Si cumple
Exteriores	Accesorios y Cosmética	474	500	750	Si cumple
	Bodega de Insumos	104	100	150	Si cumple
	Cabina de Pintura	227	200	300	Si cumple
	Serigrafía	389	200	300	Si cumple
	Cuarto de máquinas	173	150	200	Si cumple
	Comedor	50	100	150	No cumple
	Cocina	250	300	500	No cumple
Planta 1	Call Center	348	300	500	Si cumple
	Recepción de Equipos	410	200	300	Si cumple
	Bodega CNT	97	200	300	No cumple

De las mediciones realizadas se puede observar que algunos sistemas de iluminación no cumplen con los niveles de iluminación requeridos según la norma UNE 12464-1, por lo que es necesario realizar un rediseño del sistema de iluminación de estos.

3.8. COMPROBACIÓN TERMOGRÁFICA

Para hallar posibles puntos calientes que existan en las instalaciones de la empresa WODEN S.A se procedió a realizar termografías. Para llevar a cabo los análisis termográficos del sistema eléctrico se utilizó una cámara termográfica con las siguientes características:

- Marca Fluke, modelo Ti32, serie Ti32-11080089 (9Hz)
- Registro digital de voz junto con las imágenes en tarjeta de memoria SD extraíble. Tamaño de sensor IR 320X240.
- Ajuste de sensibilidad automático.
- Pantalla de cristal líquido (LCD).
- Lente infrarrojo gran angular (FLK-TI-LENS/WIDE1).
- Alcance de medición desde -30°C hasta 350°C.
- Diagnóstico inmediato cuando se requiere.

A continuación, en la Tabla 3.11 se presentan los resultados del análisis.

Tabla 3.11 Resultados de análisis termográficos

Ítem	Sección	Equipo	Estado	Nivel
1	líneas de entrada	Conectores en medio voltaje	Condición normal	0
2		Puentes en medio voltaje	Condición normal	0
3		Porta fusible de ingreso	Condición normal	0
4		Puentes de salida en medio voltaje	Condición normal	0
5	Transformador	Porta fusible del transformador	Condición normal	0
6		Bushing de entrada en medio voltaje	Condición normal	0
7		Bushing de salida de bajo voltaje	Condición normal	0
8		Bushing de Neutro	Condición normal	0

Ítem	Sección	Equipo	Estado	Nivel
9	Transformador	Bases fusibles de bajo voltaje	Condición normal	0
10		Fusibles cuchillas (NH)	Condición normal	0
11		Conector de puesta a tierra del transformador	Condición normal	0
12		Puntos de conexión de mufas de entrada	Condición normal	0
13	Tableros de control	Medidor y puntos de conexión de Neutro	Reparar tan pronto sea posible	3
14		Interruptor general de entrada	Reparar tan pronto sea posible	3
15		Interruptor general de salida	Reparar tan pronto sea posible	3
16		Barras de conexión a interruptores secundarios	Condición normal	0
17		Interruptores secundarios tablero #1	Reparar tan pronto sea posible	3
18		Interruptores secundarios tablero #5	Reparar tan pronto sea posible	3
19		Interruptor secundario (ANT)	Reparar tan pronto sea posible	3
20	Barra de puesta a tierra	Puntos de conexión en línea a tierra	Condición normal	0

Para comprender los resultados descritos en la Tabla 3.11 se presenta una tabla de criterios que ayudan a determinar el grado de severidad de un problema eléctrico. Los criterios se basan en la norma ANSI/NETA ATS-2009.

Tabla 3.12 Criterios para termografía

Nivel	Diferencia de temperatura	Clasificación	Acción
0	Ninguna	Sin deficiencia	No se requiere ninguna acción
1	1°C -10°C O/A o 1°C a 3°C O/S	Posible deficiencia	Se requiere más información
2	11°C -20°C O/A o 4°C a 15°C O/S	Probable deficiencia	Reparar en la próxima parada disponible
3	21°C -40°C O/A o >15°C O/S	Deficiencia	Reparar tan pronto como sea posible
4	>40°C O/A o >15°C O/S	Deficiencia mayor	Reparar inmediatamente

En donde:

O/A Over Ambient (sobre temperatura ambiente).

O/S Over Similar (Sobre temperatura de un cuerpo similar en condición normal).

Es importante mencionar que el estudio se lo realizó cuando los equipos se encontraban en pleno funcionamiento o a plena carga, lo cual permitió que no sea suspendida la producción; de esta forma se podría anticipar las posibles interrupciones no programadas en el abastecimiento del servicio eléctrico debido a fallas en los componentes que los constituyen.

A continuación, en la Figura 3.32 se presenta la imagen térmica obtenida del primer interruptor térmico con problemas del tablero de control y en las tablas posteriores se presenta su diagnóstico.

Tabla 3.13 Resultados térmicos, primer interruptor térmico con problemas

Parámetro térmico	
Temperatura de referencia (°C)	20.0°C
Temperatura máxima (°C)	50.2°C
Delta de temperatura (°C)	30.2°C

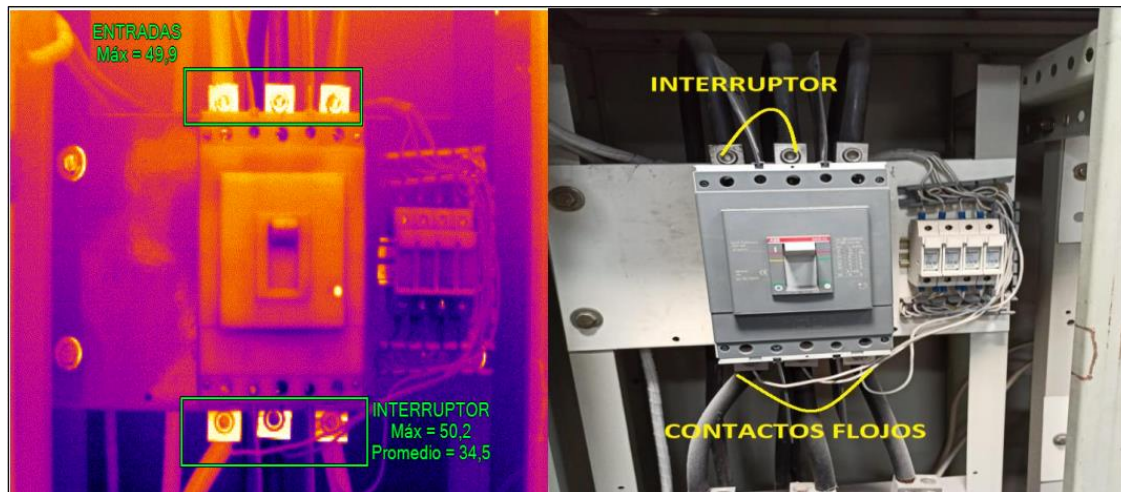


Figura 3.32. Imagen térmica del primer interruptor térmico con problemas en tablero de control

Tabla 3.14 Diagnóstico de primer interruptor térmico con problemas

Instalación	Ubicación	Componente con defecto	Descripción
Tablero de control	Parte interna del patio de control	Interruptor térmico	Diferencia de temperatura en la parte de entrada y salida del interruptor térmico principal del tablero de control general

Posibles causas:

- Contactos flojos o sulfatados.

Acciones correctivas:

- Limpiar superficie de unión y asegurar un buen contacto entre conductor y terminales del interruptor térmico.
- Reajustar los puntos de conexión.

Observaciones:

- Reparar tan pronto como sea posible.

A continuación, en la Figura 3.33 se presenta la imagen térmica obtenida del segundo interruptor térmico con problemas del tablero de control y en las tablas posteriores se presenta su diagnóstico.

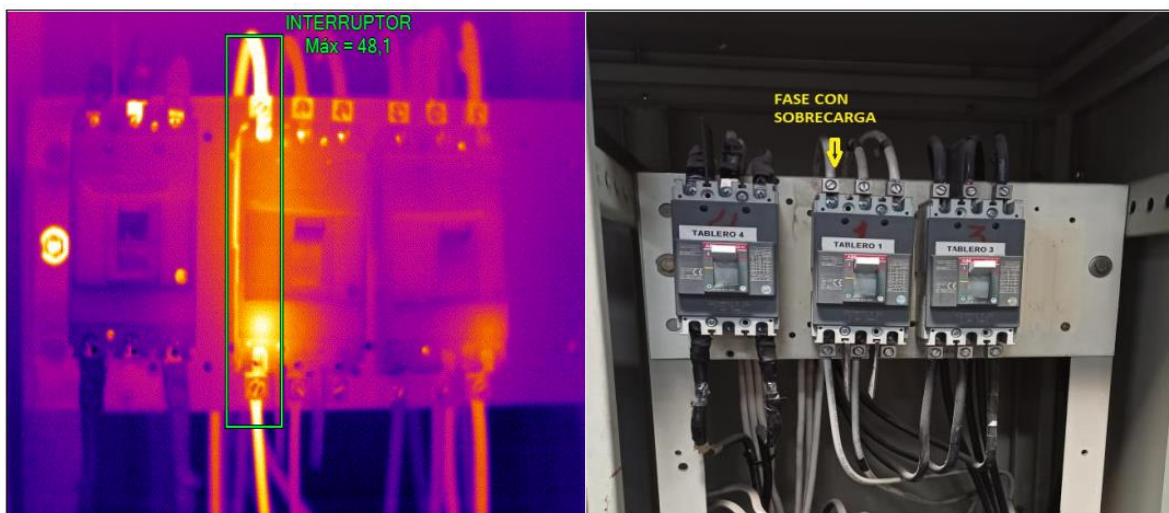


Figura 3.33. Imagen térmica del segundo interruptor térmico con problemas en tablero de control

Tabla 3.15 Resultados térmicos, segundo interruptor térmico con problemas

Parámetro térmico	
Temperatura de referencia (°C)	20.0°C
Temperatura máxima (°C)	48.1°C
Delta de temperatura (°C)	28.1°C

Tabla 3.16 Diagnóstico de segundo interruptor térmico con problemas

Instalación	Ubicación	Componente con defecto	Descripción
Tablero de control	Parte interna del patio de control	Interruptor térmico	Diferencia de temperatura en la parte de entrada y salida del interruptor térmico (tablero 1) con posible sobrecarga.

Posibles causas:

- Posible sobrecarga en la fase A.
- Contactos flojos de la fase A.

Acciones correctivas:

- Limpiar superficie de unión y asegurar un buen contacto entre conductor y terminales del interruptor térmico.
- Reajustar los puntos de conexión.
- Realizar censo de carga
- Balancear fases

Observaciones:

- Reparar tan pronto como sea posible.

A continuación, en la Figura 3.34 se presenta la imagen térmica obtenida del tercer interruptor térmico con problemas del tablero de control y en las tablas posteriores se presenta su diagnóstico.

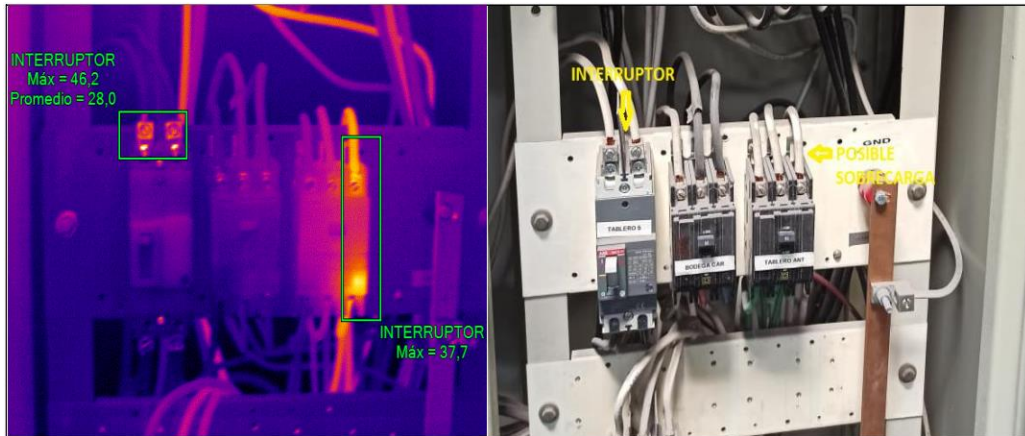


Figura 3.34. Imagen térmica del tercer interruptor térmico con problemas en tablero de control

Tabla 3.17 Resultados térmicos, tercer interruptor térmico con problemas

Parámetro térmico	
Temperatura de referencia (°C)	20.0°C
Temperatura máxima (°C)	46.2°C
Delta de temperatura (°C)	26.2°C

Tabla 3.18 Diagnóstico de tercer interruptor térmico con problemas

Instalación	Ubicación	Componente con defecto	Descripción
Tablero de control	Parte interna del patio de control	Interruptor térmico	Diferencia de temperatura en la parte de entrada y salida del interruptor térmico (tablero 5) con posible sobrecarga en el interruptor (ANT)

Posibles causas:

- Contactos flojos o sulfatados.
- Posible sobrecarga en la fase C.

Acciones correctivas:

- Limpiar superficie de unión y asegurar un buen contacto entre conductor y terminales del interruptor térmico (tablero 5).
- Revisar posible sobrecarga en interruptor (ANT).

Observaciones:

- Reparar tan pronto como sea posible.

El informe completo de cada termografía se presenta en el ANEXO B.

3.9. PARÁMETROS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El registro de calidad de energía se debe realizar por al menos 7 días continuos como lo indica la normativa del ARCONEL 053/18.

Para medir todas las variables que corresponden a calidad de energía se usó un medidor Fluke 1748 que se presenta en la Figura 3.35 y posee las siguientes características [45]:

- Posibilidad de medir las tres fases de voltaje, corriente y además la corriente de neutro.
- Posibilidad de registrar más de 20 sesiones de registro de forma automática, sin perder las tendencias de medida.
- El medidor cumple la rigurosa norma IEC 61000-4-30 Clase A Edición 3 referente a las “Técnicas de prueba y medición: métodos de calidad eléctrica”.
- El medidor proporciona imágenes de la forma de onda del evento y el perfil del evento del verdadero valor eficaz, así como la hora, la fecha e información de severidad para ayudar a detallar el origen de los problemas de calidad eléctrica.
- Permite medir armónicos e Inter armónicos de voltaje y corriente, además incluye desequilibrio, parpadeo y cambios rápidos de voltaje.



Figura 3.35. Analizador de energía FLUKE 1748

3.9.1. NIVELES DE VOLTAJE

La tolerancia aplicable a la empresa WODEN S.A es la de bajo voltaje, que establece que la variación de voltaje puede ser de un $\pm 8\%$ del voltaje nominal, según la normativa ARCONEL 053/18. Los resultados del análisis se presentan en la Tabla 3.19 y en la Figura 3.36.

Tabla 3.19 Medición de niveles de voltaje

Parámetro analizado	Medición máxima (V)	Medición mínima (V)	Promedio (V)
Voltaje fase 1	135.96	125.75	131.25
Voltaje fase 2	134.86	126.78	130.80
Voltaje fase 3	135.46	125.33	130.87

Tabla 3.20 Límites de voltaje aplicando la normativa ARCONEL 053/18

Límite mínimo (V)	Voltaje nominal (V)	Límite máximo (V)
116	127	137

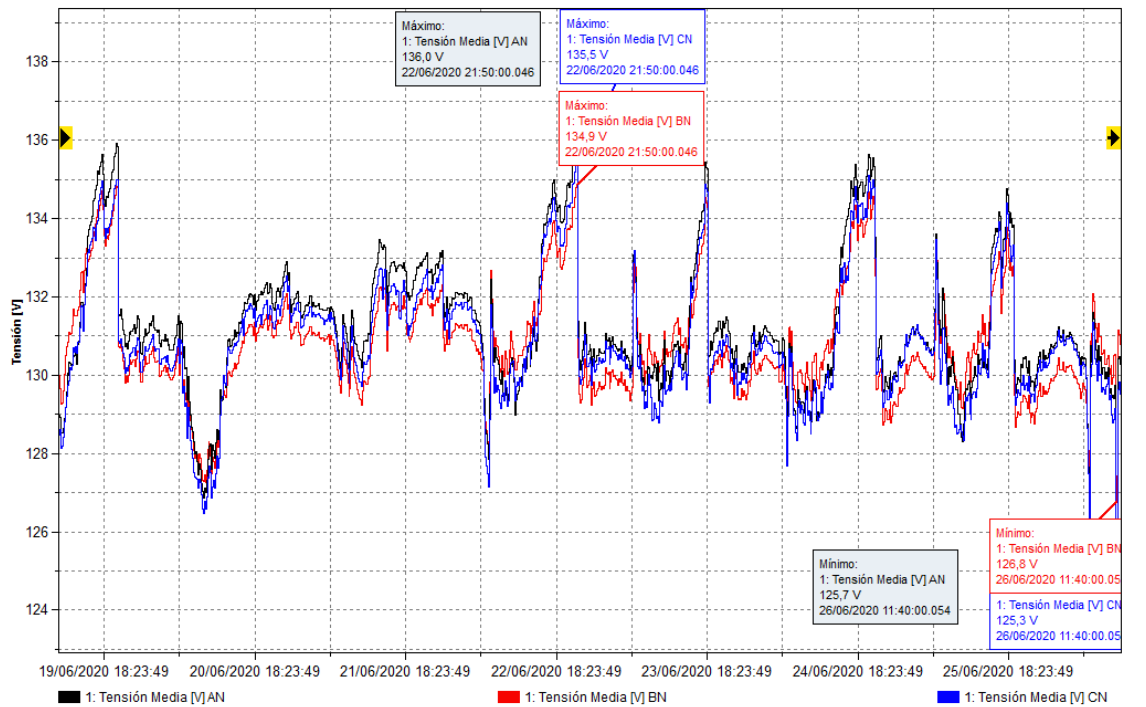


Figura 3.36. Gráfica de niveles de voltaje en las fases A, B y C

De los resultados obtenidos en la Tabla 3.19 y comparados con los límites de la Tabla 3.20 se concluye que los niveles de voltaje medidos cumplen con la normativa de calidad de energía.

3.9.2. FLICKER

La normativa de calidad de energía establece que el límite para la perturbación rápida de voltaje (Flicker) en el punto de medición no debe superar la unidad. Los resultados del análisis se presentan en la Tabla 3.21 y en la Figura 3.37.

Tabla 3.21 Mediciones de flicker

Parámetro analizado	Medición máxima	Medición mínima	Promedio
Flicker fase1	0.65	0.07	0.18
Flicker fase2	0.64	0.07	0.18
Flicker fase3	0.63	0.06	0.18

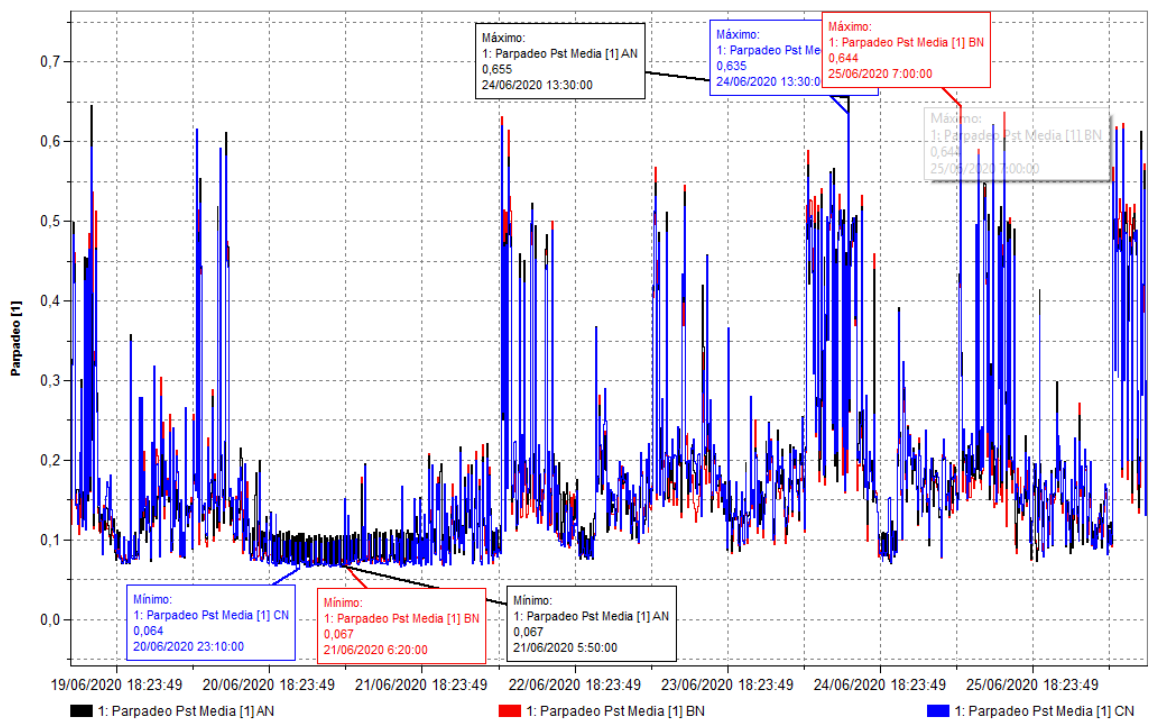


Figura 3.37. Gráfica de flicker pst en las fases A, B y C

Todos los valores obtenidos fueron inferiores a la unidad, por lo tanto, se concluye que no existen flicker en las instalaciones eléctricas de la empresa.

3.9.3. ARMÓNICOS

La normativa de calidad de energía establece que el límite máximo de distorsión armónica (THD) permitido es del 5%. Los resultados del análisis se presentan en la Tabla 3.22 y en la Figura 3.38.

Tabla 3.22 Distorsión armónica de voltaje

Parámetro analizado	Medición máxima (%)	Medición mínima (%)	Promedio (%)
THD fase1	4.03	1.71	2.62
THD fase2	2.96	0.79	1.77
THD fase3	4.59	1.02	2.10

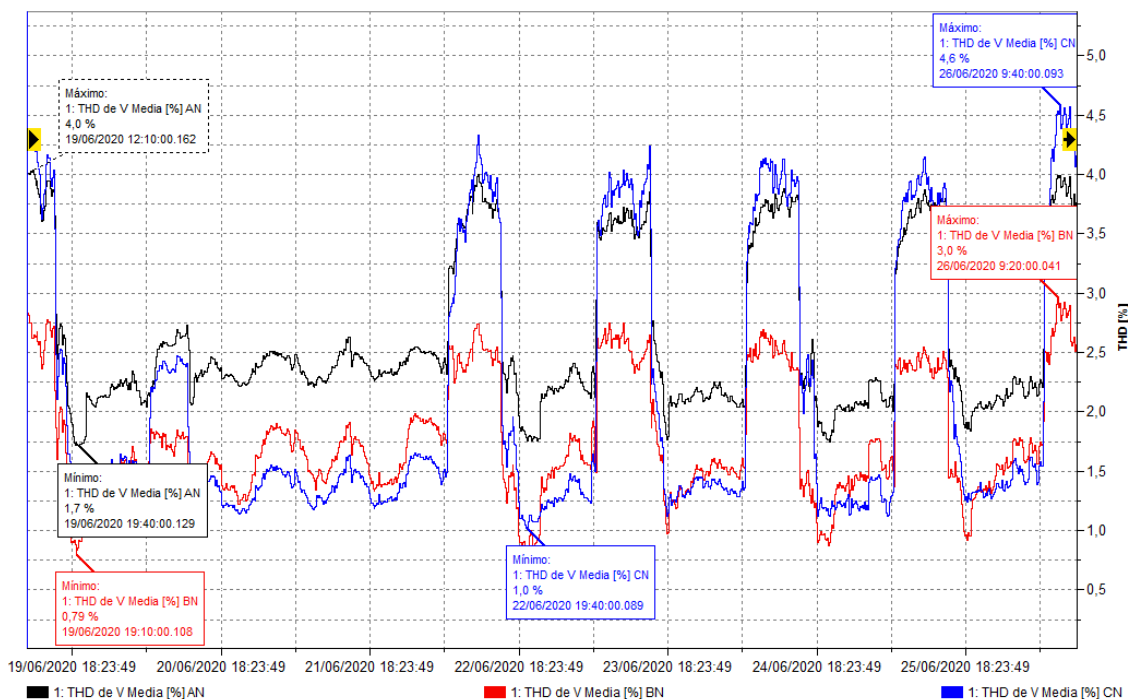


Figura 3.38. Gráfica de armónicos de voltajes en las fases A, B y C

Todos los valores obtenidos fueron inferiores al 5%, por lo tanto, se concluye que el parámetro de distorsión armónica de las instalaciones eléctricas de la empresa está dentro de los límites permitidos.

3.9.4. FACTOR DE POTENCIA

La normativa de calidad de energía establece que el valor mínimo para el factor de potencia es de 0.92. Los resultados del análisis se presentan en la Tabla 3.23 y en la Figura 3.39.

Tabla 3.23 Mediciones de factor de potencia

Parámetro analizado	Medición máxima	Medición mínima	Promedio
Factor de potencia fase1	0.95 ind	0.83 ind	0.88
Factor de potencia fase2	0.99 cap	0.46 ind	0.65
Factor de potencia fase3	0.96 cap	0.63 cap	0.85
Factor de potencia total	0.91 ind	0.57 ind	0.67

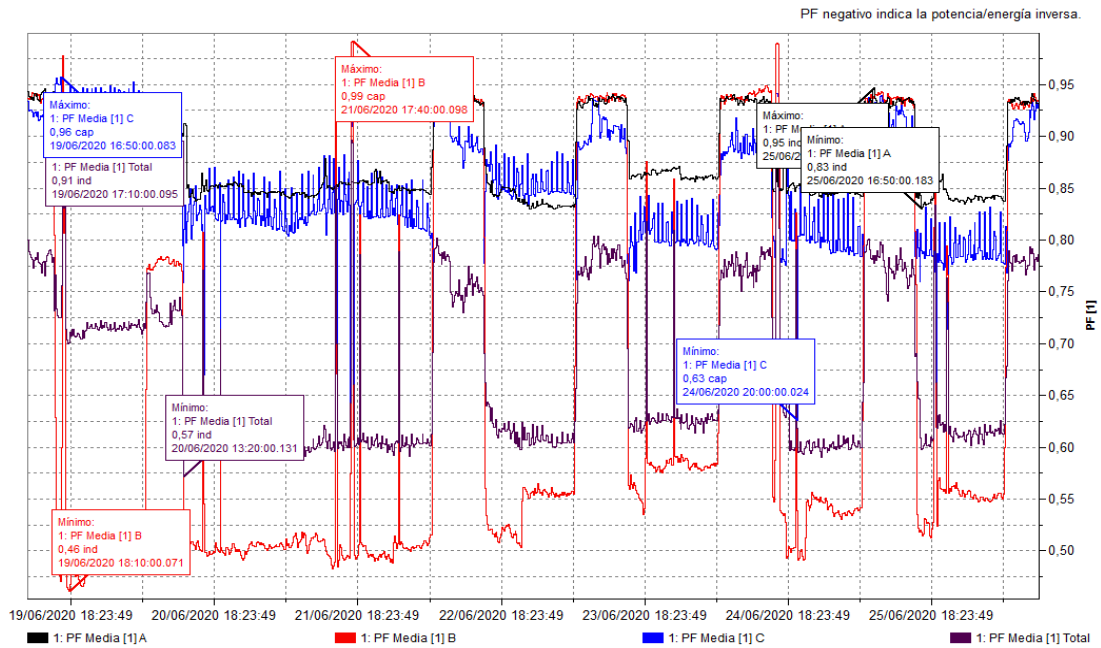


Figura 3.39. Gráfica del factor de potencia en las fases A, B y C

De las mediciones obtenidas se obtiene lo siguiente:

- En la fase 1 el 72.87% de las mediciones no cumple con el factor de potencia de 0.92, mientras que el 27.12% las mediciones cumplen con el factor de potencia admitido.
- En la fase 2 el 73.57% de las mediciones no cumple con el factor de potencia de 0.92, mientras que el 26.42% las mediciones cumplen con el factor de potencia admitido.
- En la fase 3 el 81.16% de las mediciones no cumple con el factor de potencia de 0.92, mientras que el 18.83% las mediciones cumplen con el factor de potencia admitido.

Por lo tanto, se concluye que el factor de potencia se encuentra fuera de los rangos establecidos en la normativa de calidad de energía.

3.9.5. CORRIENTES

Para verificar si el sistema se encuentra balanceado se analizó los valores de corriente durante el periodo de medición. Los resultados obtenidos se describen en la Tabla 3.24 y en la Figura 3.40.

Tabla 3.24 Medición de corrientes

Parámetro analizado	Medición máxima (A)	Medición mínima (A)	Promedio (A)
Corriente fase1	84.24	20.00	35.86
Corriente fase2	30.61	10.62	14.91
Corriente fase3	66.59	4.33	18.87
Corriente neutro	48.88	8.15	19.80

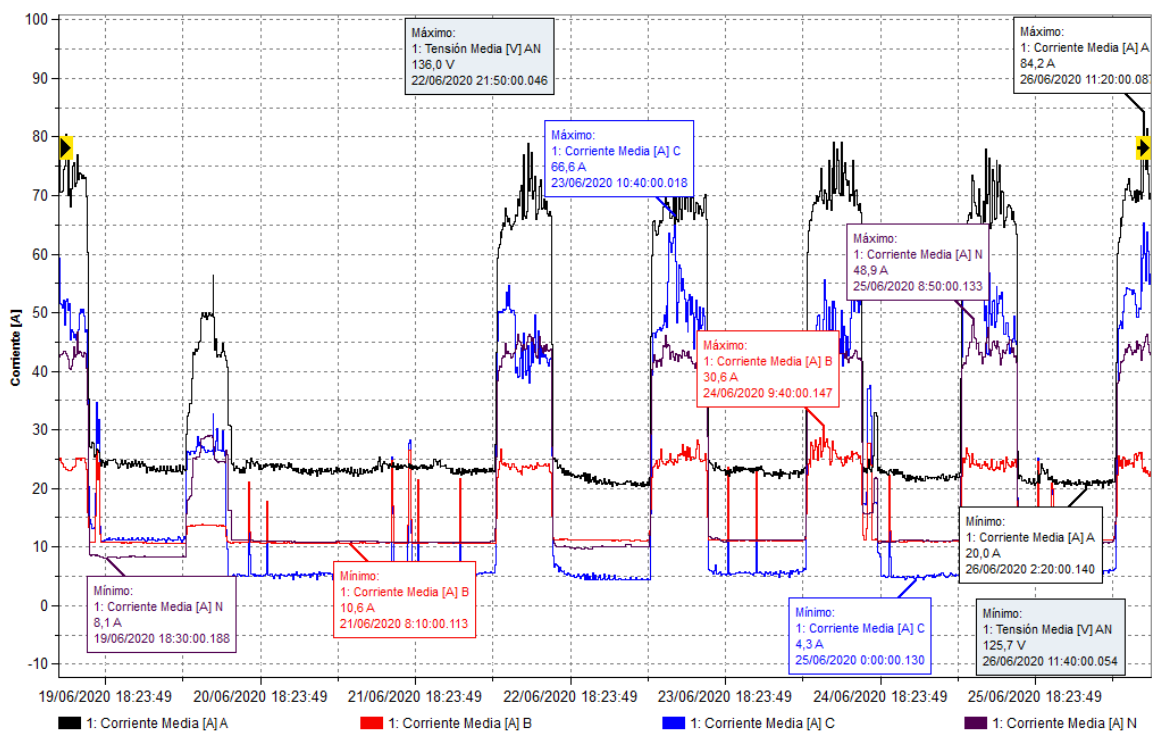


Figura 3.40. Gráfica de las corrientes en las fases A, B, C y neutro

De los resultados obtenidos se concluye que el sistema eléctrico no está balanceado. Se puede encontrar de forma detallada el informe de calidad de energía en el ANEXO C.

3.10. VALORACIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO

3.10.1. FACTURACIÓN ELÉCTRICA

La empresa WODEN S.A posee un medidor que registra la facturación mensual, con el tipo de tarifa BTCGCD31 – BT Comercial con Demanda Horaria. El pliego tarifario vigente en el año 2020 de enero a diciembre se adjunta en el ANEXO D.

Tarifa de bajo voltaje con registrador de demanda horaria

Se aplica a consumidores de bajo voltaje, con un voltaje en el punto de conexión inferior a 600V. La demanda facturable para este tipo de tarifa es mayor a 10 kW y se debe disponer de un registrador de demanda horaria que permita identificar la demanda de potencia, así como los consumos de potencia en las horas punta, media y base [46].

Los consumidores deberán pagar:

- Un estimado por comercialización en USD/consumidor por mes, como cargo adicional al consumo de energía.
- Un cargo por demanda en USD/kW-mes, por cada kW de demanda facturable, como cargo adicional del consumo de energía multiplicado por un factor de gestión de demanda.
- Un estimado por energía USD/kWh, en proporción de la energía consumida en el periodo a las 08:00 a 22:00 horas.
- Un cargo por energía en USD/kWh, en proporción a la energía consumida en el lapso de 22:00 hasta 08:00 horas.

Tabla 3.25 Tarifas de bajo voltaje con demanda horaria

Horario (horas)	Demanda (USD/kW-mes)	Energía (USD/kWh)	Comercialización (USD/consumidor)
8:00 hasta 22:00	4.182	0.088	1.414
22:00 hasta 08:00	4.182	0.070	

3.10.2. REGISTRO HISTÓRICO DE FACTURACIÓN

La información de del consumo de energía sirve para realizar un análisis y tener una idea de la cantidad de energía que se consume cada mes en la empresa WODEN S.A.

En la Tabla 3.26 se presenta un resumen del consumo eléctrico de la empresa.

Tabla 3.26 Registro histórico de facturación 2019-2020 empresa WODEN S.A

Mes	Energía [kWh]	Demanda [kW]	Energía [USD]	Demanda [USD]	Comercialización [USD]	Terceros [USD]	Total [USD]
Agosto	6716.21	89.84	570.22	81.90	1.41	188.29	843.81
Septiembre	6173.22	83.52	521.83	71.49	1.41	123.71	766.61
Octubre	6315.38	81.81	531.22	71.41	1.41	125.55	778.52
Noviembre	5423.39	85.49	458.27	94.13	1.41	115.61	710.96
Diciembre	3951.59	77.25	332.20	66.09	1.41	85.18	513.49
Enero	5000.93	75.86	6514.75	66.95	1.41	106.20	633.31
Febrero	5541.08	90.05	471.09	73.80	1.41	117.12	704.39
Marzo	558.89	28.76	47.27	58.34	1.41	27.78	849.63
Abril	558.89	25.09	47.27	49.13	1.41	25.91	131.36
Mayo	14920.16	110.06	1239.58	78.02	1.41	268.25	1692.19
Junio	6722.06	111.61	563.95	80.80	1.41	137.42	832.04
Julio	6835.28	113.28	571.36	88.90	1.41	140.58	1686.61

En la Figura 3.41 se observa que los consumos desde agosto hasta noviembre el consumo de energía no varía en gran medida sin embargo en los meses desde diciembre hasta abril tiene una variación bastante importante, este comportamiento coincide con el confinamiento a causa del virus COVID-19. Por último, en los meses desde mayo hasta Julio se evidencia un incremento significativo del consumo de energía en la empresa.

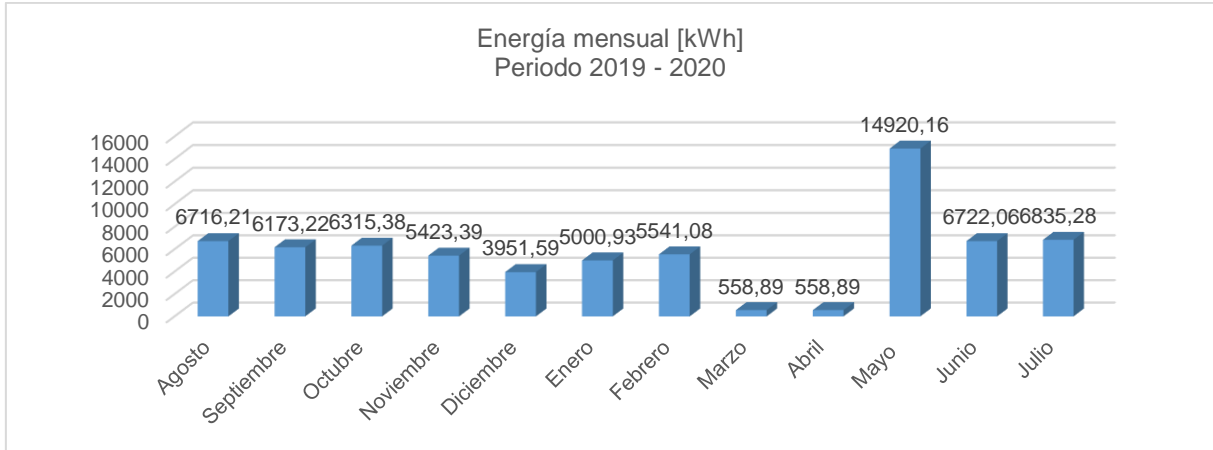


Figura 3.41. Consumo energético periodo 2019-2020 empresa WODEN S.A

Las facturas de todos los meses antes descritos se adjuntan en el ANEXO E.

3.10.3. BALANCE DE ENERGÍA

Las actividades de la empresa WODEN S.A son regulares en ciertas áreas e irregulares en otras. Por ejemplo, los laboratorios se usan en una determinada hora del día. Sin embargo, algunas ocasiones se usan de manera continua durante todo el día y la noche. Esto depende de la cantidad de pedidos que tiene que procesar la empresa. Por otro lado, en las áreas administrativas el horario es de 8 horas de lunes a viernes, por lo que se puede decir que el consumo de energía sería prácticamente regular.

Es posible realizar el cálculo de la energía mensual considerando el levantamiento de carga de la sección 3.3, el tiempo de funcionamiento de los dispositivos y el número de días de funcionamiento. El resultado debería ser similar al valor de energía que proporciona la empresa eléctrica en su factura mensual. Si la energía mensual calculada no se aproxima con los valores de energía que proporciona la empresa eléctrica, implica que existen fugas internas de energía.

A continuación, en la Tabla 3.27 se presenta los resultados de la aproximación del consumo energía mensual calculado por cada área de la empresa WODEN S.A. Además, en el ANEXO F se presenta el cálculo detallado de cada área.

Tabla 3.27 Cálculo de energía mensual de la empresa WODEN S.A

Área	Energía[kWh/mes]
Administrativa	748.286
Exteriores	1845.459
Nave industrial	3016.068
Primera planta	897.116
Total	6506.929

En la Tabla 3.27 se evidencia que el consumo de energía mensual estimado es de 6506.929 kWh/mes, si se compara con los valores de la Figura 3.35 se concluye que la energía calculada se aproxima a los valores de energía proporcionados por la empresa eléctrica.

La variación existente entre el valor de energía calculado y los valores medidos por la empresa eléctrica se debe a que el uso de laboratorios y otras áreas de la empresa suceden con mayor o menor frecuencia según la cantidad de pedidos por parte de los clientes.

3.10.4. INCIDENCIA DE CONSUMO ELÉCTRICO

De los datos presentado en la Tabla 3.25 se observa que el área que representa un mayor consumo de energía al mes es la Nave industrial. En esta área se encuentran: bodegas, laboratorios, áreas de pintura, control de calidad, operaciones, departamento de sistemas y salas de capacitaciones.

De acuerdo con el levantamiento de carga descrito anteriormente en la sección 3.3, se clasifico las cargas en 4 áreas de las cuales la que posee la mayor potencia instalada es el área exterior. Esto se debe a que en los exteriores se encuentran los equipos de mayor potencia como el compresor del cuarto de máquinas, la máquina de serigrafía y el motor. En la Tabla 3.28 se presenta la potencia instalada en el área exterior.

Tabla 3.28 Potencia instalada en el área exterior

Lugar	Potencia instalada [W]	Potencia instalada [%]
Lampara con sensor luz	200	0.53%
Refrigerador	760	2.02%
Licuadaora	450	1.20%
Televisor	175	0.47%
Focos incandescentes	420	1.12%
Tubo LED T8	5760	15.31%
Máquina Serigrafía	2800	7.44%
Motor	2000	5.31%
Taladro	1500	3.99%
Esmeril	370	0.98%
Computadora de escritorio	400	1.06%
Impresora	495	1.32%
Compresores	16500	43.85%
Microondas	5800	15.41%
Total	37630	100.00%

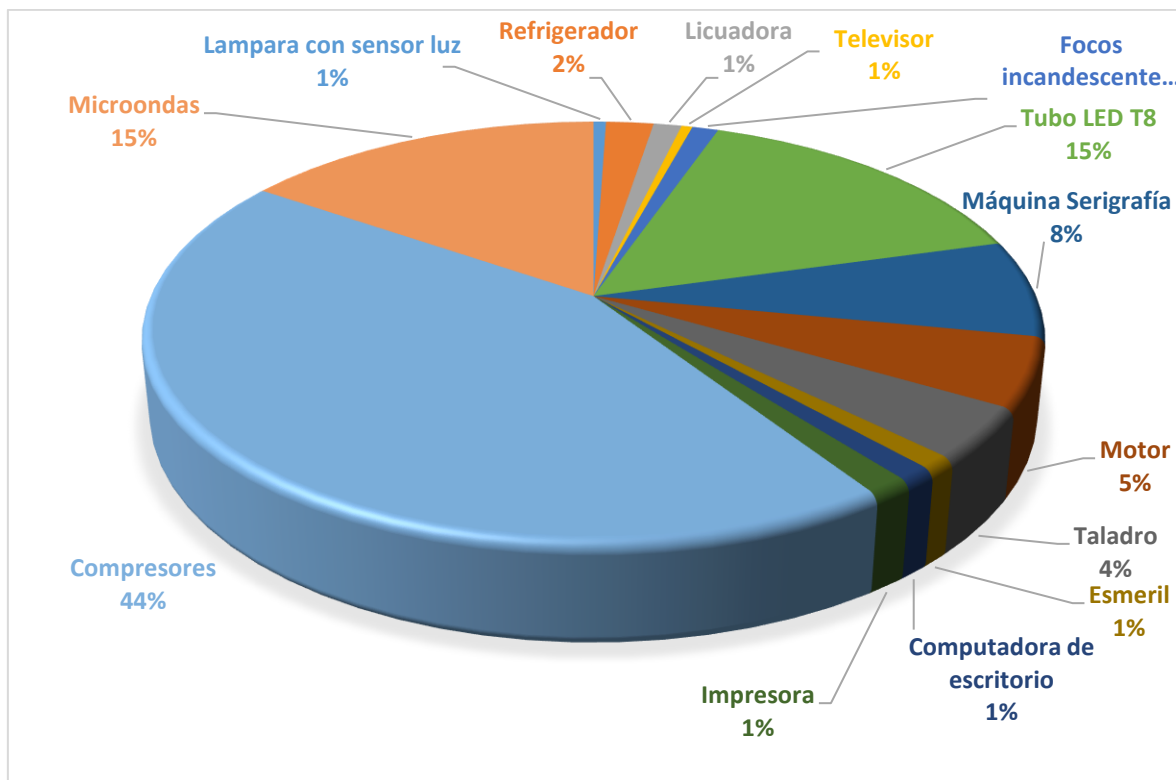


Figura 3.42. Dispositivos instalados en el área exterior

En la Figura 3.42 se observa que los compresores representan el 44% de la potencia instalada, por lo que son los equipos que contribuyen en gran medida al consumo de energía mientras que se encuentren operativos. Por otro lado, los equipos como impresoras, licuadoras, esmeriles y luminarias incandescentes contribuyen en menor medida al consumo de energía.

3.11. MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA APLICABLES EN LA EMPRESA WODEN S.A

3.11.1. SISTEMA DE ILUMINACIÓN

En la empresa WODEN S.A se evidencia que utilizan tres tipos de tecnologías en cuanto a iluminación se refiere, fluorescente, incandescente y LED. En la Tabla 3.29 se presenta la potencia instalada por cada tecnología.

Tabla 3.29 Carga instalada sistema de iluminación

Tecnología	Potencia instalada [w]	Potencia instalada [%]
LED	3120	17%
Incandescente	920	5%
Fluorescente	14560	78%
Total	18600	100.00%

Los valores de la Tabla 3.29 muestran que la iluminación con tecnología fluorescente predomina en la empresa, le sigue la tecnología LED y por último la tecnología incandescente.

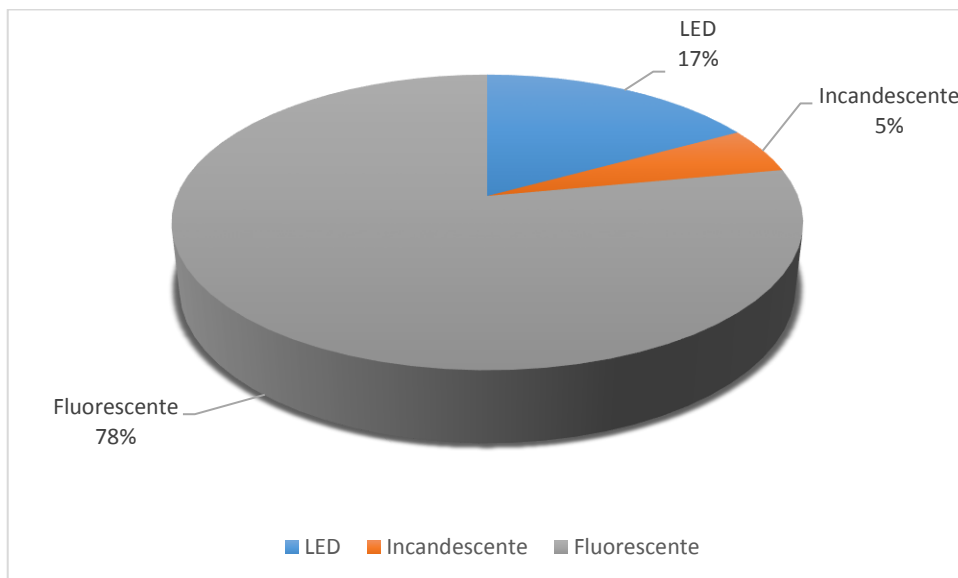


Figura 3.43. Potencia instalada (iluminación).

Las medidas recomendadas para reducir el consumo y mantener la iluminación en niveles adecuados son:

- Cambiar las luminarias fluorescentes e incandescentes por luminarias de tecnología LED de alta eficiencia.
- Implementar sensores ultrasónicos o de presencia en zonas donde los trabajadores no concurren con frecuencia.
- Difundir a los trabajadores de la empresa la importancia del uso racional y adecuado de la energía.

- Crear un plan de mantenimiento para el sistema de iluminación para evitar la acumulación de polvo y el posible deterioro de la calidad de iluminación.

3.11.2. MOTOR ELÉCTRICO

Existen algunos factores que afectan al funcionamiento eficiente de los motores como:

- Las fases desequilibradas, incrementa las vibraciones y temperatura de los motores. Esto reduce en gran medida la eficiencia del motor.
- El rebobinado de motores.
- Alimentación de motores con voltaje distinto al valor nominal requerido.

En la empresa WODEN existe un solo motor que se usa para labores dentro de la cabina de pintura. Sin embargo, el funcionamiento es variante a lo largo del año. A continuación, se proponen algunos criterios para aprovechar de manera óptima la energía y por consecuencia mantener la eficiencia de los motores.

- Considerar la instalación de variadores de velocidad, si se reduce el 20% del caudal con el uso del variador de velocidad, es posible reducir el 50% del consumo de energía.
- Si el tiempo de funcionamiento del motor supera las 2000 horas al año, se debe considerar cambiar el motor existente por uno de mayor eficiencia categorizado de IE3 en adelante.
- Si el factor de carga del motor es inferior al 50%, se debe considerar cambiar el motor por uno de mayor eficiencia categorizado de IE3 en adelante, además de no sobredimensionarlo.
- Establecer un plan de mantenimiento preventivo, para preservar el funcionamiento óptimo del motor.

3.11.3. COMPRESORES

Los compresores desperdician aproximadamente el 50% de la energía eléctrica consumida y lo convierten en calor residual, mientras que el 50% restante lo convierten en aire a presión. Una de las fuentes más significativas de pérdidas son las fugas, seguido de la

demanda artificial y el uso no apropiado de los dispositivos. Por otro lado, las deficiencias en la modalidad de producción de aire representan una pérdida importante en el sistema de compresión.

Los compresores operan a máxima potencia cuando el factor de carga es del 90%, mientras que cuando opera en vacío consumen el 20% de la energía a plena carga. Por lo que la energía que necesaria para mantener funcionando el motor en los periodos de vacío se considera desperdicio.

- Las recomendaciones para aumentar la eficiencia de los sistemas de compresión son:
- Corregir fugas con el fin de evitar las pérdidas de presión y flujo.
- Disminución de la presión de operación con el fin de eliminar la demanda artificial.
- Desarrollar un sistema de control de sistema de compresión con el fin de optimizar el ajuste de la cantidad de aire generado, así como la cantidad de aire consumido aplicando el mínimo porcentaje de energía.
- Establecer un plan de mantenimiento preventivo, para preservar el funcionamiento óptimo del compresor.

3.11.4. EQUIPOS DE COMPUTACIÓN

La empresa WODEN SA posee una gran cantidad de computadoras tanto de escritorio como portátiles distribuidos a lo largo de las diferentes áreas. Por lo que es necesario aplicar medidas que contribuyan a mejorar la eficiencia energética.

- Configurar los computadores en modo ahorro de energía, esto permitirá reducir en un 15% el consumo de energía normal por computador.
- Los computadores deben desconectarse al finalizar la jornada de trabajo con la finalidad evitar el consumo que presentan los dispositivos electrónicos aun cuando no están encendidos.
- Crear incentivos para usar equipos portátiles y monitores de tecnología led de alta eficiencia los cuales consumen 50% de energía menos a diferencia de los monitores convencionales.

- Reemplazar los equipos multifunción por dispositivos de acuerdo con el uso. Por ejemplo, impresora, escáner, copiadora, entre otros. Los equipos multifunción consumen más energía a comparación de los dispositivos de uso individual.
- Implementar un software que permita optimizar el consumo de energía del procesador de computadores de escritorio y portátiles.

4. PROPUESTA DE MODERNIZACIÓN Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

4.1. TRANSFORMADOR

A partir de lo descrito en la sección 3.6, existe una inquietud importante referente a la capacidad del transformador, debido a que la empresa WODEN S.A ha crecido constantemente, como consecuencia se ha incluido nuevas cargas importantes. Por lo tanto, el transformador podría estar funcionando sobrecargado lo que representaría un problema.

Para comprobar si el transformador se encuentra correctamente dimensionado se procedió a realizar el dimensionamiento en base al levantamiento de carga de la sección 3.6 y la guía de diseño de redes de distribución de la Empresa Eléctrica Quito [44]. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 4.1 y en ANEXO G se presenta el cálculo detallado de la demanda de diseño.

Tabla 4.1 Demanda de diseño calculado

Demanda máxima unificada (W)	35230.14
Carga instalada por consumidor representativo (W)	58984.50
Factor de demanda	0.60
Carga instalada (W)	85415.00
Demanda máxima unificada (kVA)	51016.49
Reserva por expansión (%)	12.00
DD (kVA)	60.00

Como se evidencia en la Tabla 4.1 la demanda de diseño calculada es de 60 kVA, por lo que el transformador instalado actualmente abastecería sin ningún problema la carga que representa la empresa WODEN S.A, dado que la capacidad es de 75 kVA.

4.2. CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

En base al análisis de la calidad de energía detallada en la sección 3.9, parámetros de calidad como niveles de voltaje, flicker y armónicos cumplen con la normativa dispuesta

por el ARCONEL 053/18. Sin embargo, el factor de potencia registrado durante 7 días de medición continuos es de 0.88 para la fase 1, 0.65 para la fase 2 y 0.85 para la fase 3 no cumplen con el valor de 0.92 mencionado en la normativa del ARCONEL 053/18.

Debido al incumplimiento de valores de factor de potencia es necesario instalar un arreglo de capacitores automáticos para mitigar la variación de la demanda y por consecuencia compensar los reactivos según sea necesario.

Para el dimensionamiento del banco de capacitores se analizarán dos casos, en el primero se tomará en cuenta el consumo promedio mínimo, mientras que en el segundo caso se considerará el consumo promedio máximo registrado. El factor de potencia deseado es de 0.95.

Demanda mínima promedio

A continuación, se procede a realizar el cálculo de la potencia activa y reactiva en base a los resultados obtenidos de los parámetros de calidad de energía descritos anteriormente en la sección 3.9, que corresponden a la demanda mínima promedio.

$$V_{prom} = \frac{125.75 + 126.78 + 125.33}{3} = 125.95 \text{ Vrms}$$

$$I_{prom} = \frac{20 + 10.62 + 4.33}{3} = 11.64 \text{ Arms}$$

$$f_{pot} = \frac{0.83 + 0.46 + 0.63}{3} = 0.64$$

$$\cos^{-1} 0.64 = 50.20^\circ$$

$$P_T = 3 \times 125.95 \times 11.64 \times \cos(50.20) = 2.81 \text{ kW}$$

$$Q_T = 3 \times 125.95 \times 11.64 \times \sin(50.20) = 3.38 \text{ kVAR}$$

Potencia reactiva deseada

Con el uso de la potencia activa obtenida en la sección anterior, se procede a calcular la potencia reactiva en base al factor de potencia deseado (0.95).

$$\cos^{-1} 0.95 = 18.19^\circ$$

$$\tan(18.19) = \frac{Q}{P}$$

$$\tan(18.19) = \frac{Q}{2.81 \text{ kW}}$$

$$Q_D = \tan(18.19) \times 2.81 \text{ kW} = 0.926 \text{ KVAR}$$

Cálculo de banco de capacitores

Para el cálculo de la potencia de compensación se obtiene de la diferencia entre la potencia reactiva promedio y la potencia reactiva deseada como se presenta a continuación:

$$Q_c = Q_T - Q_D$$

$$Q_c = 3.38 - 0.926$$

$$Q_c = 2.45 \text{ kVAR}$$

Demanda máxima promedio

A continuación, se procede a realizar el cálculo de la potencia activa y reactiva en base a los resultados obtenidos de los parámetros de calidad de energía descritos anteriormente en la sección 3.9, que corresponden a la demanda máxima promedio.

$$V_{prom} = \frac{131.25 + 130.80 + 130.87}{3} = 130.97 \text{ Vrms}$$

$$I_{prom} = \frac{35.86 + 14.91 + 18.87}{3} = 23.21 \text{ Arms}$$

$$f_{pot} = \frac{0.88 + 0.65 + 0.85}{3} = 0.79$$

$$\cos^{-1} 0.79 = 37.50^\circ$$

$$P_T = 3 \times 130.97 \times 23.21 \times \cos(37.50) = 7.23 \text{ kW}$$

$$Q_T = 3 \times 130.97 \times 23.21 \times \sin(37.50) = 5.55 \text{ kVAR}$$

Potencia reactiva deseada a la carga máxima de 35.43 kW

Con el uso de la potencia activa obtenida en la sección anterior, se procede a calcular la potencia reactiva en base al factor de potencia deseado (0.95).

$$\cos^{-1} 0.95 = 18.19^\circ$$

$$\tan(18.19) = \frac{Q}{P}$$

$$\tan(18.19) = \frac{Q}{35.43 \text{ kW}}$$

$$Q_D = \tan(18.19) \times 35.43 \text{ kW} = 0.011 \text{ kVAR}$$

Cálculo de banco de capacitores

Para el cálculo de la potencia de compensación se obtiene de la diferencia entre la potencia reactiva máxima y la potencia reactiva deseada a la carga máxima como se presenta a continuación:

$$Q_c = Q_T - Q_D$$

$$Q_c = 5.55 - 0.011$$

$$Q_c = 5.54 \text{ kVAR}$$

De los cálculos realizados se necesitaría instalar un banco de dos capacitores automáticos de 3 kVAR (23.21 A -220/230V). Cada capacitor deberá poseer contactores para para realizar la compensación de potencia reactiva de una forma más precisa. La conexión del banco de capacitores se realiza en la conexión general, puesto que es la forma más económica y reduce las multas eléctricas. En la Figura 4.1 se presenta el diagrama de conexión.

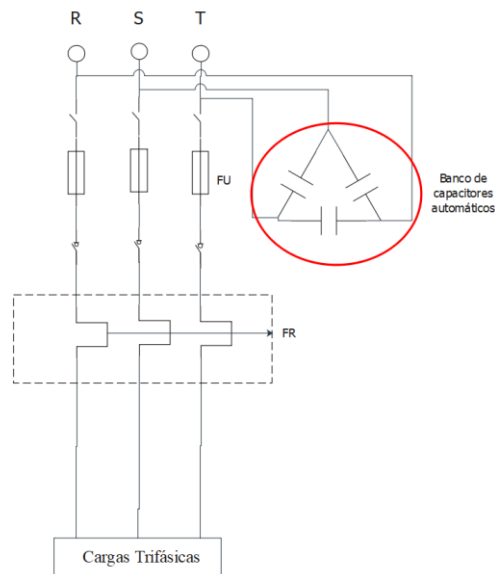


Figura 4.1. Conexión de banco de capacitores para corrección de factor de potencia

4.3. SISTEMA DE ILUMINACIÓN

Del análisis descrito anteriormente en la sección 3.7 se evidencia que en algunas ubicaciones no se cumplen con el nivel de iluminación recomendado según las normas. A continuación, en la Tabla 4.2 se presenta el resumen de áreas con problemas.

Tabla 4.2 Niveles de iluminación fuera de normativa

Área	Ubicación	Nivel de iluminación			Verificación
		Medido	Mínimo	Recomendado	
Administrativa	Gerencia General	100	300	500	No cumple
Administrativa	Oficina 1	100	300	500	No cumple
Administrativa	Hall	10	150	200	No cumple
Administrativa	Gerencia Financiera	121	300	500	No cumple
Administrativa	Oficinas	101	300	500	No cumple
Administrativa	Cafetería	139	200	300	No cumple
Planta Industrial	Bodega General	73	150	200	No cumple
Planta Industrial	Área de Pintura	468	500	750	No cumple
Planta Industrial	Rack Pruebas DTV	423	500	750	No cumple

Área	Ubicación	Nivel de iluminación			Verificación
		Medido	Mínimo	Recomendado	
Planta Industrial	Sala de Capacitaciones	207	300	500	No cumple
Planta Industrial	Departamento de Sistemas	139	300	500	No cumple
Planta Industrial					
Planta Industrial	Sistemas	169	450	500	No cumple
Planta Industrial	Dirección de Operaciones	164	450	500	No cumple
Exteriores	Comedor	50	100	150	No cumple
Exteriores	Cocina	250	300	500	No cumple
Planta 1	Bodega CNT	97	200	300	No cumple

El sistema de iluminación de las zonas descritas en la Tabla 4.2 debe ser rediseñado, con el fin de que se cumpla con los niveles de iluminación recomendado.

Del levantamiento de carga detallado en la sección 3.3 se evidencia que la carga instalada del sistema de iluminación se divide como se muestra en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Potencia instalada de sistema de iluminación

Tipo de luminaria	# de luminarias	Potencia instalada [W]	Potencia instalada [%]
LED	106	3120	17%
Fluorescente	455	14560	78%
Incandescente	13	920	5%
Total	574	18600	100%

De la carga total del sistema de iluminación el 17% son luminarias con tecnología LED, el 78% son Fluorescentes y el 5% son luminarias incandescentes. Por lo tanto, se recomienda cambiar las luminarias fluorescentes e incandescentes por luminarias con tecnología LED. A continuación, en la Tabla 4.4 se presenta el consumo de las luminarias y su ahorro mensual.

Tabla 4.4 Energía mensual del sistema de iluminación

Energía Mensual sin reemplazo de luminarias [kW/h]	Energía mensual con reemplazo de luminarias [kW/h]	Ahorro [kW/h]
11797.130	11737.110	60.016

La energía mensual de las luminarias se calcula mediante la siguiente expresión:

$$C_m = \sum_{i=1}^n \frac{P_i \times t_i \times 30}{1000}$$

En donde

C_m , es el consumo de energía mensual [kW/h].

n , es el número total de luminarias.

P_i , es la potencia de la luminaria i [W].

t_i , son las horas de uso i de la luminaria i [horas].

Para calcular el ahorro de energía se resta la energía mensual con reemplazo de luminarias de la energía mensual sin reemplazo de luminarias.

$$Ahorro = 11797.130 \frac{kW}{h} - 11737.110 \frac{kW}{h}$$

$$Ahorro = 60.016 \frac{kW}{h}$$

Como se observa en la Tabla 4.4 el ahorro estimado mensual es de 60.016 kW/h, y se obtiene de la diferencia entre la energía mensual sin reemplazo de luminarias y la energía mensual con reemplazo de luminarias.

Por último, se sugiere instalar sensores de presencia en los sitios de la empresa menos concurridos, por ejemplo, en las bodegas, el comedor y estacionamientos. La adición de

dispositivos evitara que las luminarias se mantengan encendidas cuando no hay presencia de personal en dichas áreas.

4.4. MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN MOTORES

Del análisis expuesto anteriormente en la sección 3.10.4 se evidencia que los motores representan un 5% del consumo del área con mayor carga. Por lo tanto, se sugiere cambiar el motor por uno de mayor eficiencia. Para el cálculo se considera el motor de 3 HP que posee una eficiencia del 85%.

Cálculo

Motor antiguo 3 HP (motor 1)

Eficiencia 100% de carga = 85%

Motor nuevo más eficiente de 3 HP (motor 2)

Eficiencia 100% de la carga = 90.2%

$$Ahorro = (P_{C1} - P_{C2}) \times N_{horas}$$

$$Ahorro = \left(\frac{2237}{0.85} - \frac{2237}{0.902} \right) \times \left(4 \frac{h}{día} \times 263 \frac{días}{año} \right)$$

$$Ahorro = \left(\frac{2237}{0.85} - \frac{2237}{0.902} \right) \times \left(4 \frac{h}{día} \times 263 \frac{días}{año} \right)$$

$$Ahorro = 159.60 kWh$$

Como se observa el ahorro estimado es de 159.60 kWh tomando en cuenta que el motor trabajaría al menos 4 horas al día durante todo el año excepto los fines de semana.

4.5. MANTENIMIENTO

Del análisis realizado y descrito en la sección 3.6 se evidencio que no existe un plan de mantenimiento para ninguno de los equipos existentes en las diversas áreas, esto produce el deterioro de los dispositivos como protecciones, motores y compresores. La falta de mantenimiento tiene un impacto negativo sobre los equipos, porque los equipos podrían situarse fuera de su estado óptimo para operar lo que contribuye directamente a la ineficiencia de energía y por consecuencia produce un mayor consumo energético

dependiendo del equipo. Por lo tanto, se diseñó un plan de mantenimiento para las áreas descritas en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Áreas consideradas para mantenimiento

Áreas
Compresor
Tableros de Distribución
Tablero eléctrico principal
Malla de puesta a tierra
Balanceo de cargas
Banco de condensadores y factor de potencia

Para cada una de las áreas descritas en la Tabla 4.5 se diseñó una ficha de mantenimiento correctivo. En el ANEXO I se presentan las fichas detalladas para el mantenimiento y en la Figura 4.2 se presenta un ejemplo del modelo de la ficha.


MANTENIMIENTO PREVENTIVO WODEN S.A		Nro.
		
Periodo:		
Equipo y S/N:		
Ubicación:		
Fecha intervención:		
	TRABAJO A REALIZAR	EJECUTADO
Tablero eléctrico principal	1. Limpieza interna y externa de tablero.	
	2. Limpieza y lubricación de conductores de fuerza y control	
	3. Limpieza y lubricación de terminales de fuerza y control	
	4. Ajustes de torques en terminales de fuerza y control	
	5. Ajustes de disyuntores, contactores, relés y dispositivos de control (PLC) dentro del tablero.	
	6. Ajustes de conductores de puesta a tierra de tableros	
	7. Pintado de barras en el caso de que sea necesario.	
	8. Lubricación de bisagras de puertas	
	9. Análisis térmico antes de comenzar los trabajos y después de realizar los trabajos.	
	10. El tablero debe quedar debidamente etiquetado.	
OBSERVACIONES:		
EJECUTADO POR:	SUPERVISADO POR:	APROBADO POR:

Figura 4.2. Ficha para mantenimiento preventivo empresa WODEN S.A

4.6. ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO

En esta sección se analizará la inversión económica necesaria, así como el beneficio que se obtendría a partir de la implementación de las medidas de eficiencia energética descritas en las secciones desde la 4.1 a 4.5, para lo cual es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los tiempos de uso del mes son aproximados, debido a que el comportamiento del consumo eléctrico de la empresa varía con frecuencia. Por lo tanto, los ahorros económicos no serán exactos.
- El precio de los equipos es promedio, ya que pueden variar con el tiempo.

4.6.1. INVERSIÓN REQUERIDA

Cada medida de eficiencia energética conlleva una inversión para que pueda ser implementada. Por lo tanto, en la Tabla 4.6 se presenta la inversión requerida para implementar las medidas de eficiencia descritas en las secciones 4.1 a 4.5.

Tabla 4.6 Inversión requerida para implementar medidas de eficiencia energética

Sector	Descripción	Cantidad	Precio unitario [USD]	Inversión requerida [USD]
Iluminación	Cambio de focos incandescentes de 60 W, por focos led de 12 W	13	2.77	36.01
Iluminación	Cambio de focos fluorescentes de 32 W, por tubos led de 18W	455	1.90	864.50
Motores	Cambio de motor de 3 HP convencional por un motor de alta eficiencia	1	277.50	277.50
			Total	1178.01

Los resultados descritos en la Tabla 4.6 muestran que se para implementar las medidas de eficiencia energética se necesita de 1178.01 \$, esta inversión implica un ahorro de 879.7

kWh al año en términos de energía y económicamente se estaría ahorrando 77.42\$ por año.

4.6.2. VALOR ACTUAL NETO

Se refiere a los flujos de efectivo netos, los cuales se definen como la diferencia entre los ingresos y los egresos periódicos. Para actualizar los flujos netos se emplea la tasa de descuento denominada como tasa de oportunidad, esta permite conocer la rentabilidad mínima requerida para recuperar la inversión y obtener beneficios.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (4.1)$$

En donde:

V_t es el flujo de caja en el periodo t.

I_0 es el valor de la inversión actual.

n es el periodo de Vida útil del proyecto.

k es la tasa de descuento.

El criterio para determinar si una inversión es conveniente es obtener un valor de VAN mayor a 0, de lo contrario significa que la inversión no es rentable. Si el valor del VAN es negativo implica que la inversión no proporcionara beneficios suficientes para justificar su ejecución.

4.6.3. TASA INTERNA DE RETORNO TIR

El TIR es un criterio que se emplea para la toma de decisiones sobre proyectos de inversión. Se refiere a la tasa de descuento que se iguala al valor actual de los ingresos del proyecto. Por otro lado, la tasa de interés usada en el cálculo del VAN da como resultado un valor de 0.

$$TIR = \sum_{t=0}^n \frac{F_n}{(1+i)^n} = 0 \quad (4.2)$$

En el Ecuador se establece una tasa de descuento de 8%, es decir que una inversión es rentable si el valor del TIR supera el 8% [4]. Lo que quiere decir que los beneficios que proporciona la inversión son mayores a los que se podría obtener en otro tipo de inversión.

4.6.4. CÁLCULO DEL TIR Y VAN PARA MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

El primer paso es calcular el periodo de recuperación de la inversión, para conocer la cantidad de flujos netos de efectivo requeridos para recupera la inversión como se presenta en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7 Flujo neto de efectivo

Periodo[año]	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Monto [USD]	-1178	77.42	77.42	77.42	77.42	77.42	77.42	77.42	77.42

Tabla 4.8 Flujo neto de efectivo

Periodo[año]	9	10	11	12	13	14	15	16
Monto [USD]	77.42	77.42	77.42	77.42	77.42	77.42	77.42	77.42

El número de periodos se consigue al dividir la inversión requerida para el ahorro estimado. En el periodo cero se coloca el valor de inversión, mientras que a partir del primer periodo se coloca el ahorro anual estimado.

El siguiente paso consiste en calcular el flujo de efectivo acumulado.

Tabla 4.9 Flujo neto acumulado

Período	Flujo de efectivo	Flujo neto acumulado
0	1178	
1	77.42	1100.58
2	77.42	1023.16
3	77.42	945.74
4	77.42	868.32
5	77.42	790.90
6	77.42	713.48

Período	Flujo de efectivo	Flujo neto acumulado
7	77.42	636.06
8	77.42	558.64
9	77.42	481.22
10	77.42	403.80
11	77.42	326.38
12	77.42	248.96
13	77.42	171.54
14	77.42	94.12
15	77.42	16.70
16	77.42	-60.72

Como se observa en la Tabla 4.9 la inversión se recupera en el periodo dieciséis, por lo tanto, a partir del periodo dieciséis en adelante se verán los beneficios de la inversión. Sin embargo, el flujo acumulado no considera el valor del dinero en el tiempo, por lo que se procede a calcular el VAN y el TIR en base a una vida útil de los dispositivos de 10 años. Los resultados se describen en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10 VAN y TIR

Criterio	Valor
VAN	\$ -572.29
TIR	0.60%

Los resultados descritos en la Tabla 4.10 indican un valor de VAN negativo y un valor de TIR inferior al 8% por lo que el cambio de los equipos no es factible según los estándares de rentabilidad descritos en Banco Central del Ecuador [4].

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La demanda que posee la empresa WODEN S.A varía de forma significativa, lo cual se constató en la sección 3.10.2 y fue un factor muy importante al momento de identificar oportunidades de ahorro de energía. En base a la primicia descrita se presentan los aspectos principales que contribuyeron a la toma de decisiones para mejorar la eficiencia energética.

5.1. SISTEMA DE ILUMINACIÓN

Con los datos descritos en la Tabla 4.3 se evidencio que el 17% de las luminarias son de tecnología LED, el 78% son fluorescentes y el 5% son incandescentes. Además, las luminarias se distribuyen en varias áreas de la empresa como se presenta a continuación:

Área administrativa: la potencia instala en cuanto a iluminación es de 672 W.

Nave industrial: la potencia instalada en cuanto a iluminación es de 9140 W.

Exteriores: la potencia instalada en cuanto a iluminación es de 6380 W.

Primera planta: la potencia instalada en cuanto a iluminación es de 24.08 W.

De las áreas descritas se pretendía reemplazar las luminarias incandescentes y fluorescentes por luminarias con tecnología LED. Sin embargo, la frecuencia de uso no es muy continua y por consecuencia la cantidad de energía que se ahorraría al mes no es significativa. Por lo tanto, no se justifica la inversión del cambio de luminarias como se demostró en el análisis técnico económico de la sección 4.6.

En base al análisis descrito en la sección 3.6 se evidencia que existen zonas en donde los niveles de iluminación cumplen con los valores recomendados, sin embargo, la disposición de las luminarias es incorrecta. Por lo tanto, se recomienda ejecutar un rediseño del circuito de iluminación.

En las áreas donde operan los laboratorios, control de calidad y áreas de pintura no fue posible adoptar medidas de eficiencia energética como la segmentación de los sistemas de iluminación. La razón principal es que son áreas en donde se trabaja con dispositivos electrónicos y colores de pintura por lo que es necesario que la iluminación funcione al máximo. En estos casos la mejor medida que se puede adoptar es la concientización del personal de la empresa WODEN S.A acerca de la importancia de la eficiencia energética, puesto que los trabajadores son los que se desplazan por las diferentes áreas de trabajo.

5.2. TRANSFORMADOR

En la sección 3.6.1 se mencionó que existe una inquietud importante referente a la capacidad del transformador instalado, debido a que la empresa ha estado en constante crecimiento y se han incluido algunas cargas importantes. Por lo que el transformador actual podría estar funcionando en sobrecarga.

En contraste a la inquietud en la sección 4.1 se realizó el dimensionamiento del transformador en base al levantamiento de carga de la sección 3.3 dando como resultado una demanda de diseño de 60 kVA. Por lo tanto, el transformador que actualmente está instalado y abastece a la empresa tiene la capacidad suficiente porque es de 75 kVA.

5.3. MOTORES

Existen algunos motores que se usan para labores de pintura. Sin embargo, las horas de funcionamiento varía a lo largo del año. Por otro lado, los motores representan el 5% del consumo total del área con mayor carga, tal como se evidencio en sección 3.10.4.

Es posible reducir el consumo del motor si se reemplaza por una unidad de mayor eficiencia, con lo que se esperaría disponer de la misma potencia con menos consumo. Para comprobar si la propuesta es válida se realizó el análisis técnico económico en donde se demostró que efectivamente el cambio de motor representa un ahorro energético de 159.60 kWh al año, sin embargo, el costo de inversión se recupera en un periodo de 15 años como se lo demostró en la sección 4.6. Por lo tanto, la inversión no se justifica por los pocos beneficios que representa para la empresa.

5.4. PLAN DE MANTENIMIENTO

La empresa WODEN S.A posee varios equipos que representan una cantidad importante de la carga total como es el caso del compresor con una potencia de 15 kW. Este dispositivo es muy compacto que posee alta eficiencia energética por lo que no se puede tomar medidas como cambio de motor. Sin embargo, un aspecto muy importante que se identifico es la falta de mantenimiento.

Por otro lado, en el análisis de la situación actual descrito anteriormente en la sección 3.6 se evidencio que las instalaciones eléctricas como tableros principales, tableros

secundarios, compresores, luminarias, entre otros carecen completamente de mantenimiento. La falta de mantenimiento contribuye de forma sustancial a la ineficiencia energética como se evidencio en el análisis termográfico de la sección 3.8. Además, al carecer de un plan de mantenimiento no se revisa de forma periódica factores importantes como el factor de potencia, balanceo de carga, entre otros parámetros, lo que provoca el funcionamiento de equipos de forma ineficiente y aún más puede producir penalización de la Empresa Eléctrica por el bajo de factor de potencia.

Para solventar los problemas relacionados con el mantenimiento se propuso como medida de eficiencia energética la implementación del mantenimiento preventivo para las instalaciones eléctricas de la empresa WODEN S.A.

5.5. PRIORIDAD DE LAS MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

En base a los hallazgos y análisis de las instalaciones eléctricas de la empresa WODEN S.A se sugiere que las medidas de eficiencia energética deberían implementarse en el siguiente orden:

- Implementar el plan de mantenimiento preventivo lo antes posible para evitar daños inesperados de los equipos y funcionamiento ineficientes de los equipos.
- Crear y difundir un plan de concientización del uso correcto de la energía a los trabajadores de la empresa.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Las visitas realizadas a la empresa WODEN S.A, sirvieron para obtener una idea clara de la situación actual de todo el equipamiento eléctrico, sobre lo cual se pudo identificar los problemas persistentes en cada una de las áreas de trabajo. Para posteriormente identificar posibles medidas que contribuyan a la mejora de la eficiencia energética en el sector industrial y comercial.
- Se identificó que el comportamiento de la demanda que representa a la empresa WODEN S.A varían en gran medida, esto se debe a la cantidad de pedidos que tienen que realizar. La variación de la demanda no permite tener una visión clara de los equipos que consumen mayor energía, además la variación se agudizo aún más porque dentro del periodo de estudio se incluyó los meses de confinamiento a causa del COVID 19.
- El análisis termográfico permite identificar de manera rápida los puntos calientes, contactos flojos y posibles fugas de energía, esto permitió determinar las medidas correctivas necesarias para preservar el funcionamiento del tablero principal y mejorar la eficiencia energética.
- El análisis de calidad de energía fue de utilidad para determinar parámetros importantes como la variación de voltaje, contenido armónico, flicker, corrientes por cada fase y factor de potencia. De lo cual se constató que el factor de potencia promedio es de 0.85. Por lo tanto, la instalación requiere un banco de capacitores automático con el fin de corregir el factor de potencia y de esa forma cumplir el valor de 0.92 establecido en la norma del ARCONEL 053/18.
- Una propuesta de eficiencia energética que consista en el cambio de luminarias fluorescentes e incandescentes por luminarias de tecnología LED es factible siempre y cuando exista un número significativo de luminarias por cambiar con una frecuencia muy regular de uso. En el caso de la empresa WODEN S.A el porcentaje de luminarias fluorescentes e incandescentes es del 78% y 5% respectivamente,

con una frecuencia de uso muy baja, por lo que no fue factible realizar la inversión para el cambio de luminarias.

- El cambio de motores eléctricos convencionales por motores de alta eficiencia es factible siempre y cuando la frecuencia de uso sea mayor a 2000 horas al año. En el caso de la empresa WODEN S.A solo existe un motor que se usa para labores de pintura con una frecuencia de uso promedio de 4 horas diarias durante los días laborales, por lo que no fue factible invertir en el cambio de motores.
- Las propuestas de cambio de luminarias fluorescentes e incandescentes por luminarias LED y el cambio de motores convencionales por motores de alta eficiencia no son viables de acuerdo con el análisis técnico económico porque proporcionaron un VAN de \$-572.29 y una tasa interna de retorno de 0.60%. Lo que implica que no existen los beneficios suficientes de acuerdo con el nivel de inversión.
- Identificar posibles medidas para el ahorro de energía en el sistema de iluminación fue algo muy complejo porque a pesar de que el 17% de luminarias son de tecnología LED, el 78% son fluorescentes y el 5% incandescentes, la frecuencia de uso es muy reducida por lo que representa una pequeña parte de la carga total. Además, en los sitios de trabajo no se puede disminuir la cantidad de iluminación porque se trata de laboratorios y áreas de pintura en donde el número de luxes requerido es muy elevado según la normativa UNE 12464-1.
- A pesar de que las medidas de eficiencia energética no fueron factibles según el análisis técnico-económico se puede destacar que la mejor medida para aumentar la eficiencia energética es la creación del plan de mantenimiento preventivo. Las fichas de mantenimiento se encargan de problemas de factores de potencia bajos, balanceo de cargas, limpieza de equipos y tableros, proporcionando una mayor eficiencia energética.

6.2. RECOMENDACIONES

- Para las nuevas cargas previstas para ser ingresar al circuito eléctrico de la empresa procurar que sean de alta eficiencia, con el fin de aprovechar de manera óptima la energía.
- Se aconseja destinar un porcentaje de inversión para la ejecución del plan de mantenimiento preventivo, debido a que se requeriría herramientas adecuadas según el equipo.
- Es importante y recomendable diseñar planes de difusión para la concientización de la eficiencia energética dentro de la empresa.
- Evaluar la posibilidad de implementar un sistema de monitoreo de electricidad, con ello se lleva a otro nivel el concepto de eficiencia energética.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. Fawkes, K. Oung, and D. Thorpe, "Best Practices and Case Studies for Industrial Energy Efficiency Improvement," *Copenhagen Cent. Energy Effic.*, pp. 1–173, 2016, [Online]. Available: file:///C:/Users/5078/Downloads/Best-Practises-for-Industrial-EE_web.pdf.
- [2] L. Schwartz *et al.*, "Electricity end uses , energy efficiency , and distributed energy resources baseline," *Energy Anal. Environ. Impacts Div. Lawrence Berkeley Natl. Lab.*, no. January, p. 77, 2017.
- [3] P. Giridhar and R. C., *Energy Efficiency in Industrial Utilities*, no. October 2012. 2011.
- [4] M. Q. J. Andrés, "Diagnóstico del estado de las instalaciones eléctricas del campamento de la fundación nueva vida para la elaboración de una propuesta de modernización y eficiencia energética," Escuela Politécnica Nacional, 2019.
- [5] G. M. S. Margarita, "Auditoría eléctrica en el hospital de especialidades de las fuerzas armadas N1," Escuela Politécnica Nacional, 2017.
- [6] N. Bratu Serbán and C. Littlewood, *Instalaciones Electricas, conceptos básicos y diseño*. 1995.
- [7] M. Q. J. Luis, "Análisis del alimentador Viche de la subestación propicia de la CNEL EP Esmeraldas utilizando el programa CYMDIST mediante estudios de flujos de cargas a nivel de 13.8 kV," 2016.
- [8] D. L. Covarrubias, "Sistemas De Iluminación," in *Manual Práctico De Iluminación*, 2019, pp. 87–98.
- [9] C. Diaz, *Conceptos básicos de luminotecnía*, vol. 28, no. 2. IC Editorial, 2020.
- [10] I.-U. de Coimbra, "Conceptos básico de diseño de iluminación interior," *Premium Ligth Pro*, pp. 1–60, 2017.
- [11] G. Vázquez, "Iluminación interior," 2012.
- [12] OBRA-LUX, "Luminotecnía," 2016.
- [13] E. C. de I. J. Garavito, "Iluminación," *Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito*, pp. 1–25, 2016.

- [14] N. Castilla Cabanes, V. Blanca Giménez, A. Martínez Antón, and R. M. Pastor Villa, "LUMINOTECNIA: Cálculo según el método de los lúmenes," *Construcciones Arquitectónicas*, vol. 1, p. 10, 2017.
- [15] C. Cabanes and C. Arquitectónicas, "Criterios de elección de luminarias," *E.T.S Arquit.*, vol. 1, p. 8, 2014, [Online]. Available: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/30370/Criterios de elección de luminarias.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/30370/Criterios%20de%20elecci%C3%B3n%20de%20luminarias.pdf?sequence=1).
- [16] Javier Garcia Fernandez, "Cálculos en iluminación de interiores," 2020. <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint2.html>.
- [17] Javier Garcia Fernandez, "Cálculos en iluminación de interiores," 2020. .
- [18] I. Kecerdasan and P. Ikep, "Correspondiente a los art. 71 a 84 de la Reglamentación aprobada por Decreto 351/79," 2020.
- [19] Dale Digital, "Luxómetro Mavolux ML 5032c," 2020. <https://daledigital.net/product/luxometro-mavolux-ml-5032c/>.
- [20] M. P. Castro Guaman and N. C. Murillo Posligua, "Diseño de iluminación con luminarias tipo led basado en el concepto eficiencia energética y confort visual, implementación de estructura para pruebas," Universidad Politécnica Salesiana, 2015.
- [21] O. Planas, "¿Qué es el Efecto fotovoltaico?," 2020. <https://www.beetrack.com/es/blog/que-es-el-efecto-latigo>.
- [22] Kommerling, "Iluminación 2," 2020. <https://retokommerling.com/iluminacion-2-tipos-de-lamparas/>.
- [23] Y. B. F. Vinicio, "Análisis termográfico de la subestación San Lorenzo y su alimentador primario principal para elaborar un plan de mantenimiento predictivo," Universidad Técnica del Norte, 2016.
- [24] Fisicalab, "Temperatura," 2020. <https://www.fisicalab.com/apartado/temperatura>.
- [25] B. K. M. Ochoa and K. J. N. Durazno, "Aplicación para el análisis de tendencias de las pruebas eléctricas en los equipos primarios en las subestaciones eléctricas," 2019. .
- [26] Fluke Corporación, "Fundamentos Sobre Termografía," 2020. <https://www.fluke.com/es-co/informacion/mejores-practicas/aspectos-basicos-de->

las-mediciones/termografia.

- [27] Fluke Corporación, “Tres Formas De Realizar Inspecciones Térmicas,” 2020. <https://www.fluke.com/es-ec/informacion/blog/captura-de-imagenes-termograficas/tres-formas-de-realizar-inspecciones-termicas>.
- [28] FLIR, “Relación de tamaño de punto,” 2020.
- [29] MP, “Cámara termográfica industrial Fluke Ti32,” 2020. .
- [30] N. A. C. López, “Termografía industrial en motores eléctricos de la planta Soguar S.A para determinar parámetros de mantenimiento predictivo.,” Universidad técnica de Ambato, 2016.
- [31] J. A. Díaz, *Conductores eléctricos*, vol. 34911. Pro cobre, 2006.
- [32] Elecon, “Conductores eléctricos,” 2012.
- [33] CONELEC, “Regulación 004/01-Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución.” p. 25, 2001, [Online]. Available: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/02/Regulacion-No.-CONELEC-004-01.pdf>.
- [34] Comulsa, “Las claves del mantenimiento de Instalaciones eléctricas.” 2018, [Online]. Available: <http://comulsa.com/las-claves-del-mantenimiento-de-instalaciones-electricas-2/>.
- [35] Steeep, “Eficiencia Energética.” pp. 7–8, 2020, [Online]. Available: <http://www.mppee.gob.ve/>.
- [36] Flavio Andrés Barbosa Jaramillo, “Aplicación de la ISO 50001 para mejorar la eficiencia energética de los proceso de generación de vapor Quito tenis y Golf Club,” Universidad Politécnica Salesiana, 2017.
- [37] ISO, “ISO 50001.” pp. 1–29, 2011.
- [38] EPM, “Puesta a tierra de redes de distribución eléctrica.” pp. 1–14, 2011.
- [39] Fluke, “Pinza de resistencia de tierra Fluke 1630-2 FC _ Fluke,” 2021. <https://www.fluke.com/es-ec/producto/comprobacion-electrica/conexion-a-tierra/fluke-1630-2-fc>.
- [40] R. Capella, “Protecciones eléctricas en MT,” 2003. [Online]. Available: https://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/2738/mod_resource/content/0/PT071-Protecciones_en_MT.pdf.

- [41] M. de ciencia y tecnología Española, “Reglamentación y representación gráfica de las instalaciones eléctricas,” España, 2002. [Online]. Available: <https://www.uco.es/~el1bumad/docencia/minas/ie06t4.pdf>.
- [42] A. López and G. Viteri, “Aplicación de Fusibles e Interruptores Termo Magnéticos,” Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2010.
- [43] M. Burneo, “Plan de modernización de instalaciones electricas para la empresa INVEDELCA,” Escuela Politécnica Nacional, 2018.
- [44] J. Symons and C. Mockler, “Guía de diseño de redes para distribución,” 2014.
- [45] CEDESA, “Fluke 1748 Registrador de calidad eléctrica,” 2020. <https://www.cedesa.com.mx/fluke/analizadores/calidad-energia/1748+30/>.
- [46] Agencia de Regulación y Control de Electricidad., “Pliego Tarifario Para Las Empresas Eléctricas de Distribución - Servicio Público de Energía Eléctrica. Periodo: Enero-Diciembre 2020,” 2019.

8. ANEXOS