

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA EMPRESA KLASS MUEBLES BAJO CRITERIOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO**

NARVÁEZ YAGUANA DANNY ALEXANDER

DIRECTORA: M.Sc. PATRICIA ELIZABETH OTERO VALLADARES

CODIRECTOR: Ph.D. HUGO NEPTALÍ ARCOS MARTÍNEZ

Quito, junio 2022

AVAL

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Danny Alexander Narváez Yaguana, bajo nuestra supervisión.



**M.sC. PATRICIA ELIZABETH OTERO
VALLADARES
DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**



Firmado electrónicamente por:
**HUGO NEPTALI
ARCOS
MARTINEZ**

**Ph.D. HUGO NEPTALÍ ARCOS MARTÍNEZ
CODIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Danny Alexander Narváez Yaguana, 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.



Danny Alexander Narváez Yaguana

DEDICATORIA

A mis padres Cesar Narváez y Fanny Yaguana, quienes han sido un pilar importante en mi crecimiento personal y profesional; que a pesar de los momentos difíciles me han apoyado. Con mucho amor y cariño, les dedico todo mi esfuerzo en reconocimiento a todo el sacrificio puesto para que logre culminar esta etapa de mi vida; se merecen esto y mucho más.

A mis hermanos, Julio y Gabriel; por sus palabras de motivación y soporte durante el desarrollo del presente proyecto.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a mi padre, por demostrarme que nada es imposible, que todo en la vida se puede lograr siempre y cuando haya sacrificio y perseverancia. A mi madre, quien ha estado pendiente de mí y mis hermanos; por su apoyo, sus buenos consejos y su amor incondicional.

Agradezco a mis hermanos Julio y Gabriel, con quienes he crecido y he compartido muchas buenas y malas experiencias; por sus consejos, preocupación y cariño. A mi familia, por el apoyo recibido durante toda mi vida y por los grandes momentos vividos.

A mis amigos, quienes me acompañaron durante toda mi carrera universitaria y vida personal, por todas las experiencias compartidas y apoyo moral.

El más sincero agradecimiento al Arq. Mauro Torres, gerente de la empresa “Klass Muebles” por abrirme las puertas de su establecimiento y permitir el desarrollo del presente proyecto de titulación.

Finalmente, pero no menos importante agradecer a todos mis profesores de la Escuela Politécnica Nacional, por sus grandes enseñanzas y por forjar el camino de futuros profesionales; en especial a la Ms.C. Patricia Otero por confiar en mí y por comprometerse con la dirección del presente proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AVAL	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	1
1.2 ALCANCE	2
1.3 MARCO TEÓRICO.....	2
1.3.1 INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	2
1.3.1.1 Acometida	3
1.3.1.2 Equipo de medición.....	3
1.3.1.3 Centro de transformación	3
1.3.1.4 Tablero de distribución principal.....	4
1.3.1.5 Alimentadores principales y secundarios	4
1.3.1.6 Tipo de circuitos	4
1.3.2 CARACTERIZACIÓN DE LA CARGA	4
1.3.2.1 Carga instalada (CI)	4
1.3.2.2 Capacidad instalada (PI)	5
1.3.2.3 Demanda eléctrica (D(t))	5
1.3.2.4 Factor de utilización.....	6
1.3.3 CALIDAD DE LA ENERGÍA.....	6
1.3.3.1 Armónicos	6
1.3.3.2 Desbalance de voltaje	9
1.3.3.3 Factor de potencia.....	9
1.3.4 EFICIENCIA ENERGÉTICA	11
1.3.4.1 Auditoría energética	11
1.3.5 SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....	13
1.3.5.1 Magnitudes y unidades de iluminación.....	13

1.3.5.2	Tipos de lámparas utilizadas en la industria.....	14
1.3.5.3	Niveles de iluminación en locales comerciales e industriales.....	15
1.3.6	SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	15
1.3.6.1	Resistividad del suelo.....	16
1.3.6.2	Cálculo de la resistencia de puesta a tierra.....	16
1.3.7	FACTURACIÓN DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	17
1.3.7.1	Tarifa de Bajo Voltaje con registrador de demanda horaria	17
1.3.7.2	Demanda Facturable.....	17
1.3.7.3	Factor de la Gestión de Demanda (FGD).....	17
1.3.7.4	Penalización por bajo factor de potencia.....	18
1.3.7.5	Facturación.....	18
1.3.8	PARÁMETROS FINANCIEROS PARA LA EVALUACIÓN DE UN PROYECTO.....	19
1.3.8.1	Valor actual neto (VAN).....	19
1.3.8.2	Tasa interna de retorno (TIR)	19
1.3.8.3	Periodo simple de Recuperación (PSR).....	20
2.	METODOLOGÍA DE DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO.....	21
2.1	PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES	21
2.1.1	DESCRIPCIÓN DEL LUGAR.....	21
2.1.2	UBICACIÓN.....	22
2.1.3	JORNADA LABORAL	22
2.1.4	DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS	22
2.1.4.1	Proceso de corte	24
2.1.4.2	Proceso de moldura	24
2.1.4.3	Proceso de encolado y lijado.....	25
2.1.4.4	Proceso de termolaminado o prensado.....	26
2.1.4.5	Proceso de laminado o pegado de cantos	26
2.1.4.6	Proceso de perforado	27
2.1.4.7	Proceso de acanalado.....	28
2.1.4.8	Proceso de armado	29
2.1.4.9	Área de embalado	30
2.2	LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN Y RECOPIACIÓN DE DATOS.....	30
2.2.1	CARGA INSTALADA DE LA FÁBRICA	30
2.2.2	CLASIFICACIÓN DE LA CARGA INSTALADA	32
2.2.3	TRANSFORMADOR.....	33

2.3	TOMA DE MEDICIONES	34
2.3.1	ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA ENERGÍA.....	34
2.3.1.1	Distorsión armónica total (THD)	35
2.3.1.2	Nivel de voltaje	36
2.3.1.3	Desbalance de voltaje	38
2.3.1.4	Factor de potencia.....	38
2.3.1.5	Desbalance de cargas.....	39
2.3.2	CURVA DE DEMANDA DEL TRANSFORMADOR	39
2.3.2.1	Determinación del factor de utilización del transformador en condiciones actuales	40
2.3.2.2	Determinación del factor de utilización del transformador considerando la incorporación de la carga a instalarse.....	40
2.3.3	NIVELES DE ILUMINACIÓN	42
2.3.4	PUESTA A TIERRA.....	43
2.4	PLANILLA DE ENERGÍA ELÉCTRICA	45
2.4.1.1	Energía eléctrica facturable.....	45
2.4.1.2	Demanda eléctrica facturable.....	46
2.4.1.3	Factor de potencia.....	48
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
3.1	INFORME DE DIAGNOSTICO.....	55
3.2	OPORTUNIDADES DE AHORRO Y MEJORA	59
3.2.1	DISEÑO DE BANCO DE CAPACITORES.....	59
3.2.2	CAMBIO DE CALIBRE DE CONDUCTORES EN RAMALES DE BAJO VOLTAJE.....	61
3.2.3	CAMBIO DE LUMINARIAS DE FLUORESCENTES A LED	63
3.2.4	INSTALACIÓN DE LA NUEVA MAQUINARIA.....	66
3.2.5	DISEÑO PRELIMINAR DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA	66
3.3	ANÁLISIS FINANCIERO	68
3.3.1	INSTALACIÓN DE UN BANCO DE CAPACITORES AUTOMÁTICO.....	68
3.3.2	REEMPLAZO DE LUMINARIAS.....	70
3.4	BENEFICIOS ECONÓMICOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE OPORTUNIDADES DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	73
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
4.1	CONCLUSIONES.....	74
4.2	RECOMENDACIONES	76

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXOS	79

RESUMEN

La energía eléctrica es un bien esencial para las industrias, y su gestión adecuada es crucial para garantizar operaciones estables y rentables. En el presente trabajo se realiza el diagnóstico del estado actual de las instalaciones eléctricas de la empresa Klass Muebles ubicada en el norte de Quito, cuya actividad corresponde a la fabricación de muebles modulares. La instalación eléctrica no se encuentra en las mejores condiciones operativas; entre las causas está su antigüedad de aproximadamente 20 años evidenciado en componentes eléctricos deteriorados y vida útil culminada; además de la creciente adquisición de máquinas eléctricas sin estudios previos.

En el capítulo I se definen conceptos de fuentes bibliográfica vinculados a la eficiencia energética aplicables a la actividad que desarrolla la fábrica, incluyendo el análisis de normas y regulaciones de calidad de energía.

En el capítulo II, se desarrolla la metodología de diagnóstico energético, dentro de lo que se incluye la recopilación de información, inspecciones de sus procesos, su funcionamiento energético, el levantamiento de carga, la instalación de equipos de medición para la toma de datos y análisis histórico de planillas de consumo eléctrico.

En el capítulo III se realiza un informe que describe los hallazgos encontrados y se propone oportunidades de mejora enfocados en minimizar accidentes laborales y minimizar el consumo energético y su costo asociado. Dentro de las medidas de eficiencia energética está el cambio de luminarias y la instalación de un banco de capacitores automático. Se realiza una valoración técnica-económica de las propuestas, teniendo como resultado la viabilidad de las medidas de eficiencia.

PALABRAS CLAVE: Diagnóstico energético, consumo de electricidad, levantamiento de información, eficiencia energética.

ABSTRACT

Energy is an essential commodity for industries, and its proper management is crucial for ensure stable and cost-efficient operations. This Study analyses the current state of the electrical installations of Klass Muebles, a modular furniture manufacturing center, which are not in their best operational conditions. The causes are mainly the age of this installation, that has been operating continuously over the last twenty years, where most of the electric components have been deteriorated and have finished their life cycle; and the increasing acquisition of electric machines due to the increased demand without previous studies.

First, on chapter I, the bibliographical concepts, related to energy efficiency applied on this type of manufacturing site are explained in detail, including regulations energy quality legislations and their compliance.

Then on chapter II, the energy Audit methodology and the data is presented for understand and quantify energy usage on-site, identifying all the energy user's key activities. By gathering company's existing data and practices, auditing processes, equipment usage and their installation, and Bill- analysis for analyzing historic usage trends

Lastly, on chapter III, the audit outcomes are explained and an action plan has been suggested, the last focused on minimizing accidents and improve efficient energy consumption and their associated costs. Lights replacement and an automatic capacitor bank installation are proposed beneath the proposal, having evident efficiency improvement as an outcome of this study.

KEYWORDS: Energy Audit, Energy consumption, lifting information, Energy Efficiency

1. INTRODUCCIÓN

El incremento de la población está ligado directamente a un aumento del consumo de energía, como consecuencia se generará más emisiones de CO₂. Entre las principales causas se encuentra el uso excesivo de combustibles fósiles y derivados para la generación de energía eléctrica. Para lograr cambios, es necesario el uso de nuevas tecnologías enfocadas al aprovechamiento de recursos renovables, el uso de equipos y dispositivos que utilicen al máximo y de forma eficiente la energía. [1].

La industria es un sector que demanda altos consumos de energía eléctrica y en ocasiones no es aprovechada de forma eficiente. Es necesario tomar decisiones inteligentes y optar por estrategias que promuevan la implementación de acciones de eficiencia energética que produzcan beneficios y ahorros energéticos a mediano y largo plazo. El sector industrial debe estar al tanto de las normativas que promueven la eficiencia energética y que ponen a disposición de estas empresas mecanismos como beneficios tributarios con condiciones preferenciales [2].

La eficiencia energética en la industria tiene como objetivo reducir el consumo energético sin sacrificar la producción, teniendo como resultado mayor rendimiento de las instalaciones eléctricas, a través del análisis del comportamiento energético [3]. La implementación de medidas de eficiencia energética en las industrias implica a la reducción de costos y emisiones de CO₂ e impulsa la competitividad empresarial sin que la productividad se vea afectada. Es importante establecer un plan energético que vaya ligado con el uso de nuevas tecnologías y la sustitución de maquinaria y equipos antiguos por otros de alta eficiencia.

Actualmente, “Klass Muebles” busca ser parte del grupo de empresas que promueven la eficiencia energética y contribuyen a minimizar los niveles de contaminación atmosférica y en la fabricación de muebles modulares. Su visión está encaminada en ser una industria productiva y competitiva en el mercado nacional mediante la disminución de costos de producción.

1.1 OBJETIVOS

El objetivo general de este Proyecto Técnico es: Realizar el estudio de las instalaciones eléctricas de la empresa “Klass Muebles” con el fin de proponer mejoras considerando criterios de eficiencia energética.

Los objetivos específicos del Proyecto Técnico son:

- Realizar el levantamiento de cargas y evaluación de los parámetros eléctricos del sistema actual.
- Evaluar el estado de las instalaciones eléctricas al considerar la incorporación de la nueva carga.
- Proponer medidas de eficiencia energética enfocadas a la reducción consumo de energía eléctrica.
- Analizar la viabilidad técnico – económica de la implementación de las medidas propuestas.

1.2 ALCANCE

En el presente trabajo de titulación se realizará la revisión bibliográfica sobre eficiencia energética en el sector industrial en la que se incluirá el análisis de criterios expuestos en normas y regulaciones para evaluar el estado de las instalaciones eléctricas de la empresa “Klass Muebles” mediante el levantamiento de cargas y el análisis de calidad de la energía del sistema eléctrico en condiciones actuales y considerando la incorporación de nuevos equipos.

Una vez identificados los problemas presentes en la instalación eléctrica se expondrá propuestas con medidas de eficiencia energética preventivas o correctivas basadas en la innovación e implementación de nuevas tecnologías, de las cuales se realizará una evaluación económica que reflejará la reducción de costos de energía sin perjudicar el confort y el comportamiento de los trabajadores y las máquinas.

1.3 MARCO TEÓRICO

A continuación, se describen conceptos relacionados con eficiencia energética en el sector industrial, calidad de la energía y otros términos involucrados con la temática, que posibilita el desarrollo del presente proyecto.

1.3.1 INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Se conoce como instalación eléctrica al grupo de equipos y elementos que permiten el transporte y distribución de energía eléctrica desde el suministro hasta los aparatos que la utilizan para sus distintos usos; incluye a los diferentes dispositivos de protección, transformadores, tableros, bancos de capacitores, entre otros [3].

Una instalación eléctrica debe presentar las siguientes características:

- **Seguridad:** No presenta riesgo alguno para los usuarios y equipos dentro del establecimiento. Para evitar daños se requiere de un apropiado sistema de puesta a tierra, correcto dimensionamiento de dispositivos de protección, señalética, barandillas, entre otros.
- **Eficiencia:** El diseño se realiza de forma minuciosa para evitar consumos innecesarios e incrementar la eficiencia de la instalación.
- **Flexibilidad:** Puede adaptarse a pequeños cambios.
- **Accesibilidad:** Es importante tener la información técnica documentada, que nos proporciona la facilidad y acceso a todos los mantenimientos preventivos y correctivos en el momento que los circuitos lo requieran.

Una instalación eléctrica está constituida por los siguientes elementos:

1.3.1.1 Acometida

Es el punto de conexión entre la red, propiedad de la empresa distribuidora, con el usuario final mediante conductores eléctricos por vía aéreas o subterránea [3].

Las acometidas son instaladas según las normas de la Empresa eléctrica suministradora local. En las industrias que poseen un centro de transformación independiente, se define como acometida de medio voltaje a la conexión desde la red de medio voltaje hasta los centros de transformación; a su vez se hace referencia a la acometida de bajo voltaje que es la conexión de los centros de transformación hacia los tableros principales.

En el Distrito Metropolitano de Quito existe varios niveles de voltaje en medio y bajo voltaje:

- Medio voltaje: 22.8 kV, 13.2 kV, 6.3 kV.
- Bajo voltaje: 240V/120V, 220V/127V.

1.3.1.2 Equipo de medición

Los equipos de medición se colocan en la acometida con el fin de cuantificar el consumo de energía eléctrica del usuario, considerando la categorización tarifaria, niveles de voltaje y condiciones del contrato con la empresa comercializadora. Estos vienen sellados y se ponen en lugares de fácil acceso para su revisión y toma de lectura [3].

1.3.1.3 Centro de transformación

El equipo eléctrico que se utiliza para cambiar el nivel de voltaje del suministro según las necesidades requeridas por el usuario. Existen industrias que trabajan con varios niveles de voltaje y como resultado se requiere la instalación de más de un transformador [4].

1.3.1.4 Tablero de distribución principal

El tablero es un armario metálico que posee dispositivos de protección, maniobra o mando, permite que la instalación se encuentre ordenada, segura y confiable. Los tableros son ubicados en lugares de fácil acceso a su vez son flexibles a cambios o modificaciones. El tablero principal es el que se instala después del transformador y contiene un interruptor termomagnético correctamente dimensionado, para luego distribuir la energía a los circuitos secundarios [5].

1.3.1.5 Alimentadores principales y secundarios

Los alimentadores son conductores por los cuales se distribuye la energía eléctrica hacia los sub tableros o centros de carga y para su correcto funcionamiento se debe dimensionar las protecciones adecuadas tanto para sobrecarga como cortocircuitos. La sección de los conductores se calcula de tal manera que la caída de voltaje no supere el 3% del voltaje nominal [6].

1.3.1.6 Tipo de circuitos

En una instalación de suministro de energía eléctrica se pueden identificar varios circuitos, clasificados en:

- Circuitos de fuerza
- Circuitos especiales
- Circuitos de iluminación
- Circuitos de emergencia

1.3.2 CARACTERIZACIÓN DE LA CARGA

Las características de las cargas reflejan el comportamiento del consumo de los usuarios con respecto al sistema de distribución. Las empresas comercializadoras están en el derecho de realizar control sobre cargas que afectan a la red y evita que el sistema o parte del mismo colapse.

1.3.2.1 Carga instalada (CI)

Corresponde a la suma aritmética de los valores nominales de la potencia activa o reactiva de todos los equipos y dispositivos existentes en la instalación eléctrica. Se expresa con la Ecuación (1.1). [20]

$$CI = \sum \text{Potencias nominales de las cargas } [kW] [kVAr] \text{ ó } [KVA] \quad (1.1)$$

En la Figura 1.1 se muestra su ubicación en la curva de carga típica.

1.3.2.2 Capacidad instalada (PI)

La capacidad instalada de una instalación corresponde a la potencia nominal del equipo o elemento (transformador) que constituye el cuello de botella para el suministro de las cargas conectadas [4]. Se visualiza en la Figura 1.1.

1.3.2.3 Demanda eléctrica (D(t))

Es una medida de la tasa promedio del consumo eléctrico de una instalación en intervalos de tiempo definidos. Se define como la potencia requerida por un sistema, transcurrido en un intervalo de tiempo previamente establecido [5].

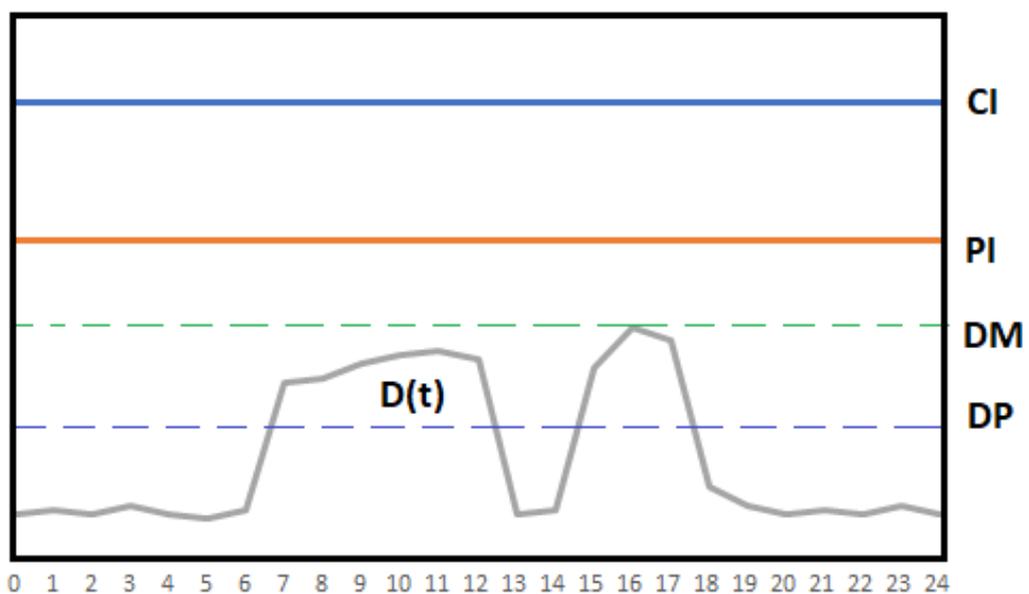


Figura 1.1. Curva de demanda típica

- **Curva de demanda**

Es la representación gráfica de la forma en que varía la demanda en el transcurso del tiempo. El intervalo de tiempo de estudio puede ser diario, mensual, semanal, anual, etc. [6]. Las formas de curva de carga cambian de acuerdo a los diferentes sectores o tipos de clientes, incluyendo el residencial, industrial y comercial; cada uno de estos sectores a su vez, tienen un comportamiento diferente, derivado de los tipos de equipos eléctricos conectados y de los hábitos de uso [7].

- **Demanda máxima (DM)**

Potencia máxima que la carga de una instalación demanda en un intervalo de tiempo determinado. En la Figura 1.1 la demanda máxima se presenta a las 16 horas.

- **Demanda promedio (DP)**

Relación entre el consumo de energía consumida en un periodo dado y el periodo mismo. Se expresa por la Ecuación (1.2).

$$D_p = \frac{\text{Energía consumida en un tiempo } T \text{ [kWh]}}{T \text{ [h]}} \text{ [kW]} \quad (1.2)$$

1.3.2.4 Factor de utilización

Se define como la relación entre la demanda máxima y la capacidad o potencia instalada. Da a conocer si el dimensionamiento del transformador es o no el adecuado.

Para su cálculo se utiliza la Ecuación (1.3).

$$F_U = \frac{\text{Demanda máxima}}{\text{Capacidad Instalada}} = \frac{D_M}{P_I} \quad (1.3)$$

1.3.3 CALIDAD DE LA ENERGÍA

La IEC define a la calidad de la energía como el conjunto de parámetros eléctricos que caracteriza la energía de un suministro en condiciones normales de funcionamiento [8]. Por otro lado, la IEEE menciona que la calidad de energía forma parte de una extensa variedad de fenómenos electromagnéticos que caracterizan el voltaje y corriente eléctrica, en un tiempo determinado y situada en diferentes fuentes del sistema eléctrico de potencia [9].

Una mala calidad de la energía por parte del ente generador o consumidor podría ocasionar pérdidas de energía, daños en equipos y en el peor de los casos afectaciones humanas, que traerían consigo perjuicios en la economía de las industrias. Con el apareamiento y posicionamiento de la electrónica de potencia, se ha percibido con mayor frecuencia los efectos negativos en la calidad de energía del sector industrial.

A continuación, se describen los parámetros eléctricos que deben ser evaluados y comparados con los límites de calidad de energía establecidos por la regulación de la ARC 005/18.

1.3.3.1 Armónicos

Son señales de voltaje o de corriente, que tienen una frecuencia múltiplo entero de la frecuencia fundamenta, las cuales se suman a las ondas de voltaje o corriente, distorsionándolas. Los armónicos se originan por las corrientes deformadas que consumen las cargas no lineales, ocasionando el apareamiento de voltajes distorsionados en los nodos donde se conecta la carga no lineal.

Los equipos a base de electrónica de potencia son los principales generadores de contenido armónico en las industrias. Entre las fuentes de armónicos más comunes se encuentran las computadoras, fuentes conmutadas, lámparas de descarga gaseosa y motores con control de velocidad.

- **Tasa Distorsión armónica Individual**

Es el porcentaje que representa cada componente armónico. Se define como el tanto por ciento entre el valor eficaz de un armónico n sobre el valor eficaz de la componente fundamental, ya sea en voltaje o en corriente [10]. La tasa de distorsión armónica individual se calcula empleando la Ecuación (1.4).

$$d_n = \frac{V_n}{V_1} \times 100 \text{ [%]} \quad (1.4)$$

- **Tasa Distorsión Armónica Total (THD)**

Permite determinar cuánto se distorsiona la forma de onda sinusoidal de voltaje o de corriente. En teoría la energía recibida por parte de la empresa distribuidora debe ser senoidal pura, pero en el proceso de generación, transmisión, distribución y consumo se ve afectada por cargas no lineales que funcionan a base de la electrónica de potencia, los cuales ocasionan que el voltaje y la corriente se ven modificados por la variación del flujo eléctrico que se deriva a cualquier punto del circuito.

La IEEE 519-1992 lo define como la relación entre la raíz cuadrada de la suma de las magnitudes de todos los armónicos y su magnitud fundamental, expresada en porcentaje. La tasa de distorsión armónica total de voltaje se obtiene mediante la Ecuación (1.5) y la de corriente aplicando la Ecuación (1.6). [11]

$$THD_V = \left[\frac{1}{V_1} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (V_h)^2} \right] \times 100 \text{ [%]} \quad (1.5)$$

Donde:

V_h : Voltaje RMS armónico enésimo

V_1 : Voltaje RMS de frecuencia fundamental

$$THD_I = \left[\frac{1}{I_1} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (I_h)^2} \right] \times 100 \text{ [%]} \quad (1.6)$$

Donde:

I_h : Corriente RMS armónico enésimo

I_1 : Corriente RMS de frecuencia fundamental

Para el cálculo de THD (%), usualmente se toma en cuenta hasta el armónico de orden 50; pero si se requiere mayor exactitud, se puede incluir los componentes armónicos de orden superior a 50 [11].

La regulación 005/18 de la ARC define los límites máximos de distorsión armónica individual de voltaje y de distorsión armonía total de voltaje, cuyos porcentajes se muestran en la Tabla 1.1.[12]:

Tabla 1.1. Límites máximos de armónicos de voltaje.

Nivel de Voltaje	Armónico Individual (%)	THD (%)
Bajo Voltaje	5.0	8.0
Medio Voltaje	3.0	5.0
Alto Voltaje Grupo 1	1.5	2.5
Alto Voltaje Grupo 2	1.0	1.5

Métodos de mitigación de armónicos

Existen varias soluciones que permiten mitigar los efectos de los armónicos en una instalación eléctrica, que incluyen métodos preventivos, curativos y paleativos. El método más eficaz es el curativo, el cual se basa en el uso de filtros pasivos y activos que permiten eliminar los armónicos parcial o totalmente.

Filtros Pasivos: Son elementos formados por circuitos R, L, C que mediante la resonancia serie o paralelo logran crear una impedancia cero o infinita para convertirse en un camino que atrae a los armónicos o un camino que impide el paso de los armónicos en la frecuencia en la cual se sintoniza el filtro [13]. El principio de sintonización de una frecuencia a la cual sucede la resonancia coincide con el armónico que desee mitigar.

Filtros activos: Son fuentes de voltaje o corriente compuestas por elementos activos, fuentes de rectificadores con semiconductores que se conectan en configuración serie (fuente de voltaje) o paralelo (fuente de corriente) para sensar el cambio en la forma de onda del voltaje y corriente respetivamente e inyectar voltajes o corrientes complementarias que vuelven a reconstruir una forma de onda sinusoidal [14]. No tienen

el principio de sintonización de una frecuencia dada, ya que pueden sensar y compensar cualquier forma de onda que contenga armónicos.

1.3.3.2 Desbalance de voltaje

Hoy en día la generación y transmisión de energía eléctrica se realiza de forma trifásica por las ventajas tanto económicas como operativas que presenta. En un sistema trifásico el desbalance de voltaje existe cuando la amplitud de las tres fases no es la misma o cuando sus ángulos de desfase son diferentes a los 120° eléctricos entre líneas [15].

En industrias, el desbalance de voltaje es ocasionado por la incorporación de nuevas cargas monofásicas sin planificación técnica o distribuidas de forma no uniforme que podrían producir desequilibrio de carga en cada fase.

El principal efecto del desbalance de voltaje es el sobrecalentamiento de máquinas trifásicas rotativas que afectan de forma directa a su vida útil, rendimiento y en el peor de los casos averías al equipo. También ocasionan efectos en rectificadores de potencia; en el lado de continua, rizado indebido y en el lado de alterna, el apareamiento de armónicos triples.

El porcentaje de desbalance de voltaje se calcula mediante la Ecuación (1.7).

$$Desbalance\ de\ voltaje = \frac{Máx.\ desviación\ del\ voltaje\ promedio}{Voltaje\ promedio} * 100 [\%] \quad (1.7)$$

La regulación 005/18 de la ARC establece valores límites de variaciones de voltaje admitidos, los mismo que se presentan en la Tabla 1.2. [12].

Tabla 1.2. Límites de variaciones de voltaje admitidos.

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

El valor límite de desequilibrio de voltajes no debe exceder el 2% para todos los niveles de voltaje.

1.3.3.3 Factor de potencia

El factor de potencia es un indicador que determina si se está realizando el correcto aprovechamiento de la energía eléctrica. Se define como la relación entre la potencia activa [kW] y potencia aparente [kVA] en un tiempo determinado [16]. El valor de un factor de potencia está comprendido entre 0 y 1 [17]. Para el cálculo se utiliza la Ecuación (1.8).

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (1.8)$$

Donde:

$\cos \varphi$ = Factor de potencia

P= Potencia activa en kW

S= Potencia aparente en kVA

Según la Regulación 074/17 de la ARC, establece normas generales que deben cumplir las distribuidoras, el transmisor y los consumidores; para la prestación del servicio público de energía eléctrica. Para consumidores se debe verificar que la instalación tenga un factor de potencia superior o igual al 0.92; caso contrario se penalizará por bajo factor de potencia según lo estipulado en el pliego tarifario del presente año. En el caso de haber un factor de potencia mensual inferior al 0.6, la empresa distribuidora notificará al cliente y podrá suspender el servicio de energía eléctrica hasta que se ajuste la instalación a la correspondiente regulación [18].

Las causas del bajo factor de potencia se deben a la presencia de cargas inductivas y cargas no lineales debido a que algunos aparatos en su principio de funcionamiento requieren de energía activa y reactiva para realizar un trabajo [19].

El bajo factor de la potencia cuando es menor a la unidad, afecta tanto al consumidor como a la empresa distribuidora y, a medida que va incrementando el consumo de energía reactiva se suscitan los siguientes problemas:

- Calentamiento de conductores
- Calentamiento de bobinados de los transformadores
- Calentamiento de bobinados de motores
- Indebida actuación de protecciones
- Incremento del costo de la factura eléctrica
- Penalizaciones económicas
- En el peor de los casos, corte de suministro en caso de factor potencia muy bajos

Un bajo factor de potencia puede ser corregido mediante el correcto dimensionamiento e instalación de bancos de capacitores que permiten reducir la energía reactiva de autoinducción en la instalación.

Para determinar la capacidad del banco de capacitores, se requiere conocer el factor de potencia actual de la industria y la potencia activa a demanda máxima. Con esta información se puede realizar el cálculo para la compensación capacitiva como se muestra en la Ecuación (1.9).

$$Q = P_{Dm\acute{a}x} (\text{tang}\varphi_1 - \text{tang}\varphi_2) \quad (1.9)$$

Donde:

Q : Potencia reactiva de compensación en [kVA]

$P_{Dm\acute{a}x}$: Potencia activa a demanda máxima [kW]

$\text{tang}\varphi_1$: Ángulo del factor de potencia actual en grados ($^{\circ}$)

$\text{tang}\varphi_2$: Ángulo del factor de potencia esperado en grados ($^{\circ}$)

1.3.4 EFICIENCIA ENERGÉTICA

La eficiencia energética busca obtener más con menos; es decir, permite obtener los mismo beneficios y servicios energéticos, minimizando el consumo de energía, sin afectar el confort o la calidad de vida del usuario, a un costo inferior al actual y que permitan un equilibrio tanto medioambiental como económico [20].

A nivel mundial, asociaciones y países buscan introducir este término a la sociedad, para lo cual se han creado instituciones y programas que estimulen el uso de tecnologías limpias mediante la creación de normas y regulaciones que otorguen incentivos económicos y beneficios tributarios [1].

La eficiencia energética en la industria se enfoca en optimizar los procesos productivos, aprovechar de mejor manera la energía y la implementación de nuevas tecnologías para minimizar costos.

1.3.4.1 Auditoría energética

Auditoría se define como un proceso sistemático, independiente y documentado para la obtención de evidencias y su evaluación objetiva en una organización o parte de ella [21].

La realización de una auditoria energética consiste en un análisis detallado de monitoreo, verificación de los consumos de energía de un sistema, proceso o instalación con el objeto de identificar áreas de oportunidad para lograr un mejor aprovechamiento de energía, manteniendo e incluso mejorando el confort, la salubridad y la seguridad en la instalación [1].

Los objetivos primordiales que se puede conseguir con una auditoria energética son:

- Diagnosticar el estado actual de las instalaciones eléctricas con respecto a su consumo energético y su costo asociado
- Identificar y clasificar los factores que afectan al consumo de energía
- Identificar oportunidades de ahorro
- Realizar una evaluación técnica económica de todas las áreas de oportunidad detectadas

Lo efectúa una empresa externa e independiente, y la regularidad con la que se realiza depende de los cambios o mejoras energéticas, o si se desea identificar áreas de oportunidad en ahorro de energía. Los pasos para la elaboración de una auditoría energética son:

Planificación:

Antes de iniciar una auditoria energética, es necesario elaborar un cronograma detallado de las actividades a realizar, y los recursos tales como, materiales, equipos, personal e inversión económica que se requiera. Una vez considerados los factores antes mencionados, se determina qué tipo de información se va a obtener por cada actividad.

Recolección de información:

En esta etapa se realiza una inspección visual de las instalaciones y su proceso productivo con el propósito de tener una idea global y clara de cómo se encuentra el establecimiento. Consiste en realizar un registro de todos los equipos eléctricos que operan dentro de las instalaciones, y se las puede categorizar en grupos de acuerdo a su función o ubicación.

Toma de mediciones:

El auditor es el responsable de determinar que equipos se requiere en la fase de medición para la toma de datos. Esta fase incluye la tarea de medir con aparatos y equipos específicos, que garanticen la fiabilidad de la auditoría y un conocimiento completo de la realidad física de cada área y de la instalación en general.

Es necesario instalar los equipos de medición de forma correcta, en un periodo de tiempo mínimo de 7 días para determinar el comportamiento de la carga. Es de vital importancia realizar un análisis y así saber cómo varían las variables eléctricas determinando si la calidad de la energía está dentro de los rangos permitidos por los entes reguladores.

Análisis y evaluación de datos y contabilidad energética:

Mediante la obtención de registros históricos del suministro eléctrico de al menos los doce últimos meses, se realiza un análisis tarifario que permita validar y verificar si se paga energía y demanda o si la instalación está bien categorizada, así como también penalizaciones por bajo factor de potencia.

En esta etapa se puede realizar un estudio que permita el análisis analizar la posibilidad de desplazamiento de la curva de carga en horarios en los que el precio del KWh es menor.

Propuesta de medidas de eficiencia energética:

Se elabora un informe que describa, de manera clara y concisa los problemas potenciales presentes en el establecimiento; para posteriormente presentar propuestas o medidas considerando criterios de eficiencia energética.

Evaluación técnico – económica de las propuestas dadas:

Cada oportunidad con potencial de ahorro es evaluada mediante un análisis técnico - económico que define si el proyecto a implementar es viable o no.

Implementación de medidas o propuestas de mejora:

Una vez comprobada la viabilidad del proyecto, se lo ejecuta. Es necesario que una vez culminado, se proceda a realizar un análisis del antes vs después con el fin de corroborar la información.

1.3.5 SISTEMA DE ILUMINACIÓN

Un sistema de iluminación es fundamental en entornos industriales, comerciales, residenciales y alumbrado público. El objetivo en la industria, es brindar seguridad a las personas, precisión y calidad de trabajado en el proceso productivo, tomando en cuenta sus necesidades visuales, emocionales y biológicas, sin afectar su confort y reduciendo consumos mediante el uso de nuevas tecnologías [22].

1.3.5.1 Magnitudes y unidades de iluminación

Flujo luminoso: Es la cantidad de luz que una fuente emite en todas las direcciones en un determinado tiempo. La unidad de medida es el lumen [Lm] y está representado por el símbolo Φ .

Nivel de iluminación o iluminancia: Mide la cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie dada. La unidad de medida es el lux [lx] y está representado por el símbolo E.

Eficiencia luminosa: Se define como la relación entre el flujo luminoso de una luminaria y la potencia eléctrica y la potencia eléctrica que requiere para producir dicho flujo. Esta

magnitud refleja la eficacia en la fuente de luz para convertir energía eléctrica en energía lumínica. La unidad de medida es el lumen por vatio [lm/w] y está representado por el símbolo η .

Temperatura de color: Se refiere a las distintas tonalidades que puede tener la luz. La unidad en la que se mide es en grados Kelvin [°k]. Estos tipos de luz que se generan pueden ser cálida, neutra, fría.

Vida útil: Número de horas de funcionamiento de una luminaria antes de sufrir una depreciación del 30% del flujo luminoso.

1.3.5.2 Tipos de lámparas utilizadas en la industria

Dependiendo del usuario, el lugar y las necesidades de nivel de iluminación, se utiliza un tipo específico de luminaria con propiedades y características puntuales para satisfacer las exigencias que se presentan en la industria.

Lámparas de alta intensidad de descarga (HID). El principio de funcionamiento se basa en el proceso de canalización de la electricidad a través de un tubo que contiene gas y sales minerales; donde al excitar dos electrodos, generan una diferencia de potencial, estimulando el movimiento de los electrones entre las placas, libreando plasma. Las lámparas requieren de un equipo auxiliar conectado en serie para su correcto funcionamiento.

Este tipo de tecnología es muy utilizado en naves industriales, que debido a sus ventajas tanto en vida útil, bajo consumo energético con en su alto potencial lumínico y su uniformidad. Normalmente se utilizan para iluminación de exteriores como parqueaderos y vías públicas [23].

Lámparas Fluorescentes. Su principio de funcionamiento se basa en la ionización del gas contenido dentro de la lampara que al experimentar una carga eléctrica por dos electrodos ocasiona que el gas contenido en el interior brille. Este tipo de tecnología se caracteriza por tener un consumo energético bajo y vida útil considerable. Se suele utilizar en centros comerciales, almacenes, bodegas, galpones, etc. [24].

Lámparas LED. Se fundamentan en el principio fotoeléctrico, y describe que ciertos materiales al ser sometidos al paso de corriente eléctrica emiten luz.

Este tipo de luminarias produce un consumo energético reducido, con un potencial lumínico y una vida útil superior a otras tecnologías; y presenta una gama amplia de colores [25]. Por su elevada eficiencia energética y sus múltiples ventajas, la tecnología led es de las

más utilizadas en la actualidad. Puede emplearse en todo tipo de ambiente y sector, incluido el industrial y alumbrado público.

1.3.5.3 Niveles de iluminación en locales comerciales e industriales

El nivel de iluminación es considerado como el factor más importante para el acondicionamiento ergonómico de los puestos de trabajo que permite obtener una luz adecuada de acuerdo a las actividades que se realiza.

La NEC-11 establece que los valores de cada área, en plano horizontal a una altura de 60cm. A continuación, en la Tabla 1.3. se especifica los niveles mínimos de iluminación recomendados en establecimientos comerciales e industriales, con la finalidad de mantener condiciones de confort óptimas para el empleado [26].

Tabla 1.3. Niveles de iluminación recomendados

Tipo de local	Nivel mínimo de iluminación recomendado
Áreas de trabajo	300 luxes
Áreas de circulación (Pasillos, corredores, etc)	50 luxes
Escaleras, escaleras mecánicas	100 luxes
Áreas de parqueaderos cubiertos	30 luxes

1.3.6 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Es un mecanismo de seguridad que consiste en el conjunto de conductores eléctricos enlazados de forma horizontal o vertical con una estructura uniformemente distribuida. Se coloca a lo largo de la instalación y tiene como objetivos:

- Proteger a las personas dentro y en los alrededores de la industria.
- Proteger y asegurar el correcto funcionamiento de los equipos
- Proporcionar una vía rápida a tierra de baja impedancia cuando se producen descargas atmosféricas, sobrevoltajes o corrientes de falla.
- Asegurar la correcta actuación de las protecciones.
- Minimizar la interferencia que generan ciertos equipos que funcionan a base de electrónica de potencia.

Según la norma NEC 250.56, se establece que el valor máximo de resistencia de puesta a tierra recomendado para sistemas industriales debe ser inferior a 25 ohm [27].

1.3.6.1 Resistividad del suelo

Para el cálculo de la resistividad del suelo se utiliza el método de Wenner, conocido como método de los 4 puntos, donde se coloca 4 varillas equidistantes a una separación a y en línea recta como se muestra en la Figura 1.2.

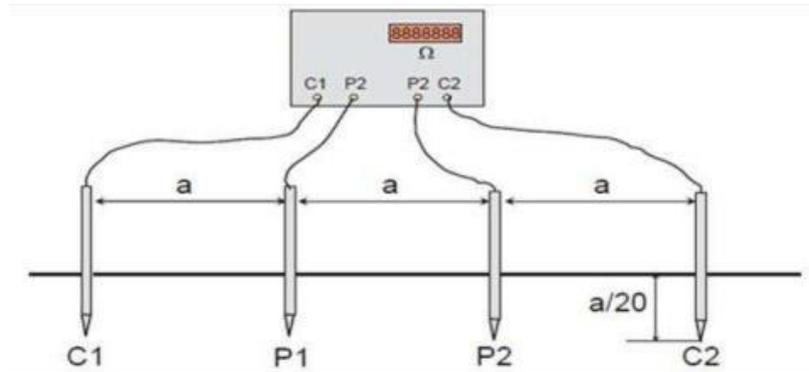


Figura 1.2. Método de Wenner [28].

El principio básico de este método es la inyección de una corriente por los electrodos C1 y C2, mientras que la diferencia de potencial de dicha corriente inyectada aparece a través de los puntos P1 y P2. Estos parámetros permiten calcular la resistencia y mediante la ecuación (1.10), obtener el valor de la resistividad del terreno.

$$\rho = 2 \times \pi \times a \times R \quad (1.10)$$

Donde:

ρ = Resistividad del suelo

a = Distancia entre electrodos

R = Resistencia medida

1.3.6.2 Cálculo de la resistencia de puesta a tierra

Para el cálculo de la resistencia de la puesta a tierra, se utiliza la Ecuación (1.11).

$$R = \rho * \left(\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} * \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right) \quad (1.11)$$

Donde:

R = Resistencia de la malla de puesta a tierra

ρ = Resistividad del terreno

L_T = Longitud total del efectiva del conductor

A = Área de la malla

h = Profundidad de entierro de la malla

1.3.7 FACTURACIÓN DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El servicio público de energía eléctrica considera tarifas para los distintos tipos de usuarios (comerciales, residenciales e industriales) y de acuerdo al nivel de voltaje. Los valores son fijados por el Pliego Tarifario emitido por la ARC.

1.3.7.1 Tarifa de Bajo Voltaje con registrador de demanda horaria

Se aplica para consumidores con voltaje inferior a los 600V, cuya demanda facturable sea superior a los 10 kW y con demanda horaria diferenciada.

En la Tabla 1.4 se especifican los cargos tarifarios por parte de la Empresa Eléctrica Quito S.A. que comprende a costos por energía, demanda y comercialización con fracción horaria, mismos que están especificados en los Cuadros Tarifarios que se encuentran disponible en los anexos del Pliego Tarifario 2021 en el ANEXO A.

Tabla 1.4. Tarifa de bajo voltaje con demanda horaria

Horario	Demanda (USD/kW - mes)	Energía (USD/kWh)	Comercialización (USD/Consumidor)
08:00 - 22:00	4,162	0,063	1,414
22:00 - 08:00		0,067	

1.3.7.2 Demanda Facturable

La demanda facturable es la resultado de la comparación con la demanda máxima y la potencia contratada. La demanda facturable mensual corresponde a la demanda máxima registrada y no puede ser inferior al 60% del valor de la máxima demanda de los últimos doce meses.

1.3.7.3 Factor de la Gestión de Demanda (FGD)

Es un factor multiplicativo que se utiliza para el cálculo del costo por demanda facturable en la planilla. El cálculo de este factor depende de la relación de la demanda máxima mensual que presenta el consumidor en las horas pico (DP) de la empresa eléctrica distribuidora (18:00 – 22:00) y la demanda máxima mensual registrada del consumidor (DM). Para consumidores en bajo voltaje, el factor de gestión de la demanda (FGD) se obtiene de la Ecuación (1.12).

$$FGD = \begin{cases} 0.6 & \text{si } \frac{DP}{DM} < 0,6 \\ \frac{DP}{DM} & \text{si } 0,6 < \frac{DP}{DM} < 1 \end{cases} \quad (1.12)$$

Donde:

DP: Demanda máxima mensual del consumidor durante las horas de pico

DM: Demanda máxima mensual del consumidor

1.3.7.4 Penalización por bajo factor de potencia

Se aplica para usuarios con medición de energía reactiva. Para el cálculo se utiliza la Ecuación (1.13).

$$P_{BFP} = \begin{cases} F_{BFP} = 0 & \text{si } FP_r \geq 0,92 \\ F_{BFP} = B_{FP} \times FSPEE_i & \text{si } FP_r < 0,92 \rightarrow B_{FP} = \frac{0,92}{FP_r} - 1 \end{cases} \quad (1.13)$$

Donde:

P_{BFP} = Penalización por bajo factor de potencia

FP_r = Factor de potencia registrado o calculado

B_{FP} = Factor de penalización

$FSPEE_i$ = Factura por servicio público de energía eléctrica inicial

1.3.7.5 Facturación

La facturación del consumo eléctrico es la sumatoria de rubros económicos detallados en la Ecuación (1.14).

$$FSPEE = E + P + PIT + C + P_{BFP} \quad (1.14)$$

Donde

$FSPEE$ = Factura por servicio público de energía eléctrica – USD

E= Facturación de energía – USD

P= Facturación de demanda – USD

PIT= Pérdidas en transformadores -USD

C= Comercialización

P_{BFP} = Penalización por bajo factor de potencia

1.3.8 PARÁMETROS FINANCIEROS PARA LA EVALUACIÓN DE UN PROYECTO

La evaluación de proyectos constituye un punto clave para el crecimiento de una organización. Permite cuantificar el impacto positivo o negativo que implica la ejecución de un proyecto.

La determinación de la viabilidad económica de un proyecto de inversión requiere la proyección del flujo de fondos del proyecto durante su vida útil y el análisis de un conjunto de indicadores que permitan medir la bondad económica del proyecto. [29].

1.3.8.1 Valor actual neto (VAN)

El valor presente neto es el resultado de la suma algebraica de todos los flujos del proyecto; es decir ingresos y egresos, incluyendo la inversión inicial. Para su evaluación se considera una tasa de descuento, y se expresa en la Ecuación (1.15). [29].

$$VAN = -I_o + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} \quad (1.15)$$

Donde:

I_o : inversión inicial (t=0)

F_t : Flujo de dinero en el tiempo t

n : el número de periodos en el tiempo

k : Tasa de descuento o interés

Cuando:

$VAN > 0$: Se asume que el proyecto será beneficioso

$VAN = 0$: Se determina que el proyecto no generará ganancias ni pérdidas

$VAN < 0$: Se considera que el proyecto generará pérdidas, razón por la cual, no es viable.

1.3.8.2 Tasa interna de retorno (TIR)

Permite cuantificar la rentabilidad de los fondos que realmente se encuentra invertidos en el proyecto. Es el interés compuesto que gana el dinero que se mantiene invertido en el proyecto, durante un periodo de tiempo determinado, cuando el valor presente neto es cero. La tasa interna de retorno se calcula con la Ecuación (1.16) [29].

$$-I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = 0 \quad (1.16)$$

Donde:

I_0 : inversión inicial (t=0)

F_t : Flujo de dinero en el tiempo t

n : el número de periodos en el tiempo

Cuando el TIR es mayor a la tasa de descuento o interés, se considera que el proyecto es viable y generará beneficios.

1.3.8.3 Periodo simple de Recuperación (PSR)

Permite calcular el periodo en el cual se va a recuperar la inversión del proyecto, sin considerar el valor del dinero en el tiempo. Se define como la relación entre la inversión inicial y el ahorro en el primer año, y se expresa con la Ecuación (1.17).

$$PSR = \frac{\textit{Inversión inicial}}{\textit{Ahorro o ganancia anual}} \quad (1.17)$$

2. METODOLOGÍA DE DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

En el presente capítulo se realiza el procedimiento para diagnosticar el estado actual de las instalaciones eléctricas de la fábrica Klass Muebles. Se desarrolló de la siguiente manera:

2.1 PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES

Antes de iniciar con el diagnóstico energético en Klass Muebles, se acordó una reunión con el jefe de planta para dar a conocer el alcance del proyecto técnico.

Para adecuar el cronograma de trabajo se realizó la visita técnica al personal operativo y se realizó un recorrido de la empresa que permitió tener una evaluación más completa. El cronograma se puede visualizar en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Cronograma de trabajo

Actividad	Septiembre	Octubre	Noviembre
Reconocimiento en las diferentes áreas y procesos de producción			
Recolección de información básica de la empresa			
Levantamiento de carga instalada			
Toma de mediciones de nivel de iluminación			
Toma de mediciones de parámetros eléctricos			
Toma de mediciones del sistema de puesta a tierra			

Se recopiló información básica de las instalaciones, sus procesos y su funcionamiento energético. Para esto se consideró:

2.1.1 DESCRIPCIÓN DEL LUGAR

La empresa Klass Muebles surge como un pequeño taller de carpintería en los años 90, con el pasar de los años la empresa fue ganando mercado y reconocimiento a nivel nacional. Por el constante crecimiento y demanda de sus productos, en el año 2001, la empresa desplaza sus operaciones a una zona industrial en el norte de Quito.

Klass Muebles se dedica a la fabricación y armado de muebles de cocina, closets y baños con sistema modular, elaborados del mejor material y encaminados a brindar confort y funcionalidad.

En la actualidad se encuentra entre las principales fábricas de muebles modulares a nivel nacional, ya que cuenta con maquinaria de última tecnología y personal altamente capacitado tanto en el área operativa como administrativa capaz de solventar las exigencias de los clientes.

2.1.2 UBICACIÓN

Klass Muebles cuenta con dos sedes ubicadas dentro de la ciudad de Quito. La primera, el show room ubicado en la avenida El Sol y el Universo y la fábrica se encuentra ubicada en Calderón, Marianitas, en las calles Giovanni Calles y Ernesto Quezada, con una extensión de 1500 m², como se observa en la Figura 2.1.



Figura 2.1. Ubicación de la planta industrial de Klass Muebles

2.1.3 JORNADA LABORAL

Cuenta con personal de aproximadamente 50 empleados entre planta y administración. La duración de la jornada laboral es de 8 horas, con un horario de ingreso de 08:00 am, de salida 17:00 pm, y un periodo de almuerzo de 1 hora. El incremento de la demanda se ve reflejado en el aumento de producción, lo que a su vez podría prolongar el horario de trabajo.

2.1.4 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

El proceso de producción para la fabricación de muebles varía dependiendo del tipo de tecnología presente en la industria. En el caso de Klass Muebles comprende el diagrama de flujo que se detalla en la Figura 2.2.

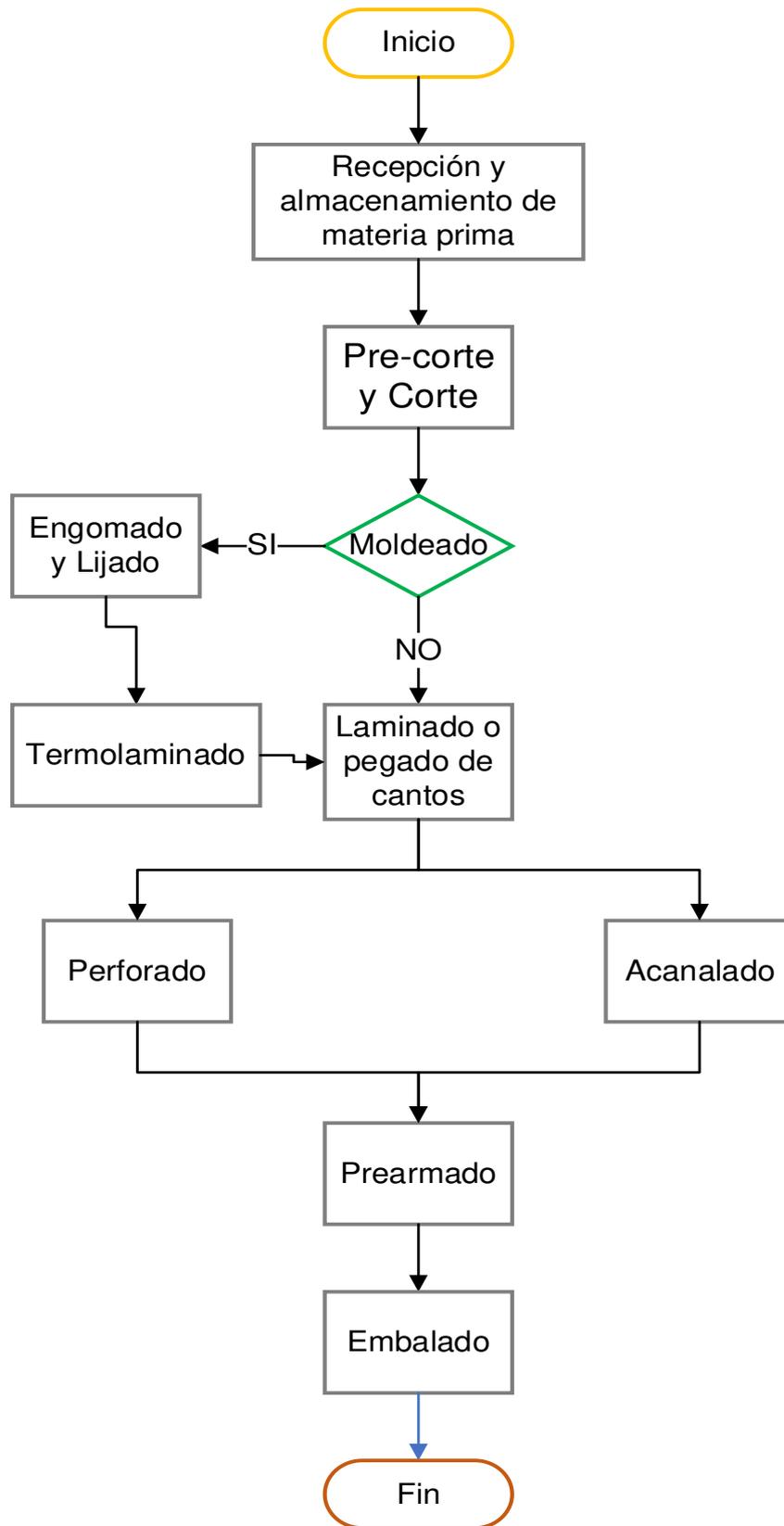


Figura 2.2. Ilustración de los procesos de producción

2.1.4.1 Proceso de corte

Área en la cual se fracciona o divide la materia prima de acuerdo a las medidas proporcionadas por parte del personal de campo, Aquí se obtiene piezas con dimensiones exactas, dando el corte fino necesario para la elaboración y armado de los muebles solicitados. Las máquinas utilizadas en el proceso de corte se especifican en la Tabla 2.2 y se observan en la Figura 2.3.

Tabla 2.2. Máquinas del área de corte

Ítem	Descripción	Marca	Función	Voltaje [V]	Potencia [kW]
1	Sierra CNC seccionadora	Giben	Máquina electrohidráulica que permite realizar cortes de paquetes de tableros completos, funciona de forma automática y acelera la producción y el rendimiento.	220 - 3Ø	12,8
2	Sierra escuadradora de brazo	Altendorf	Máquina industrial utilizada para realizar corte lineal a escuadra de tableros de madera. Evita la presencia de desperfectos durante su operación.	220 - 2Ø	6,25
3	Sierra de banco casera	-	Máquina de fabricación casera utilizada para realizar cortes no finos en madera no laminada.	220 - 2Ø	5,5



Figura 2.3. Proceso de corte

2.1.4.2 Proceso de moldura

Proceso que permite realizar bordes, biselados, moldes o diversos diseños y trabajos en la superficie de piezas como puertas, cajones, para brindar estética al producto final. La máquina utilizada en el proceso de moldura se especifica en la Tabla 2.3 y se presenta en la Figura 2.4.

Tabla 2.3. Máquinas del área de moldura

Ítem	Descripción	Marca	Función	Voltaje [V]	Potencia [kW]
1	Máquina CNC centro de mecanizado	MasterWood	Máquina electrohidráulica con fresador vertical y horizontal, grupo talado y sierra con motor independiente que permite todo tipo de diseño en la superficie de tableros.	220 - 3Ø	27



Figura 2.4. Proceso de Moldura

2.1.4.3 Proceso de encolado y lijado

Previo al laminado de un tablero, se aplica cola sobre toda la superficie en la cual se va a aplicar el recubrimiento de PVC, se deja endurecer completamente. Posterior a eso se lija la para eliminar imperfecciones en la superficie de la madera. En la Figura 2.5 se visualiza el área donde se realiza el proceso de encolado y lijado.



Figura 2.5. Proceso de encolado y lijado

2.1.4.4 Proceso de termolaminado o prensado

En el proceso de termolaminado se forra o recubre los tableros que fueron trabajados en su superficie con un revestimiento de láminas de plástico versátil como PVC y PET, creando una pieza resistente a la humedad y al agua a más de ofrecer estética al mueble. La máquina que se utiliza en el proceso de termolaminado se especifica en la Tabla 2.4 y se observa en la Figura 2.6.

Tabla 2.4. Máquinas del área de termolaminado

Ítem	Descripción	Marca	Función	Voltaje [V]	Potencia [kW]
1	Termolaminadora	-	Máquina eléctrica manual de vacío, con sistema de calentamiento por niquelinas que permite transferir películas de PVC a superficies de madera.	220 - 3Ø	13



Figura 2.6. Proceso de termolaminado

2.1.4.5 Proceso de laminado o pegado de cantos

Para el proceso de laminado se utiliza máquinas electrohidráulicas que realizan el pegado de los tapacantos para cubrir los bordes de las piezas sin laminar que se mostrarán visibles con la finalidad de brindar estética al producto final. Los tapacantos son una cinta a base de PVC y existe amplia variedad de color, espesor y diseños. Este proceso se lo realiza mediante el uso de máquinas laminadoras. Las máquinas utilizadas en el proceso de laminado se especifican en la Tabla 2.5 se observan en la Figura 2.7.

Tabla 2.5. Características de máquinas de laminado

Ítem	Descripción	Marca	Función	Voltaje [V]	Potencia [kW]
1	Enchapadora de canto	Cehisa	Máquina electrohidráulica que realiza el laminado o encolado de cantos, para un espesor de canto de 0,4 – 3 mm y una altura de 10 a 60 mm.	220 - 3Ø	13
2	Enchapadora de canto	Biesse Artech	Máquina electrohidráulica que realiza el laminado o encolado de cantos, para un espesor de canto de 0,4 – 12 mm y una altura de 8 a 60 mm.	220 - 3Ø	6,8



Figura 2.7. Proceso de laminado

2.1.4.6 Proceso de perforado

Se realiza orificios o perforaciones de diferentes diámetros dependiendo de la pieza y mueble diseñado, los mismo que permiten un armado de muebles más rápido que incide en la reducción a los tiempos de producción. Al perforar las partes, el acople entre los mismos es más fácil. También se realiza perforaciones para la colocación de bisagras, entre otras funciones. Las máquinas utilizadas en el proceso de perforado se especifican en la Tabla 2.6 y se muestran en la Figura 2.8.

Tabla 2.6. Máquinas del área de perforado

Ítem	Descripción	Marca	Función	Voltaje [V]	Potencia [kW]
1	Agujereadora múltiple	Vitap	Máquina electrohidráulica semi automática para realizar perforaciones o ensambles de precisión de muebles con posiciones pre ajustables para la profundidad de los agujeros en muebles con placas de melamina o y madera.	220 - 2Ø	1,5
2	Perforadora simple	Biesse Artech	Máquina eléctrica manual empleada para realizar agujeros o perforaciones con espesor y profundidad regulable.	220 - 2Ø	2



Figura 2.8. Proceso de perforado

2.1.4.7 Proceso de acanalado

En este proceso se realiza la modificación de perfiles de piezas de madera que consiste en la utilización de una máquina eléctrica para la creación de ranuras y canales de distintos tamaños y en las piezas que lo requieran; esto facilita el armado de los muebles modulares. La máquina utilizada se especifica en la Tabla 2.7 y se presenta en la Figura 2.9.

Tabla 2.7. Máquinas del área de acanalado.

Ítem	Descripción	Marca	Función	Voltaje [V]	Potencia [kW]
1	Fresa acanaladora	-	Máquina eléctrica que realiza ranuras y canales en piezas de madera con espesor y profundidad modificable.	220 - 2Ø	4,48



Figura 2.9. Proceso de acanalado

2.1.4.8 Proceso de armado

En ese proceso se realiza el ensamblaje de todas las partes que constituyen un mueble modular. Esta actividad se realiza con la ayuda de herramientas eléctricas y neumáticas manuales. El armado de los módulos se los puede hacer utilizando cualquiera de los siguientes elementos:

- Tornillos, minifix, tarugos de madera, clavado neumático

La máquina que se utiliza en el proceso de termolaminado se especifica en la Tabla 2.8 y se muestra en la Figura 2.10.

Tabla 2.8. Máquinas para armado

Ítem	Descripción	Marca	Función
1	Prensa hidráulica	-	Máquina manual que facilita el montaje y ensamblado de muebles de madera maciza.



Figura 2.10. Proceso de armado

2.1.4.9 Área de embalado

Una vez finalizado el armado, se procede a empaca los de los módulos para evitar daños en el producto terminado durante su manipulación y traslado. Para ese procedimiento se usa cinta stretch film por sus propiedades y su bajo costo. En la Figura 2.11 se visualiza el área donde se realiza el proceso de encolado y lijado.



Figura 2.11. Embalado

2.2 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN Y RECOPIACIÓN DE DATOS

Se realizó el censo de carga mediante la obtención de información de datos de placa de los equipos y fichas técnicas de cada máquina. Se categorizó por grupos para detectar las fuentes de mayor consumo energético.

2.2.1 CARGA INSTALADA DE LA FÁBRICA

Es necesario conocer la potencia instalada en la fábrica, que corresponde a la sumatoria de todos los equipos eléctricos que se encuentran en cada área.

En la Tabla 2.9. se detalla la carga instalada total presente en cada área.

Tabla 2.9. Carga Instalada de la fábrica Klass Muebles por áreas

Área	Zona	Descripción	Cantidad	Potencia [W]	Total [W]
Producción	Gerencia de planta	Tubo fluorescente T8	4	36	144
		Computadora	1	200	200
		Teléfono inalámbrico	1	5	5
	Oficinas de diseño	Tubo fluorescente T8	8	40	320
		Computadora	2	200	400
		Laptop	5	75	375

Área	Zona	Descripción	Cantidad	Potencia [W]	Total [W]
		Teléfono inalámbrico	2	5	10
		Impresora	1	400	400
		Router	3	5	15
	Cafetería	Tubo fluorescente T8	2	40	80
		Microondas	2	1500	3000
		Licuada	1	500	500
Administración	Gerencia General	Tubo fluorescente T8	2	36	72
		Laptop	1	75	75
		Teléfono inalámbrico	1	5	5
		Equipo de sonido	1	400	400
	Secretaría	Tubo fluorescente T8	2	36	72
		Computadora de escritorio	2	200	400
		Impresora	1	400	400
		Fax	1	30	30
		Teléfono inalámbrico	1	5	5
		Router	3	5	15
	Baño	Foco LED	8	20	160
	Bodega	Tubo fluorescente T8	12	36	432
		Computadora de escritorio	1	200	200
	Vestidores	Tubo fluorescente T8	4	36	144
		Tubo fluorescente T8	4	36	144
	Galpón Industrial	Aire comprimido	Tubo fluorescente T8	2	36
Compresor Shamal			1	18650	18650
Compresor (back up)			1	7460	7460
Secador de aire refrigerante			1	1070	1070
Corte		Tubo fluorescente T8	16	36	576
		Sierra seccionadora	1	12800	12800
		Sierra escuadradora	1	6250	6250
		Sierra sencilla	1	5500	5500
		Extractor de aserrín	2	2984	5968
Laminado		Tubo fluorescente T8	12	36	432
		Enchapadora de canto 1	1	6800	6800
		Enchapadora de canto 2	1	13000	13000
		Extractor de aserrín	2	2984	5968
Acanalado		Tubo fluorescente T8	2	36	72
		Fresa	1	4480	4480
Perforado		Tubo fluorescente T8	4	36	144
		Taladro múltiple	1	1500	1500
		Taladro simple	1	2000	2000
Moldurado		Tubo fluorescente T8	4	36	144
		Fresa	1	27000	27000
Termolaminado	Tubo fluorescente T8	4	36	144	

Área	Zona	Descripción	Cantidad	Potencia [W]	Total [W]
		Plastificadora laminadora	1	13000	13000
	Prearmado	Tubo fluorescente T8	26	36	936
		Lámpara vapor de sodio	3	150	450
		Amolador	1	186,5	186,5
		Sierra manual	2	1800	3600
		Taladro	12	700	8400
		Perforadora manual	5	500	2500
		Computadora	1	200	200
	Lijado	Tubo fluorescente T8	4	36	144
		Tubo fluorescente T8	4	36	144
	Patio	Reflector	5	150	750
Total					158343,5

2.2.2 CLASIFICACIÓN DE LA CARGA INSTALADA

Para identificar las zonas de mayor consumo energético, se categorizó la potencia instalada en grupos. En la Tabla 2.10 se clasifican de acuerdo a la función que desempeñan y en la Tabla 2.11 acorde a su ubicación.

Tabla 2.10. Clasificación de la potencia instalada por su función

Grupos	Potencia instalada [kW]	Potencia Instalada [%]
Iluminación	5,58	3,53
Equipos de oficina	6,64	4,19
Equipos industriales	146,13	92,29
Total	158,34	100,00

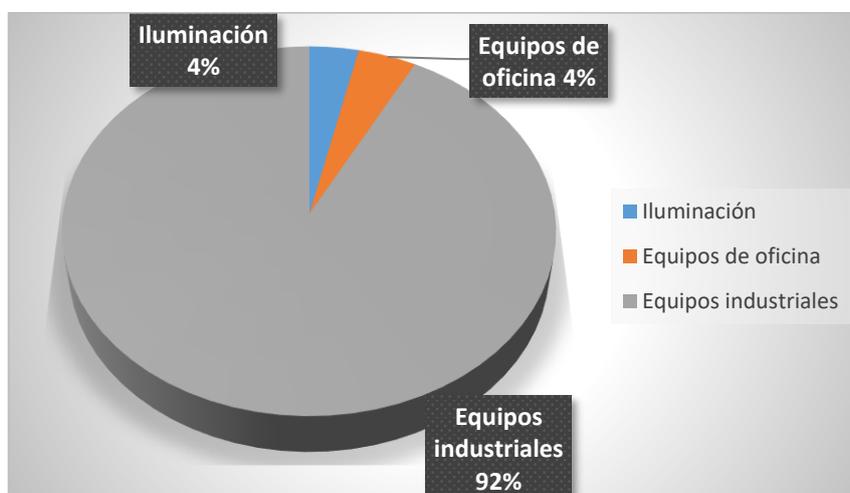


Figura 2.12. Diagrama de pastel de la potencia instalada por grupo

En la Figura 2.12 se muestra el diagrama de pastel con el porcentaje de la potencia instalada de acuerdo a función que desempeñan.

Tabla 2.11. Clasificación de la potencia instalada por su ubicación

Área	Potencia instalada [kW]	Potencia Instalada [%]
Producción	5,45	3,44
Administración	2,55	1,61
Galpón industrial	150,34	94,95
Total	158,34	100,00

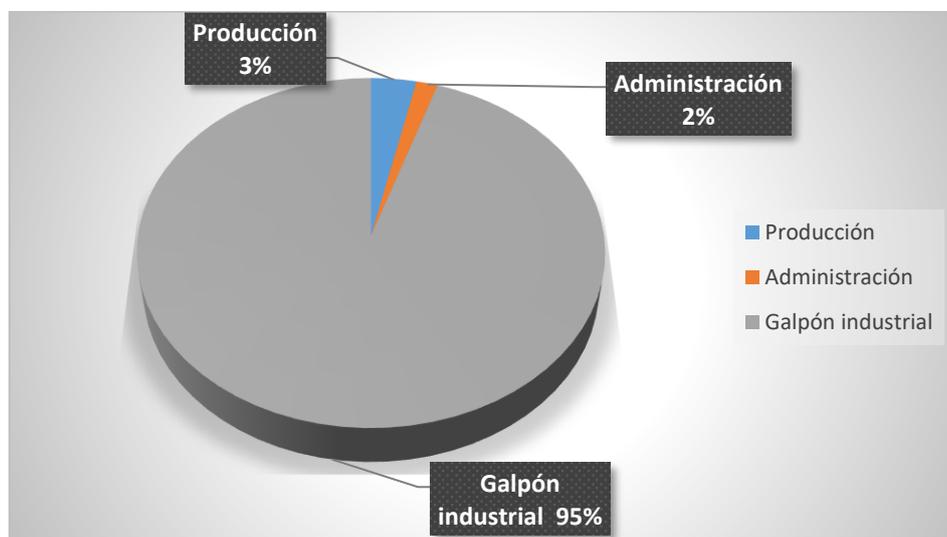


Figura 2.13. Diagrama de pastel de la potencia instalada por su ubicación

En la Figura 2.13 se refleja el porcentaje de la potencia instalada de acuerdo a su ubicación.

2.2.3 TRANSFORMADOR

La red de medio voltaje que suministra a la fábrica Klass Muebles, es proporcionada por la Empresa Eléctrica Quito (EEQ), con una red trifásica que pasa por la planta industrial a un nivel de voltaje de 22,8 kV entre fases.

El transformador que alimenta toda la fábrica es trifásico convencional y con ventilación natural, se encuentra ubicado en una estructura tipo H con capacidad instalada de 100 kVA, con sus equipos de protección y seccionamiento adecuados para dicho nivel de voltaje. Este equipo tiene aproximadamente 10 años de funcionamiento y hasta el momento no se ha realizado algún mantenimiento preventivo o pruebas para verificar su situación operativa.

En la Tabla 2.12 se describe las características del transformador y se evidencia en la Figura 2.14.

Tabla 2.12.Características del transformador

Característica	Especificaciones
N° de transformador	E49654
Montaje	Estructura tipo H o camilla
Marca	INATRA
Potencia	100 kVA
Fases	3
Voltaje primario	22,8 kV
Voltaje secundario	220/127 V
Conexión	Delta – Estrella
Pararrayos	10 kV
Seccionador	15 kV
Cartuchos Fusible	500 V/250 A



Figura 2.14. Transformador de distribución de la fábrica Klass Muebles

2.3 TOMA DE MEDICIONES

Para obtener un diagnóstico más profundo del estado actual de las instalaciones eléctricas de la fábrica, se instaló equipos de medición para el monitoreo y obtención de datos.

2.3.1 ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA ENERGÍA

El equipo utilizado para la medición de parámetros eléctricos que corresponden al análisis de calidad de energía eléctrica es un FLUKE 1735, las especificaciones se describen en la Tabla 2.13 y está representado en la Figura 2.15.

Tabla 2.13. Función y características de equipo Fluke 1735

Función	Características
Parametrización de la calidad eléctrica Estudios de carga Verificación del consumo de energía.	Registra parámetros de medición como: corriente, voltaje, energía, frecuencia, armónicos, Potencia y asociados de hasta 45 días. Posibilita la medición de las tres fases y el neutro. Fácil configuración del instrumento Visualización de gráficos y generación de informes gracias al software PowerLog. Captura el comportamiento de la energía al presentarse eventos como fluctuaciones de voltaje por variaciones de carga. Diseño robusto y compacto, con estuche IP65.



Figura 2.15. Fluke 1735 [28]

El equipo se instaló en el tablero principal de distribución alimentado a doble circuito por el transformador de 100 kVA. El periodo de medición fue de 7 días consecutivos, desde el 04 de octubre al 11 de octubre de 2021, con registro en intervalos de 10 minutos.

A continuación, se detallan los parámetros evaluados que son tomados en cuenta por las regulaciones vigentes emitidas por la ARC.

2.3.1.1 Distorsión armónica total (THD)

Tabla 2.14. Análisis de THD de voltaje

Voltaje	THD Voltaje [%]			N° de muestras totales	N° de muestras fuera de la norma	Porcentaje de incumplimiento de THDv	Estado
	Máximo	Mínimo	Promedio				
V12	6,50	1,60	2,67	3576	0	0,00%	Si cumple
V23	3,50	1,50	2,52	3576	0	0,00%	Si cumple
V31	5,30	1,30	2,36	3576	0	0,00%	Si cumple

En la Tabla 2.14 se contempla que ningún valor de THD de voltaje está fuera del porcentaje permitido por la regulación, es decir, si cumple.

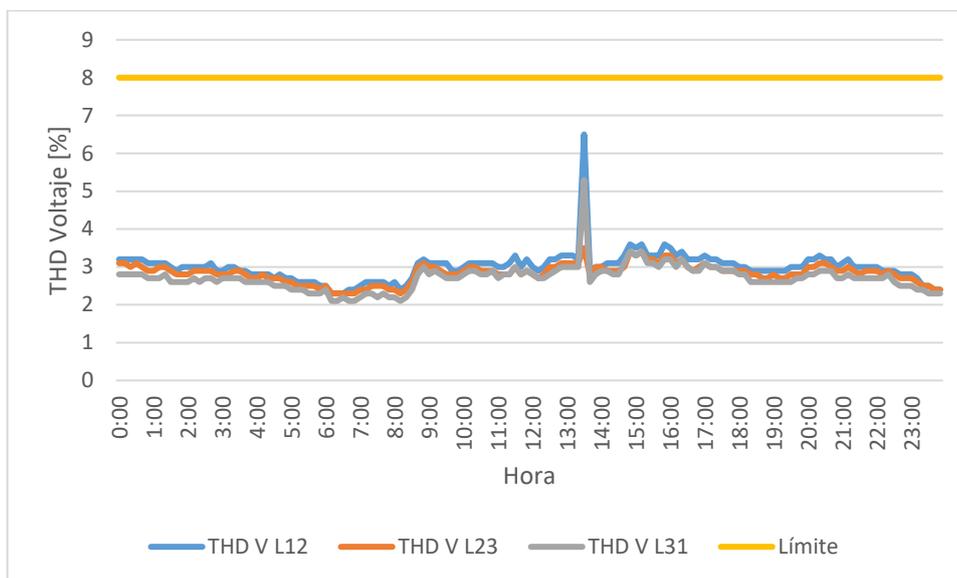


Figura 2.16. Curva del día en el que se presenta el THD de voltaje máximo.

En la Figura 2.16 se observa que los valores que corresponden al porcentaje de distorsión armónica de voltaje no supera el 8%, establecido en la regulación 052/18 por la ARC.

2.3.1.2 Nivel de voltaje

Para este análisis se consideró el voltaje secundario del dato de placa del transformador, siendo el voltaje nominal fase - fase de 220 V y voltaje fase – neutro 127 V.

Tabla 2.15. Análisis de los niveles de voltaje

Voltaje	Voltaje [V]			N° de muestras totales	N° de muestras fuera de la norma	Porcentaje de incumplimiento de variación de voltaje	Estado
	Máximo	Mínimo	Promedio				
V12	219,40	195,32	210,30	3576	105	8,81%	No cumple
V23	221,92	197,30	212,95	3576	22	1,85%	Si cumple
V31	221,85	197,00	212,54	3576	30	2,52%	Si cumple

En la Tabla 2.15 se constata que V12 tiene el mayor porcentaje de incumplimiento de variación de voltaje. Los tres voltajes de línea tienen muestras fuera de la norma puesto que determinados valores superan el $\pm 8\%$ de lo establecido por el ente regulador.

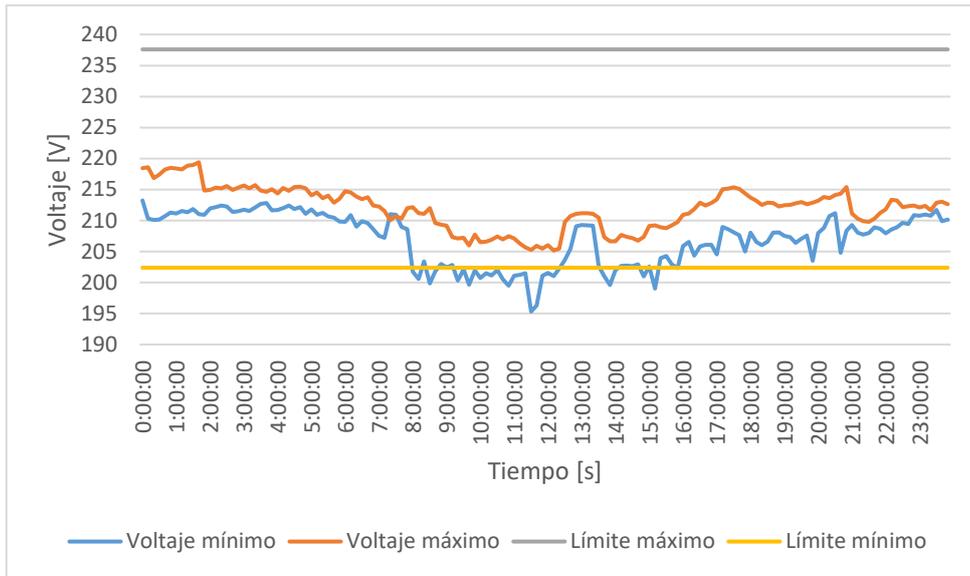


Figura 2.17. Voltaje fase-fase 12

En la Figura 2.17 se presentan las señales de voltaje mínimo y voltaje máximo de la línea 12. El voltaje mínimo en el horario laboral se muestra inferior al límite permitido de 202,4 V.

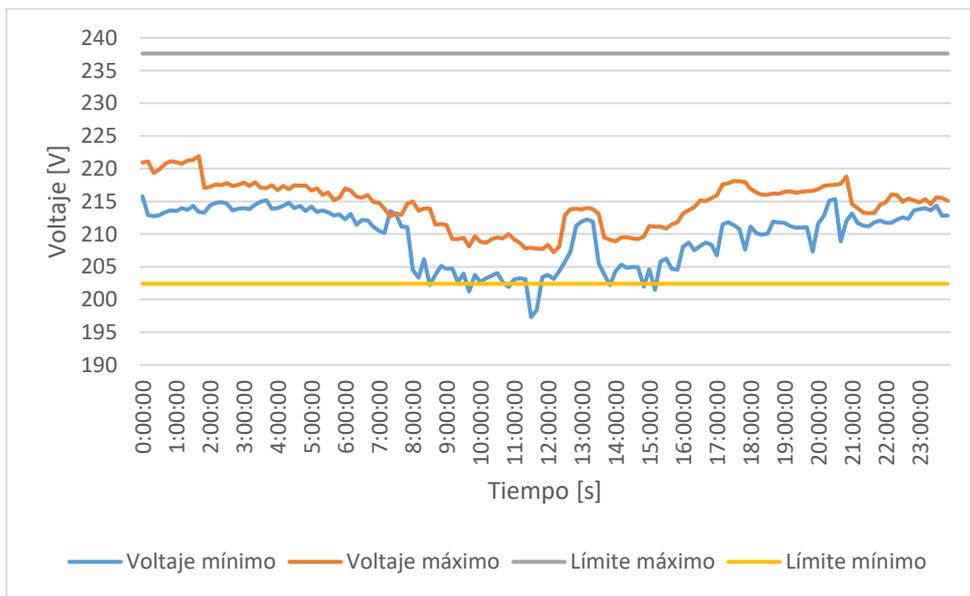


Figura 2.18. Voltaje fase-fase 23

En la Figura 2.18 se presentan las señales de voltaje mínimo y voltaje máximo de la línea 23. El voltaje mínimo en el horario laboral se muestra inferior al límite permitido de 202,4 V.

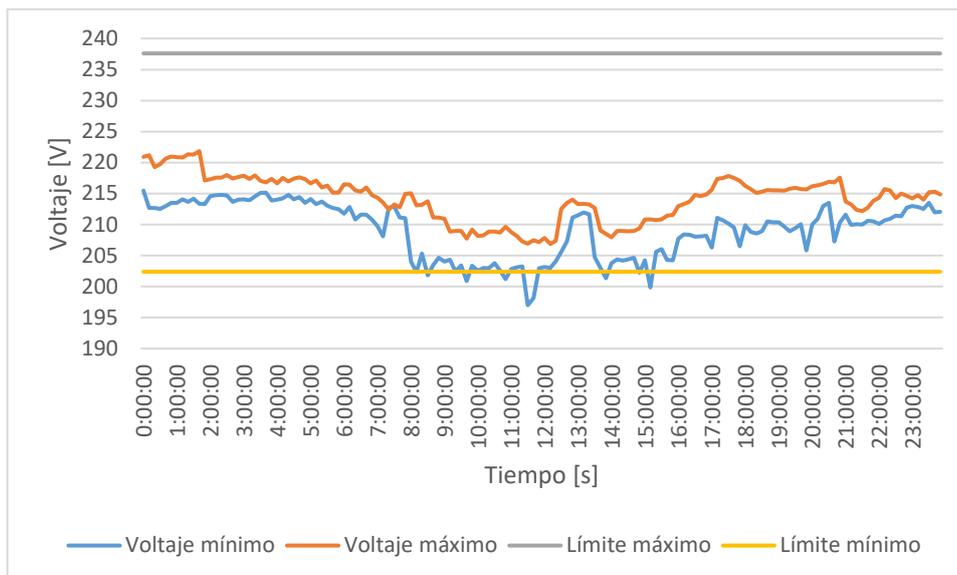


Figura 2.19. Voltaje fase-fase 31

En la Figura 2.19 se presentan las señales de voltaje mínimo y voltaje máximo de la línea 31. El voltaje mínimo en el horario laboral se muestra inferior al límite permitido de 202,4 V.

Debido a que algunas máquinas tienen paneles de control electrónicos, se debe considerar que la norma IEEE 1100-1999 establece que para que los equipos electrónicos operen en condiciones óptimas, la variación de voltaje no debe exceder el $\pm 5\%$.

2.3.1.3 Desbalance de voltaje

Según la IEEE 1159-1995, el desbalance de voltaje se calcula como la desviación estándar máxima de la media de los voltajes trifásicos, sobre el voltaje promedio, expresado en porcentaje.

$$\text{Desbalance de voltaje} = \left| \frac{210,3 - 211,93}{211,93} \right| * 100$$

$$\text{Desbalance de voltaje} = 0,77 \%$$

2.3.1.4 Factor de potencia

Tabla 2.16. Análisis de Factor de Potencia

	Valor			N° de muestras totales	N° de muestras fuera de la norma	Porcentaje de incumplimiento	Estado
	Máximo	Mínimo	Promedio				
FP	1,00	0,06	0,76	3576	3163	88,45%	No cumple

De acuerdo con los datos obtenidos del analizador de red, en la Tabla 2.16 se determina que el factor de potencia se encuentra fuera del límite permitido, generando penalizaciones por parte de la empresa distribuidora.

2.3.1.5 Desbalance de cargas

Por lo general, las corrientes de fase del secundario del transformador son diferentes, debido a las características de la carga. No hay regulaciones que limiten este parámetro, pero por temas técnicos y para una mejor operación sus líneas deben estar con carga balanceada

Tabla 2.17. Análisis de Corrientes de fase

Fase	Corriente [A]			Desbalance [%]
	Máximo	Mínimo	Promedio	
I1	281,71	0,33	37,75	13,71
I2	269,29	0,70	34,41	
I3	294,91	5,40	44,04	

En la Tabla 2.17 se calculó un desbalance de carga de 13,71% originado por las distintas cargas trifásicas y monofásicas conectadas sin considerar un estudio de carga previo.

2.3.2 CURVA DE DEMANDA DEL TRANSFORMADOR

La curva de demanda diaria se elaboró a partir de las mediciones de potencia aparente media, registradas del analizador de energía.



Figura 2.20. Curva de demanda del transformador

La Figura 2.20 muestra la curva de demanda de la fábrica del jueves 07 de octubre de 2021, en el que se presenta el mayor pico de potencia aparente media.

2.3.2.1 Determinación del factor de utilización del transformador en condiciones actuales

Tabla 2.18. Datos de potencia aparente actual.

Fecha	Hora	Caso de estudio	Potencia [kVA]
7/10/2021	7:30	Mínima	1,27
7/10/2021	17:40	Máximo	50,09

En la Tabla 2.18 se detalla la potencia aparente máxima y mínima media registrada en el periodo de análisis de toma de mediciones. Se determinó que:

- Si $F_u \leq 0,5$ se determina que el transformador se encuentra subcargado.
- Si $F_u > 1.0$ se determina que el transformador se encuentra sobrecargado.

El transformador presenta una demanda máxima de 50,09 kVA que corresponde al día jueves 07 de octubre de 2021 a las 17:40 pm. Mediante la Ecuación (1.3) se determinó el factor de utilización del transformador de 100 kVA.

$$F_u = \frac{50,09 \text{ kVA}}{100 \text{ kVA}}$$

$$F_u = 0,51$$

$$\%Cargabilidad = \frac{S \text{ máxima kVA}}{S \text{ Transformador kVA}} * 100 [\%]$$

$$\%Cargabilidad = \frac{50,1}{100} * 100 [\%]$$

$$\%Cargabilidad = 50,1 [\%]$$

2.3.2.2 Determinación del factor de utilización del transformador considerando la incorporación de la carga a instalarse

Se tiene planificado reestructurar y reubicar las máquinas para readecuar el galpón industrial y brindar un amplio y acogedor espacio para trabajar. Se realizará la adquisición de una máquina agujereadora que permita solventar, agilizar e incrementar la producción de muebles modulares.

Las características de la máquina se especifican en la Tabla 2.19.

Tabla 2.19. Levantamiento de información de maquina nueva

Descripción	Marca	Función	Voltaje [V]	Potencia [kW]	FP
Agujereadora múltiple automática CNC	MARZICA KDT	Máquina electrohidráulica para realizar perforaciones o ensambles de precisión de muebles con posiciones y profundidad pre ajustables.	220 - 3Ø	20,6	0,9

Para esta carga se considera un factor de utilización de 0,8 y el factor de potencia dado por el fabricante. Como resultado, con la Ecuación (2.1) se obtiene la potencia aparente de la nueva carga.

$$S_{nuevo} = \frac{P * FU}{FP} \quad (2.1)$$

Donde:

S= Potencia aparente

P= Potencia

FU= Factor de utilización

FP= Factor de potencia

$$S_{nuevo} = \frac{20,6 * 0,8}{0,90}$$

$$S_{nuevo} = 18,31 \text{ kVA}$$

Tabla 2.20. Potencia aparente nueva

	Potencia [kVA]
Actual	50,09
Nuevo	18,31
Total	68,40

En la Tabla 2.20 se muestra la potencia total que consume la instalación en kVA al incorporar la nueva carga. Con la nueva demanda máxima de 68,40 kVA se calcula el factor de utilización del transformador de 100kVA:

$$F_U = \frac{68,40 \text{ kVA}}{100 \text{ kVA}}$$

$$F_U = 0,68$$

$$\%Cargabilidad = \frac{S \text{ máxima } kVA}{S \text{ Transformador } kVA} * 100 [\%]$$

$$\%Cargabilidad = \frac{68,40}{100} * 100 [\%]$$

$$\%Cargabilidad = 68,4 [\%]$$

$$p_{DISPONIBLE} = 100 \text{ kVA} - 68,4 \text{ kVA}$$

$$p_{DISPONIBLE} = 31,60 \text{ kVA}$$

2.3.3 NIVELES DE ILUMINACIÓN

El equipo utilizado para medir el nivel de iluminación en las distintas áreas de la fábrica es un luxómetro BJ-LX1010B, cuyas especificaciones se describen en la Tabla 2.21 y está representado en la Figura 2.21.

Tabla 2.21. Función y características de luxómetro BJ-LX1010B

Función	Características
Fotometría - Medición de niveles de iluminación	Pantalla: LCD 31/2 - altura de caracteres 18 mm Rango de prueba: 1 lux - 50,000 lux Frecuencia de muestreo: 2,0 veces / seg Precisión de medición: ± 4% rdg ± 0.5% f.s Energía: batería de 9V 6F22



Figura 2.21. Luxómetro BJ-LX1010B [30]

El sensor del luxómetro se colocó a 1,2 metros por encima del piso, altura a la que el personal desarrolla sus actividades laborales. Se observó que cada área de la industria aprovecha al máximo la luz natural, la mayoría de infraestructura posee techos translucidos.

Se consideró dos casos de estudio, el primero por iluminación natural y el segundo con el uso de iluminación artificial, y se verificó que el nivel de iluminación en cada área sea el indicado de acuerdo con las actividades que se desarrollan.

En la Tabla 2.22 se detalla cada área con su nivel de iluminación considerando los dos casos de estudio antes mencionados y se determina si cumple o no con los niveles de iluminación recomendados.

Tabla 2.22. Niveles de iluminación por área

Área	Zona	Nivel de Iluminación			Estado
		Natural	Artificial	Recomendado	
Producción	Gerencia de planta	408	345	500	No cumple
	Oficinas de diseño	425	432	500	No cumple
	Cafetería	275	210	200	Si Cumple
Administración	Gerencia General	264	371	500	No cumple
	Secretaría	250	419	500	No cumple
	Baño	90	70	50	Si Cumple
	Bodega	180	217	300	No cumple
	Vestidores	80	52	50	Si Cumple
Galpón Industrial	Aire comprimido	140	320	300	Si Cumple
	Corte	2257	540	500	Si Cumple
	Laminado	3035	521	500	Si Cumple
	Acanalado	2380	582	500	Si Cumple
	Perforado	3305	548	500	Si Cumple
	Moldurado	3150	574	500	Si Cumple
	Termolaminado	550	533	500	Si Cumple
	Prearmado	400	556	500	Si Cumple
	Lijado	600	367	300	Si Cumple
	Patio	3845	26	20	Si Cumple

2.3.4 PUESTA A TIERRA

El equipo utilizado para la medición de la resistencia de puesta a tierra es un telurómetro marca DUOYI, modelo 4300B de cuatro terminales que cuenta con su certificado de calibración, cuyas especificaciones se describen en la Tabla 2.21 y está representado en la Figura 2.22.

Tabla 2.23. Funciones y características de telurómetro DUOYI 4300

Función	Características
Medición de resistencia a tierra Resistividad del suelo.	Display Lcd Luminoso, Retención De Lectura, 4 Terminales, 4 Estacas incluidas Voltaje de interferencia de serie Ust (solo CA) 0 ~ 30Vrms Compensación por resistencia residual Rk Escala de medición: 2/20/200/2000Ω/20KΩ Resolución: 0,01/0,1/1/10/100Ω Rango de medición: 0 ~ 20,9 kΩ Frecuencia 400 ~ 500Hz Corriente de prueba máxima 10mA



Figura 2.22. Telurómetro DUOYI DY4300B [28]

La medición de resistencia de la malla de puesta a tierra se realizó por el método de caída de potencial. Para efectuar la medición, primero se identificó la ubicación de la malla y se verificó que se encuentre funcional, posteriormente se separó de la red para evitar resultados erróneos y daños en el equipo, finalizando con la toma de mediciones. El promedio de los valores obtenidos fue comparado con la norma NEC 250.56.

En la Tabla 2.24. se observa el resultado de los valores de puesta a tierra de las 5 mediciones realizadas.

Tabla 2.24. Valores de resistencia de puesta a tierra

N°	Resistencia de puesta a tierra [Ω]
Medición 1	96,5
Medición 2	96,2
Medición 3	97,0
Medición 4	96,5
Medición 5	95,9

Desde el punto de vista técnico se requiere del diseño de una malla de puesta a tierra que se ajuste al espacio disponible en la fábrica.

2.4 PLANILLA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Se solicitó las facturas del suministro de energía de los de últimos 12 meses para conocer la cantidad de energía mensual consumida, costos por demanda, costos en penalización por bajo factor de potencia, entre otros. Además, se corroboró que la empresa esta correctamente categorizada.

Klass Muebles cuenta con un medidor que registra el consumo energético para su facturación mensual, con tipo de tarifa BTCGD30 – BT Industrial con demanda horaria, es decir, es un tipo de consumidor con tarifa general de “Bajo voltaje con demanda horaria para el sector industrial”.

Para el estudio se tomó las planillas eléctricas de los últimos 12 meses que van desde noviembre del 2020 hasta octubre del 2021. Las facturas de los meses mencionados se encuentran en el ANEXO B.

2.4.1.1 Energía eléctrica facturable

En la Tabla 2.25 se presenta un resumen detallado de la energía eléctrica consumida por franja horaria en kWh.

Tabla 2.25. Registro histórico de la energía en kWh

Mes	Energía [kWh]			Energía total [kWh]
	08:00 - 18:00	18:00 - 22:00	22:00 - 08:00	
nov-20	5575,32	110,16	361,08	6046,56
dic-20	4908,25	189,68	250,9	5348,83
ene-21	5299,92	134,64	269,28	5703,84
feb-21	4718,52	220,32	220,32	5159,16
mar-21	6150,6	581,4	293,76	7025,76
abr-21	6224,04	832,32	703,8	7760,16
may-21	6193,44	1095,48	385,56	7674,48
jun-21	5281,56	489,6	281,52	6052,68
jul-21	5728,32	1505,52	367,2	7601,04
ago-21	5691,6	1774,8	1303,56	8769,96
sep-21	5367,24	875,16	673,2	6915,6
oct-21	5067,36	1089,36	526,32	6683,04

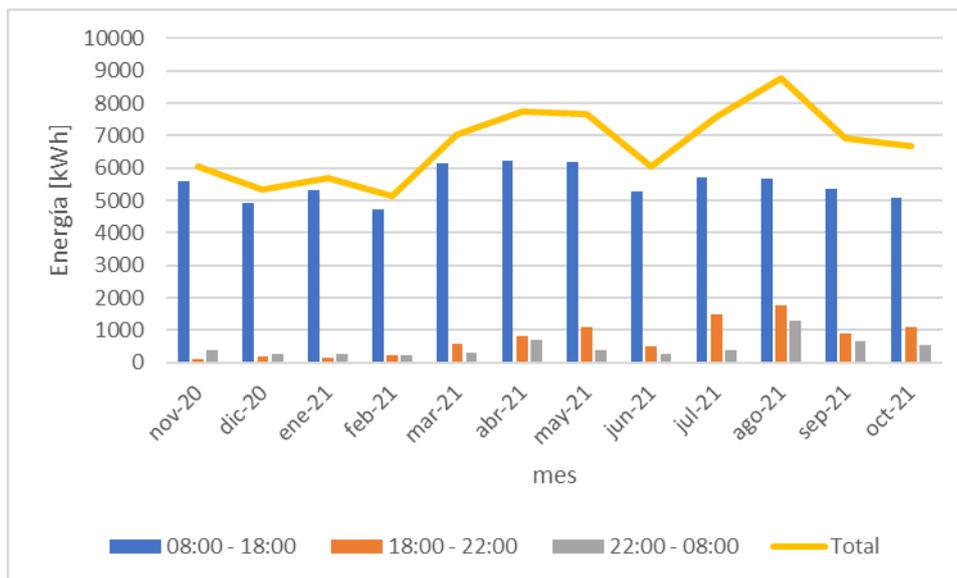


Figura 2.23. Consumo energético de los últimos 12 meses

En la Figura 2.23 muestra que el mes de mayor consumo se presenta en agosto de 2021 y el mayor consumo de energía se da durante el horario de 8:00-18:00, donde transcurre la jornada laboral en la fábrica. También se observa que, en el mes de agosto se ha tenido que extender el horario de trabajo, e incluso trabajar doble jornada con horario nocturno, dado que en el horario de 18:00 – 08:00, la energía consumida es relativamente elevada a comparación con los otros meses de análisis.

No existe un estudio de mercado que refleje la cantidad de planchas de madera de aglomerado utilizadas por mes; la información económica es reservada por parte del área financiera, por tal razón, no se puede determinar una relación entre consumo de energía y producción, debido a que el producto final son muebles modulares de diferentes medidas y para diferentes aplicaciones.

2.4.1.2 Demanda eléctrica facturable

En la Tabla 2.26 se presenta la demanda eléctrica facturable, donde se observa que los valores oscilan entre los 40 kW a los 49 kW.

Tabla 2.26. Demanda eléctrica facturable en kW y su costo asociado en \$.

Mes	Demanda [kW]			Demanda Facturable [kW]	Demanda Facturable [\$]
	08:00 - 18:00	18:00 - 22:00	22:00 - 08:00		
nov-20	0,71	0,03	0,38	43,45	109,02
dic-20	-	-	-	44,24	168,9
ene-21	0,66	0,39	0,21	40,39	101,35
feb-21	0,69	0,69	0,07	42,23	176,61

Mes	Demanda [kW]			Demanda Facturable [kW]	Demanda Facturable [\$]
	08:00 - 18:00	18:00 - 22:00	22:00 - 08:00		
mar-21	0,68	0,61	0,4	41,62	156,14
abr-21	0,79	0,67	0,65	48,35	171,49
may-21	0,76	0,74	0,39	46,51	189,39
jun-21	0,76	0,7	0,03	46,51	179,16
jul-21	0,67	0,71	0,54	43,45	181,71
ago-21	0,7	0,72	0,74	45,53	184,26
sep-21	0,68	0,73	0,42	44,37	185,56
oct-21	0,72	0,72	0,42	44,06	184,26

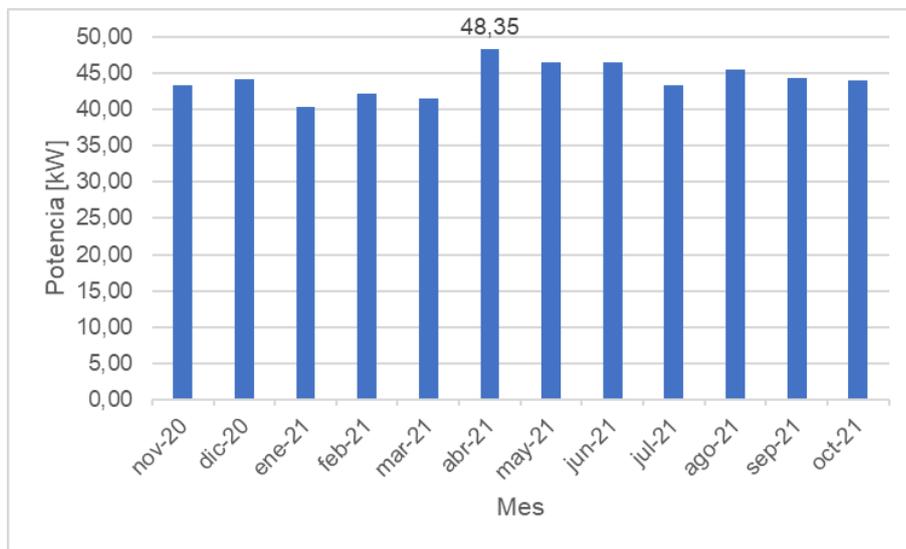


Figura 2.24. Demanda facturable mensual en kW.

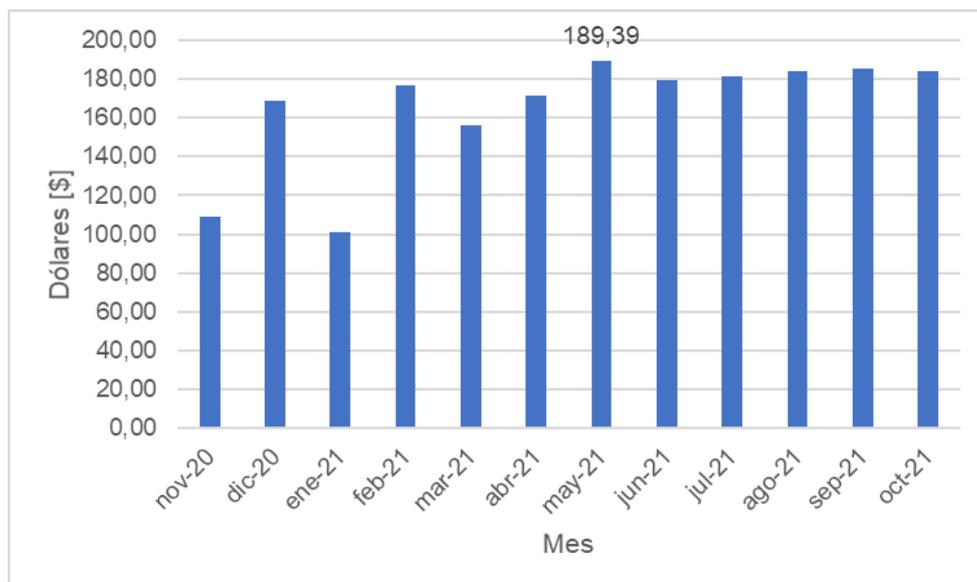


Figura 2.25. Demanda facturable mensual en dólares.

En la Figura 2.24 se observa que la demanda máxima en kW de la industria ocurre en mes de abril y en la Figura 2.25 se evidencia que el costo más elevado por demanda máxima facturable se da en el mes de mayo de 2021. Se analiza que la demanda máxima facturable no es proporcional a su costo asociado, esto se debe al factor de gestión de demanda donde el valor varía del 60 % a 100%.

Se puede llegar a obtener un factor de gestión de demanda cercano a la unidad cuando la demanda máxima que presenta la fábrica ocurre en la fracción horaria pico de la empresa eléctrica, lo que provoca un aumento en el costo por demanda facturable y en consecuencia incrementa el costo de la planilla mensual.

2.4.1.3 Factor de potencia

La potencia reactiva no produce un trabajo útil ni genera beneficio alguno. El alto consumo de energía reactiva se produce a razón de la cantidad de motores utilizados en el proceso de fabricación de muebles modulares e iluminación con balastros.

Tabla 2.27. Factor de potencia y su costo de penalización asociado

Mes	Factor de potencia	Penalización por Bajo FP [\$]
nov-20	0,8700	28,34
dic-20	0,8687	29,13
ene-21	0,8703	26,45
feb-21	0,8680	4,73
mar-21	0,8683	35,78
abr-21	0,8697	38,41
may-21	0,8685	40,08
jun-21	0,8643	36,26
jul-21	0,8605	45,84
ago-21	0,8657	46,61
sep-21	0,8668	38,40
oct-21	0,8610	41,70

En la Tabla 2.27 se identifica que el factor de potencia mínimo se presenta en el mes de julio 2021, con un valor de 0,8605; sin embargo, el costo asociado a la penalización por bajo factor de potencia se presenta en el mes de agosto 2021.

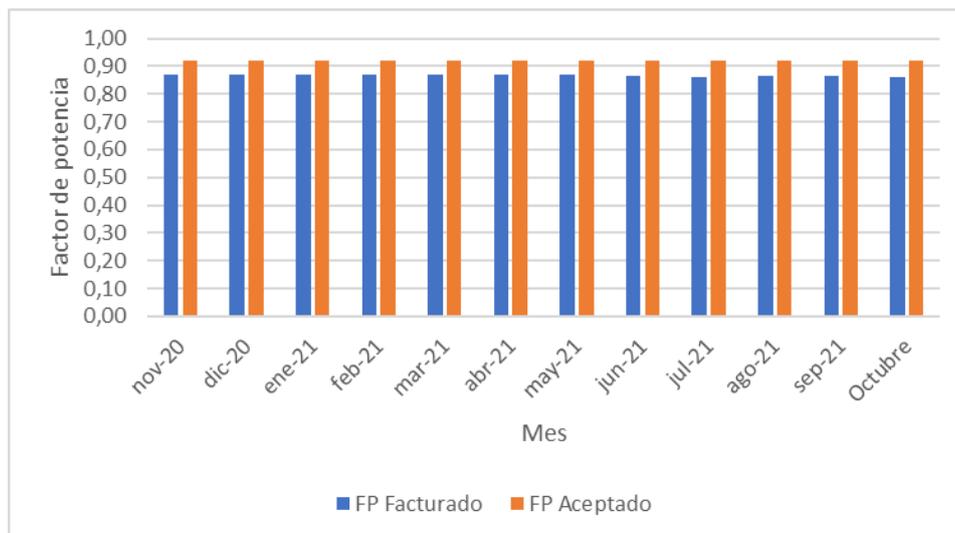


Figura 2.26. Factor de potencia de los últimos 12 meses

La Figura 2.26 muestra que el factor de potencia proporcionado en la planilla de servicio eléctrico de los 12 últimos meses incumple con el 0,92 establecido en la regulación 005/18 de la ARC.

2.5 ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL

Con la recolección de información se elaboró un diagrama unifilar eléctrico de la nave industrial que permitió tener una idea clara de cómo está operando el sistema de distribución interno, desde el transformador hasta los ramales de bajo voltaje.

El esquema se realizó en AutoCAD y detalla cada ramal de bajo voltaje asociado al proceso productivo para la elaboración de muebles modulares. Se especifica los siguientes elementos:

- Tableros secundarios
- Protecciones
- Calibre de conductores
- Cargas

En la que Figura 2.27 se muestra el diagrama unifilar de la fábrica.

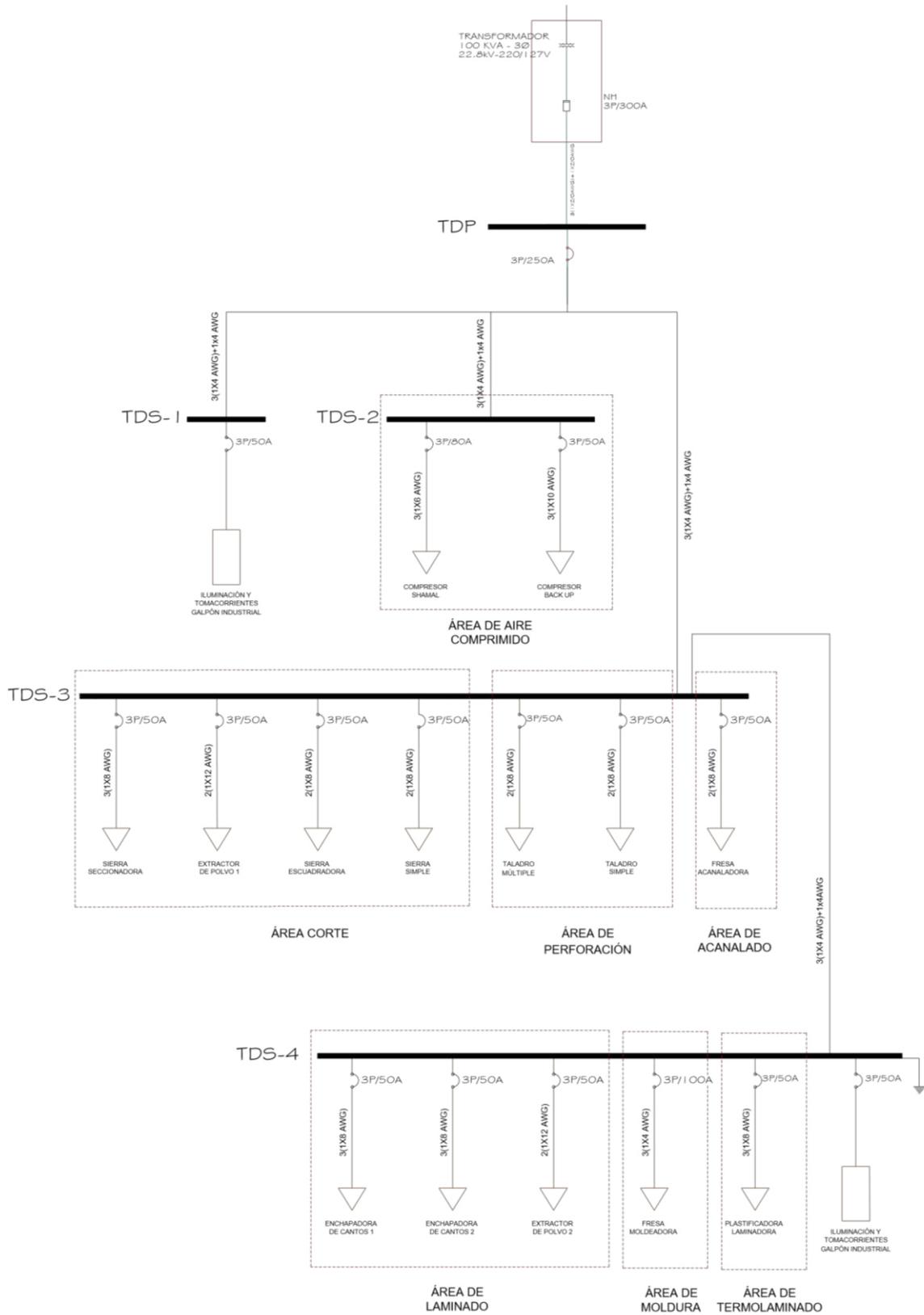


Figura 2.27. Diagrama unifilar de fábrica Klass Muebles

En base al diagrama unifilar y a las características de las cargas, en la Tabla 2.28 y Tabla 2.29 se detalla información relevante del calibre y longitud de conductores, dimensionamiento de protecciones y los parámetros eléctricos de cada equipo industriales.

Tabla 2.28. Características de conductores y protecciones

Circuito	Nodo de salida	Nodo de llegada	Calibre conductor actual [AWG]	Longitud [m]	Protección
1	Trafo	TDP	2/0 AWG	160,0	3P - 300
2	TDP	TDS-2	4 AWG	3,5	-
3	TDP	TDS-3	4 AWG	28,0	-
4	TDS-2	Compresor Shamal	6 AWG	3,3	3P - 80
5	TDS-2	Compresor (back up)	10 AWG	4,1	3P - 50
6	TDS-3	Sierra seccionadora	8 AWG	11,2	3P - 50
7	TDS-3	Sierra escuadradora	12 AWG	16,0	3P - 50
8	TDS-3	Sierra sencilla	12 AWG	19,3	3P - 50
9	TDS-3	Extractor de aserrín	12 AWG	22,0	3P - 50
10	TDS-3	Taladro múltiple	12 AWG	16,9	3P - 50
11	TDS-3	Taladro simple	12 AWG	25,0	3P - 50
12	TDS-3	Fresa acanaladora	12 AWG	27,6	3P - 50
13	TDS-3	TDS-4	4 AWG	30,0	-
14	TDS-4	Enchapadora de canto 1	10 AWG	5,1	3P - 50
15	TDS-4	Enchapadora de canto 2	8 AWG	8,2	3P - 50
16	TDS-4	Extractor de aserrín	12 AWG	10,6	3P - 50
17	TDS-4	Fresa moldeadora	4 AWG	24,0	3P - 100
18	TDS-4	Plastificadora laminadora	10 AWG	32,4	3P - 50

Tabla 2.29. Parámetros eléctricos de la carga industrial

Carga	Voltaje [V]	Fases	Potencia [W]	FP
Compresor Shamal	220	3	18650	0,89
Compresor (back up)	220	3	7460	0,85
Sierra seccionadora	220	3	12800	0,86
Extractor de aserrín	220	2	2984	0,87
Sierra escuadradora	220	2	6250	0,85
Sierra sencilla	220	2	5500	0,88
Taladro múltiple	220	2	4480	0,85
Taladro simple	220	2	1500	0,86
Fresa acanaladora	220	2	2000	0,9
Enchapadora de canto 1	220	3	6800	0,89
Enchapadora de canto 2	220	3	13000	0,85
Extractor de aserrín	220	2	2984	0,87
Fresa moldeadora	220	3	27000	0,87
Plastificadora laminadora	220	3	13000	0,88

El plano eléctrico actual se representa los circuitos de los equipos industriales con su ubicación, longitud de cada conductor y los tableros a los que están conectados. Ver ANEXO C.

- **Caída de Voltaje**

Se registró voltaje por nodo de salida y nodo de llegada que permite conocer la caída de voltaje por cada ramal. Para el cálculo de la caída de voltaje se emplea la Expresión (2.2).

$$CV = V_S - V_L \quad (2.2)$$

Donde:

V_S : Voltaje de salida en el nodo A

V_L : Voltaje de llegada en el nodo B

Ejemplo: Transformador - TDP

$$CV = 220 - 211.6 = 8,4 V$$

Para el cálculo de la caída de voltaje en porcentaje se utiliza la fórmula (2.3). [31]

$$\%V = \frac{V_S - V_L}{V_L} * 100\% \quad (2.3)$$

Ejemplo: Transformador - TDP

$$\%V = \frac{220 - 211,6}{211,6} * 100\%$$

$$\%V = 3.97\%$$

Tabla 2.30. Caída de voltaje en el sistema actual

Circuito	Nodo de salida	Nodo de llegada	Voltaje salida [V]	Voltaje llegada [V]	Caída de voltaje [V]	V [%]
1	Trafo	TDP	220	211,6	8,4	3,97%
2	TDP	TDS-2	211,6	210,72	0,88	0,42%
3	TDS-2	Compresor Shamal	210,72	210,2	0,52	0,25%
4	TDS-2	Compresor (back up)	210,72	210	0,72	0,34%
5	TDP	TDS-3	211,6	209,36	2,24	1,07%
6	TDS-3	Sierra seccionadora	209,36	208,05	1,31	0,63%
7	TDS-3	Extractor de aserrín	209,36	208,22	1,14	0,55%
8	TDS-3	Sierra escuadradora	209,36	207,21	2,15	1,04%
9	TDS-3	Sierra sencilla	209,36	207,63	1,73	0,83%
10	TDS-3	Taladro múltiple	208,35	206,72	1,63	0,79%

Circuito	Nodo de salida	Nodo de llegada	Voltaje salida [V]	Voltaje llegada [V]	Caída de voltaje [V]	V [%]
11	TDS-3	Taladro simple	208,35	207,02	1,33	0,64%
12	TDS-3	Fresa acanaladora	208,35	207,22	1,13	0,55%
13	TDS-3	TDS-4	209,01	208,35	0,66	0,32%
14	TDS-4	Enchapadora de canto 1	208,35	206,54	1,81	0,88%
15	TDS-4	Enchapadora de canto 2	208,35	207,12	1,23	0,59%
16	TDS-4	Extractor de aserrín	208,35	206,43	1,92	0,93%
17	TDS-4	Fresa moldeadora	208,35	206,54	1,81	0,88%
18	TDS-4	Plastificadora laminadora	208,35	200,96	7,39	3,68%

- **Pérdidas en los conductores**

Todo conductor posee una resistencia interna, y con el paso de la corriente se generan pérdidas por efecto joule y una caída de tensión.

Para el cálculo de la corriente nominal de las diferentes cargas industriales se utiliza la Ecuación (2.4).

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} * V * fp * n} \quad (2.4)$$

Donde:

P: Potencia expresada en Watts

V: Voltaje de alimentación

Fp: Factor de potencia

n: Rendimiento, en este caso se considera 0,9

Ejemplo: Compresor Shamal

Potencia: 18650 W

Voltaje: 220V, trifásico

$$I_n = \frac{18650}{\sqrt{3} * 220 * 0.89 * 0.9}$$

Para el cálculo de las pérdidas por efecto Joule, se emplea la Ecuación (2.5).

$$P_{cond} = n * I^2 * R \quad (2.5)$$

Donde:

n: Tipo de alimentación, trifásica n=3; monofásica n=2

I: Corriente que demanda la máquina

R: Resistencia del conductor

La Expresión (2.6). permite obtener el valor de la resistencia del conductor.

$$R = \frac{\rho * L}{A} \quad (2.6)$$

Donde:

ρ : Resistividad del conductor – cobre

L: Longitud del conductor

A: Sección transversal del conductor

Ejemplo: Compresor Shamal

$$P_{cond} = 3 * 61.1^2 * \frac{1.7 * 10^{-8} * 3,3}{13.3 * 10^{-6}}$$

$$Perd = 251,49 W$$

Tabla 2.31. Pérdidas en los ramales de bajo voltaje

Circuito	Nodo de salida	Nodo de llegada	Resistencia conductor [Ω]	In [A]	Pérdidas [kW]
1	Trafo	TDP	0,040	145,90	2,58
2	TDP	TDS-2	0,003	69,10	0,04
3	TDS-2	Compresor Shamal	0,004	61,10	0,05
4	TDS-2	Compresor (back up)	0,013	25,59	0,03
5	TDP	TDS-3	0,022	65,20	0,29
6	TDS-3	Sierra seccionadora	0,023	43,40	0,13
7	TDS-3	Extractor de aserrín	0,113	15,00	0,05
8	TDS-3	Sierra escuadradora	0,032	32,16	0,07
9	TDS-3	Sierra sencilla	0,039	27,34	0,06
10	TDS-3	Taladro múltiple	0,034	18,82	0,02
11	TDS-3	Taladro simple	0,051	7,63	0,01
12	TDS-3	Fresa acanaladora	0,056	9,72	0,01
13	TDS-3	TDS-4	0,024	71,40	0,37
14	TDS-4	Enchapadora de canto 1	0,010	22,28	0,02
15	TDS-4	Enchapadora de canto 2	0,017	44,60	0,10
16	TDS-4	Extractor de aserrín	0,054	15,00	0,02
17	TDS-4	Fresa moldeadora	0,019	90,49	0,47
18	TDS-4	Plastificadora laminadora	0,066	43,08	0,37

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez realizado levantamiento de información, toma de datos en sitio y análisis de facturación eléctrica, se realizó un informe que describa de manera clara y concisa los problemas encontrados, se propone oportunidades para mejorar el estado físico y operativo de las instalaciones, precautelar la seguridad de los trabajadores y reducir costos asociados al consumo energético, Finalmente se realiza el análisis técnico – económico para conocer la viabilidad de las propuestas.

3.1 INFORME DE DIAGNOSTICO

La antigüedad de los tableros eléctricos es de aproximadamente 20 años y no ofrece garantías en seguridad y operatividad. En la Figura 3.1 se observa el estado físico del tablero de distribución del galpón industrial. Presenta los siguientes inconvenientes:

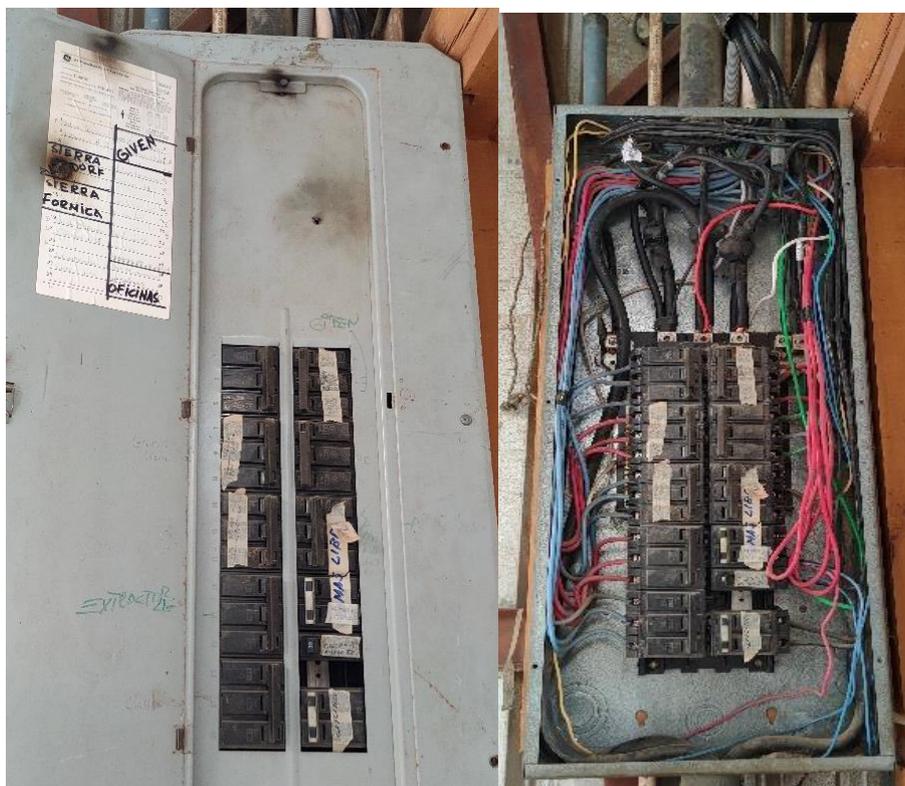


Figura 3.1. Tablero secundario de distribución

- Su estado físico es deficiente puesto que presenta indicios de óxido y golpes por su mala manipulación.
- Los tableros no cuentan con los grados IP adecuados, de acuerdo al nivel de protección que tiene el equipo frente a los agentes externos del ambiente y que se originan en el proceso productivo. La industrial trabaja con planchas de aglomerado, al momento de

hacer un corte, perforación o acanalado, se genera grandes cantidades de partículas de polvo y aserrín, estas se adhieren a los equipos, puntos de conexión y dificulta la disipación de calor, lo que provoca sobrecalentamiento de cables y protecciones; como consecuencia se reduce considerablemente la vida útil de las máquinas, equipos eléctricos y electrónicos.

- No se ha considerado código de colores para el cableado eléctrico que alimenta a los centros de carga, para realizar alguna modificación o ejecutar un mantenimiento correctivo, demanda mayor tiempo para identificar las fases y poder evitar daños a los demás circuitos.
- La mayoría de los tableros no cuentan con etiquetas de identificación en los interruptores termomagnéticos que energizan cada centro de carga y se traducen en tiempo muerto al realizar mantenimientos.
- Existe la presencia de falsos contactos, es decir, puntos donde las conexiones no están fijadas debido a un mal ajuste o a vibraciones; muchas veces ocasionan chispeos produciendo calentamiento y daños en los interruptores termomagnéticos.
- El peinado del cableado dentro de los tableros es erróneo, se encuentra desordenado omitiendo la utilización de amarras plásticas.
- La distribución de los centros de carga en los tableros es incorrecta, se verifica que un circuito de control comparte protección con otro a pesar de que exista interruptores termomagnéticos libres.

Por lo general la eficiencia de los motores disponibles en Klass Muebles es IE1 con eficiencia estándar, como se observa en la Figura 3.2. Un número considerable de motores y máquinas ya concluyeron con su vida útil, otros han sido rebobinados hasta dos veces en centros de mantenimiento que no cuentan con certificaciones ni la experiencia necesaria, que en consecuencia reducen de eficiencia del motor e incremento de pérdidas por efecto joule.

Además, no existe planificación semestral ni anual para mantenimiento preventivo en las máquinas y motores; únicamente se ejecuta el mantenimiento correctivo cuando existe algún tipo de daño imprevisto.

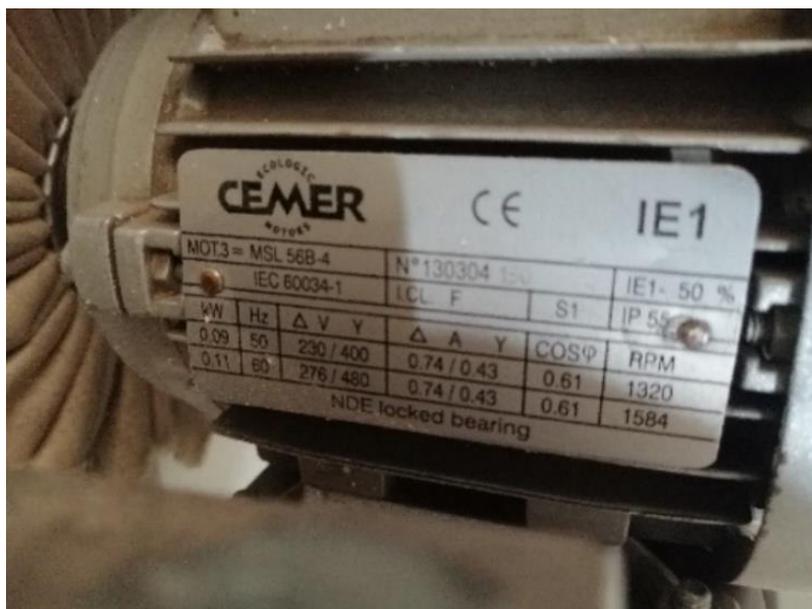


Figura 3.2. Placa de motor de succión de aserrín

El sistema de aire comprimido trabaja según su necesidad. El inconveniente es la manera de arranque, ya que arranca de forma directa generando pérdidas de energía, desgaste en los devanados y reduce su vida útil; además, se evidencia fugas en las tuberías, inadecuado dimensionamiento de la red y el uso inapropiado de aire comprimido. Se puede visualizar el compresor en la Figura 3.3.



Figura 3.3. Compresor

Se pudo observar que, en su mayoría, el sistema de iluminación de la fábrica está constituido por luminarias fluorescentes como se observa en la Figura 3.4. En el sistema de iluminación se presenció que algunas áreas no se cumplen con los niveles de

iluminación que recomienda la NEC-11 de acuerdo con la actividad que se realiza; como consecuencia, opaca la visibilidad de los trabajadores y reduce niveles de proactividad y productividad. Las causas se detallan a continuación:



Figura 3.4. Circuitos de Iluminación.

- No se ha realizado mantenimientos (limpieza) en los sistemas de iluminación del galpón industrial, existen restos de polvo y aserrín en el cebador y en los tubos fluorescentes.
- Algunas luminarias se encuentran averiadas.
- La distribución de luminarias en determinadas áreas es incorrecta.

Con respecto al análisis de calidad de la energía, la fábrica no cumple con determinados indicadores y límites establecidos por las regulaciones 0052/18 y 004/17 de la ARC. A continuación, se describe los parámetros que se incumple:

- La presencia de bajo voltajes se da en el horario en el que se desarrolla la jornada laboral. Entre las principales consecuencias está el apagado de dispositivos electrónicos, la avería de motores trifásicos y el mal funcionamiento de máquinas.
- El factor de potencia es inferior al 0,92 por la presencia de excesiva carga inductiva, como consecuencia se paga la penalización económica adicional en cada planilla de facturación mensual.
- Existe un desbalance de carga del 13,71%, ocasionado por una inadecuada distribución de cargas ya que se encuentra conectada carga monofásica, bifásica y trifásica al transformador. Entre las principales consecuencias está el sobrecalentamiento de los conductores y en el caso de los motores trifásicos produce un aumento de la vibración, esfuerzo mecánico debido a un rendimiento del par menor

de lo normal, aumento de pérdidas por efecto Joule que afectan directamente a la eficiencia, la vida útil, y en el peor de los casos provoca fallos prematuros.

El sistema de puesta a tierra que forma parte del galón industrial de la fábrica Klass Muebles está compuesta únicamente por una varilla copperweld como se observa en la Figura 3.5, por tal razón presenta una resistencia de puesta a tierra promedio de 96,4 Ω que no ofrece garantías en lo referente a la seguridad del personal y equipos. El valor se encuentra fuera del límite aceptado por la NEC.



Figura 3.5. Sistema de puesta a tierra actual

3.2 OPORTUNIDADES DE AHORRO Y MEJORA

3.2.1 DISEÑO DE BANCO DE CAPACITORES

Para lograr un factor de potencia facturado superior a 0,92 es indispensable la instalación de un banco de capacitores automático que permite la corrección del factor de potencia en instalaciones con demanda de energía variable que actúe de acuerdo a las necesidades de la planta y compense los reactivos cuando se requiera.

Con los datos de potencia y factor de potencia obtenidos del analizador de calidad de energía y con las ecuaciones especificadas en el Capítulo I se obtiene el valor de los kVAr necesarios para compensar el bajo factor de potencia. Para el correcto dimensionamiento del banco de capacitores se considera la nueva máquina, por tal razón es necesario establecer un factor de potencia deseado superior al 0.92. Para este caso de estudio, se selecciona un valor de 0.98 para los cálculos respectivos.

Ejemplo de cálculo:

$$Q_c = 21615,096 * [\tan(\cos^{-1}(0,757)) - \tan(\cos^{-1}(0,98))]$$

$$Q_c = 11,552 \text{ [kVAr]}$$

Tabla 3.1. Potencia de compensación requerida

Fecha	Hora	Potencia Activa mínima	PF mínimo	Potencia compensación
4/10/2021	8:50	21,615	0,757	14,268
4/10/2021	9:00	18,990	0,713	14,819
4/10/2021	9:10	19,854	0,729	14,611
4/10/2021	9:20	20,553	0,744	14,285
4/10/2021	9:30	20,004	0,752	13,473
4/10/2021	9:40	22,761	0,75	15,451
4/10/2021	9:50	20,538	0,736	14,721
4/10/2021	10:00	20,358	0,737	14,536
4/10/2021	10:10	16,039	0,789	9,233

Tabla 3.2. Potencia reactiva de compensación para cada caso de estudio

	Potencia activa mínima	Potencia activa máxima
Potencia reactiva de compensación	29,72	16,15

En la Tabla 3.2 se observa que la potencia reactiva de compensación máxima se presenta cuando la potencia es mínima con un valor de 29,72 kVAr. En la Figura 3.6 se muestra el unifilar donde se colocará el banco de capacitores.

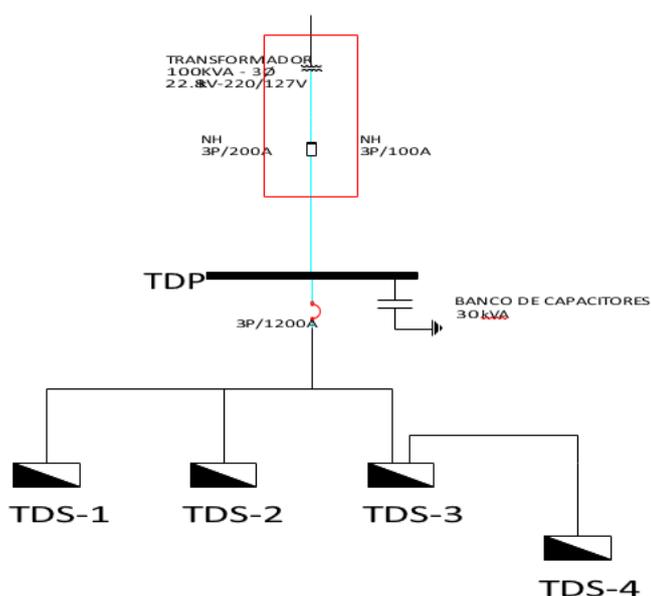


Figura 3.6. Ubicación de banco de capacitores en unifilar eléctrico

3.2.2 CAMBIO DE CALIBRE DE CONDUCTORES EN RAMALES DE BAJO VOLTAJE

Se propone el cambio de conductores en ramales que presentan pérdidas considerables a razón del dimensionamiento inadecuado del calibre o recorridos largos.

Se calcula el correcto dimensionamiento de protecciones utilizando la corriente nominal del equipo multiplicada por un coeficiente de 1,25, como se detalla en la Ecuación (3.1).[32]

$$I_{pro} = I_n * 1.25 \quad (3.1)$$

Ejemplo: Compresor Shamal

$$I_{pro} = 61.10 * 1.25$$

$$I_{pro} = 76.38 A$$

Se selecciona el interruptor termomagnético próximo a la corriente calculada según estándares comerciales, para el ejemplo se considera una protección de 100 A.

En el ANEXO D. se observa el diagrama unifilar de la fábrica considerando los cambios detallados en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Reemplazo de calibre de conductores en ramales de bajo voltaje

Circuito	Nodo de salida	Nodo de llegada	Calibre conductor actual [AWG]	Calibre conductor sugerido [AWG]	Protección
1	Trafo	TDP	2/0 AWG	4/0 AWG	3P - 250
2	TDP	TDS-2	4 AWG	1 AWG	-
3	TDS-2	Compresor Shamal	6 AWG	-	3P - 100
4	TDS-2	Compresor (back up)	10 AWG	-	3P - 50
5	TDP	TDS-3	4 AWG	1 AWG	-
6	TDS-3	Sierra seccionadora	8 AWG	-	3P - 50
7	TDS-3	Extractor de aserrín	12 AWG	10 AWG	2P - 20
8	TDS-3	Sierra escuadradora	8 AWG	-	2P - 40
9	TDS-3	Sierra sencilla	8 AWG	-	2P - 40
10	TDS-3	Taladro múltiple	8 AWG	-	2P - 25
11	TDS-3	Taladro simple	8 AWG	-	2P - 10
12	TDS-3	Fresa acanaladora	8 AWG	-	2P - 16
13	TDS-3	TDS-4	4 AWG	1 AWG	-
14	TDS-4	Enchapadora de canto 1	8 AWG	-	3P - 32
15	TDS-4	Enchapadora de canto 2	8 AWG	-	3P - 63
16	TDS-4	Extractor de aserrín	12 AWG	10 AWG	2P - 20
17	TDS-4	Fresa moldeadora	4 AWG	2 AWG	3P - 100
18	TDS-4	Plastificadora laminadora	8 AWG	4 AWG	3P - 63

Para el cálculo de la caída de tensión se utiliza la Ecuación (3.2). [33]

$$\%V = kVA * k * L \quad (3.2)$$

Donde:

kVA: Potencia del nodo de análisis

k: constante del conductor

L: Longitud del tramo

La Tabla 3.4 presenta los valores de la caída de voltaje en los ramales de bajo voltaje; en los circuitos que se sugiere el cambio de calibre del conductor evidencian una caída de voltaje inferior a como se encuentra el sistema actual y que se encuentra dentro de los límites permitidos, que mejora significativamente el funcionamiento global del sistema eléctrico de la nave industrial.

Tabla 3.4. Caída de voltaje consideran el reemplazo de conductores

Nodo de salida	Nodo de llegada	KVA	%ΔV
Trafo	TDP	55,59	0,44%
TDP	TDS-2	26,33	0,01%
TDS-2	Compresor Shamal	23,28	0,02%
TDS-2	Compresor (back up)	9,75	0,02%
TDP	TDS-3	24,85	0,06%
TDS-3	Sierra seccionadora	16,54	0,11%
TDS-3	Extractor de aserrín	3,30	0,04%
TDS-3	Sierra escuadradora	7,08	0,06%
TDS-3	Sierra sencilla	6,01	0,06%
TDS-3	Taladro múltiple	4,14	0,05%
TDS-3	Taladro simple	1,68	0,02%
TDS-3	Fresa acanaladora	2,14	0,03%
TDS-3	TDS-4	27,21	0,05%
TDS-4	Enchapadora de canto 1	8,49	0,02%
TDS-4	Enchapadora de canto 2	16,99	0,08%
TDS-4	Extractor de aserrín	3,30	0,03%
TDS-4	Fresa moldeadora	34,48	0,11%
TDS-4	Plastificadora laminadora	16,41	0,11%

Con el reemplazo del calibre de conductores en los circuitos críticos las pérdidas se ven reducidas a la mitad en comparación al sistema actual. La minimización de pérdidas de potencia trae consigo grandes beneficios, entre los más importantes está la reducción de costos de operación evidenciados en la planilla eléctrica, anula la actuación errónea de

protecciones por circuitos sobrecargados y asegura el funcionamiento de la fábrica de forma continua, La información antes mencionada se detalla en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Pérdidas en los ramales de bajo voltaje

Circuito	Nodo de salida	Nodo de llegada	Resistencia conductor [Ω]	Corriente [A]	Pérdidas [W]
1	Trafo	TDP	0,018	145,90	1,14
2	TDP	TDS-2	0,001	69,10	0,02
3	TDS-2	Compresor Shamal	0,004	61,10	0,05
4	TDS-2	Compresor (back up)	0,008	25,59	0,02
5	TDP	TDS-3	0,009	65,20	0,11
6	TDS-3	Sierra seccionadora	0,023	43,40	0,13
7	TDS-3	Extractor de aserrín	0,071	15,00	0,03
8	TDS-3	Sierra escuadradora	0,032	32,16	0,07
9	TDS-3	Sierra sencilla	0,039	27,34	0,06
10	TDS-3	Taladro múltiple	0,034	18,82	0,02
11	TDS-3	Taladro simple	0,051	7,63	0,01
12	TDS-3	Fresa acanaladora	0,056	9,72	0,01
13	TDS-3	TDS-4	0,010	71,40	0,15
14	TDS-4	Enchapadora de canto 1	0,010	22,28	0,02
15	TDS-4	Enchapadora de canto 2	0,017	44,60	0,10
16	TDS-4	Extractor de aserrín	0,034	15,00	0,02
17	TDS-4	Fresa moldeadora	0,012	90,49	0,30
18	TDS-4	Plastificadora laminadora	0,026	43,08	0,14

3.2.3 CAMBIO DE LUMINARIAS DE FLUORESCENTES A LED

Se propone el cambio de luminarias por modelos más eficientes, que se encuentren distribuidos correctamente y entreguen un nivel de iluminación acorde a la actividad que se realiza en cada proceso.

No se realizó un análisis de eficiencia energética en el sistema de iluminación del galpón industrial ya que la mayoría de infraestructura posee techos translucidos que permite aprovechar al máximo la luz natural; la jornada se desarrolla de 8:00 hasta las 17:00 sin jornadas nocturnas que implique la utilización de iluminación artificial. El análisis del sistema de iluminación se realizó en las áreas que realizan actividades administrativas donde existe carencia de iluminación. Mediante el software Dialux Evo se realizó simulaciones con la implementación del nuevo sistema de iluminación.

En el área de producción se elaboran planos de las piezas a construir y órdenes de producción; se realizó la distribución de luminarias de forma uniforme con un el nivel de

iluminación sobre los 500 luxes. En la Figura 3.7 y Figura 3.8 se muestra la simulación del nuevo sistema de iluminación del área de producción.

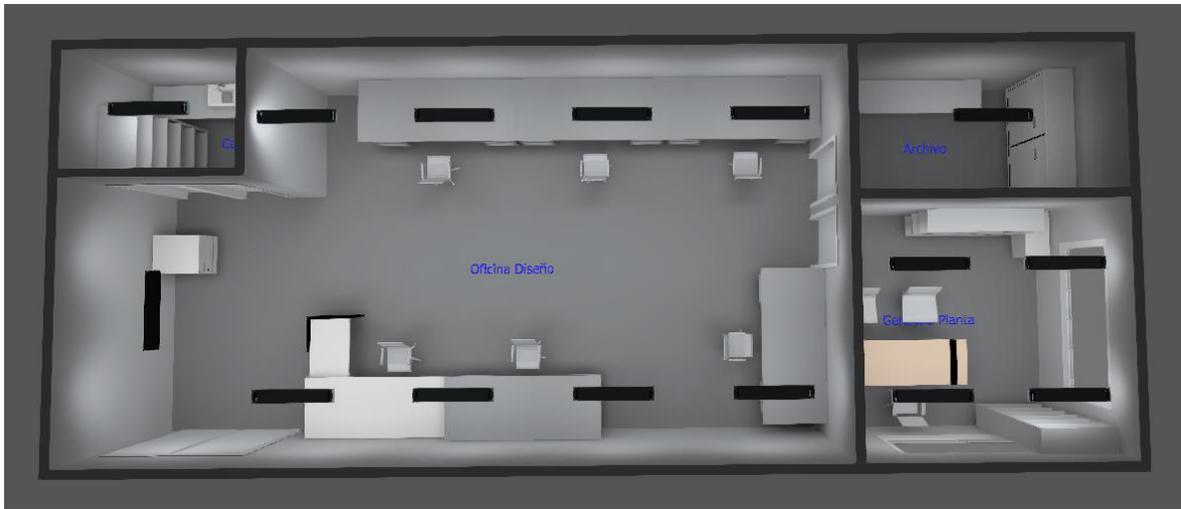


Figura 3.7. Diseño de sistema de iluminación del área de producción

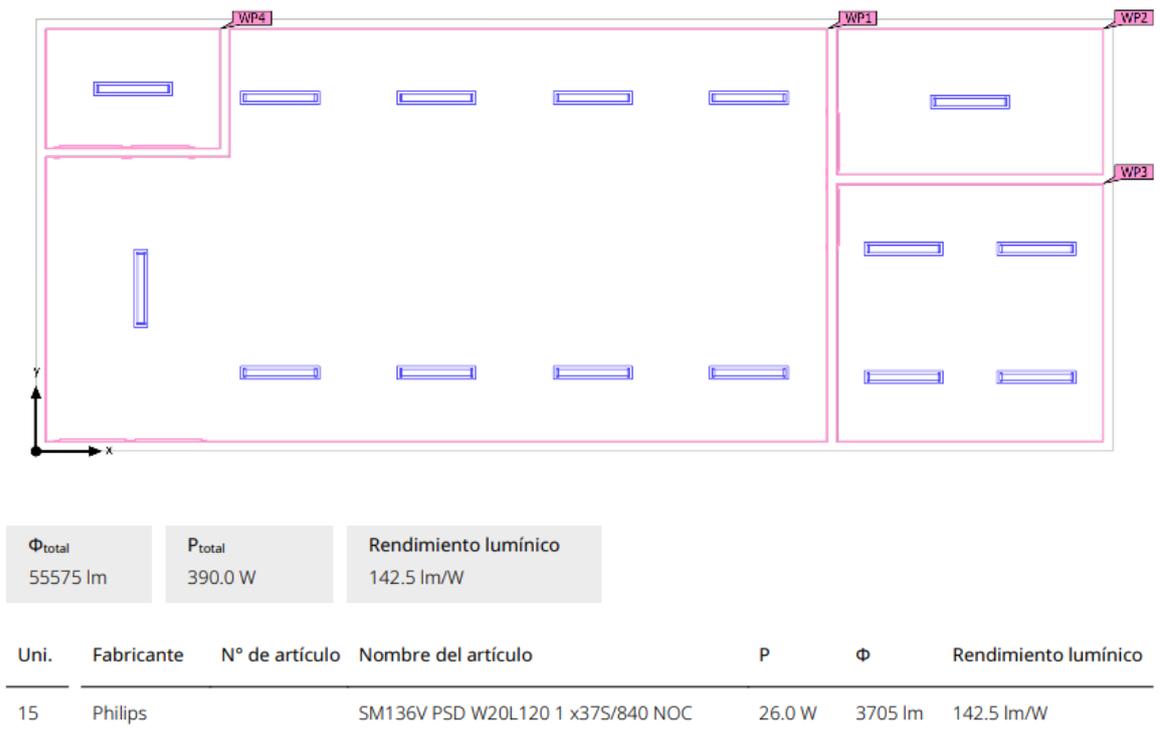


Figura 3.8. Posición, número y modelo de luminarias en área de producción

El área administrativa está compuesta por las oficinas de gerencia, secretaría y bodega; las luminarias fueron distribuidas de manera uniforme, y para el caso de la bodega, de

acuerdo a la ubicación de los estantes. La Figura 3.9 y Figura 3.10 evidencia el bosquejo de simulación e información del nuevo sistema de iluminación del área administrativa.

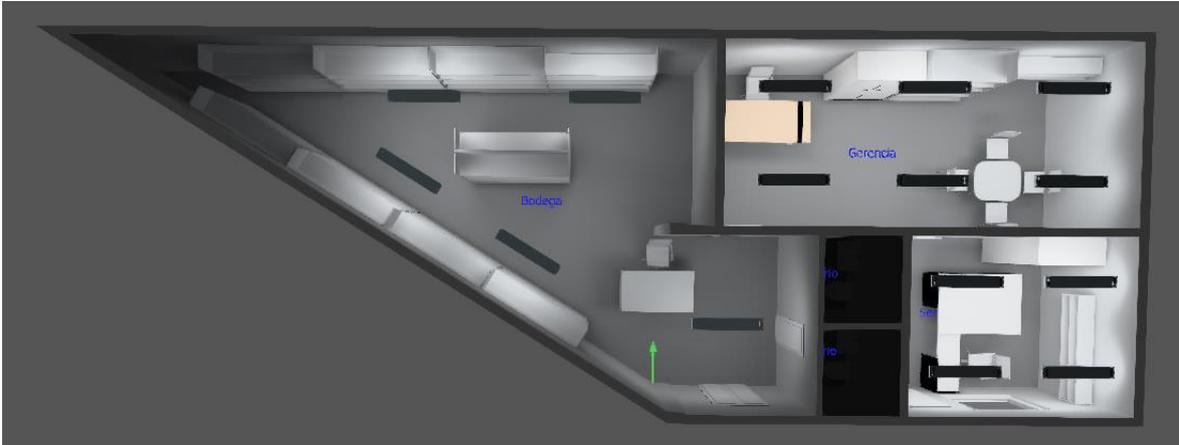
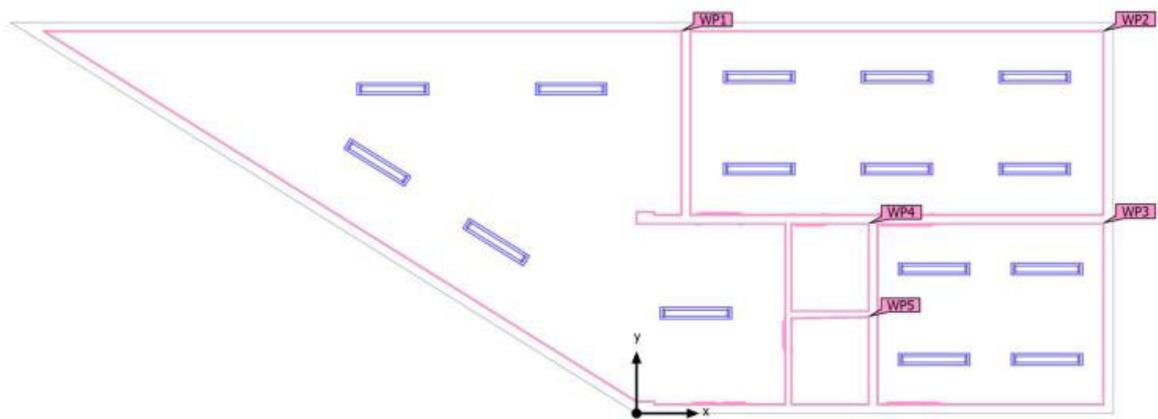


Figura 3.9. Diseño de sistema de iluminación en área de administración



Φ_{total}	P_{total}	Rendimiento lumínico
55575 lm	390.0 W	142.5 lm/W

Uni.	Fabricante	N° de artículo	Nombre del artículo	P	Φ	Rendimiento lumínico
15	Philips		SM136V PSD W20L120 1 x37S/840 NOC	26.0 W	3705 lm	142.5 lm/W

Figura 3.10. Posición, número y modelo de luminarias en área de administración

En el ANEXO E. y ANEXO F. se presenta el análisis de iluminación de cada área, incluye el número, disposición de luminarias y el nivel de iluminación por espacio a iluminar para producción y administración respectivamente.

A pesar de que el sistema de iluminación no genera un gran consumo de energía, el uso de tecnología LED evidencia un ahorro energético que ofrecen mejor calidad de iluminación y un alto rendimiento frente a las otras tecnologías.

3.2.4 INSTALACIÓN DE LA NUEVA MAQUINARIA

Adicionalmente se instalará una máquina agujereadora cuya potencia es de 20,6 kW en el galpón industrial, a una distancia de 16 metros del tablero de distribución secundario (TDS-4). La Tabla 3.6 detalla la información necesaria para la instalación de la máquina.

Tabla 3.6. Características para instalación nueva carga

Máquina Agujereadora	
Calibre conductor [AWG]	4 AWG
Protección	3P - 100
Corriente [A]	71,4
%V	0.01%
Pérdidas [kW]	0,07

Se determina que el factor de carga del transformador es de 0,68, valor que se encuentra dentro de los rangos aceptables de operación, por lo tanto, el transformador no va a presentar problemas con el incremento de carga.

3.2.5 DISEÑO PRELIMINAR DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA

Se realiza mediciones en diferentes puntos del área disponible para la instalación del sistema de puesta a tierra, mismos que se pueden observar en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Resultado de la medición de la resistividad del suelo

Distancia (m)	Medición			Resistividad promedio
	1	2	3	
1	112,45	110,10	107,18	109,91
2	113,28	114,18	110,05	112,50
3	116,02	114,60	115,35	115,32
4	117,60	119,41	118,02	118,34
5	120,75	118,20	122,10	120,35

Se determina que el suelo es homogéneo y de características favorables, ya que la diferencia entre el mayor y el menor valor de resistividad aparente no supera el 30%.

Para el diseño de la malla de puesta a tierra se ha considerado un área de 4 m². Como se observa en la Figura 3.11.

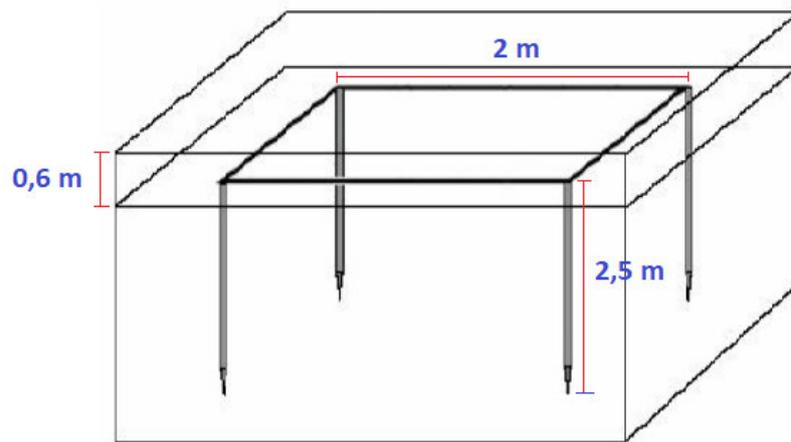


Figura 3.11. Diseño de sistema de puesta a tierra

Se considera el valor de 115,29 como la resistividad del suelo y se utiliza la fórmula de Sverak para el cálculo de la resistencia de puesta a tierra. Para el diseño se han considerado una malla cuadrada de 4 varillas de copperwell de no menos de 2,5 metros de largo colocados de forma homogénea por conductor de cobre.

$$L_c = 4 * 2 = 8 \text{ mts}$$

$$L_v = 4 * 2,5 = 10 \text{ mts}$$

$$L_T = L_c + L_v = 8 + 10 = 18 \text{ mts}$$

$$R = \rho * \left(\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} * \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right)$$

$$R = 115,29 * \left(\frac{1}{18} + \frac{1}{\sqrt{20(4)}} * \left(1 + \frac{1}{1 + 0,6\sqrt{\frac{20}{4}}} \right) \right)$$

$$R = 24,79 \Omega$$

Al analizar el resultado, se concluye que el valor de la resistencia de malla de puesta a tierra propuesta se encuentra dentro del límite recomendado.

3.3 ANÁLISIS FINANCIERO

3.3.1 INSTALACIÓN DE UN BANCO DE CAPACITORES AUTOMÁTICO

Se propone la instalación de un banco de capacitores automático de 30 kVAr de tres pasos, debe ser instalado junto al tablero principal de distribución principal, de forma independiente, que cuente con su respectiva protección IP y panel en el que se visualice el factor de potencia corregido. Las características se detallan en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8. Especificaciones del banco de capacitores

Características	
Potencia [kVAr]	30
Voltaje [V]	240
Dimensiones [CM]	60x40x30
Pasos	3

Los costos anuales asociados a penalizaciones por bajo factor de potencia, se cuantifican en las planillas eléctricas. La Tabla 3.9 presenta el resumen de facturación del consumo energético enfocado en el factor de potencia y su costo por penalización asociado de los 12 últimos meses, desde noviembre 2020 hasta octubre 2021. Las facturas de consumo eléctrico se muestran con más detalle en el ANEXO B.

Tabla 3.9. Estimación del ahorro económico al implementar el banco de capacitores automático de 30 kVAr

Mes	F.P.	Penalización [\$]
nov-20	0,870	28,34
dic-20	0,869	29,13
ene-21	0,870	26,45
feb-21	0,868	4,73
mar-21	0,868	35,78
abr-21	0,870	38,41
may-21	0,869	40,08
jun-21	0,864	36,26
jul-21	0,861	45,84
ago-21	0,866	46,61
sep-21	0,867	38,40
oct-21	0,861	41,70
Total, anual		411,73

Al instalar el banco de capacitores automático no se aplica la penalización por bajo factor de potencia. El ahorro anual que se genera sería de \$ 411,73 dólares.

Tabla 3.10. Inversión Inicial

Descripción	Cantidad	Costo
Banco de capacitores automáticos de 30 kVAr	1	1977,08
Mano de obra e indirectos	1	400
Subtotal		\$2.377,08
IVA 12%		\$ 285,25
Total		\$2.662,33

En la Tabla 3.10 se refleja la inversión inicial requerida para la implementación del proyecto, se describe cada rubro con su respectivo costo asociado. La cotización se detalla en el ANEXO G.

Para el cálculo y análisis de los parámetros financieros de VAN se considera la tasa de interés para PYMES, proporcionada por la entidad financiera Banco Central del Ecuador de 9,94%. La vida útil de los bancos de capacitores puede llegar hasta 10 años, siempre y cuando sean instalados en las condiciones adecuadas y con las protecciones necesarias. Se considera un costo anual por mantenimiento de \$ 80 dólares.

Tabla 3.11. Flujo de caja

Año	Inversión inicial [USD]	Ahorro anual [USD]	O&M	Balance	VAN [USD]	
0	2662,33	0	0	-2662,33	-2662,33	-2662,33
1		411,73	80	331,73	301,74	-2360,59
2		411,73	80	331,73	274,46	-2086,14
3		411,73	80	331,73	249,64	-1836,49
4		411,73	80	331,73	227,07	-1609,42
5		411,73	80	331,73	206,54	-1402,88
6		411,73	80	331,73	187,87	-1215,02
7		411,73	80	331,73	170,88	-1044,13
8		411,73	80	331,73	155,43	-888,70
9		411,73	80	331,73	141,38	-747,32
10		411,73	80	331,73	128,60	-618,73

Tabla 3.12. Parámetros financieros

Valor actual neto (VAN)	\$-618,73
Tasa de Interés de Retorno (TIR)	-5,21%
Periodo simple de recuperación (PSR)	6

Se determina lo siguiente:

- VAN < 0
- TIR < 0
- PSR < Vida útil del proyecto

El retorno de la inversión inicial no se refleja en el tiempo de vida útil del proyecto. Se evidencia que el VAN y TIR son inferiores a cero. Se concluye que la implementación de un banco de capacitores automático no es viable dentro del periodo de análisis considerado; a pesar de evidenciar un ahorro significativo ante las penalizaciones originadas por bajo factor de potencia.

3.3.2 REEMPLAZO DE LUMINARIAS

En base al análisis del sistema de iluminación, se propone la instalación de tubos led cuyas características se detallan en la Tabla 3.13 y ficha técnica se presenta en el ANEXO H.

Tabla 3.13. Especificaciones de los tubos LED

Características	
Potencia [W]	18
Flujo luminoso [lm]	2500
Eficiencia luminosa [lm/W]	156
Temperatura de color [K]	4000
Vida útil [h]	60000

El reemplazo de luminarias fluorescentes se concentra en las áreas de mayor consumo de energía artificial, es decir, las áreas administrativas. En la Tabla 3.14 se determina el consumo energético mensual en las áreas administrativas al utilizar la tecnología actual y al implementar la tecnología LED; se estima el número de tubos fluorescentes por cada área, asociado al número de horas de funcionamiento mensual.

Tabla 3.14. Análisis del sistema de iluminación por zonas

Zona	Numero luminarias		Hora operatividad mes [h]	Potencia [W]		Energía mensual [kWh]	
	Actual	Led		Actual	Led	Actual	Led
Gerencia de planta	4	8	20	144	144	2,88	2,88
Oficinas de diseño	8	18	160	288	324	46,08	51,84
Archivo	0	2	20	0	36	0	0,72
Cafetería	2	2	20	72	36	1,44	0,72
Gerencia General	2	12	80	72	216	5,76	17,28
Secretaría	2	8	80	72	144	5,76	11,52
Bodega	12	10	160	432	180	69,12	28,8
Total						131,04	113,76

La Tabla 3.15 determina la energía y su costo asociado anual asociado, se considera el costo de la energía en kWh más elevada en la franja horaria de 22:00 a 08:00 de acuerdo a su categorización.

Tabla 3.15. Estimación del ahorro económico al utilizar luminarias LED

	Tecnología actual	Tecnología LED
Potencia instalada [W]	1080	1080
Energía mensual consumida [kWh]	131,04	113,76
Energía anual consumida [kWh]	1572,48	1365,12
Costo kWh	0,067	0,067
Costo anual [\$]	105,36	91,46

El ahorro económico anual que se genera es de \$ 13,89 dólares.

En la Tabla 3.16 se refleja la inversión inicial total requerida para la implementación del proyecto, se describe cada rubro con su respectivo costo asociado. La cotización se detalla en el ANEXO I.

Tabla 3.16. Inversión Inicial

Descripción	Cantidad	Costo	Costo total
Luminaria LED T8	60	\$ 1,56	\$ 93,60
Instalación	60	\$ 1,00	\$ 60,00
Subtotal			\$ 153,60
IVA 12%			\$ 18,43
Total			\$ 172,03

Para el cálculo y análisis de los parámetros financieros de VAN se considera la tasa de interés para PYMES, proporcionada por la entidad financiera Banco Central del Ecuador de 9,94%. La vida útil de los tubos LED es de 60000 horas, que en años se traduce a un aproximado de 10 años. Se considera un costo anual de \$ 10 dólares por mantenimiento correctivo, que involucra cambio de luminarias o preventivo como limpieza de luminarias.

Tabla 3.17. Flujo de caja

Año	Inversión inicial [USD]	Ahorro anual [USD]	O&M	Balance	VAN [USD]	
0	172,03	0,00	0,00	-172,03	-172,03	-172,03
1		13,89	10,00	3,89	3,54	-168,49
2		13,89	10,00	3,89	3,22	-165,27
3		13,89	10,00	3,89	2,93	-162,34
4		13,89	10,00	3,89	2,66	-159,68
5		13,89	10,00	3,89	2,42	-157,25
6		13,89	10,00	3,89	2,20	-155,05
7		13,89	10,00	3,89	2,01	-153,04
8		13,89	10,00	3,89	1,82	-151,22
9		13,89	10,00	3,89	1,66	-149,56
10		13,89	10,00	3,89	1,51	-148,05

Tabla 3.18. Parámetros financieros

Valor actual neto (VAN)	\$-148,05
Tasa de Interés de Retorno (TIR)	-27,85%
Periodo simple de recuperación (PSR)	12

Se determina lo siguiente:

$VAN < 0$

$TIR < 10$

$PSR > \text{Vida útil del proyecto}$

La inversión inicial no se recupera en el tiempo de vida útil del proyecto. Se evidencia que el VAN y TIR son inferiores a cero, lo que significa que no hay una inversión rentable en el período de pronóstico. Se concluye que la implementación de un sistema de iluminación LED en las áreas administrativas no es viable.

3.4 BENEFICIOS ECONÓMICOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE OPORTUNIDADES DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

En la Tabla 3.19 se presenta un resumen de los beneficios obtenidos con la implementación de proyectos que optimicen energía. La energía ahorrada anual es mínima, y el ahorro económico anual obtenido es de \$ 425,62 dólares.

Tabla 3.19. Resumen de medidas de ahorro energético

Oportunidades	Inversión [\$]	Energía Ahorrada [\$]	Ahorro económico [\$]
Instalación de banco de capacitores	1680,00	-	411,73
Cambio de luminarias LED	172,03	17,28	13,89
Total	1852,03	17,28	425,62

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

Mediante inspecciones visuales, recolección de información y medición de parámetros eléctricos, se determina el estado actual de la fábrica Klass Muebles, constatando que sus instalaciones eléctricas no se encuentran en condiciones óptimas para su normal y correcto funcionamiento, no brinda la seguridad necesaria al personal operativo y el servicio de energía eléctrica no ofrece un grado de confiabilidad aceptable para el normal desarrollo de actividades.

La carga instalada está constituida en su mayoría por motores estándar que presentan una antigüedad superior a los 20 años y utilizan tecnología obsoleta. Resulta beneficioso el reemplazo de motores de mayor potencia por otros de alta eficiencia en donde la inversión se ve recuperada en costos de consumo energético por operación.

El transformador de 100 kVA de la fábrica Klass Muebles está trabajando al 50% del total de la capacidad instalada y se mantiene operando en perfectas condiciones. Con la incorporación de nueva carga, el factor de utilización del transformador aumenta a un 68,5%, valor que se encuentra dentro de los límites de óptimos.

El motor que corresponde al sistema de aire comprimido tiene mayor potencia a comparación con los demás; por el continuo funcionamiento se ha propuesto la instalación de un variador de velocidad que prolonga la vida útil del equipo y reduce el consumo energético en el arranque.

Con el análisis tarifario y la información obtenida del analizador de calidad de energía, se determinó que la fábrica Klass Muebles presenta un bajo factor de potencia por la presencia de excesiva carga inductiva que como consecuencia genera costos adicionales en la planilla eléctrica. Para anular el valor extra se propuso la instalación de un banco de capacitores automático de 30 kVA de 3 pasos para compensar energía reactiva acorde a la demanda variable.

No se evidencia un ahorro económico importante en el reemplazo del sistema de iluminación de las áreas administrativas; sin embargo, la propuesta del uso de tecnología led y el incremento del número de luminarias en cada zona mejora la calidad de iluminación, el ambiente laboral y la productividad de los trabajadores.

El costo de un proyecto de eficiencia energético depende del impacto al que se desea llegar, se puede ver mejoras invirtiendo muy poco, pero también se pueden presentar inversiones considerables, con la ventaja de que en ambas se empieza a recuperar la inversión desde el instante en el que comienza a funcionar y ya amortizado el proyecto, la fábrica empieza a generar beneficio del proyecto durante toda su vida útil.

4.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda planificar, gestionar y controlar la cantidad de máquinas que entran en operación en horas pico (18:00 a 22:00) para reducir el factor de gestión de demanda utilizado para el cálculo del costo por demanda facturable mensual en la planilla eléctrica, sin perjudicar la productividad.

Se sugiere la instalación de horómetros en cada máquina para ofrecer mantenimientos preventivos y correctivos de acuerdo a las horas trabajadas y la disponibilidad de la máquina.

Debido a que la caída de voltaje en la acometida es considerable, se recomienda aumentar el tap del transformador al paso más elevado, para elevar el nivel de voltaje en el tablero de distribución principal más cercano al nominal.

Es necesario un análisis de todas las cargas conectadas en cada fase y un unifilar de cada tablero de distribución tanto principal como secundarios. No se puede tener un balance de carga perfecto, pero se puede minimizar el porcentaje siempre y cuando se realice una correcta redistribución de cargas.

Los equipos industriales ocupan el 92,3% de la carga total instalada en donde más de la mitad de motores cuentan con eficiencias estándar y tienen un funcionamiento que supera los 10 años. Resulta beneficioso el cambio por motores de alta eficiencia que ofrecen un rendimiento superior a bajas potencias.

Para instalar capacitores individuales es necesario realizar un análisis minucioso a partir las mediciones eléctricas con equipos certificados para determinar la capacidad de energía reactiva que se desea compensar de los equipos que demandan una elevada energía reactiva de tipo inductivo. Al igual que su costo asociado puede resultar menor a instalar un banco de capacitores centralizado a más de poseer beneficios como la reducción de corriente en los circuitos derivados, la disminución de pérdidas por efecto Joule en los conductores y el incremento en la disponibilidad de carga en los tableros eléctricos.

Es de vital importancia que la fábrica cuente con un técnico de mantenimiento para que proponga mejoras y soluciones constantes en la fábrica y que conozca a profundidad el funcionamiento de los equipos y los procesos productivos de la empresa. Además de documentar cada acontecimiento suscitado dentro de la fábrica y ofrecer de oportunidades de mejora de eficiencia energética.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. Sevilleja Aceituno, «Eficiencia energética en el sector industrial», dic. 2011, [En línea]. Disponible en: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/13678>
- [2] E. N. SI, «Energías renovables y eficiencia energética», p. 148.
- [3] «EFICIENCIA ENERGÉTICA RECURSO NO APROVECHADO.pdf».
- [4] C. Mejía, «El concepto de la capacidad Instalada», 2013. https://planning.com.co/bd/valor_agregado/Julio2013.pdf (accedido 4 de octubre de 2021).
- [5] «PROCEDIMIENTOS DEL MERCADO ELECTRICO MAYORISTA», p. 80.
- [6] Universidad Nacional de Tucuman, «Curvas de Carga y Generación.pdf», 2014. <https://catedras.facet.unt.edu.ar/centraleselectricas/wp-content/uploads/sites/19/2014/10/Curvas-de-Carga-y-Generaci%C3%B3n.pdf> (accedido 4 de octubre de 2021).
- [7] I. G. V. Mora, I. L. Marín, y I. M. C. Vásquez, «Metodología para la Determinación de Curvas de Carga y Consumo Eléctrico Residencial por Uso», p. 113, 2019.
- [8] «IEC TS 61000-3-4:1998 | IEC Webstore | electromagnetic compatibility, EMC, smart city». <https://webstore.iec.ch/publication/4151> (accedido 4 de octubre de 2021).
- [9] «IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment», *IEEE Std 1100-2005 Revis. IEEE Std 1100-1999*, pp. 1-703, may 2006, doi: 10.1109/IEEESTD.2006.216391.
- [10] J. Serra, «GUIA TÉCNICA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA ELÉCTRICA», 2008. https://circuitor.com/docs/GUIA_EEE_SP-LR.pdf (accedido 4 de octubre de 2021).
- [11] «IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems», *IEEE Std 519-1992*, pp. 1-112, abr. 1993, doi: 10.1109/IEEESTD.1993.114370.
- [12] ARCONEL, *Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica*. 2018. Accedido: 4 de octubre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/01/Regulacion-de-Calidad-Suscrita.pdf>
- [13] A. Riego Martínez, «Diseño de filtros pasivos para el control de armónicos», Thesis, Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas, 2011. Accedido: 4 de octubre de 2021. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.uclv.edu.cu:8089/xmlui/handle/123456789/997>
- [14] J. A. Munayco Coronado, «Filtros activos en la compensación reactiva en usuarios de baja tensión», 2012.
- [15] N. Bratu Serbán y E. Campero Littlewod, *Instalaciones eléctricas*: Alfaomega, 2006. Accedido: 4 de octubre de 2021. [En línea]. Disponible en: <http://up-rid2.up.ac.pa:8080/xmlui/handle/123456789/1630>
- [16] L. F. Aguirre Alarcón y G. E. Herrera Churta, «Análisis de carga del Hospital San Vicente de Paúl de la Ciudad de Ibarra y propuesta para el cumplimiento de la Calidad de Energía según Regulación No. CONELEC 004/01», mar. 2011, Accedido: 4 de octubre de 2021. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/357>
- [17] J. Villarreal, «Distribución de la energía eléctrica», 2018. https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/632621/14_t4s3_c11_html_context_2.pdf?sequence=1 (accedido 4 de octubre de 2021).
- [18] ARCONEL, «Distribución y comercialización de energía eléctrica», 2017. <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/074-17.doc.pdf> (accedido 4 de octubre de 2021).

- [19] J. M. Serrano, «Corrector de factor de potencia reductor-elevador monofasico», 17 de mayo de 2004. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/mendez_s_j/ (accedido 4 de octubre de 2021).
- [20] M. Poveda, «EFICIENCIA ENERGÉTICA RECURSO NO APROVECHADO.pdf», p. 19, 2007.
- [21] «ISO 19011:2018(es), Directrices para la auditoría de los sistemas de gestión». <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:19011:ed-3:v1:es> (accedido 4 de octubre de 2021).
- [22] ZUMTOBEL, «Luz para industria y tecnología». Accedido: 4 de octubre de 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.zumtobel.com/PDB/Teaser/es/AWB_Industrie.pdf
- [23] M. Oshiro, «Familias lámparas de halogenuro», 2013. https://www.mef.gob.pe/contenidos/doc_siga/catalogo/ctlogo_familias_lampara_halogenuro.pdf (accedido 4 de octubre de 2021).
- [24] T. Alvarez, «Iluminación en el puesto de trabajo. Criterios para la evaluación y acondicionamiento de los puestos», en *Iluminación en el puesto de trabajo*, Madrid, 2015.
- [25] J. B. García, J. M. S. Novoa, y L. V. Sánchez, «Iluminación exterior, LED, inducción y plasma», *Dínamo Téc. Rev. Gallega Energ.*, n.º 13, pp. 12-13, 2014.
- [26] «(NEC2011-CAP.15 INSTALACIONES ELECTROMECNICAS-021412)», *pdfslide.tips*. <https://pdfslide.tips/documents/nec2011-cap15-instalaciones-electromecanicas-021412.html> (accedido 4 de octubre de 2021).
- [27] IEC, «IEC 60364-4-44:2007 Low-voltage electrical installations». <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/iec/?c=1873> (accedido 4 de octubre de 2021).
- [28] J. S. R. Castaño y E. A. C. Plata, «SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA: Diseñado con IEEE-80 y evaluado con MEF», p. 122.
- [29] J. Serrano, «Matemáticas Financieras Y Evaluación De Proyectos», *Alpha Editorial*. <https://www.alpha-editorial.com/Papel/9789586827928/Matemáticas+Financieras+Y+Evaluación+De+Proyectos> (accedido 4 de octubre de 2021).
- [30] Vimaël, «Ficha Técnica Luxómetro BJ-LX1010B».
- [31] J. Cervantes y J. Dolores, «Sistemas de distribución de energía eléctrica / José Dolores Juárez Cervantes.», p. 170.
- [32] Schneider Electric España, *Guía de diseño de instalaciones eléctricas según normas internacionales IEC*. Barcelona: Schneider Electric España, 2008.
- [33] Departamento de Distribución, «Normas para sistemas de distribución Parte B». Empresa Eléctrica Quito.

ANEXOS

ANEXO A. Cargo tarifario Empresa Eléctrica Quito para bajo voltaje con demanda horaria

ANEXO B. Planillas eléctricas de los mese de diciembre 2020 – noviembre 2021

ANEXO C. Plano eléctrico Fábrica Klass Muebles

ANEXO D. Diagrama unifilar considerando el cambio de calibre de conductores

ANEXO E. Simulación en Dialux de las áreas de producción

ANEXO F. Simulación en Dialux de las áreas de administración

ANEXO G. Cotización de Banco de capacitores automático de 30 kVAr de 3 paso

ANEXO H. Ficha técnica de Tubo LED de 16 W

ANEXO I. Cotización de Tubos LED de 16 W – 127 V