

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
TECNOLOGÍA SUPERIOR EN ELECTRICIDAD INDUSTRIAL
MODALIDAD DUAL

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO TRIFÁSICO DE 1 MVA
CON TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS CONECTADOS EN
ESTRELLA-ESTRELLA PARA LA OPTIMIZACIÓN E INCREMENTO DE
LA CAPACIDAD DE CARGA INSTALADA.

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Tecnólogo Superior en Electricidad Industrial

AUTORES: CHRISTIAN GEOVANNY ALCIVAR ZUÑIGA
MARCO ANTONIO MIRANDA LÓPEZ
TUTOR: ING. CESAR ANTONIO CACERES GALAN, MSc.

Guayaquil – Ecuador

2025

SEDE GUAYAQUIL

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Christian Geovanny Alcívar Zúñiga** con documento de identificación N° 0917346116 y **Marco Antonio Miranda López** con documento de identificación N° 0918327164 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

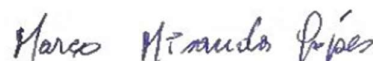
Guayaquil, 27 de agosto del año 2025

Atentamente,



Christian Geovanny Alcívar Zúñiga

C.I: 0917346116



Marco Antonio Miranda López

C.I: 0918327164

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, **Christian Geovanny Alcívar Zúñiga** con documento de identificación N° 0917346116 y **Marco Antonio Miranda López** con documento de identificación N° 0918327164, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: **“Diseño e Implementación de un Banco Trifásico de 1 MVA con Transformadores Monofásicos conectados en Estrella-Estrella para la Optimización e Incremento de la capacidad de carga Instalada.”**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Tecnólogo Superior en Electricidad Industrial, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento cuando entregamos el trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 27 de agosto del año 2025

Atentamente,



Christian Geovanny Alcívar Zúñiga

C.I: 0917346116



Marco Antonio Miranda López

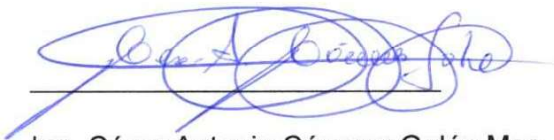
C.I: 0918327164

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ing. César Antonio Cáceres Galán Msc. con documento de identificación N° 0911477776 y docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“Diseño e Implementación de un Banco Trifásico de 1 MVA con Transformadores Monofásicos conectados en Estrella-Estrella para la Optimización e Incremento de la capacidad de carga Instalada.”**, realizado por Christian Geovanny Alcívar Zúñiga con documento de identificación N° 0917346116 y Marco Antonio Miranda López con documento de identificación N° 0918327164, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 27 de agosto del año 2025

Atentamente,



Ing. César Antonio Cáceres Galán Msc.

C.I: 0911477776

Dedicatoria

A Dios, mi roca eterna, por guiarme en cada paso de este viaje académico por darme la salud y la energía para perseverar siendo mi fuente de entendimiento y fortaleza en cada momento.

A mis familiares, mi madre, mis hijos y en especial a mi esposa, compañera y madre de mis hijos, total apoyo de cada uno. Esta tesis es para ustedes un tributo a la colaboración, paciencia y comprensión brindado a lo largo de este viaje académico.

IN MEMORIAM

En reconocimiento a mi padre, Sergio Domingo Alcívar Coello (+), quien ha sido mi fuente de inspiración y sabiduría. Aunque ya no estés presente físicamente a mi lado, tu espíritu y amor siguen orientándome en cada etapa de este viaje llamada vida.

Christian Alcívar Z

A mi esposa e hijos, quienes fueron un pilar fundamental durante todo este recorrido lleno de esfuerzos y aprendizajes, también quiero nombrar a mis clientes por su paciencia y comprensión en momentos donde no pude atender sus requerimientos de trabajo en horarios donde tenía que asistir a clases de la Universidad.

Marco Miranda L

Agradecimientos

En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a las personas que de alguna manera aportaron con la realización de este proyecto entre ellos al equipo de docentes por brindarnos una formación de calidad y fomentar nuestro interés por la investigación e innovación en este campo.

A mi paciente asesor de tesis Ing. Luis Pesantes. Tu orientación y apoyo han sido invaluable en el proceso de esta tesis. Tu conocimiento, paciencia y compromiso han sido fundamentales para mi éxito académico. Esta tesis es un testimonio de tu guía experta y amable. Gracias por ser un mentor excepcional.

Además, quiero mencionar a la Industria Arrocería El Shadday por darnos cobertura en sus instalaciones y poder llevar a cabo este trabajo de implementación, el cual era necesario en base a el incremento de carga que se había proyectado desde ya hace un tiempo atrás.

Resumen

El proyecto se centra en el diseño e implementación de un banco trifásico de 1 MVA, utilizando tres transformadores monofásicos de 333,3 kVA en conexión estrella-estrella. Su objetivo es aumentar la capacidad de carga en la planta industrial arrocera “El Shadday”, superando la limitación del transformador trifásico de 300 kVA existente para integrar nuevas líneas de producción de alto consumo.

La investigación incluye un análisis de la situación actual, que evalúa cargas, factor de potencia, infraestructura y sistemas de protección. También se realiza un diseño técnico, eligiendo transformadores, esquemas eléctricos y protecciones, cumpliendo normas como IEC y IEEE. Se realizan cálculos eléctricos para dimensionar potencia y conductores, garantizando seguridad y expansión futura.

La metodología abarca la recopilación de información, creación de planos y planificación de montaje e instalación. Se llevan a cabo pruebas para validar el sistema, que opera al 70,4 % de su capacidad nominal. Los resultados muestran un aumento del 233 % en capacidad de carga, una reserva del 30 % para futuras ampliaciones y mejoras en confiabilidad.

Las conclusiones destacan que el diseño del banco cumple con las necesidades presentes y futuras, asegurando eficiencia y seguridad. Se recomienda mantener un programa de mantenimiento preventivo, implementar un monitoreo en tiempo real, capacitar al personal técnico y mejorar el factor de potencia.

AÑO	ALUMNOS	DIRECTOR DE PROYECTO TÉCNICO	TEMA DE PROYECTO TÉCNICO
2025	Christian Geovanny Alcivar Zuñiga Marco Antonio Miranda Lopez	Ing. César Antonio Cáceres Galán Msc.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO TRIFÁSICO DE 1 MVA CON TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS CONECTADOS EN ESTRELLA-ESTRELLA PARA LA OPTIMIZACIÓN E INCREMENTO DE LA CAPACIDAD DE CARGA INSTALADA.

Abstract

The project focuses on the design and implementation of a 1 MVA three-phase transformer bank, using three 333.3 kVA single-phase transformers in a wye-wye connection. Its objective is to increase the load capacity of the "El Shadday" rice industrial plant, overcoming the limitation of the existing 300 kVA three-phase transformer to integrate new high-consumption production lines.

The research includes an analysis of the current situation, evaluating loads, power factor, infrastructure, and protection systems. A technical design is also carried out, selecting transformers, electrical diagrams, and protections, complying with standards such as IEC and IEEE. Electrical calculations are performed to size power and conductors, ensuring safety and future expansion.

The methodology includes information gathering, drawing creation, and assembly and installation planning. Tests are conducted to validate the system, which operates at 70.4% of its nominal capacity. The results show a 233% increase in load capacity, a 30% reserve for future expansions, and reliability improvements. The conclusions highlight that the bank's design meets current and future needs, ensuring efficiency and safety. It is recommended that a preventive maintenance program be maintained, real-time monitoring be implemented, technical staff be trained, and the power factor be improved.

YEAR	STUDENTS	DIRECTOR OF TECHNICAL PROJECT	TECHNICAL PROJECT THEME
2025	Christian Geovanny Alcivar Zuñiga Marco Antonio Miranda Lopez	Ing. César Antonio Cáceres Galán Msc.	DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A 1 MVA THREE-PHASE BANK WITH SINGLE-PHASE TRANSFORMERS CONNECTED IN STAR-STAR FOR THE OPTIMIZATION AND INCREASE OF THE INSTALLED LOAD CAPACITY.

INDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTOS.....	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT.....	VIII
CAPÍTULO 1	13
1. INTRODUCCIÓN	13
1.1. <i>Planteamiento del Problema</i>	14
1.2. <i>Justificación</i>	15
1.3. <i>Objetivos</i>	16
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	16
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	16
1.4. <i>Marco Teórico</i>	17
1.4.1. <i>Transformador Monofásico</i>	17
1.4.2. <i>Sistemas Trifásicos</i>	20
1.4.3. <i>La conexión estrella (Y)</i>	20
1.4.4. <i>Conexión Y-Y</i>	21
1.4.5. <i>Protección para Bancos de Transformadores.</i>	22
1.4.6. <i>Malla de tierra</i>	22
1.4.7. <i>Fusibles tipo tira</i>	23
1.4.8. <i>Pararrayos</i>	23
1.5. <i>Normativa Aplicativa</i>	25
1.5.1. <i>Normas IEC (International Electrotechnical Commission)</i>	25
1.5.2. <i>Normas IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)</i>	25
1.5.3. <i>Normas Nacionales y Locales (NTE INEN en Ecuador y NATSIM)</i>	25
1.6. <i>Elementos para incorporar en la implementación.</i>	26

CAPITULO 2	27
2. METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL BANCO TRIFÁSICO Y-Y DE 1MVA	27
2.1. <i>Diagrama de metodología</i>	27
2.2. <i>Informe de levantamiento de información</i>	28
2.3. <i>Evaluación del tipo de carga y requerimientos energéticos</i>	29
2.4. <i>Consulta de normas técnicas (NEC-INEN-IEEE-Fabricante)</i>	30
2.4.1. NTE INEN 2176.....	30
2.4.2. NTE INEN 2572.....	30
2.4.3. NTE INEN ISO 50001	30
2.4.4. ARCONEL RCONEL 022/18.....	31
2.4.5. NATSIM Edición 2012	31
2.4.6. IEEE C57.12.00.....	31
2.4.7. IEEE C57.91.....	31
2.4.8. IEEE 141 (Red Book).....	31
2.4.9. IEC 60076.....	31
2.4.10. Aplicaciones por categoría	31
2.5. <i>Estudio de configuración y selección del esquema banco trifásico (Y-Y)</i>	31
2.6. <i>Elaboración de diseño eléctrico y constructivo</i>	32
2.7. <i>Cálculos técnicos eléctricos</i>	34
2.7.1. Cálculo de la potencia del banco de transformador	34
2.7.2. Cálculo de corrientes para cada carga	36
2.8. <i>Reformulación de diseño y ajustes necesarios</i>	37
2.9. <i>Preparación del plan de montaje</i>	40
2.10. <i>Instalación del banco de transformadores</i>	41
CAPITULO 3	45
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	45
3.1. <i>Resultados de pruebas</i>	45
3.2. <i>Análisis de optimización e incremento de capacidad</i>	46
3.3. <i>Pruebas y verificación del sistema trifásico</i>	47
3.4. <i>Pruebas termográficas</i>	49
3.5. <i>Cumplimiento de objetivos específicos</i>	51
3.5.1. Determinar las especificaciones técnicas de los transformadores monofásicos mediante el análisis de los requerimientos eléctricos de la planta.	51

3.5.2. Diseñar el banco trifásico de 1 MVA, incorporando elementos de protección y sistema de puesta a tierra para garantizar un funcionamiento seguro y confiable.	51
3.5.3. Instalar los transformadores monofásicos en configuración Estrella-Estrella según el diseño eléctrico aprobado.	51
3.5.4. Evaluar el funcionamiento del banco trifásico a través de pruebas de carga y eficiencia.	52
3.5.5. Documentar el proceso completo de diseño.	52
CAPITULO 4	53
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
4.1. <i>Conclusiones</i>	53
4.2. <i>Recomendaciones</i>	53
5. PRESUPUESTOS	54
BIBLIOGRAFÍA	55
ANEXOS	57

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 TRANSFORMADOR MONOFÁSICO. ELABORACIÓN PROPIA -----	17
FIGURA 1.2 DIBUJO DE UN TRANSFORMADOR IDEAL (CHAPMAN ET AL., 2012) -----	18
FIGURA 1.3 CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICA (RODRÍGUEZ POZUETA, 2015) -	20
FIGURA 1.4 CONEXIÓN ESTRELLA (WILDI, 2010) -----	20
FIGURA 1.5 CONEXIÓN ESTRELLA-ESTRELLA (CHAPMAN ET AL., 2012) -----	21
FIGURA 1.6 FUSIBLES TIPO TIRA. ELABORACIÓN PROPIA-----	23
FIGURA 1.7 POSTE CON ALIMENTADOR MEDIA TENSIÓN-----	24
FIGURA 2.1: DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA-----	27
FIGURA 2.2. DATOS DE PLACA DEL TRANSFORMADOR TRIFÁSICO ANTIGUO DE LA PLANTA ---	28
FIGURA 2.3: FORMATO DEL PLAN DE DISEÑO -----	40
FIGURA 2.4. TRASFORMADOR TRIFÁSICO 300KVA. -----	42
FIGURA 2.5. TRANSPORTE DE TRANSFORMADORES -----	43
FIGURA 3.1. CUARTO DE TRANSFORMADORES-----	45
FIGURA 3.2. EJECUCIÓN DE MEDICIONES DE PRUEBAS -----	46
FIGURA 3.3 MEDICIONES TENSION DE LÍNEA -----	48
FIGURA 3.4. MEDICIONES TENSION DE FASE -----	48
FIGURA 3.5. CARACTERÍSTICAS DE INSTRUMENTO DE MEDICIÓN -----	49
FIGURA 3.6. MEDICIONES TERMOGRÁFICASFIGURA 3.5. CARACTERÍSTICAS DE INSTRUMENTO DE MEDICIÓN -----	49
FIGURA 3.6. MEDICIONES TERMOGRÁFICAS-----	50
FIGURA 3.7. DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA ELÉCTRICOFIGURA 3.6. MEDICIONES TERMOGRÁFICAS-----	50
FIGURA 3.7. DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA ELÉCTRICO-----	52
FIGURA 3.7. DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA ELÉCTRICO-----	52

INDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 CUADRO DE CARGA INSTALADA	29
TABLA 2.2. CUADRO DE CARGAS TOTALES PARA LA NUEVA IMPLEMENTACIÓN.....	30
TABLA 2.3. CUADRO DE ESPECIFICACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES	34
TABLA 3.1. CUADRO DE MEDICIONES.....	47
TABLA 5.1. CUADRO DE PRESUPUESTO ELÉCTRICO.....	54

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de titulación se basa en soluciones técnicas de diseño e implementación de un banco de transformadores de 1 MVA mediante conexión estrella-estrella. El crecimiento industrial y el aumento continuo de la demanda de energía en las áreas de producción, hace resaltar la importancia de seleccionar las soluciones más adecuadas para maximizar la eficiencia de las redes eléctricas, siendo importante optimizar los sistemas de distribución de electricidad garantizando una propuesta efectiva, segura y además confiable.

Una de las estrategias más realistas para responder a esta demanda es el desarrollo e implementación de los bancos de transformadores, determinando el aumento de la capacidad de distribución sin afectar la calidad de los servicios eléctricos. Frente a este desafío, surge como alternativa viable el empleo de bancos trifásicos conformados por transformadores monofásicos, una estrategia que combina flexibilidad, escalabilidad y facilidad de mantenimiento.

Esta configuración garantiza una distribución sostenible, facilita el mantenimiento de cada unidad siendo reemplazo económico y flexible en comparación con los transformadores de tres fases convencionales. El uso de transformadores monofásicos conectados en estrella no solo le permite obtener más cargas, sino que reduce el potencial de los costos de intercambio o mantenimiento.

El proyecto intenta servir como un modelo técnico para implementarlo en el entorno industrial, en el que es necesario expandir la capacidad de instalación sin afectar la estabilidad del sistema eléctrico.

1.1. Planteamiento del Problema

La infraestructura eléctrica actual enfrenta un desafío ante la creciente demanda industrial proveniente de la modernización y digitalización. Sistemas antiguos, como transformadores trifásicos, operan cerca de su límite, agravados por cargas no lineales.

En plantas modernas de procesamiento de arroz, el consumo eléctrico oscila entre 19.50 kWh/ton en molinos medianos en Tailandia (Pachawan et al., 2017) y 41–43 kWh/ton en molinos de Sri Lanka (Roomi et al., 2007). Estas cifras demuestran que una planta limitada a 300 kVA se vuelve una barrera para la modernización, ya que no puede soportar equipos de alto consumo como secadoras, pulidoras o líneas automatizadas.

En Ecuador, muchas industrias operan con infraestructura eléctrica de baja potencia (300 kVA). La escasez global de transformadores y los largos tiempos de espera dificultan la renovación o expansión rápida (Dempsey, 2025).

La presencia creciente de cargas no lineales sin filtros adecuados agrava la degradación de transformadores. Sin bancos nuevos o bien diseñados, la infraestructura pierde eficiencia, sufren sobrecargas frecuentes y se limita la incorporación de equipos.

Ante la escalada en el consumo de arroz en Ecuador, evidenciada por un incremento del 1,5% en el área cultivada durante 2023, la empresa se ve en la necesidad de crecer en su operatividad y mejorar su sistema eléctrico para seguir siendo relevante en el sector. (INEC, 2023)

Por ello, se considera el diseño y la puesta en marcha de un banco trifásico de 1 MVA, que empleará transformadores monofásicos unidos en un esquema Estrella-Estrella, que busca perfeccionar la red eléctrica, incrementar la potencia disponible y permitir la inclusión de maquinaria adicional, garantizando una producción sin interrupciones

1.2. Justificación

El transformador trifásico de 300 KVA en la planta industrial arrocera “El Shadday” es insuficiente para las crecientes demandas energéticas derivadas de la ampliación de la producción, por ello la empresa planea integrar una nueva línea de maquinarias para el pilado de arroz, que requiere mayor capacidad eléctrica.

En consecuencia, se vuelve crucial cambiar el actual transformador por uno de 1 MVA; esto posibilitará soportar más consumo en nuestra red eléctrica interna y asegurar un flujo de energía adecuado para los nuevos aparatos.

Esta modernización no solo confirmará que sigamos trabajando sin interrupciones, sino que también hará más sencilla la ampliación de nuestra capacidad productiva para cubrir las necesidades del mercado. Aparte, el esquema y la puesta en marcha del nuevo transformador trifásico, usando transformadores monofásicos conectados en estrella-estrella, es fundamental para perfeccionar el sistema eléctrico y robustecer la posición competitiva de la empresa en el ámbito agroindustrial.

Esta implementación de banco trifásico de 1 MVA mediante transformadores monofásicos conectados en configuración estrella-estrella es una estrategia efectiva para optimizar y extender capacidad de carga instalada en los sistemas trifásicos de distribución eléctrica.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Incrementar la potencia instalada del sistema eléctrico mediante el diseño e implementación de un banco de transformadores trifásico de 1MVA, utilizando tres transformadores monofásicos de 333.3 KVA en conexión estrella-estrella para garantizar una mayor capacidad de carga y mejorar la continuidad del servicio eléctrico.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar las especificaciones técnicas de los transformadores monofásicos mediante el análisis de los requerimientos eléctricos de la planta.
- Diseñar el banco trifásico de 1 MVA, incorporando elementos de protección y sistema de puesta a tierra para garantizar un funcionamiento seguro y confiable.
- Instalar los transformadores monofásicos en configuración Estrella-Estrella según el diseño eléctrico aprobado.
- Evaluar el funcionamiento del banco trifásico a través de pruebas de carga y eficiencia.
- Documentar el proceso completo de diseño, instalación y validación del banco trifásico para generar un registro técnico que respalde el proyecto.

1.4. Marco Teórico

En este capítulo se explica los conceptos y normas que apoyan el diseño e implementación de un banco trifásico de 1 MVA. Se discuten la teoría de transformadores, las conexiones, los parámetros nominales, la protección y la operación segura. Esto establece las bases técnicas para justificar el proyecto y su aplicación práctica.

1.4.1. Transformador Monofásico

Es una máquina eléctrica estática de inducción electromagnética utilizada para convertir potencia eléctrica alterna a otro nivel de tensión, con construcción simple y características que dependen de su capacidad como de su configuración. Sus pérdidas como la regulación determinan la eficiencia y estabilidad, logrando rendimientos altos en su diseño como se muestra en la figura 1.1. adjunta.



Figura 1.1 Transformador monofásico. Elaboración propia

1.4.1.1. Principio de funcionamiento

Un transformador monofásico funciona gracias a la inducción electromagnética; una corriente alterna que viaja por el bobinado primario crea un campo magnético, a través del núcleo de hierro, este campo induce una tensión en el bobinado secundario, donde este mecanismo posibilita la conversión de voltajes de corriente alterna manteniendo intacta la frecuencia.

El transformador monofásico se compone de dos conductores enrollados (primario y secundario) alrededor de un núcleo hecho con láminas de hierro al silicio, su diseño facilita su instalación como el mantenimiento (Pozueta, 2012), tal como se aprecia en la figura 1.2.

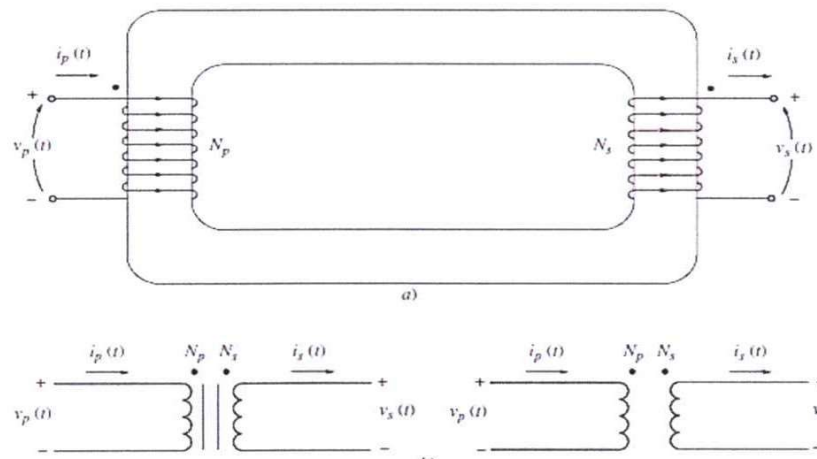


Figura 1.2 Dibujo de un transformador ideal (Chapman et al., 2012)

Están dimensionados según su capacidad de potencia y según aplicaciones de uso que pueden ser de tipo residencial, comercial y/o industrial es decir desde valores en VA usados en dispositivos electrónicos hasta MVA para las grandes configuraciones de fábrica donde se pueden usar en conjuntos

formando bancos con sus debidas configuraciones de conexiones.

Los transformadores resultan cruciales al buscar una distribución energética eficaz; sin embargo, presentan cierto desgaste energético al funcionar, mismo que se clasifica como pérdida en carga y pérdida sin carga.

La pérdida de rendimiento en los transformadores se clasifica en pérdidas de carga y pérdidas de vacío, incluyendo la histéresis y las corrientes parasitas. La pérdida de cobre se considera un componente crítico de las pérdidas de carga, surge de la resistencia de los devanados, donde la energía eléctrica se transforma en calor. Esto se mide mediante la fórmula $P_{cu} = I^2 \cdot R$, donde la pérdida de potencia, (P_{cu}) depende de la corriente, (I), y la resistencia, (R), dicho de otra manera, la potencia eléctrica ganada o perdida por cualquier dispositivo tiene la misma fórmula

Las corrientes de Foucault, producto del campo magnético variable, calientan el núcleo, lo que se traduce en una fuga de energía. Para atenuar esto, los núcleos de los transformadores se construyen con finas capas de acero aisladas, lo que incrementa la resistencia al paso de la corriente.

En cuanto a la histéresis, las perdidas surgen de la dificultad que enfrenta el material del núcleo al cambiar el flujo magnético, siendo la magnitud de estas pérdidas proporcional al área del bucle de histéresis. Utilizar materiales como el acero al silicio, con lazos de histéresis pequeños, es una buena táctica para menorar estas pérdidas. Estos sucesos impactan la eficacia y la vida útil de los transformadores.

1.4.2. Sistemas Trifásicos

Un sistema trifásico es un método de transmisión y distribución de energía eléctrica que utiliza tres corrientes o tensiones alternas desplazadas 120° entre sí. Este sistema es ampliamente utilizado debido a su eficiencia y ventajas para la generación, transmisión y utilización de la electricidad (Krause et al., 2013).

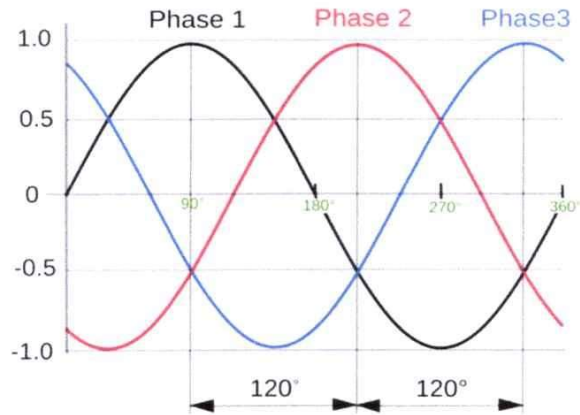


Figura 1.3 Circuitos de corriente alterna trifásica (Rodríguez Pozueta, 2015)

1.4.3. La conexión estrella (Y)

Se caracteriza por tener un neutro accesible, lo que facilita la conexión a cargas monofásicas y a cargas balanceadas. En esta configuración, la tensión de línea (V_L) es $\sqrt{3}$ veces mayor que la tensión de fase (V_F), de acuerdo con la relación:

$$V_L = \sqrt{3} \cdot V_F$$

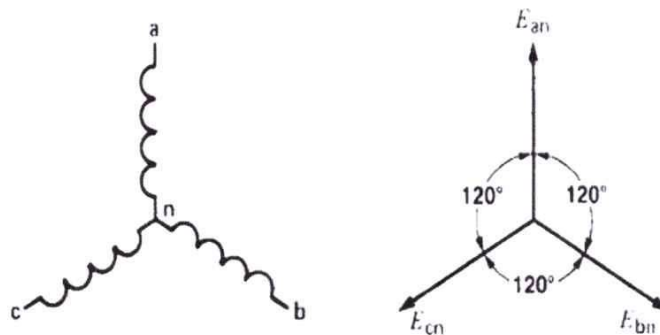


Figura 1.4 Conexión Estrella (Wildi, 2010)

Esta configuración permite distribuir la tensión en sistemas de manera más eficiente y segura, aunque en cargas desbalanceadas puede ocasionar corrientes de fuga y desequilibrios que afectan la estabilidad del sistema.

1.4.4. Conexión Y-Y

La conexión estrella-estrella (Y-Y) se utiliza para la formación de bancos trifásicos. En esta configuración, el diagrama fasorial muestra que las tensiones de línea y de fase están en fase, con una relación de 1:1 en condiciones ideales, y la tensión de línea en fases equilibradas es igual a la tensión de fase. La secuencia de fases define el sentido de rotación del campo magnético, esencial en el correcto funcionamiento de máquinas rotativas (Krause et al., 2013).

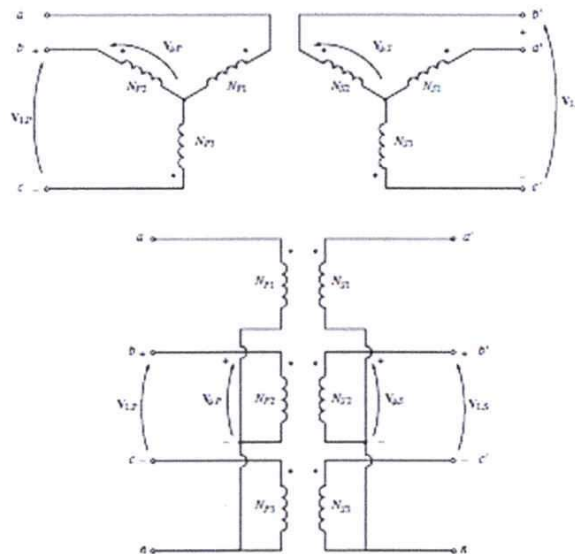


Figura 1.5 Conexión estrella-estrella (Chapman et al., 2012)

Las relaciones fasoriales permiten comprender cómo se distribuyen las tensiones y corrientes en las diferentes conexiones, siendo crucial para el diseño y análisis de bancos de transformadores.

1.4.4.1. Selección de la conexión de los devanados en estrella- estrella

Específicamente, la selección de la conexión de los devanados en este caso particular configuración estrella-estrella, resulta vital para preservar la estabilidad y efectividad del banco de transformadores, contribuyendo a la integración eficiente de altas cargas e impulsando una ejecución más sólida y eficaz en aplicaciones de uso de alta potencia.

La configuración de los devanados de los transformadores tiene un impacto significativo en la calidad de la tensión y en la capacidad de respuesta ante fallas. Esta configuración con ambos neutros aterrizados logra optimizar el control de la corriente reactiva mejorando así la estabilidad del sistema, paliando caídas de voltajes durante acontecimientos de eventuales fallas. Además, el registro de inspección basadas en las corrientes de la red permitirá disminuir las deformaciones en la calidad de la energía y de esta forma mejorando la capacidad de carga instalada.

1.4.5. Protección para Bancos de Transformadores.

Para la implementación de banco trifásico de transformadores de 1 MVA, compuesto por tres unidades monofásicas conectadas en configuración estrella-estrella se eligió un sistema de protección simple pero efectivo, teniendo en cuenta las características operativas de la instalación y los estándares mínimos requeridos para sistemas de media tensión.

1.4.6. Malla de tierra

Como un componente del sistema de protección, se implementó una malla de tierra diseñada para disipar de manera segura las corrientes de fallo, sobretensiones y descargas atmosféricas, esta red de tierra posibilita la conservación de posibles equipotenciales en los equipos

metálicos que se encuentran expuestos, disminuyendo la posibilidad de impactos eléctricos al personal y perjuicios al equipo. Su creación se fundamentó en regulaciones técnicas nacionales como la NTE INEN 2293 y directrices internacionales (IEC y IEEE), garantizando de esta manera su funcionamiento adecuado en situaciones normales y en caso de avería.

1.4.7. Fusibles tipo tira

Se colocaron fusibles de tira en el lado de media tensión, escogidos específicamente para resguardar cada transformador individualizado, estos aparatos funcionan como interruptores frente a altas corrientes o cortocircuitos, desconectando rápidamente la unidad perjudicada para prevenir daños de mayor magnitud, su aplicación es habitual en sistemas de suministro eléctrico por su confiabilidad, coste reducido y sencillez para su reemplazo.



Figura 1.6 Fusibles tipo tira. Elaboración Propia

1.4.8. Pararrayos

Se ha complementado el esquema de protección con la instalación de pararrayos de óxido metálico (ZnO) en la entrada de media tensión. Estos dispositivos desvían las sobretensiones ocasionadas por

descargas atmosféricas o maniobras de conmutación, protegiendo los devanados del transformador de picos de tensión. Su ubicación y conexión al sistema de puesta a tierra son esenciales, cumpliendo con la norma IEC 60099-4.



Figura 1.7 Poste con alimentador media tensión

La elección de una protección simplificada se justifica por las condiciones operativas del entorno, donde la instalación no presenta demandas complejas de monitoreo ni requiere una arquitectura de protección secundaria avanzada, no obstante, este esquema cumple con los requerimientos mínimos para garantizar la seguridad operativa, y se enmarca en lo permitido por normativas como la NATSIM, que regula aspectos de medición y control en instalaciones de este tipo.

Aunque no se incorporaron otros elementos como seccionadores, interruptores automáticos o relés de protección, se dejó prevista la posibilidad de futuras ampliaciones que permitan integrar una protección más robusta, especialmente si la carga conectada o la criticidad del sistema se incrementan.

1.5. Normativa Aplicativa.

Al trabajar con transformadores y sistemas eléctricos, desde su diseño hasta su uso diario y mantenimiento, es clave apegarse a ciertas reglas para que todo funcione de manera segura, eficiente y sin problemas. Entre las normas más importantes, tanto a nivel mundial como local, encontramos:

1.5.1. Normas IEC (International Electrotechnical Commission).

Desde la IEC 60076-1 en adelante, se fijan las pautas para los transformadores de potencia, abarcando desde cómo se clasifican hasta las pruebas que deben pasar, las conexiones y cómo protegerlos. Por otro lado, la IEC 60364 se encarga de las instalaciones eléctricas de baja tensión, incluyendo cómo se diseñan las conexiones a tierra y cómo proteger a las personas de contactos directos o indirectos, buscando que las instalaciones eléctricas sean seguras **(IEC, 2018)**

1.5.2. Normas IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

La norma IEEE C37.91 establece cómo proteger los transformadores y sistemas de potencia, incluyendo el uso de relés diferenciales, la protección contra sobrecargas y fallas a tierra. También detalla lo necesario para que la protección sea coordinada, asegurando que los dispositivos trabajen bien juntos y de forma selectiva **(IEEE, 2021)**.

1.5.3. Normas Nacionales y Locales (NTE INEN en Ecuador y NATSIM).

La norma NTE INEN 2684 se ocupa de las conexiones a tierra en instalaciones eléctricas, especificando los métodos, las resistencias necesarias y cómo proteger contra contactos indirectos. Además, hay normativas específicas para las conexiones y protecciones en las

distribuciones eléctricas, dependiendo del lugar, que buscan asegurar que todo encaje con las condiciones particulares del país (NATSIM), (INEN, 2013). Aspectos clave a considerar en sistemas de media a baja tensión.

1.6. Elementos para incorporar en la implementación.

En las redes de distribución y transformación eléctrica, sobre todo en aquellos proyectos que involucran grupos de transformadores, se integran múltiples equipos y construcciones que garantizan un funcionamiento seguro, eficaz y digno de confianza en la red. La base eléctrica en media tensión, llegando hasta los 15 kV, se sustenta en elementos creados de forma específica para soportar duras circunstancias de trabajo, incluyendo requerimientos de tipo térmico, mecánico y del entorno.

La infraestructura de soporte para redes aéreas, como los postes de media tensión, contribuye a la seguridad del sistema, garantizando la correcta separación y distribución de los conductores, de acuerdo con normativas técnicas y condiciones del entorno. Además, las conexiones entre la red y las instalaciones consumidoras requieren acometidas adecuadas, que cumplan con los calibres establecidos para evitar pérdidas o sobrecargas.

Dentro de la red, los transformadores monofásicos permiten la adaptación de los niveles de tensión a las necesidades específicas de cada carga, mientras que la conducción eléctrica está resguardada por tuberías rígidas que protegen los conductores ante agentes externos. Finalmente, los sistemas de conexión y fijación de elementos como fusibles deben cumplir con estándares de resistencia y seguridad, a fin de mantener la integridad operativa del sistema.

En resumen, se requiere una selección adecuada de componentes de medición, protección, soporte estructural y canalización, todos integrados bajo un enfoque normativo y técnico que garantice la estabilidad del sistema eléctrico.

CAPITULO 2

2. Metodología y Diseño del Banco Trifásico Y-Y de 1MVA

2.1. Diagrama de metodología.

En la Figura 2.1 se presenta el diseño y la implementación del proyecto mediante un diagrama de flujo describiendo cada uno de sus apartados del proyecto.

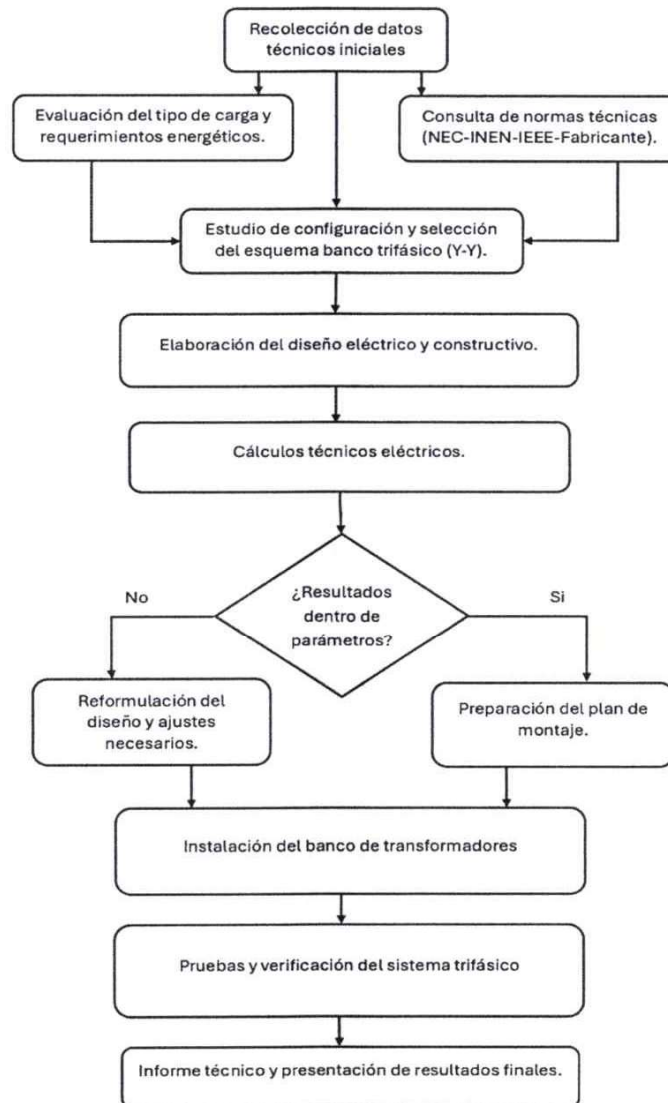


Figura 2.1: Diagrama de flujo de la metodología empleada

2.2. Informe de levantamiento de información.

En primer lugar se realizó una recolección de datos técnicos iniciales en el cual se evaluó el tipo, comportamiento y la magnitud que generaron las cargas eléctricas actuales, en el que indica que el transformador trifásico en operación señala una potencia nominal de 300 kVA como se puede verificar en la figura 2.2, conectado en sus devanados primarios a una tensión nominal de 13.8kV, suministrando tensión de 460V en sus devanados secundarios conectado en configuración Estrella/Estrella (Y-Y), su frecuencia nominal es de 60Hz, con refrigeración ONAN inmerso en aceite mineral, su marca es VANIA del año 2015 y se encuentra en un estado bueno, se muestra datos de placa en la figura 2.2. En cuanto a las condiciones de operación tenemos una carga actual de 159 kW / 177Kva, 0.9 es su factor de potencia y 65°C es la temperatura de operación.

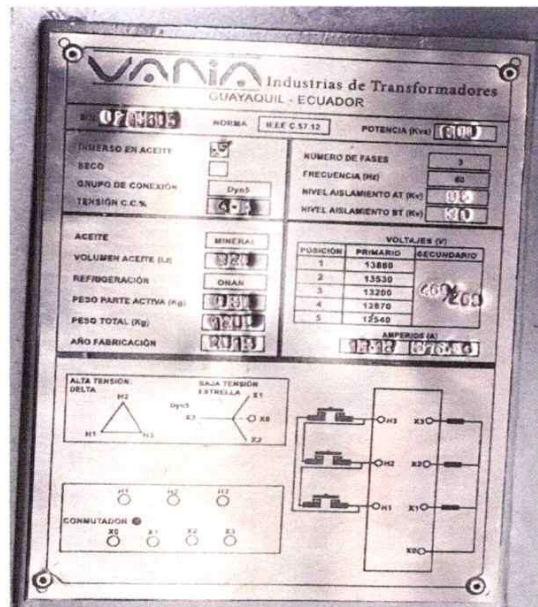


Figura 2.2. Datos de placa del transformador trifásico antiguo de la planta

En el análisis del sistema de protección existente, se identificaron las características principales del aparato. El sistema cuenta con protecciones tipo pararrayos y tiras fusibles de 20A tipo K instaladas en cajas porta fusibles de

15 kV que actúan como interruptores y fusibles. El neutro está correctamente puesto a tierra, garantizando una adecuada referencia de potencial.

En cuanto a la infraestructura eléctrica, no se cuenta con celdas de media tensión, se utilizan conductores primarios de 15 kV calibre 2 con una longitud de 15 metros, así como conductores secundarios tipo THH de 350 MCM con 6 metros de longitud, instalados en canalizaciones galvanizadas.

El sistema de puesta a tierra está conformado por una malla interconectada. La documentación disponible es limitada, ya que no se cuentan con planos unifilares, de distribución, diagramas de protecciones, fichas técnicas del transformador tampoco historial de mantenimiento.

Para el levantamiento de datos, se emplearon instrumentos como multímetro TRMS, pinza amperimétrica, cámara termográfica. Finalmente, el estado del equipo se valoró como en buen estado, recomendándole mantenimientos normales sin observaciones adicionales, lo que indica un sistema confiable y operacional con la limitante de la potencia requerida para la incorporación de las nuevas líneas de producción.

2.3. Evaluación del tipo de carga y requerimientos energéticos.

Durante el diagnóstico en la planta se identificó que el transformador trifásico existente de 300 kVA este alimenta un breaker de 300 A con una carga inductiva de 159 kW, la cual corresponde principalmente a dos motores principales de 100 HP perteneciente a la línea moledora de tamo conectados a una tensión de 460 Vac. Para especificar la carga se obtiene la siguiente tabla 2.1. con sus respectivas mediciones técnicas.

Tabla 2.1 Cuadro de carga instalada

Descripción de Carga	Tipo de carga	Potencia (kW)	Tensión (V)	Corriente (A)	F.P.	Potencia (kVA)
Moledora de tamo	Inductiva	159	460	221.56	0.9	176.53

Nota: *Elaboración Propia*

El proyecto requiere integrar dos nuevas líneas de producción cuyas potencias son especificadas por el fabricante, requiriendo 230 kW para la línea procesadora de arroz y 245 kW para la línea de pilado de arroz, con esto se encuentra la necesidad de implementar un nuevo banco de transformador que soporte estas cargas más la carga antigua antes mencionada. Con esto se desarrolla la siguiente tabla 2.2 con todos los requerimientos energéticos solicitados como demanda máxima para el óptimo funcionamiento de la planta.

Tabla 2.2. Cuadro de cargas totales para la nueva implementación.

Descripción de Carga	Tipo de carga	Potencia (kW)	Tensión (V)	Corriente (A)	F.P.	Potencia (kVA)
Moledora de tamo	Inductiva	159	460	221.56	0.9	176.53
Procesadora de arroz	Inductiva Resistiva	230	460	320.75	0.9	255.55
Piladora de arroz	Inductiva Capacitiva	245	460	341,67	0.9	272.2

Nota: Elaboración Propia

2.4. Consulta de normas técnicas (NEC-INEN-IEEE-Fabricante).

Se hizo una revisión exhaustiva de las siguientes normas técnicas:
Dentro del ámbito nacional, examinamos

2.4.1. NTE INEN 2176

Transformadores trifásicos – Lineamientos generales.

2.4.2. NTE INEN 2572

Aspectos de seguridad en las instalaciones eléctricas de edificaciones

2.4.3. NTE INEN ISO 50001

Sistema de gestión energética – Pautas y requerimientos para su utilización.

2.4.4. ARCONEL RCONEL 022/18

Reglamento que abarca la calidad del servicio eléctrico
Aplicable a transformadores y tendidos de distribución.

2.4.5. NATSIM Edición 2012

Sitios de transformadores y sistemas de medición.

Entre **las normas internacionales** revisamos:

2.4.6. IEEE C57.12.00

Directrices generales para transformadores de potencia.

2.4.7. IEEE C57.91

Guía para la gestión de carga en transformadores de potencia.

2.4.8. IEEE 141 (Red Book)

Diseño de sistemas eléctricos para la industria.

2.4.9. IEC 60076

Conjunto de normas aplicables a transformadores de potencia.

2.4.10. Aplicaciones por categoría

2.4.10.1. Diseño y Construcción

IEEE C57.12.00, IEC 60076, NTE INEN 2176

2.4.10.2. Instalación y Seguridad

NTE INEN 2572, IEEE 141

2.4.10.3. Pruebas y Ensayos

IEC 60076, IEEE C57.12.00

2.4.10.4. Eficiencia Energética

NTE INEN ISO 50001, ARCONEL RCONEL 022/18

2.4.10.5. Operación y Mantenimiento

IEEE C57.91, IEEE 141

2.5. Estudio de configuración y selección del esquema banco trifásico (Y-Y).

Para evaluación de la posibilidad de instalar un banco trifásico con tres unidades monofásicos conectados en conexión Y-Y para una capacidad de 1 MVA, se consideró requisitos técnicos, ventajas, limitaciones y costos comparativos con un transformador trifásico convencional.

Los transformadores por elegir deberán ser iguales en potencia, su relación de transformación, y sus tensiones, además deben ser de polaridad substractiva. La conexión Y-Y tiene dos neutros que deben estar bien aterrizados para evitar problemas en redes desbalanceadas y tiene un ángulo de fase de 0° , facilitando la sincronización con otros transformadores. Las ventajas del sistema Y-Y son la disponibilidad de neutro en el secundario y una mejor operación en paralelo con otros transformadores, pero es sensible a cargas desbalanceadas que pueden generar voltajes desiguales y armónicos que distorsionan la tensión.

En cuanto a la viabilidad económica, el banco de tres transformadores monofásicos tiene un costo inicial relativamente alto, pero puede ser más económico cuando se trata de reemplazar uno de ellos por mantenimiento. Por otro lado, el transformador trifásico suele ser más competitivo en costos y dimensiones.

Para cargas equilibradas, el banco Y-Y puede ser adecuado como es este caso donde solo debemos adicionar cargas trifásicas, pero para cargas monofásicas desbalanceadas se recomienda la conexión delta-estrella o delta-delta. Es crucial cumplir con normativas como IEC 60076 y asegurar correcta puesta a tierra. Se concluye que, aunque existe viabilidad técnica para el banco trifásico con transformadores monofásicos en conexión Y-Y, suele ser menos eficiente económicamente que un transformador trifásico, pero se busca la flexibilidad operativa.

2.6. Elaboración de diseño eléctrico y constructivo.

Para la elaboración de diseño eléctrico y constructivo de la implantación se estableció la formación de un banco de transformadores en configuración estrella-estrella que permita aumentar la capacidad de energía a 1MVA con el

objetivo de suministrar energía a las nuevas líneas de producción de la manera segura y eficiente.

Se realiza estudio de factibilidad verificando el mismo sitio destinado o cuarto existente donde se aloja el transformador de 300 kVA con una base de concreto armado, existiendo espacio adecuado de 6 x 4 m con buena ventilación y de acceso restringido, la alimentación de media tensión cuenta con 13.8 kV esta infraestructura incluye parrilla porta cable para cables de baja tensión y una malla a tierra por mejorar. En conclusión, la instalación del nuevo banco de transformadores es viable tanto estructuralmente como técnicamente.

El informe del estudio de carga indica una carga instalada estimada de 705 kVA, La demanda máxima esperada es de 680 kVA consiguiendo así un factor de demanda de 0,96 y un factor de potencia de 0,9.

$$F. D. = \frac{\text{Demanda maxima}}{\text{carga instalada}}$$

$$F. D. = \frac{680}{705}$$

$$F. D. = 0,96$$

Se propone un transformador trifásico de 1 MVA. La capacidad por utilizar es del 68 % y la reserva es del 32%. Las especificaciones de los transformadores deben ser 3 de 333.3 kVA, a 60 Hz, con voltaje de 13800 V a 460 V en configurable en estrella-estrella con enfriamiento ONAN usando aceite mineral la protección en media tensión se realizará con fusibles de 50A tipo tira, alojados en la caja portafusibles y la protección en baja tensión será un breaker trifásico de 800 A-1000A ajustable, como podemos apreciar en la tabla 2.3.

Se utiliza un pararrayos de tipo óxido metálico, rango de 15-24 kV, con una capacidad de 10 Ka. La malla a tierra será hecha de cable de cobre desnudo #2/0 y varillas copperweld. La canalización en baja tensión será con electro canales, y el tablero principal es metálico con una clasificación IP54 con su breaker principal.

Tabla 2.3. Cuadro de especificación de los transformadores

Equipo	Datos técnicos
Transformadores	3 x 333.3 kVA, 60 Hz, 13800 V / 460 V
Tipo de enfriamiento	ONAN (aceite mineral dieléctrico)
Protección MT	Fusibles tipo tira 50 A. 15 kV
Protección BT	Breaker trifásico 800 A-1200 A, ajustable
Pararrayos	Tipo óxido metálico, 15-24 kV, 10 kA
Malla a tierra	Cable de cobre desnudo #2/0, con varillas de cobre
Canalización BT	Electro canales
Tablero principal	Tablero metálico IP54, Breaker principal

Nota: *Elaboración Propia*

Los tres transformadores monofásicos se conectan creando un sistema trifásico (Y-Y), estas conexiones deben ser en estrella aterrizada tanto para media como para baja tensión, Además, el punto neutro está conectado a la malla de tierra, la conexión en baja tensión se realiza a través de barrajes encapsulados del transformador desde donde se llevará la energía al tablero principal por conductores de cobre. Además, se debe asegurar la protección externa usando una malla a tierra que esté conectada a un pararrayos y a la estructura del transformador.

Se elaboro el siguiente diagrama unifilar para la implementación del sistema

2.7. Cálculos técnicos eléctricos

2.7.1. Cálculo de la potencia del banco de transformador

Para realizar el cálculo de la potencia del banco de transformador se realizó lo siguiente:

Se calcula potencia aparente (S) de cada carga con la siguiente formula

$$S = \frac{P}{\cos(\theta)}$$

Para la carga 1 que es la Moledora de tamo se tiene una potencia $P=158,88$ KW tenemos

$$S1 = \frac{158,33 \text{ Kw}}{0,9} = 176,53 \text{ Kva}$$

Para la carga 2 que es la Procesadora de arroz se tiene una potencia $P=230$ KW tenemos

$$S2 = \frac{230 \text{ Kw}}{0,9} = 255,55 \text{ Kva}$$

Para la carga 3 que es la Piladora de arroz se tiene una potencia $P=245$ KW tenemos

$$S3 = \frac{245 \text{ Kw}}{0,9} = 272,2 \text{ Kva}$$

Con estos datos se calcula la potencia aparente total realizando la sumatoria de las cargas.

$$St = S1 + S2 + S3 \dots Sn$$

$$St = 176,53 \text{ Kva} + 255,55 \text{ Kva} + 272,2 \text{ Kva}$$

$$St = 704,28 \text{ Kva}$$

Luego de obtener la potencia aparente total (St) se le aplico un margen de seguridad del 20% para conocer la potencia del transformador requerido.

$$Strafo = 704,28 \text{ Kva} \times 1,2$$

$$Strafo = 845,136 \text{ Kva}$$

Se obtiene que se debería reemplazar el transformador por otro de 850 Kva para poder adicionar las nuevas líneas de producción.

2.7.2. Cálculo de corrientes para cada carga.

Para calcular las corrientes de cada carga se aplicó la fórmula siguiente.

$$I = \frac{P}{V \cdot \sqrt{3} \cdot \cos(\theta)}$$

Para la carga 1 que es la Moledora de tamo se tiene una potencia $P=158,88$ KW tenemos

$$I1 = \frac{158,88 \text{ kw}}{460 \times 1,73 \times 0,9}$$

$$I1 = 221,56A$$

Para la carga 2 que es la Procesadora de arroz se tiene una potencia $P=230$ KW tenemos

$$I2 = \frac{230 \text{ kw}}{460 \times 1,73 \times 0,9}$$

$$I2 = 320,75A$$

Para la carga 3 que es la Piladora de arroz se tiene una potencia $P=245$ KW tenemos

$$I3 = \frac{245 \text{ kw}}{460 \times 1,73 \times 0,9}$$

$$I3 = 341,67A$$

Con estos datos se calcula la corriente total de las cargas a conectar, realizando la sumatoria de las cargas.

$$It = I1 + I2 + I3 \dots In$$

$$It = 221,56A + 320,75A + 341,67A$$

$$It = 883.98A$$

2.8.Reformulación de diseño y ajustes necesarios.

Para la implementación se decide utilizar banco de transformadores en conexión estrella-estrella, es decir utilización de transformadores monofásicos razón por la cual el valor de potencia aparente del transformador (Strafo) se lo divide entre 3

$$St1\emptyset = \frac{Strafo}{3}$$

$$St1\emptyset = \frac{845,136 Kva}{3}$$

$$St1\emptyset = 281,712 Kva$$

Como resultado se obtiene una potencia aparente del transformador monofásico (St1 \emptyset) de 281,712 KVA, pero por capacidad de tamaño estándar se elige la adquisición del transformador monofásico de potencia aparente de 333 KVA formando el banco de transformador de 1MVA, además es beneficioso para la adición de futuras cargas y el control de perdidas.

Con esto se calculó la máxima corriente soportada del banco en media tensión, es decir la corriente nominal con la siguiente formula

$$In = \frac{S}{V \cdot \sqrt{3}}$$

$$In = \frac{1000000 \text{ va}}{13800v(1,73)}$$

$$In = 41.83 \text{ A}$$

Para seleccionar la capacidad de protección de fusible del banco en media tensión se aplica un factor del 25% se obtiene

$$Ifus. = 41.83 \text{ A} \times 1.25$$

$$Ifus. = 52.29 \text{ A}$$

Con esto se selecciona fusible tipo tira capacidad estándar de 50 A.

Tomando aquello en consideración, también se obtiene el cable de media tensión 2 AWG monopolares de Media Tensión, aislados en XLPE y Chaqueta en PVC el cual soporta hasta 155 A por ducto.

Además, se procedió a calcular la máxima corriente soportada del banco en baja tensión, es decir la corriente nominal de baja tensión

$$Isec = \frac{S}{V \cdot \sqrt{3}}$$

$$Isec. = \frac{1000000 \text{ va}}{460v(1,73)}$$

$$Isec. = 1255 \text{ A}$$

Para seleccionar el breaker principal de baja tensión se realizó el siguiente calculo aplicando el 25% de margen de seguridad.

$$Ibp. = Isec. \times 1.25$$

$$Ibp. = 1255 \text{ A} \times 1.25$$

$$Ibp. = 1568 \text{ A}$$

Pero el banco no trabajará a plena carga razón por la cual se decide que trabaje a aproximadamente 70% de su capacidad, por lo tanto, se decide adquirir breaker regulable de 800 a 1200A. quedando seteado en 1000 A.

Para la elección del cable alimentador del secundario al breaker principal se consideró esta corriente nominal y se decidió a la elección de tres ternas de cable 350 MCM soportando 350A cada terna. es decir, 1050 A el conjunto de alimentadores.

Una vez determinado el banco a utilizar y a qué porcentaje de capacidad trabajará, se realiza el cálculo del breaker de cada carga y sus alimentadores para ello tomamos la intensidad de cada una.

Para la carga 1 que es la Moledora de tamo se tendrá un consumo de corriente de 212.33A aplicando el 25% de margen de seguridad obtendríamos:

$$Ib1. = 221,56A \times 1.25$$

$$Ib1 = 276,25A$$

Teniendo como resultado un breaker de 300A con un cable alimentador de 3x350 MCM y para su neutro 1x350MCM.

Para la carga 2 que es la procesadora de arroz se tendrá un consumo de corriente de 307.3A aplicando el 25% de margen de seguridad obtendríamos

$$Ib2. = 320,75A \times 1.25$$

$$Ib2 = 400.94A$$

Teniendo como resultado un breaker de 400A con un cable alimentador de 2(3x4/0 AWG) y para su neutro 1x350 MCM.

Para la carga 3 que es la Piladora de arroz se tendrá un consumo de corriente de 327.82A aplicando el 25% de margen de seguridad obtendríamos

$$Ib2 = 341,67Ax1.25$$

$$Ib2 = 427.1A$$

Teniendo como resultado un breaker de 400A con un cable alimentador de 2(3x4/0 AWG) y para su neutro 1x350 MCM.

2.9. Preparación del plan de montaje.

Se preparo un plan de diseño y montaje para realizar la recepción, instalación, desmontaje y montaje de transformadores eléctricos describiendo las responsabilidades como se muestra en la figura 2.3. Su objetivo fue aplicar controles en todas las actividades, controlar riesgos y prevenir accidentes, protegiendo así el equipo y el medioambiente.

PLAN DEL DISEÑO		COORDINADOR DE AREA	FECHA INICIO		
		B. Vizuela	02/04/2025		
TIPO DE DISEÑO: ELECTRICO		DESCRIPCION DE LOS REQUISITOS BASICOS Y ESENCIALES.			
Cliente: Empresa El Shalby Nombre del proyecto: Banco de transformadores		DISEÑO E IMPLEMENTACION DE BANCO TRIFASICO DE 1 MVA CON TRANSFORMADORES MONOFASICOS CONECTADOS EN ESTRELLA-ESTRELLA			
ESPECIFICACIONES/NORMAS/INDICACIONES A CUMPLIR: NATM NEC IEC					
ETAPAS DEL PROCESO DE DISEÑO					
ETAPA	RESPONSABLE	PLAZA	FECHA INICIO	FECHA FIN	RESULTADOS
Recolección de datos técnicos. Estudio preliminar de la carga.	Marco Miranda Christian Alcivar	3	02/04/2025	05/04/2025	Se realiza la recolección de datos técnicos de cargas y diversas mediciones.
Selección de transformadores y componentes	Marco Miranda Christian Alcivar	3	06/04/2025	09/04/2025	Se realiza la selección de transformadores para la formación de banco.
Diseño de conexiones y protecciones	Marco Miranda Christian Alcivar	6	10/04/2025	16/04/2025	Se realiza calculos de protecciones y diseño de conexiones según cargas a instalar.
Adquisición de equipos y materiales	Marco Miranda Christian Alcivar	7	17/04/2025	24/04/2025	Se realiza la adquisición de equipos y materiales a utilizar.
Instalación de equipos, desmontaje y montaje de banco de transformadores	Marco Miranda Christian Alcivar	7	01/04/2025	08/04/2025	Se realiza la instalación de equipos, el desmontaje y el montaje de banco transformador.
Pruebas, puesta en marcha y verificación de tensiones	Marco Miranda Christian Alcivar	3	08/05/2025	11/05/2025	Se realiza las pruebas correspondientes y la puesta en marcha del sistema.
REUNIONES Y DECISIONES					
FECHA	DECISIONES				

Figura 2.3. Formato del Plan de Diseño

Su procedimiento fue diseñado para mejorar la calidad y seguridad en los trabajos relacionados con el montaje. También se buscó prever posibles problemas durante la instalación, operación y puesta en marcha de estos equipos. En resumen, se enfocó en garantizar un proceso seguro y eficiente en la manipulación de los transformadores eléctricos.

Se dirigió y se supervisó el programa de trabajo con las coordinaciones necesarias haciendo cumplir las Normas de Seguridad antes, durante y al finalizar los trabajos de campo. Además, verificando que el personal tenga su equipo de seguridad y que las herramientas y equipos necesarios estén disponibles para llevar a cabo las tareas programadas, también se revisa los análisis de seguridad en el trabajo (ATS), que elaboró el personal antes de iniciar cualquier actividad. Además, que se hayan demarcado y señalado las áreas de trabajo para evitar accidentes.

Para la realización del trabajo, se requirió de personal cualificado, capacitado y familiarizado con la naturaleza del trabajo con el equipo e implementos de seguridad necesario como los (EPP), y de las herramientas a utilizar, se realizó breve charla de seguridad de 5 minutos indicándoles la evaluación y el control de riesgos de las tareas planificadas.

2.10. Instalación del banco de transformadores.

Para el desmontaje, montaje e instalación se señalizó el área de trabajo con conos evitando el acercamiento de personas no autorizadas, se desconectó la energía de media tensión desde las cajas portafusibles utilizando la pértiga con el personal protegido con equipo de protección personal (EPP) es decir se desconectó la fuente de alimentación al equipo transformador trifásico antiguo de manera visible y efectiva considerando claramente sus contactos abiertos y separados.

Luego se procedió a retirar las velas portafusibles de manera segura previniendo sus caídas desde la altura y guardándolos en un lugar seguro

con su debida señalización para prevenir la reconexión accidental, sin embargo, se comprobó la ausencia de tensión antes de empezar el trabajo utilizando el multímetro midiendo en baja tensión verificando aquello en todas las fases y en el conductor neutro.

Fue esencial poner a tierra con dispositivos que soportan la intensidad máxima esperada con conexiones mecánicamente resistentes y cortocircuitar las líneas de media tensión y baja tensión como zona segura y evitar que un potencial regreso de tensión cause algún tipo de accidente, primero se conectó las tierras a la línea, y luego se realizó la puesta a tierra.

El desmontaje del transformador se realizó con cuidado, utilizando sogas, eslingas y estrobos para asegurar el transformador, desconectándolo de sus fijaciones se procedió a retirarlo con la ayuda de grúas y otros equipos adecuados.

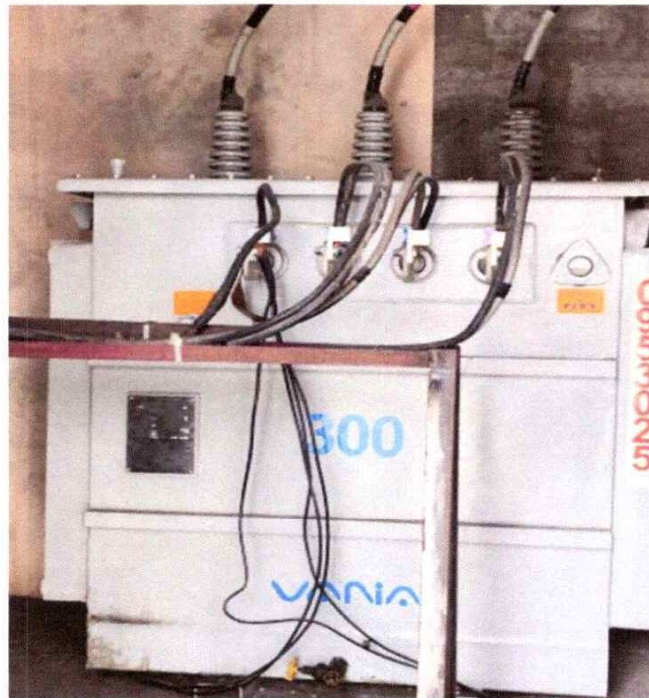


Figura 2.4. Transformador trifásico 300kva.

Acerca de las condiciones ambientales, se contó con recipientes adecuados y rotulados para almacenar residuos de aceite en caso de que sucediera algún derramamiento, todo esto son pasos claves para garantizar la seguridad en los trabajos eléctricos y no perjudicar el medio ambiente.

El proceso de montaje de transformadores empezó revisando su certificado de pruebas del fabricante y realizando un chequeo visual verificando el cumplimiento de las especificaciones técnicas y el número de serie, procediendo con la instalación estando todo en orden.



Figura 2.5. Transporte de transformadores

Los transformadores se transportaron en un camión de manera segura, utilizando eslingas para protegerlo durante el traslado, al llegar al lugar de instalación, se delimito el área con conos para evitar riesgos de accidente, asegurando que nadie ajeno ingrese al área durante el izado de los transformadores.

Una vez en el lugar se colocaron estrobos de acero para izar los transformadores de manera segura, después de ser izado, los transformadores se montaron en su sitio correspondiente donde se aseguró

que quede centrado y bien fijado. Posteriormente, se realizó la conexión eléctrica del transformador en los lados de media y baja tensión, conforme a las especificaciones del proyecto.

Durante el montaje de los transformadores, se utilizaron herramientas adecuadas y se realizaron maniobras con cuidado. Antes de energizar el banco de transformadores, se verifico que no haya elementos extraños en la línea y retirando desperdicios

Finalmente, antes de la energización, se verifica que todo esté en orden y se establece la comunicación necesaria. Se retiran los accesorios de señalización y que el área esté limpia y segura, prestando atención a cada detalle durante el proceso para evitar accidentes y garantizar un trabajo eficiente.

CAPITULO 3

3. Resultados y análisis

3.1. Resultados de pruebas

El proyecto de implementación de un banco de 1 MVA resultó en un aumento significativo de la capacidad de carga porque anteriormente la capacidad era de 300 kVA, y ahora es de 1 MVA, lo que representa un incremento de 233.33% esto permitirá conectar las nuevas cargas de las líneas de producción a adiconar, evitando sobrecargar el sistema, es decir cumpliendo con el objetivo inicial.

Se logra conectar cargas que antes consumían aproximadamente el 60% de la capacidad de un transformador trifásico de 300 kVA. Con un banco de 1 MVA, estas cargas ahora ocupan aproximadamente solo un 18% de su capacidad permitiendo margen de optimización e incremento de carga instalada resultando una mayor confiabilidad del sistema y permitiendo reducir el riesgo de averías con desconexiones no programadas.



Figura 3.1. Cuarto de transformadores

3.2. Análisis de optimización e incremento de capacidad

El análisis de optimización y aumento de capacidad se centra en un banco que tiene una capacidad nominal de 1 000 kVA (1 MVA) y una tensión secundaria de 460 V. Se estima que la carga instalada es de 704 kVA, y se considera un factor de potencia de 0,9.

Ahora la carga instalada es de 704 kVA mientras que la capacidad nominal del banco de transformadores es de 1 MVA, significa que el banco está usando el 70. 4% de su capacidad, este porcentaje es considerado óptimo para un banco de transformadores que debe operar entre el 60% y el 80% de su capacidad por lo que está funcionando dentro de los límites seguros con buen margen operativo y con una reserva de 296 KVA disponibles para cargas futuras es decir aproximadamente el 30% de disponibilidad con esto deducimos un menor estrés eléctrico y térmico de los transformadores.



Figura 3.2. Ejecución de mediciones de pruebas

El factor de carga se calcula como 704 kVA entre 1000 kVA, lo que resulta en 0. 704. Este valor indica que el factor de carga es ideal, ya que se encuentra entre 0. 6 y 0. 8, lo que significa máxima eficiencia sin riesgo de sobrecarga.

El banco trifásico proporciona flexibilidad operativa al permitir desconectar uno de los transformadores para mantenimiento sin interrumpir el servicio. También facilita una operación escalonada para futuras expansiones. Esto resulta en un sistema modular y adaptable.

El sistema está diseñado para ser sostenible y escalable. Puede expandirse en el futuro utilizando transformadores modulares. Esto significa que el proyecto puede crecer para satisfacer demandas mayores sin necesidad de un rediseño completo.

3.3. Pruebas y verificación del sistema trifásico

Se llevaron a cabo mediciones de tensión, corriente y temperatura para validar el funcionamiento del banco trifásico de transformadores. Se registraron los valores de tensión y corrientes de cada transformador además de monitorear la temperatura. Los resultados demuestran que las magnitudes están dentro de los márgenes normales, con una desviación promedio inferior al 5% respecto a los valores teóricos, confirmando así la precisión del sistema.

Se midieron los voltajes de línea (L-L) es decir L1-L2, L2-L3, y L3-L1 y luego se procedió a medir los voltajes entre línea y neutro (L-N): L1-N, L2-N y L3-N; estos deben ser aproximadamente $V_L/\sqrt{3}$ del voltaje entre líneas tal como muestra la tabla 3.1. Por último, se mide la corriente en cada fase usando un amperímetro durante la operación normal del sistema siendo la corriente de fase igual a la corriente de línea.

Tabla 3.1. Cuadro de mediciones

Voltajes	Mediciones	Valor medido (V)	Valor teórico (V)
VL	L1-L2	476,7	460
VL	L1-L3	475,7	460
VL	L2-L3	473,1	460
VF	L1-GND	274,5	265.6
VF	L2-GND	275,6	265.6
VF	L3-GND	273,8	265.6

Nota: *Elaboración Propia*

Para realizar las pruebas se utilizó un amperímetro y multímetro para medir voltajes y corrientes en el lado de baja tensión para verificar valores reales como lo podemos visualizar en las figuras 3.3. y 3.4.



Figura 3.3 Mediciones tensión de línea



Figura 3.4. Mediciones tensión de fase

Se muestran valores de medición con amperímetro 376FC marca Fluke, con las siguientes características mostradas en la figura 3.5.

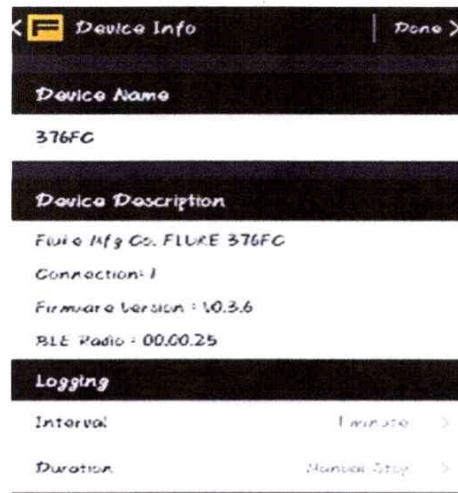


Figura 3.5. Características de instrumento de medición

3.4. Pruebas termográficas

La termografía infrarroja es una técnica de diagnóstico no destructivo que permite ver y medir la radiación térmica de los cuerpos, convirtiéndola en imágenes de temperatura. Funciona con el principio de que cualquier objeto por encima de $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ emite energía en forma de radiación infrarroja, la que se detecta con cámaras especiales.

En sectores industriales y eléctricos, se usa para detectar de manera temprana problemas como sobrecalentamientos y conexiones defectuosas, sin detener los equipos. Esto ayuda a mantener la operatividad y la seguridad del personal. También optimiza el mantenimiento predictivo, reduce costos de reparaciones de emergencia y prolonga la vida útil de los componentes. Por

estas razones, es clave en la gestión de activos y la eficiencia energética, cumpliendo con estándares internacionales.

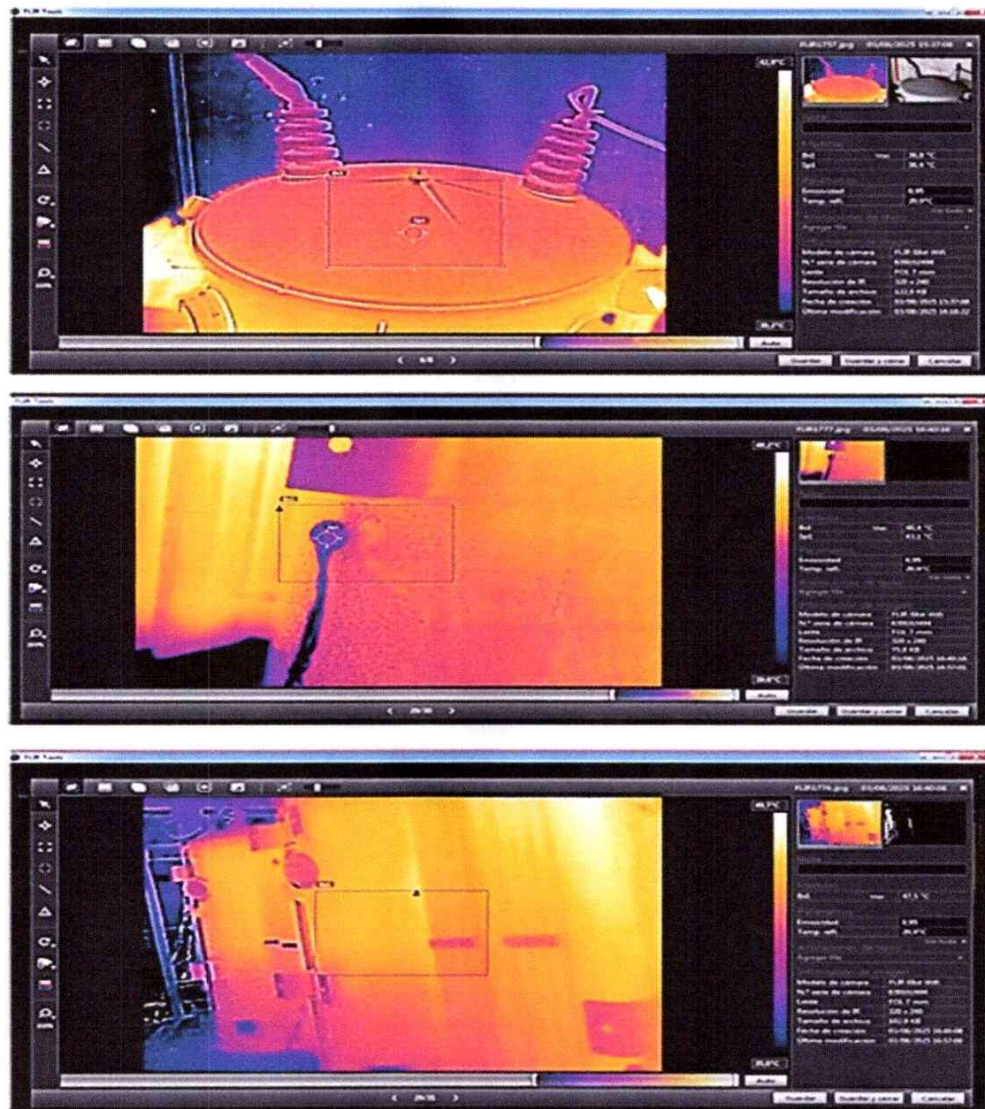


Figura 3.8. Mediciones termográficas

Se realiza la termografía en los transformadores verificando su estado térmico de funcionamiento y como resultado nos arroja temperaturas de 36°C a 48°C en diferentes partes donde se realizó la medición, lo que indica que los transformadores están dentro del rango normal de operatividad.

Las pruebas se realizaron siguiendo normas técnicas para asegurar la fiabilidad de los resultados.

3.5. Cumplimiento de objetivos específicos

En esta sección se describe cómo se cumplieron los objetivos específicos del proyecto, mostrando que se lograron los resultados esperados a través de su desarrollo e implementación.

3.5.1. Determinar las especificaciones técnicas de los transformadores monofásicos mediante el análisis de los requerimientos eléctricos de la planta.

Se llevó a cabo un análisis detallado de la carga eléctrica de la planta, incluyendo la demanda máxima, el factor de potencia y las características de los equipos. Esto llevó a definir las especificaciones técnicas para los transformadores monofásicos, como potencia, voltaje y corriente, asegurando que cumplan con necesidades operativas y normativas. Se establecieron especificaciones claras para transformadores de 1 MVA.

3.5.2. Diseñar el banco trifásico de 1 MVA, incorporando elementos de protección y sistema de puesta a tierra para garantizar un funcionamiento seguro y confiable.

Se elaboró el diseño eléctrico de un banco trifásico utilizando transformadores monofásicos en configuración Estrella-Estrella. Se integraron dispositivos de protección como fusibles e interruptores automáticos, siguiendo las normativas aplicables. El diseño fue aprobado garantizando la seguridad y confiabilidad del sistema en condiciones normales y de falla.

3.5.3. Instalar los transformadores monofásicos en configuración Estrella-Estrella según el diseño eléctrico aprobado.

Se completó la instalación física y eléctrica de los transformadores monofásicos, siguiendo el diseño aprobado y asegurando conexiones correctas y protección de equipos. Se hicieron pruebas iniciales sin

problemas. El banco trifásico se instaló satisfactoriamente, cumpliendo con los estándares técnicos.

3.5.4. Evaluar el funcionamiento del banco trifásico a través de pruebas de carga y eficiencia.

Se realizaron pruebas de carga, medidas de voltajes, corrientes y temperaturas, y análisis de eficiencia del banco trifásico en operación real. Los resultados mostraron un funcionamiento estable y eficiente, confirmando que el sistema puede soportar la carga de la planta sin problemas.

3.5.5. Documentar el proceso completo de diseño

Se elaboró documentación técnica que incluye planos eléctricos, como se lo visualiza en la figura 3.7, esquemas, memorias de cálculo y protocolos de pruebas sobre la instalación del banco trifásico. Esto permite el seguimiento y mantenimiento del sistema. Se generó un registro técnico organizado que respalda el proceso y ayuda al personal en su gestión.

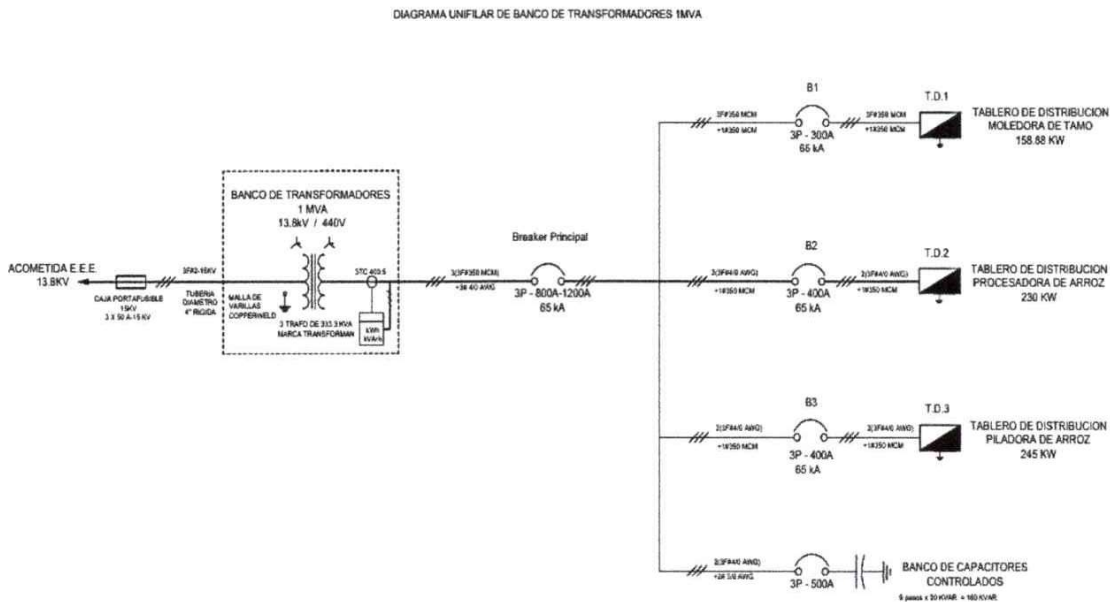


Figura 3.11. Diagrama unifilar del sistema eléctrico

CAPITULO 4

4. Conclusiones y Recomendaciones

4.1. Conclusiones

Se definieron claramente las especificaciones técnicas de los transformadores monofásicos necesarios para la carga eléctrica de la planta, asegurando que el banco trifásico diseñado pueda manejar la demanda eficientemente. El diseño del banco en configuración Estrella-Estrella incluyó protección adecuada y un sistema de puesta a tierra, garantizando seguridad y confiabilidad. La instalación de los transformadores fue exitosa y cumplió con las normas vigentes, logrando un funcionamiento estable. Las pruebas de carga confirmaron el buen desempeño del banco, y la documentación técnica creada apoyará el mantenimiento y la operación futura del sistema.

4.2. Recomendaciones

Realizar mantenimientos preventivos periódicos al banco trifásico y sus sistemas de protección, esto ayudará a prolongar la vida de los transformadores y evitar fallas inesperadas.

Implementar monitoreo continuo con sensores o sistemas IoT para detectar cambios de temperatura, corriente y voltaje en tiempo real.

Capacitar al personal técnico en operación, mantenimiento y seguridad eléctrica. También, evaluar futuras ampliaciones o mejoras en el sistema eléctrico, buscando tecnologías como por ejemplo mejorar el factor de potencia de 0,9 a 0,95 o más.

Es importante evaluar el desempeño del banco regularmente mediante pruebas funcionales para identificar problemas en los transformadores y protecciones, además se deben estudiar alternativas tecnológicas que mejoren el uso de energía y disminuyan pérdidas, lo que ayudaría a ahorrar costos

Se recomienda integrar la termografía en un programa de mantenimiento y llevar un historial de las inspecciones.

Finalmente, actualizar la documentación técnica tras cualquier modificación o mantenimiento importante para tener un historial completo.

5. PRESUPUESTOS

Como presupuesto eléctrico incluye los costos estimados para diferentes rubros, los transformadores cuestan \$18.000, los equipos de protección \$4.150, se estima que las canalizaciones y cables tendrán un costo de \$2.400, la mano de obra \$4.000, los ensayos y pruebas \$1000 siendo el total aproximado del presupuesto es de \$30.050. Tal como lo vemos en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Cuadro de presupuesto eléctrico

Concepto	Cant.	Costo unitario	Costo total
Transformadores monofásicos 333.3 KVA	3	\$6.000	\$18,000
Tableros de protección y conexión	3	\$1,000	\$3,000
Cajas portafusibles de 13.8KV	3	\$150	\$450
Conductores eléctricos y accesorios			\$2,400
Puesta a tierra, electrodos y protecciones	-	-	\$700
Ingeniería, mano de obra especializada	-	-	\$4,000
Ensayos y pruebas con equipo especializado	-	-	\$1,000
Seguridad y señalética industrial	-	-	\$500
Total			\$30,050

Nota: *Elaboración Propia*

BIBLIOGRAFÍA

- Chapman, S. J., Rodríguez Pérez, C., & Santana Díaz Alfredo. (2012). *Máquinas eléctricas* (5a ed). McGraw-Hill Interamericana.
- Dempsey, H. (2025, julio 4). Hitachi Energy says AI power spikes threaten to destabilise global supply. *Financial Times*. <https://www.ft.com/content/2789d048-7791-4f9a-8dbe-229c45f8083b>
- IEC. (2018). *Preparing for a sustainable future* (Annual Report No. 2018; p. 52). IEC.
- IEEE. (2021). IEEE Guide for Protecting Power Transformers. *IEEE Std C37.91-2021 (Revision of IEEE Std C37.91-2008)*, 1-160.
<https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2021.9471045>
- INEC. (2023). *Encuesta de superficie y produccion agropecuaria continua (ESPAC)* (No. 2024; Boletin Tecnico, p. 16). INEC.
- INEN. (2013). *Norma Técnica Ecuatoriana Nte Inen 2144:2013*. Scribd.
<https://es.scribd.com/document/553642471/2144-1>
- Krause, P. C., Wasynczuk, O., Sudhoff, S. D., & Pekarek, S. (with Institute of electrical and electronics engineers). (2013). *Analysis of electric machinery and drive systems* (3d edition). Wiley.
- Pachanawan, A., Chuan-Udom, S., Saengprachatanarug, K., & Wongpichet, S. (2017). Electrical Energy Consumption and Energy Conservation of Rice Mills in the Northeastern of Thailand. *Engineering Journal*, 21(4), 73-82.
<https://doi.org/10.4186/ej.2017.21.4.73>
- Pozueta, M. A. R. (2012). *Transformadores*. 68.
<http://personales.unican.es/rodrigma/primer/publicaciones.htm>

- Rodríguez Pozueta, M. A. (2015). *CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICA*. 32. <https://www.studocu.com/es/document/universidad-de-murcia/electromagnetismo-i/trifasica-problemas-resueltos/63435260>
- Roomi, M. S. M., Namal, D. D. A., & Jayasinghe, K. T. (2007). Study of Energy Consumption Pattern in Sri Lankan Rice Mills—Enhancing Opportunity for Conservation. *Engineer: Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka*, 40(1), 83. <https://doi.org/10.4038/engineer.v40i1.7131>
- Wildi, T. (2010). *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia* (6a ed). Pearson Educación.

ANEXOS

EVALUACIÓN GENERAL DE RIESGOS PLAN DE MONTAJE DE BANCO DE TRANSFORMADORES

ÁREA A EVALUAR	ÁREA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA Y EQUIPOS ELÉCTRICOS				EVALUACIÓN		ELABORA		CHRISTIAN ALCVAR							
PUERTO DE TRABAJO	TECNICOS ELECTRICOS				INICIAL	X	PERIÓDICA	PUERTO		TECNICO ELECTRICO						
NO. DE TRABAJADORES	4	FECHA DE EVALUACIÓN	04/05/2023-05/05/2023	FECHA DE ÚLTIMA EVALUACIÓN			OBSERVACIONES GENERALES									
TAREA A EVALUAR	DESMONTAJE Y MONTAJE DE TRANSFORMADORES															
RIESGO POTENCIAL	SEVERIDAD DEL RIESGO			RIESGOS ESTIMADOS (C, M, E, N)				RIESGOS PROPORCIONALES								
	P	M	N	C	M	E	N	REQUIERE DE UN P.P.T.	REQUIERE CAPACIDAD	RIESGO CONTROLADO	ACCIÓN REQUERIDA	RESPONSABLE	FECHA DE EJECUCIÓN	CONFIGURACIÓN DE IMPLEMENTACIÓN DE LA ACCIÓN		
								SI	NO	SI	NO	SI	NO	FIRMA	FECHA	
Contacto directo e indirecto con partes energizadas o en proceso de ser energizadas.		X						X		X		Desconexión de Red de MT. Uso de EPP. Equipos Diélectricos, montajes aislados.	MARCO MIRANDA CHRISTIAN ALCVAR	04 may 23	X	01/05/2023
Contacto indirecto con partes energizadas o en proceso de ser energizadas.			X					X		X		Definición del área.	MARCO MIRANDA CHRISTIAN ALCVAR	04 may 23	X	01/05/2023
Desconexión de cables y terminales.			X					X		X		Desconexión de cables y terminales con EPP. Equipos Diélectricos, montajes aislados.	MARCO MIRANDA CHRISTIAN ALCVAR	04 may 23	X	01/05/2023
Caida de objetos, empalmes, golpes por herramientas o equipos.			X					X		X		Definición del área.	MARCO MIRANDA CHRISTIAN ALCVAR	04 may 23	X	01/05/2023
golpes con estructuras, conexiones, materiales.			X					X		X		Definición del área, espacio protegido, otros elementos.	MARCO MIRANDA CHRISTIAN ALCVAR	04 may 23	X	02/05/2023
Caida de objetos, empalmes, golpes por herramientas o equipos.			X					X		X		Definición del área, espacio protegido, otros elementos.	MARCO MIRANDA CHRISTIAN ALCVAR	04 may 23	X	02/05/2023
Contacto directo e indirecto con partes energizadas o en proceso de ser energizadas.		X						X		X		Desconexión total. Uso de EPP. Equipos Diélectricos, montajes aislados.	MARCO MIRANDA CHRISTIAN ALCVAR	04 may 23	X	03/05/2023
Averías en Transformadores, subestaciones.			X					X		X		Muchos cables, equipos nuevos.	MARCO MIRANDA CHRISTIAN ALCVAR	04 may 23	X	04/05/2023
Detramiento de asfalto, deterioración ambiental, ruido, vibraciones.			X					X		X		Continuar y cubrir adecuadamente partes.	MARCO MIRANDA CHRISTIAN ALCVAR	04 may 23	X	04/05/2023
Dañar en los transformadores, conexiones, averías de aislamiento.			X					X		X		Verificar con el propietario de la zona de trabajo, protección de los cables.	MARCO MIRANDA CHRISTIAN ALCVAR	04 may 23	X	04/05/2023

