

	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15
			VERSIÓN	02
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN			
			FECHA	03/04/2017
		PÁGINA	1 de 1	
ELABORÓ		REVISÓ	APROBÓ	
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad	

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S): ANDERSON IVAN APELLIDOS: CASTELLANOS DIMINGO

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

DIRECTOR:

NOMBRE(S): JESÙS HERNANDO APELLIDOS: HERNANDEZ CORREA

TÍTULO DEL TRABAJO (TRABAJO DIRIGIDO): DISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LA LADRILLERA "ARCILLAS, LA BELENCIA" EN LA VEREDA LA ALEJANDRA, NORTE DE SANTANDER.

RESUMEN

En este proyecto, se realizó el diseño del sistema de distribución de energía eléctrica para la ladrillera "Arcillas, la Belencita", ubicada en la vereda La Alejandra, en Norte de Santander. Dado que la ladrillera cuenta con maquinaria industrial, se llevó a cabo un detallado censo de cargas para calcular la demanda total y determinar el transformador trifásico adecuado para la subestación tipo poste. La elección se hizo con el objetivo de reducir costos, tiempo y minimizar el impacto ambiental. Como resultado del análisis, se determinó que se requiere un transformador trifásico de 150 kVA con una capacidad de conversión de 13200V a 440V y conexión FFFN, cumpliendo con los requisitos establecidos por el operador de red CENS.

En cuanto a las redes de distribución, se diseñó la red de media tensión, la cual contempla la construcción de cuatro tramos de 388 metros cada uno, utilizando cable ACSR 2/0 AWG. Las instalaciones eléctricas fueron diseñadas de acuerdo con las normas de Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A. E.S.P, el reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE y el código eléctrico nacional NTC 2050. En general, la carga del sistema está compuesta por salidas de iluminación, tomas de uso general y cargas especiales.

PALABRAS CLAVES: Energía, Red, Subestación, Transformador.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: ____ PLANOS: ____ ILUSTRACIONES: ____ CD ROOM: ____

DISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LA
LADRILLERA “ARCILLAS, LA BELENCITA” EN LA VEREDA LA ALEJANDRA, NORTE
DE SANTANDER

AUTOR

ANDERSON IVAN CASTELLANOS DIMINGO

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA, NORTE DE SANTANDER

2023

DISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LA
LADRILLERA “ARCILLAS, LA BELENCITA” EN LA VEREDA LA ALEJANDRA, NORTE
DE SANTANDER

AUTOR

ANDERSON IVAN CASTELLANOS DIMINGO

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

DIRECTOR

ING. JESÙS HERNANDO ORDOÑEZ CORREA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA, NORTE DE SANTANDER

2023



**ACTA DE SUSTENTACIÓN PROYECTO DE GRADO
MODALIDAD TRABAJO DIRIGIDO**

FECHA: 26 de septiembre de 2023

HORA: 05:00 p.m.

LUGAR: Sala de Juntas Departamento Electricidad y Electrónica

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TITULO DEL TRABAJO DE GRADO: "DISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LA LADRILLERA "ARCILLAS, LA BELENCITA" EN LA VEREDA LA ALEJANDRA, NORTE DE SANTANDER".

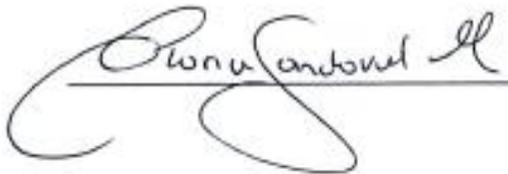
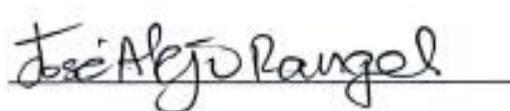
JURADOS Mg: GLORIA ESMERALDA SANDOVAL MARTINEZ
Mg: JOSÉ ALEJO RANGEL ROLÓN

DIRECTOR: Mg: JESÚS HERNANDO ORDOÑEZ CORREA

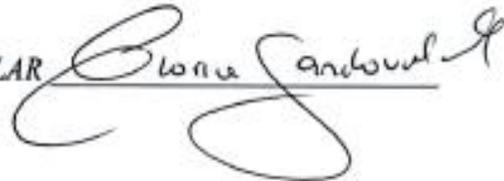
APROBADO

NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	CÓDIGO	CALIFICACION
ANDERSON IVÁN CASTELLANOS DIMINGO	1091467	4.3

FIRMA DE LOS JURADOS:

VOBO. COORDINADOR COMITÉ CURRICULAR



Dedicatoria

Quiero dedicar la culminación de mi proyecto principalmente a Dios, por darme la voluntad necesaria para cumplir la meta de ser un profesional, también a mis padres por brindarme su amor y apoyo en los momentos difíciles, motivándome a afrontar los obstáculos y seguir adelante.

A mis compañeros, demás familiares y a toda la gente que de alguna u otra forma contribuyeron en la obtención de este logro.

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a mis padres, ya que han sido el motor que me ha impulsado a perseguir mis metas, además de darme su apoyo económico me brindaron el soporte moral necesario para afrontar los desafíos consecuentes y vencer las adversidades.

Quiero también agradecer a todos los profesores que hicieron parte de mi itinerario académico, por transmitir sus conocimientos y consejos para convertirme en un profesional integro para afrontar los desafíos del mundo laboral.

Asimismo, a todos los compañeros con quienes compartí en este proceso, gracias por las experiencias vividas.

Tabla de Contenido

1	Introducción	16
2	Planteamiento Del Problema	18
3	Justificación.....	20
3.1	Beneficios Tecnológicos	21
3.2	Beneficios Institucionales	21
3.3	Beneficios Sociales	21
4	Objetivos.....	23
4.1	Objetivo General	23
4.2	Objetivos Específicos.....	23
5	Alcances, Limitaciones y Delimitaciones.....	24
5.1	Alcances	24
5.2	Limitaciones.....	24
5.3	Delimitaciones.....	25
5.3.1	Delimitación Temporal..	25
5.3.1	Delimitación Espacial..	25
6	Marco Referencial.....	26
6.1	Antecedentes	26
6.1.1	Antecedentes Nacionales.....	26

6.1.2	Antecedentes Internacionales	29
6.1.3	Antecedentes Regionales.....	31
6.2	Marco Teórico	34
6.2.1	Sistema de distribución	34
6.2.2	Subestación de distribución	34
6.2.3	Subestaciones tipo poste	35
6.2.4	Características de operación de las subestaciones.....	36
6.2.5	Elementos de una subestación eléctrica	37
6.2.6	Transformador.....	39
6.2.7	Acometida eléctrica	43
6.2.8	Sistema de puesta a tierra	43
6.2.9	Diagrama unifilar	44
6.2.10	Cuadro de carga	44
6.3	Marco Legal	45
6.3.1	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIIE)	45
6.3.2	Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050).....	47
6.3.3	Normatividad del operador de red CENS (CNS-NT-04).....	48
6.3.4	Comisión de regulación de energía y gas (CREG).....	48
6.3.5	Diseño gráfico de planos eléctricos.....	49
7	Diseño Metodológico	51

7.1	Actividades y Metodologías	51
8	Resultados	54
8.1	Realizar un censo de cargas en la ladrillera	54
8.1.1	Luminarias	54
8.1.2	Tomacorrientes.....	54
8.1.3	Acondicionamiento térmico	54
8.1.4	Motores	55
8.1.5	Protecciones.....	55
8.2	Determinar el tipo de subestación a diseñar de acuerdo a las normativas vigentes, requerimiento del cliente y viabilidad del diseño.....	62
8.3	Determinar puntos de conexión, ubicación de la subestación y tableros de distribución, para establecer distancias de conductores y realizar cálculos regulación de caídas de tensión apoyados en la carga. 71	
8.4	Realizar cálculos del sistema mecánicos de soportes de conductores y soporte mecánicos de subestación.....	87
8.5	Realizar la coordinación de protecciones.	99
8.6	Determinar los requerimientos a utilizar para la realización del tablero de distribución por medio del cuadro de cargas.....	108
8.6.1	Sistema de puesta a tierra	114
8.7	Establecer una estimación de costos para el proyecto.....	125
9	Conclusiones	129

10	Recomendaciones	131
11	Referencia bibliográfica	132

Lista de Tablas

Tabla 1. Cuadro de cargas del tablero general 1.....	57
Tabla 2. Cuadro de cargas del tablero general 2.....	58
Tabla 3. Cuadro de cargas total.....	59
Tabla 4. Cuadro de cargas del tablero de distribución.....	60
Tabla 5. Comparación entre las características del transformador convencional y el transformador Pad Mounted.	63
Tabla 6. Características de los tipos de medidas.....	66
Tabla 7. Distancias mínimas de seguridad en zonas con construcción.....	67
Tabla 8. Acometida de media tensión.....	73
Tabla 9. Cálculo de acometida de baja tensión para el tablero de motores	75
Tabla 10. Cálculo de la acometida de baja tensión para tablero de oficinas.	76
Tabla 11. Cálculo de acometida total de baja tensión.....	78
Tabla 12. Límites de la regulación de voltaje	80
Tabla 13, Regulación de caídas de tensión.	81
Tabla 14. Descripción de los tipos de arranque de un motor.....	100
Tabla 15. Corrientes de cortocircuito según tensión del sistema e impedancia del transformador.	104
Tabla 16. Corrientes seleccionadas.....	105
Tabla 17. Especificaciones del tablero de distribución.....	114
Tabla 18. Valores de referencia para resistencia de puesta a tierra	115
Tabla 19. Conductor del electrodo de tierra de instalaciones de corriente alterna	118
Tabla 20. Presupuesto de materiales para el proyecto.	125

Tabla 21. Presupuesto de red de baja tensión.	128
Tabla 22. Estimación de costos del proyecto.	128

Lista de Figuras

Figura 1. Transformador de potencia.....	40
Figura 2. Circuito eléctrico de un transformador.	41
Figura 3. Diagrama unifilar principal.	61
Figura 4. Diagrama unifilar sub.	62
Figura 5. Montaje del transformador trifásico en una subestación tipo poste	65
Figura 6. Distancias de seguridad en zonas con construcciones.....	68
Figura 7. Límites de aproximación.	70
Figura 8. Imagen satelital de la ubicación de la subestación.	72
Figura 9. Estructura 730.....	88
Figura 10. Estructura 560.....	90
Figura 11. Estructura 523A.....	90
Figura 12. Estructura RH231.	92
Figura 13. Estructura tipo 712.	94
Figura 14. Estructura 629.....	95
Figura 15. Estructura 626.....	96
Figura 16. Estructura 628.....	97
Figura 17. Detalle de la zona magnética de la curva de disparo.....	102
Figura 18. Curva de tiempos máximos de fusión vs corriente para fusibles tipo k.	106
Figura 19. Curva de tiempos de fusión vs corriente para fusibles tipo H.....	107
Figura 20. Tablero de motores.....	111
Figura 21. Cofre del tablero de motores	112
Figura 22 Tablero comercial TERCOL trifásico	113

Figura 23. Esquema del dispositivo simétrico de Wenner.....	116
Figura 24 Diseño de malla tierra en AutoCAD.	124

Lista de Apéndices

Apéndice 1. Página 1 del plano eléctrico diseñado en AutoCAD.	134
Apéndice 2. Página 2 del plano eléctrico diseñado en AutoCAD.	135
Apéndice 3. Diagrama Unifilar.....	136

1 Introducción

En la actualidad, la dependencia mundial de la energía eléctrica es innegable (Ramírez, 2004). La energía eléctrica se ha convertido en un motor crucial para el crecimiento económico, tecnológico y social a escala global. Su implementación ha facilitado la expansión de diversas actividades, tanto personales como profesionales, y ha contribuido a la satisfacción de necesidades básicas en entornos confortables. Por lo tanto, la carencia de este recurso no debería ser una opción.

No obstante, existen regiones como pequeñas comunidades, pueblos y propiedades rurales que aún carecen de servicio eléctrico. De aquí surge la relevancia de diseñar circuitos de media tensión capaces de llevar electricidad a estos lugares aislados, siempre cumpliendo las condiciones y regulaciones estipuladas por el operador de la red, encargado de proporcionar energía a quienes la necesitan. Un ejemplo de estas zonas es la vereda La Alejandra, en el municipio del Zulia, donde se encuentra la ladrillera "Arcillas, La Belencita", que carece totalmente de servicio eléctrico. Este proyecto surge precisamente para remediar esta situación. Ante el diseño de un sistema eléctrico, es necesario seguir un proceso adecuado que inicia con el estudio y análisis de las cargas presentes en la ladrillera. Esta información será el fundamento del proyecto, y su precisión es fundamental para la correcta caracterización de la red eléctrica y la subestación.

Asimismo, es vital adherirse a las directrices del operador de la red en la región, conocido como "Centrales Eléctricas de Norte de Santander (CENS)". A aproximadamente 400 metros de la ladrillera "Arcillas, La Belencita", se encuentran una red de nivel dos con tensión de 13.23 kV

y una red de nivel tres con tensión de 34.5 kV. Por lo tanto, la red eléctrica se conectará a la línea de 13.23 kV para suministrar energía a la subestación de la ladrillera a través de una red de postes encargados de transportar la electricidad.

2 Planteamiento Del Problema

La ladrillera "Arcillas, La Belencita", ubicada en la vereda La Alejandra, municipio del Zulia, Norte de Santander, enfrenta una limitante significativa que impide el inicio de sus operaciones: la falta de suministro eléctrico. Esta carencia no solo obstaculiza el proceso de producción, sino que también representa un desafío en cuanto a la eficiencia y seguridad de los equipos y maquinarias que requieren electricidad para su adecuado desempeño.

El análisis preliminar revela que, pese a contar con diseños de obras civiles, la ladrillera no posee un diseño eléctrico que se ajuste a sus necesidades y al contexto en el que opera. Esta situación se agrava al considerar que la red de tensión nivel 2 del operador CENS, la cual podría brindar la solución a la falta de energía, se encuentra a solo 400 metros de distancia. Sin embargo, el acceso a dicha red demanda una planificación detallada, considerando normativas, estándares y directrices del operador CENS para asegurar una instalación segura y eficiente.

La falta de un sistema eléctrico adecuado no solo impide el inicio de las operaciones de la ladrillera, sino que también representa un riesgo potencial para los equipos, infraestructura y personal, debido a la posibilidad de sobrecargas o fallas eléctricas que podrían surgir si se intenta operar sin un diseño eléctrico apropiado.

La inactividad o pausas en la producción, la posibilidad de daños en los equipos y maquinarias, y el potencial riesgo para los trabajadores son desafíos que requieren una solución urgente. Por ello, es imperativo diseñar e implementar un sistema eléctrico que no solo resuelva la problemática actual, sino que también garantice un entorno laboral seguro, una mayor eficiencia y productividad, y una reducción en los costos asociados a imprevistos eléctricos. Con base en lo anterior, en el desarrollo de este proyecto se pretende responder la pregunta de investigación:

¿Cuáles son las estrategias más efectivas para establecer un servicio de energía eléctrica confiable y sostenible en la ladrillera "Arcillas, La Belencita" ubicada en la vereda La Alejandra, municipio del Zulia, ¿Norte de Santander?

3 Justificación

La constitución política de nuestro país establece la Ley 142 de 1994, la cual se enfoca en garantizar el acceso a servicios públicos esenciales como el suministro de gas natural, el abastecimiento de agua potable, los servicios de salud, el sistema de alcantarillado y la energía eléctrica. Esta legislación permite la intervención estatal con el propósito primordial de mejorar la calidad de vida de los usuarios mediante la prestación de servicios de óptima calidad. Por consiguiente, el desarrollo de diversas actividades económicas y comerciales en nuestra sociedad depende en gran medida de un suministro eléctrico confiable y eficiente.

Si bien la energía eléctrica desempeña un papel fundamental en el progreso humano, también conlleva riesgos potenciales para la seguridad y la vida de las personas en caso de fallas o contactos con la fuente de energía. Estos riesgos pueden ocasionar explosiones, electrocuciones e incluso pérdidas de vidas humanas en los casos más graves. Por lo tanto, resulta de vital importancia llevar a cabo estudios previos sobre el diseño del sistema de distribución de energía en la ladrillera "Arcillas, La Belencita". Estos estudios tienen como objetivo prevenir daños o fallos que puedan comprometer la integridad tanto de los trabajadores como de los equipos que entran en contacto con la red eléctrica durante las diferentes etapas del proceso de producción. Es imperativo que este diseño cumpla con los criterios establecidos por el operador de la red y los parámetros de seguridad y calidad estipulados por la normatividad vigente a nivel nacional, específicamente por el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE).

A través de la realización de este trabajo de investigación, se busca consolidar los conocimientos adquiridos en el campo de la ingeniería durante el período de formación académica en la Universidad Francisco de Paula Santander, sede Cúcuta, Norte de Santander. Por este motivo, se ha seleccionado una empresa que se dedica al desarrollo de proyectos

relacionados con la Ingeniería Electromecánica en el ámbito de la energía eléctrica. El objetivo es obtener una experiencia cercana al entorno laboral y sentar las bases para una exitosa trayectoria profesional en este campo.

3.1 Beneficios Tecnológicos

Mejora en el diseño del sistema de distribución de energía eléctrica en la ladrillera "Arcillas, La Belencita", lo que garantiza un suministro confiable y eficiente de energía.

Implementación de tecnologías avanzadas de control y monitoreo para detectar y prevenir posibles fallas en el sistema eléctrico.

Incorporación de equipos y maquinarias más eficientes y seguros, que operen de manera óptima gracias al suministro eléctrico adecuado.

3.2 Beneficios Institucionales

Cumplimiento de los requisitos y estándares establecidos por el operador de la red y la normativa vigente, lo que fortalece el cumplimiento de la legalidad y la responsabilidad empresarial.

Mayor confiabilidad y seguridad en el suministro eléctrico, lo que contribuye al cumplimiento de los plazos de producción y mejora la reputación de la ladrillera.

Colaboración y coordinación con entidades reguladoras y gubernamentales para asegurar el cumplimiento de las normas y regulaciones del sector eléctrico.

3.3 Beneficios Sociales

Mejora de las condiciones de trabajo y seguridad para los empleados de la ladrillera, reduciendo los riesgos de accidentes y asegurando un entorno laboral más seguro.

Contribución al desarrollo sostenible y al cuidado del medio ambiente, al reducir el uso de fuentes de energía menos limpias y apostar por la electricidad como una opción más limpia y

renovable.

Impulso al desarrollo económico y social de la comunidad local, al promover la generación de empleo y el crecimiento de la ladrillera, lo que impacta positivamente en la economía regional.

4 Objetivos

4.1 Objetivo General

Diseñar un sistema eléctrico de distribución para la ladrillera "Arcillas, La Belencita" en la vereda La Alejandra, en Norte de Santander, cumpliendo con normas y regulaciones, para asegurar un suministro confiable, eficiente y seguro de energía eléctrica.

4.2 Objetivos Específicos

- Diseñar la subestación eléctrica de media a baja tensión de acuerdo con las cargas establecidas en los censos realizados en la ladrillera "Arcillas, La Belencita".
- Establecer el diseño del sistema de electrificación de media y baja tensión de las redes, que incluye el cálculo y dimensionamiento de conductores, la regulación de la caída de tensión, el dimensionamiento de los sistemas mecánicos de soporte de conductores y el soporte mecánico de la subestación, para la ladrillera "Arcillas, La Belencita".
- Dimensionar el tablero de distribución teniendo en cuenta la coordinación de protecciones y el sistema de puesta a tierra.
- Calcular los costos y presupuestos de las cantidades de materiales necesarios para la futura ejecución del proyecto.

5 Alcances, Limitaciones y Delimitaciones

5.1 Alcances

El desarrollo del proyecto tiene como alcance la elaboración del diseño de un sistema eléctrico para la ladrillera “Arcillas, la Belencita”, estableciendo como descriptivo el tipo de investigación a realizar.

Por otro lado, el diseño del sistema eléctrico para la ladrillera incluye estudios, canalizaciones, cálculos y determinación de las protecciones, conductores eléctricos y otros materiales según las cargas presentes en la ladrillera. A su vez, se seguirán a detalle las especificaciones y los parámetros por parte del operador de red, el cual sería Centrales Eléctricas de Norte de Santander (CENS), entre otros ítems referenciados en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas y la Norma Técnica Colombiana; con el propósito de objetivo de satisfacer la demanda energética de la ladrillera, incrementar el volumen de producción al proveer una alimentación estable y garantizar la seguridad de las personas.

5.2 Limitaciones

El diseño se limita a los tableros de distribución de energía de 440/220V y 220/110V, excluyendo el diseño eléctrico para la potencia de arranque y el control de motores. Estos últimos solo necesitan suministro de energía en este momento para la fabricación de las bases mecánicas y el inicio del proceso de fabricación del material primario en la ladrillera.

En este proyecto es no se implementó un sistema de apantallamiento. La complejidad de diseñar e instalar el sistema excede el alcance de este trabajo de grado y, por lo tanto, requiere un estudio y análisis más extensos. Por ello, este proyecto se ha centrado en otras áreas, dejando el diseño e implementación del sistema de apantallamiento para una futura investigación o trabajo

de grado.

5.3 Delimitaciones

5.3.1 Delimitación Temporal. Se estima que la ejecución del proyecto tome alrededor de 4 meses, los cuales darán inicio una vez que sea aprobado.

1.1.1 Delimitación Espacial. El proyecto se desarrolla en la ladrillera "Arcillas, la Belencita", ubicada en la vereda La Alejandra, municipio El Zulia, Norte de Santander.

6 Marco Referencial

6.1 Antecedentes

6.1.1 Antecedentes Nacionales

“Diseño de circuito de media tensión para alimentar el corregimiento de San José de Oriente (Cesar)”. Las recurrentes fluctuaciones de tensión causadas por el estado no conforme y deteriorado de las redes eléctricas de media tensión afectan negativamente la eficiencia de los equipos electrodomésticos, ocasionando daños y limitando su rendimiento adecuado. Para solucionar este desafío, Quintero (2013) propone en su proyecto de pregrado “Diseño de circuito de media tensión para alimentar el corregimiento de San José de Oriente (Cesar)”, de la Universidad de la Costa, sede Barranquilla, un diseño alternativo que involucra la conexión a una subestación cercana al corregimiento.

La metodología del autor se fundamenta en la recopilación de datos de carga instalada en la zona, seguida de una investigación bibliográfica que abarca conceptos fundamentales como sistemas de potencia, redes eléctricas y documentos jurídicos de la NTC e INCONTEC. Además, se efectúa una visita al corregimiento con el propósito de validar la información proporcionada por el operador de la red y evaluar el estado de la red de media tensión y los transformadores. Se realizan cálculos para determinar los calibres del conductor, las estructuras y otros materiales pertinentes. Al culminar el proyecto, se analiza detenidamente los resultados obtenidos y se elabora el documento final.

El desarrollo de la tesis de pregrado se relaciona con el proyecto en curso, ya que aporta conceptos esenciales que deben tenerse en consideración.

“Diseño de redes eléctricas de media y baja tensión en los departamentos de la Guajira y Magdalena”. A lo largo del tiempo, en la costa de la región del Atlántico, se han

experimentado interrupciones en la confiabilidad del suministro de energía eléctrica. Basado en ello, López (2021) en su tesis de pregrado “Diseño de redes eléctricas de media y baja tensión en los departamentos de la Guajira y Magdalena” de la Universidad de Antioquia, sede Medellín, busca diseñar y renovar las redes eléctricas de baja y media tensión usando una configuración de red especial con la finalidad de mejorar la infraestructura existente y prevenir cortes del servicio.

La metodología empleada por el autor abarca una evaluación detallada del estado de las redes eléctricas actuales, llevando a cabo un levantamiento de las mismas mediante un mapa cartográfico que tiene en cuenta las necesidades de los usuarios en las áreas adyacentes. Además, se realizan la proyección correspondiente de postes, la distribución de transformadores, la proyección de acometidas, las memorias de cálculo para la regulación de la tensión y los esfuerzos mecánicos. Por otro lado, se aplican las normas para el vestido de los postes y se determina la configuración de la puesta a tierra. Finalmente, se establece el costo total que implicaría la implementación del proyecto. Todo lo anterior se respalda en los lineamientos establecidos en el RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) y por el operador de red correspondiente.

El trabajo realizado por López (2021) se encuentra estrechamente vinculado al proyecto en desarrollo, ya que proporciona las fórmulas y normas de diseño necesarias para garantizar un diseño óptimo y seguro, cumpliendo con los estándares y requisitos técnicos establecidos.

“Diseño eléctrico de red de media y baja tensión asociado al uso final y diseño de iluminación para el Colegio Instituto Técnico Industrial Piloto de Bogotá”. Las instalaciones eléctricas del Colegio Técnico Industrial Piloto no cumplen con los reglamentos técnicos colombianos, como el RETIE y RETILAP, en cuanto a instalaciones eléctricas e iluminación se refiere. Esta situación coloca en riesgo la integridad física de los miembros de la comunidad

académica y administrativa de la institución. Además, afecta la calidad de enseñanza. Basado en ello, Muñoz y Álvarez (2019) proponen en su tesis de pregrado “Diseño eléctrico de red de media y baja tensión asociado al uso final y diseño de iluminación para el Colegio Instituto Técnico Industrial Piloto de Bogotá” en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, sede Bogotá D.C. el diseño eléctrico e iluminación con el objetivo de satisfacer los requerimientos de la institución y evitar posibles sobrecargas del sistema eléctrico.

La metodología empleada por los autores comienza con una revisión exhaustiva del estado del arte en el diseño de iluminación utilizando el software DIALUX 4.13. Se aplican los requisitos establecidos por el Estado Colombiano, como el "Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP, resolución no. 180540 de marzo 30 de 2010" (RETILAP, 2010) y la Norma Técnica Colombiana NTC 4595, "Ingeniería Civil y Arquitectura Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares" (NTC 4595, 2016).

Por otro lado, se determina el factor k del transformador utilizando la metodología implementada por transformadores TESLA. Se categorizan las cargas según su naturaleza para calcular el índice de armónicos en función del factor K . Por otro lado, se realiza el diseño de puesta a tierra utilizando el método de Wenner para medir la resistividad del suelo.

El proyecto desarrollado por Muñoz y Álvarez (2019) está estrechamente relacionado con el proyecto en curso, ya que plantea el diseño del sistema de puesta a tierra mediante el uso de un método ampliamente conocido denominado Wenner, que permite medir la resistividad del suelo. Este método consiste en la colocación de cuatro electrodos equidistantes en el suelo formando un arreglo lineal. A través de estos electrodos, se aplica una corriente eléctrica y se registra la caída de potencial resultante. A partir de estas mediciones, es posible determinar la resistividad del suelo utilizando fórmulas y cálculos específicos.

6.1.2 Antecedentes Internacionales

“Estudio de un sistema de distribución y acometida en baja tensión”. La falta de elementos relacionados con la distribución eléctrica, alta tensión y sistemas eléctricos de potencia en la Universidad Politécnica Salesiana ha ocasionado deficiencias en el proceso de aprendizaje de los estudiantes. Como solución a esta problemática, Gonzales et al. (2015) llevaron a cabo el proyecto titulado "Estudio de un sistema de distribución y acometida en baja tensión" en la sede Guayaquil de la Universidad Politécnica Salesiana. Este proyecto se enfoca en el estudio detallado del sistema de distribución y acometidas mediante la construcción de un prototipo para realizar pruebas de acometidas en baja tensión. De esta manera, se busca facilitar la comprensión del comportamiento de las redes de distribución en baja tensión, tanto en condiciones normales de operación como en situaciones de fallos del sistema.

Este proyecto se relaciona con el proyecto en desarrollo, debido a que, proporciona el análisis del sistema de distribución y acometidas, contribuyendo a extender la visión de los sistemas de distribución.

“Diseño de una subestación eléctrica de una planta para la fabricación de envases de vidrio de una cervecería, realizado en la ciudad de delicias Chihuahua, México”. Existen empresas que suministran energía eléctrica con tensiones de hasta 220V. Sin embargo, si una empresa industrial requiere una tensión superior, será necesario instalar subestaciones eléctricas adecuadas para satisfacer los requisitos de carga establecidos. Esto dependerá del tipo de producción requerida en la planta industrial. Basándose en la idea anterior, Gutiérrez y Mendoza (2019) desarrollan el proyecto de grado denominado “Diseño de una subestación eléctrica de una planta para la fabricación de envases de vidrio de una cervecería, ubicada en la ciudad Delicias Chihuahua, México” del Instituto Politécnico Nacional-Escuela Superior de Ingeniería Mecánica

y Eléctrica, sede Adolfo López Mateos. Este proyecto considera las condiciones ambientales y estructurales del lugar, así como las características de la conexión aérea proporcionada por la empresa de suministro eléctrico. Además, incluye el diseño e instalación de una subestación eléctrica que cumple con los estándares de alta tensión de 115kV, mediana tensión de entre 13.8kV y 4.16kV, y baja tensión entre 480V y 220V. El propósito es garantizar el funcionamiento adecuado de las cargas requeridas para la producción, teniendo en cuenta la fuente de suministro y las condiciones del lugar. Asimismo, se tienen en cuenta los requisitos de seguridad para proteger la vida de las personas y sus propiedades, así como la eficiencia energética y un análisis de la solución técnica más rentable.

La metodología de este proyecto se basa en el estudio y diseño de subestaciones, el cálculo preciso de protecciones, la implementación de sistemas de puesta a tierra, el desarrollo de redes eléctricas y el diseño de instalaciones en diferentes niveles de tensión, incluyendo baja, media y alta. Además, se realiza un minucioso cálculo del calibre de los conductores y las canalizaciones necesarias. Como parte del proceso, se emplea el software especializado ETAP Laboratorios para llevar a cabo un análisis exhaustivo de los resultados, comparando los valores calculados con los obtenidos en la práctica.

Este proyecto está estrechamente vinculado con el proyecto en curso, ya que emplea ecuaciones y fórmulas para llevar a cabo cálculos precisos en el sistema de puesta a tierra, así como en la selección de transformadores y otros elementos. Se basa en normas y especificaciones nacionales e internacionales relevantes con el objetivo fundamental de prevenir cualquier fallo en el sistema eléctrico o interrupción en el suministro de energía en general. De esta manera, se garantiza la fiabilidad y continuidad del suministro eléctrico conforme a los estándares establecidos.

“Diseño, cálculos eléctricos y mecánicos de un proyecto de electrificación rural en la comunidad Tisey municipio de Wiwili”. La carencia de electrificación rural es una problemática persistente en diversas regiones del país. A pesar de los avances en el acceso a la electricidad a nivel global, muchas comunidades rurales continúan enfrentando limitaciones en cuanto al suministro eléctrico confiable y sostenible. Esta falta de electrificación rural tiene implicaciones negativas en múltiples aspectos de la vida cotidiana de los habitantes, así como en el desarrollo económico y social de estas comunidades, motivo por el cual, Brenes y Robles (2016) en su proyecto de pregrado “Diseño, cálculos eléctricos y mecánicos de un proyecto de electrificación rural en la comunidad Tisey municipio de Wiwili” de la Universidad Nacional de Ingeniería, sede Managua presentan el diseño de una red eléctrica abarcando los niveles de media y baja tensión, así como el montaje de transformadores e instalaciones eléctricas internas en la comunidad de Tisey. Para lograrlo, se llevan a cabo exhaustivos cálculos eléctricos y mecánicos, además de realizar el diseño de planos eléctricos y la elaboración del presupuesto correspondiente. De esta manera, se garantiza la implementación eficiente y segura de las instalaciones eléctricas en la comunidad, satisfaciendo las necesidades energéticas de sus habitantes de acuerdo con los estándares requeridos.

El proyecto realizado por los autores está asociado con el proyecto en curso, debido a que aborda el montaje de transformadores, un elemento esencial en el diseño de la red eléctrica. Además, para la elaboración del plano, se lleva a cabo un levantamiento físico o cartográfico del área de diseño, lo cual proporciona información precisa y detallada.

6.1.3 Antecedentes Regionales

“Diseño eléctrico redes de media tensión para bombeo de agua de la empresa Aguas Kpital en el barrio el Salado”. La empresa Aguas Kpital ha identificado la necesidad de

mejorar el suministro de agua en el barrio El Salado mediante la implementación de redes de media tensión para el bombeo de agua. Para abordar esta situación, Jaya (2021) ha propuesto el proyecto titulado “Diseño eléctrico redes de media tensión para bombeo de agua de la empresa Aguas Kpital en el barrio el Salado”. El presente proyecto se enfoca en establecer una conexión en media tensión de nivel 2 en el nodo existente de la celda INSC91. Para lograr esto, se lleva a cabo la construcción de dos tramos y dos nodos de red en media tensión, destinados a alimentar un transformador con una potencia aparente de 112.5kVA a una relación de 13.2kV/440V. Este transformador estará conectado a un tablero de distribución mediante cable 4/0 AWG en baja tensión (BT), y la medición se realizará de manera indirecta.

La metodología implementada comprende la definición de parámetros de diseño, la elaboración del cuadro de cargas, la creación del diagrama unifilar, el cálculo de la acometida y el cumplimiento de los requisitos establecidos por la RETIE.

El estudio de Jaya (2021) aborda los requisitos establecidos por la RETIE, enfocándose en el análisis de carga. Este análisis incluye el cálculo de transformadores, determinación de distancias de seguridad, evaluación de regulación, estimación de pérdidas energéticas, y la planificación y coordinación de sistemas de protección y puesta a tierra.

“Diseño del sistema eléctrico para la urbanización los naranjos en el municipio de Arboledas del departamento Norte de Santander”. En muchos diseños de sistemas eléctricos, se han identificado deficiencias en áreas críticas como el cálculo de la demanda, el dimensionamiento de transformadores y el diseño de las redes de distribución. Para abordar esta problemática, Sánchez y Ruge (2019) ha propuesto un proyecto de grado titulado "Diseño del sistema eléctrico para la urbanización Los Naranjos en el municipio de Arboledas, ubicado en el departamento de Norte de Santander". Este proyecto tiene como objetivo principal abordar las

necesidades específicas de una urbanización conformada por 83 viviendas unifamiliares de interés social, y diseñar un sistema eléctrico eficiente y seguro que cumpla con las normativas y requisitos establecidos por el operador de red (CENS).

La metodología empleada por el autor comienza con la recolección de información relevante, seguida del cálculo de la demanda de energía, el diseño de la subestación, la planificación de la red de distribución en niveles de media y baja tensión, el diseño eléctrico de las instalaciones internas y, finalmente, la elaboración del presupuesto necesario para llevar a cabo la ejecución del proyecto.

El trabajo desarrollado por Sánchez y Ruge (2019) está vinculado con el proyecto en proceso, puesto que, plantea la proyección de la sumatoria de cargas para estimar el transformador a utilizar en el diseño de la subestación bajo la normatividad CENS.

6.2 Marco Teórico

6.2.1 *Sistema de distribución*

El sistema de distribución eléctrica engloba un conjunto de elementos que tienen la función de llevar la energía desde una subestación de potencia hasta el consumidor. En esencia, la distribución de energía eléctrica comprende las líneas primarias de distribución, los transformadores de distribución, las líneas secundarias de distribución y los puntos de conexión y medición del servicio eléctrico (Morón, 2009).

6.2.2 *Subestación de distribución*

Una subestación eléctrica se puede describir como un conjunto de equipos electrónicos interconectados que constituyen un sistema de potencia eléctrica. Se encarga de convertir, transformar, regular y distribuir la energía eléctrica (Gutiérrez y Mendoza, 2019).

6.2.2.1 Tipos de subestación. De acuerdo con su forma de instalación las subestaciones del SDL y STR de CENS (2023), se clasifican en:

- Subestaciones de patio de alta y extra alta tensión.
- Subestaciones de alta y extra alta tensión tipo interior o exterior encapsulada.
- Subestaciones de patio de distribución de media tensión.
- Subestaciones de patio híbridas de media y alta tensión.
- Subestaciones de distribución en media tensión.
- Subestaciones en interiores de edificaciones.
- Subestaciones tipo pedestal.
- Subestaciones sumergibles.
- Subestaciones semisumergibles.
- Subestaciones de distribución tipo poste.

6.2.3 *Subestaciones tipo poste*

Estos tipos de subestaciones son utilizados en áreas tanto rurales como urbanas, incluyendo entornos industriales y urbanizaciones, siempre y cuando el plan de ordenamiento territorial del municipio (POT) o los organismos responsables de la regulación del desarrollo urbano lo autoricen (CENS,2023).

6.2.3.1 **Generalidades.** Los montajes de subestaciones que involucren la instalación de transformadores en postes deben cumplir ciertos requisitos específicos:

- “Para subestaciones con transformador en poste sin encerramiento, se permite esta modalidad siempre y cuando la capacidad del transformador no supere los 250 kVA ni los 800 kgf de peso. Sin embargo, en el caso del SDL de CENS, la capacidad máxima permitida en redes de distribución es de 45 kVA. Si se requiere instalar capacidades mayores, se debe contar con una justificación adecuada y la aprobación correspondiente de CENS. Además, el montaje debe realizarse sobre sillas “(CENS,2023).
- “Los transformadores deben ser instalados en un solo poste que tenga una resistencia mínima de rotura de 1050 kgf. No obstante, se puede autorizar la instalación en postes de menor capacidad si se cuenta con un cálculo mecánico que demuestre la viabilidad y se cumple con lo establecido en el RETIE para estos casos” (CENS,2023).
- “En áreas urbanas, se recomienda evitar el uso de estructuras con doble poste para la instalación de transformadores, ya que generan un mayor impacto visual y pueden dificultar la movilidad” (CENS,2023).
- “Es necesario asegurar una conexión sólida a tierra tanto para el punto neutro del transformador como para su carcasa” (CENS,2023).

6.2.3.2 Equipo de protección. El operador de red (CENS) establece que la selección de los dispositivos de maniobra y protección necesarios en el punto de conexión del sistema eléctrico de CENS estará determinada por la capacidad de los equipos que resguarda, tal como se establece en el apartado 4.1.1 de la normativa vigente.

Por otro lado, estipula el uso en media tensión cortacircuitos para instalación a la intemperie y cumpliendo con las características mínimas establecidas en la especificación técnica ET-TD-ME05-06 CORTACIRCUITOS Y PORTAFUSIBLES, disponible en la página web de CENS.

Aunque, no está permitido abrir o cerrar cortacircuitos con carga, a menos que se utilice un dispositivo diseñado específicamente para extinguir el arco eléctrico.

6.2.3.3 Barrajes y puesta a tierra del neutro. De acuerdo con el operador de red se debe cumplir que en subestaciones aéreas el calibre de los bajantes de BT se seleccionará de acuerdo con la corriente nominal secundaria del transformador. Estos bajantes deberán tener terminales bimetálicos ponchados para la conexión con los bornes del transformador y mínimo dos (2) conectores (CENS,2023).

Además, se requerirá que los conductores de cobre utilizados para conectar a tierra el DPS y el neutro sean protegidos por un tubo metálico conductor con un diámetro mínimo de ½" hasta una altura de 3 metros sobre el suelo. No se permitirá realizar empalmes de ningún tipo en los cables de conexión a tierra (CENS,2023).

6.2.4 Características de operación de las subestaciones

- Flexibilidad: “propiedad de la instalación para acomodarse a las diferentes condiciones que se puedan presentar especialmente por cambios operativos en el sistema y, además, por contingencias y/o mantenimiento del mismo” (M.V. SA,2003).

- **Confiabilidad:** se refiere a su capacidad para suministrar energía durante un período determinado, incluso cuando uno de sus componentes está fuera de servicio. En otras palabras, cuando ocurre una falla en algún elemento de la subestación, como un interruptor o un barraje, se debe poder seguir suministrando energía después de realizar una operación interna, como la conmutación de seccionadores apropiados. Mientras se realiza la reparación o mantenimiento del elemento afectado.
- **Seguridad:** se refiere a su capacidad para mantener la continuidad del servicio de suministro de energía sin interrupciones, incluso durante fallos en los equipos de potencia, especialmente en los interruptores y barrajes. La seguridad está estrechamente relacionada con la confiabilidad, ya que implica garantizar la operación ininterrumpida y confiable de la instalación.

6.2.5 Elementos de una subestación eléctrica

En Colombia, las subestaciones convencionales son las más frecuentes y, por lo tanto, se consideran como el estándar de referencia (Alvarez,2011). En este tipo de subestaciones, además de contar con estructuras y soportes que facilitan la conexión y desconexión de líneas, se encuentran elementos principales, los cuales se describirán a continuación:

6.2.5.1 Equipos de patio. En una subestación convencional, uno de los componentes esenciales son los equipos de patio. Estos equipos se ubican en áreas al aire libre y desempeñan un papel crucial en el funcionamiento y la distribución eficiente de la energía eléctrica. Los equipos de patio suelen incluir una variedad de elementos, tales como:

- **Transformadores de potencia:** Son responsables de elevar o disminuir el voltaje de la corriente eléctrica, permitiendo su transporte eficiente a través de las líneas de transmisión. Estos transformadores son robustos y están diseñados para soportar altas

cargas de potencia.

- **Interruptores de potencia:** Son dispositivos de control que permiten la apertura y cierre del flujo de corriente en los circuitos eléctricos. Estos interruptores son esenciales para la protección de la subestación y la gestión de la energía durante situaciones de emergencia o mantenimiento.
- **Seccionadores:** Son dispositivos que se utilizan para la conexión y desconexión de circuitos eléctricos. Estos seccionadores permiten aislar secciones específicas de la subestación para realizar tareas de mantenimiento o reparación sin afectar el suministro de energía en otras partes.
- **Barras colectoras:** Son conductores de gran capacidad que permiten la interconexión de diferentes circuitos eléctricos en la subestación. Estas barras colectoras facilitan la transferencia de energía de un equipo a otro de manera eficiente y segura.
- **Transformadores auxiliares:** Son transformadores más pequeños que se utilizan para alimentar los sistemas auxiliares de la subestación, como las luces, los sistemas de control y las comunicaciones.

6.2.5.2 Equipos de tablero. En una subestación, los equipos de tablero desempeñan un papel crucial en la operación, protección y control del sistema eléctrico. Estos equipos se encuentran en salas o gabinetes cerrados, conocidos como tableros, y suelen agruparse en diferentes secciones según su función específica. Algunos de los equipos de tablero comunes en una subestación incluyen:

- **Interruptores de baja tensión:** Estos interruptores permiten controlar el flujo de energía en los circuitos de baja tensión. Se utilizan para conectar y desconectar cargas, así como para proteger los circuitos contra sobrecargas o cortocircuitos.

- **Interruptores de media tensión:** Son dispositivos similares a los interruptores de baja tensión, pero están diseñados para operar en niveles de voltaje más altos. Estos interruptores son esenciales para la protección y el control de los circuitos de media tensión dentro de la subestación.
- **Relés de protección:** Los relés de protección son dispositivos electrónicos que detectan condiciones anormales, como sobrecargas, cortocircuitos o fallas a tierra, y envían señales de disparo a los interruptores correspondientes para desconectar la parte afectada del sistema. Estos relés son fundamentales para garantizar la seguridad y protección del sistema eléctrico.
- **Controladores y sistemas de monitoreo:** Estos equipos se utilizan para monitorear y controlar el funcionamiento de la subestación. Incluyen paneles de control, pantallas, interfaces y sistemas de comunicación que permiten a los operadores supervisar y ajustar los parámetros del sistema en tiempo real.
- **Sistemas de comunicación:** En las subestaciones modernas, los equipos de tablero también incluyen sistemas de comunicación que permiten la transmisión de datos y señales entre la subestación y el centro de control. Estos sistemas son esenciales para la supervisión remota, el control a distancia y la gestión eficiente del sistema eléctrico.

6.2.5.3 Servicios auxiliares. Según Álvarez (2011) define los servicios auxiliares como un conjunto de instalaciones que abarcan las fuentes de alimentación de corriente continua y alterna, de baja tensión. Estas instalaciones son utilizadas para suministrar energía a los sistemas de control, protección, señalización, alarmas, iluminación y sistemas contra incendios.

6.2.6 Transformador

Los transformadores se definen como dispositivos encargados de transferir energía

eléctrica a través de un campo magnético (principio de inducción electromagnética) (Barrantes, 2011). Según Brenes y Rojas (2019), en los sistemas de distribución, los transformadores se utilizan para reducir los niveles de tensión de la energía eléctrica en un punto determinado. En la figura 1 se representa un transformador de potencia.

Figura 1

Transformador de potencia.

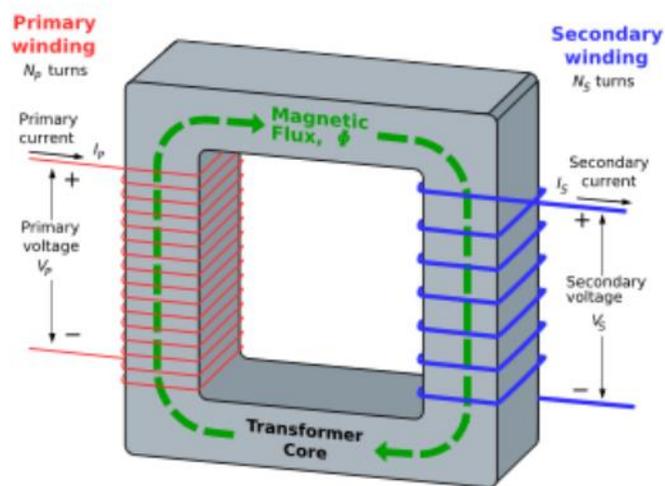


Nota. Adaptado de transformador de potencia, de L. Barrantes,2011. Diseño del sistema de protección y control de subestaciones eléctricas.

6.2.6.1 **Principio de funcionamiento del transformador.** El transformador se compone de un núcleo ferromagnético que establece el camino para el flujo magnético, y dos devanados que establecen el circuito eléctrico (González, 2009).

Figura 2

Circuito eléctrico de un transformador.



Nota. Adaptado de *circuito eléctrico de un transformador*, de A. González, 2009. Estudio de la acoplabilidad de transformadores de potencia.

En la figura 2 se visualiza el circuito eléctrico de un transformador, donde la corriente alterna ingresa al transformador a través del devanado primario con valores específicos de tensión y corriente, representados por V e I, y se emite desde el devanado secundario con valores diferentes, manteniendo la misma frecuencia. En el caso de un transformador reductor, el devanado primario tendrá una tensión mayor, mientras que el secundario tendrá una tensión menor. Por otro lado, en un transformador elevador, el devanado primario tendrá una tensión menor, mientras que el secundario tendrá una tensión mayor (González, 2009).

6.2.6.2 Clasificación de transformadores

6.2.6.2.1 Transformador de medida. Se refieren a aquellos dispositivos eléctricos diseñados específicamente para reducir los niveles elevados de tensión y/o corriente a valores aceptables, permitiendo así el funcionamiento adecuado de los equipos de medición y protección. Estos transformadores se consideran una representación proporcional de la magnitud eléctrica del sistema que se desea medir.

6.2.6.2.2 Transformador de potencial (PT). Son máquinas eléctricas generalmente monofásicas que se encargan de reducir la tensión de niveles del orden de Kilo Voltios (kV) a niveles de voltios (120,115 o 110V) Su conexión se realiza en paralelo al sistema (González, 2009).

6.2.6.2.3 Transformador de corriente (CT). Los transformadores de corriente son dispositivos utilizados en sistemas eléctricos para medir corrientes de alta intensidad de manera segura y precisa. Estos transformadores operan bajo el principio de inducción electromagnética y consisten en un núcleo ferromagnético y uno o varios devanados primarios y secundarios. El devanado primario se conecta en serie con el conductor por el cual fluye la corriente que se desea medir, mientras que el devanado secundario se conecta a los instrumentos de medición, como amperímetros o relés de protección.

6.2.6.2.4 Transformadores de potencia. El propósito de este dispositivo es alterar la energía eléctrica de corriente alterna, transformándola de un nivel de voltaje a otro nivel, ya sea más bajo o más alto, utilizando un campo magnético como mecanismo operativo. De manera que modifican la tensión y corriente de entrada para obtener una tensión y corriente de salida distintas.

Dependiendo de su ubicación, los transformadores pueden clasificarse como:

Según Harper (2011), los transformadores se pueden clasificar en términos de su construcción, ya sea como tipo interior o tipo intemperie, y su ubicación de montaje, ya sea en poste o en piso. Por otro lado, en cuanto a su método de enfriamiento, existen diferentes tipos, como el enfriamiento por aire (tipo seco), el enfriamiento por aceite y aire, y el enfriamiento por aceite y aire con circulación de aire forzado, tal como menciona González (2015).

6.2.7 Acometida eléctrica

De acuerdo con Martínez (2019), la acometida eléctrica se define como un conjunto de cables que se extienden desde la red de distribución eléctrica de la ciudad, suministrada por la empresa proveedora de servicios eléctricos, hasta alcanzar el punto principal de protección o medición de energía de un edificio o propiedad, donde los usuarios utilizarán la electricidad.

6.2.7.1 Tipos de acometidas

6.2.7.1.1 Acometida aérea. La acometida aérea se refiere al tipo de conexión eléctrica que se realiza utilizando cables y conductores aéreos. En este tipo de acometida, los cables se encuentran suspendidos en postes o torres, y se extienden desde la red de distribución de la empresa suministradora hasta el punto de entrada de la propiedad o edificación donde se utilizará la energía eléctrica (Martínez, 2019).

6.2.7.1.2 Acometida subterránea. La acometida subterránea es un tipo de conexión eléctrica en la cual los cables y conductores se instalan bajo tierra, desde la red de distribución hasta el punto de entrada de una propiedad o edificación (Martínez, 2019).

6.2.8 Sistema de puesta a tierra

De acuerdo con Toro y Villa (2018), el sistema de puesta a tierra es un conjunto de elementos conductores que tienen como objetivo principal proporcionar una vía segura para la

disipación de cargas eléctricas hacia el suelo. Estas cargas pueden ser generadas por fenómenos como los rayos, anomalías en el sistema eléctrico o electricidad estática.

El sistema de puesta a tierra tiene la responsabilidad de disminuir las tensiones que se acumulan en los objetos metálicos debido a inducciones eléctricas. Su función es esencial para asegurar la seguridad de las instalaciones eléctricas y prevenir posibles peligros relacionados con descargas eléctricas.

Según lo establecido por el Ministerio de Minas (2013), todas las instalaciones eléctricas que están sujetas al cumplimiento del RETIE deben contar obligatoriamente con un Sistema de Puesta a Tierra (SPT). Esto es necesario para evitar que las personas que tengan contacto con dichas instalaciones, tanto en interiores como exteriores, estén expuestas a tensiones de paso, contacto o transferencia que superen los límites de tolerancia del cuerpo humano en caso de producirse una falla. Comprende electrodos, conexiones y cables enterrados (Lòpez,2021)

6.2.9 Diagrama unifilar

El diagrama unifilar, según la definición de Barrios y Romero (2013), es una representación gráfica de una instalación eléctrica o de una parte específica de la misma. A diferencia de otros tipos de esquemas eléctricos, en el diagrama unifilar se utiliza una única línea para representar el conjunto de conductores de un circuito, sin importar la cantidad de dichos conductores. Por lo general, el diagrama unifilar sigue una estructura de árbol, proporcionando una visualización clara y concisa de la interconexión de los componentes eléctricos.

6.2.10 Cuadro de carga

Según Barrios y Romero (2013), el cuadro de cargas proporciona una visión clara, amplia y rápida del circuito de una instalación eléctrica para aquellos que interpreten el plano eléctrico. En este cuadro, se identifica el número de circuito junto con una descripción de los lugares que

abarca. También se especifica el tipo de carga (como luminarias, toma general o toma especial) y la cantidad de cada circuito. Esta información permite tener una comprensión precisa y detallada de la distribución de las cargas en la instalación eléctrica.

6.3 Marco Legal

6.3.1 Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE)

El RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) es una normativa colombiana que establece los requisitos técnicos y de seguridad para la construcción, instalación, operación y mantenimiento de las instalaciones eléctricas en el país.

El proceso de distribución eléctrica requiere cumplir con requisitos específicos. Según este reglamento, se considera una instalación eléctrica de distribución a todo conjunto de equipos y circuitos relacionados que se encargan del transporte y transformación de energía eléctrica, con tensiones nominales iguales o superiores a 110 V y menores a 57,5 kV (Quintero, 2013).

6.3.1.1 **Artículo 1.** Según el artículo número 1 del Reglamento de Instalaciones Eléctricas (RETIE), “se deben satisfacer los requisitos impuestos al momento de realizar una instalación eléctrica, con el fin de garantizar la seguridad de las personas, la protección de la vida animal y vegetal y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico”.

6.3.1.2 **Artículo 6.** De acuerdo al artículo 6 del Reglamento de Instalaciones Eléctricas (RETIE), titulado "Simbología y señalización comunes en instalaciones eléctricas", se establece la obligación prioritaria de utilizar símbolos gráficos, señalización y un código de colores para los conductores, los cuales deben ser tomados de las normas unificadas IEC 60617, ANSI Y32, CSA Z99e IEEE 315, ya que están estrechamente relacionados con la seguridad eléctrica. En caso de requerir otros símbolos, se podrán utilizar aquellos especificados en las normas mencionadas anteriormente.

6.3.1.3 **Artículo 22.** Según el artículo 22 del Reglamento de Instalaciones Eléctricas (RETIE), que aborda las preinscripciones generales de las líneas de transmisión, se establece que todas las líneas de transmisión incluidas en el ámbito de aplicación del RETIE deben contar con diseños eléctricos, mecánicos y de obras civiles que cumplan con los niveles de confiabilidad exigidos por la regulación correspondiente a cada tipo de línea. El diseño integral de estas líneas requiere un enfoque multidisciplinario, y los profesionales involucrados deben identificarse con su nombre, número de matrícula profesional y firmar los documentos correspondientes (Loya, 2012).

6.3.1.4 Artículo 23. De acuerdo con el artículo 23 del Reglamento de Instalaciones Eléctricas, titulado "Aspectos generales de las subestaciones", se establece que el proceso de transformación se refiere a la aplicación en las subestaciones. En este sentido, se debe realizar una distinción entre los diferentes tipos de subestaciones según su uso, nivel de tensión y potencia que manejen. Es responsabilidad del propietario de la subestación o de las unidades constructivas que componen la subestación garantizar el cumplimiento del RETIE en lo que les corresponda.

6.3.1.5 Artículo 24. El artículo 24 del Reglamento de Instalaciones Eléctricas (RETIE), titulado "Requisitos específicos según el tipo de subestación", establece que las subestaciones, ya sea que pertenezcan a un Operador de Red o a uno o varios usuarios, deben cumplir con lo establecido en la sección 450 de la norma NTC 2050. Además, deberán cumplir con los requisitos adicionales que les sean aplicables, los cuales han sido adoptados de acuerdo a la norma IEC 62271-200.

6.3.1.6 Artículo 35. El artículo 35 del Reglamento de Instalaciones Eléctricas (RETIE), titulado "Requisitos de inspección de las instalaciones eléctricas", establece que la inspección de una instalación eléctrica comprende el examen y la verificación de su funcionalidad, así como la evaluación de su conformidad con los requisitos establecidos en el RETIE. Para llevar a cabo la inspección, es necesario que la instalación esté completamente terminada y en funcionamiento.

6.3.2 Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050)

Al diseñar el sistema de distribución de energía eléctrica en una ladrillera, es fundamental tener en cuenta las disposiciones del Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050). Esta normativa establece criterios para el cálculo de cargas, selección de conductores, dimensionamiento de

equipos, sistemas de puesta a tierra y requisitos de instalación. Además, aborda aspectos de eficiencia energética que pueden ser relevantes para optimizar el consumo de energía en la ladrillera. Siguiendo las pautas de la NTC 2050, se garantizará un diseño seguro y eficiente del sistema de distribución eléctrica, acorde con las regulaciones colombianas.

6.3.3 Normatividad del operador de red CENS (CNS-NT-04)

6.3.3.1 Capítulo 4: Subestaciones. Según la normatividad de CENS (Centrales Eléctricas de Norte de Santander), en las subestaciones y cuartos eléctricos de media y baja tensión, se requiere disponer de puertas o espacios adecuados para la entrada y salida de equipos, ya sea para su montaje inicial o reposiciones posteriores. El ancho del ala de las puertas de acceso al área de trabajo no debe ser inferior a 90 cm. En los cuartos que albergan transformadores de media tensión, las alas de las puertas deben abrir hacia afuera y estar equipadas con cerraduras antipánico, sin importar la potencia ni los equipos alojados en ellos.

Adicionalmente, todas las subestaciones deben contar con protecciones contra sobrecorriente y sobretensión. En los circuitos protegidos por fusibles, la capacidad máxima de los fusibles debe ser determinada mediante un estudio de coordinación de protecciones, garantizando así la adecuada protección del transformador y la capacidad de desenergizar el circuito cuando sea necesario. Estas medidas se establecen con el fin de asegurar la seguridad y el correcto funcionamiento de las instalaciones eléctricas.

6.3.4 Comisión de regulación de energía y gas (CREG)

La CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas) es la entidad encargada de la regulación y supervisión del sector eléctrico y de gas natural en Colombia. En el contexto del diseño de un sistema de distribución de energía eléctrica para una ladrillera, la CREG desempeña un papel fundamental. Esta entidad establece los requisitos y procedimientos necesarios para la

conexión de la ladrillera a la red eléctrica, incluyendo trámites, condiciones técnicas y aspectos económicos que deben cumplirse. Además, la CREG define parámetros y normas de calidad de la energía eléctrica, abarcando aspectos como niveles de tensión, armónicos y fluctuaciones. Por lo tanto, el diseño del sistema de distribución debe asegurar el cumplimiento de estas normativas con el objetivo de garantizar una energía confiable y de alta calidad para la operación de la ladrillera.

6.3.5 Diseño gráfico de planos eléctricos

En la actualidad, existen múltiples normas vigentes que establecen los procedimientos necesarios para la preparación de la documentación electrotécnica. Estas normas promueven el uso de símbolos gráficos, así como reglas numéricas o alfanuméricas, que deben ser empleados para identificar los dispositivos, diseñar los esquemas y ensamblar los cuadros o equipos eléctricos.

6.3.5.1 IEEE 315. (Símbolos gráficos para diagramas eléctricos y electrónicos): Esta norma incluye una amplia variedad de símbolos gráficos utilizados en la representación de diagramas eléctricos y electrónicos.

6.3.5.2 ANSY Y32. (Estándar Nacional Americano de Símbolos Gráficos para Diagramas de Cableado y Diseños de Distribución Eléctrica Utilizados en Arquitectura y Construcción de Edificios): Esta norma establece los símbolos gráficos utilizados específicamente en diagramas de cableado y diseños de distribución eléctrica en la arquitectura y construcción de edificios.

6.3.5.3 IEC 60617. (Símbolos gráficos para diagramas): Esta norma proporciona una amplia gama de símbolos gráficos utilizados en la representación de diagramas eléctricos y electrónicos, siguiendo las pautas establecidas por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).

7 Diseño Metodológico

A continuación, se presenta la descripción de la metodología implementada en el proyecto para alcanzar los objetivos establecidos:

7.1 Actividades y Metodologías

Objetivo 1. Diseñar la subestación eléctrica de media a baja tensión de acuerdo con las cargas establecidas en los censos realizados en la ladrillera "Arcillas, La Belencita".

Actividad.

- Realizar un censo de cargas en la ladrillera.

Metodología.

Mediante la recopilación de datos técnicos de los equipos previstos para el proceso de fabricación y operación de la ladrillera, se obtuvo la información necesaria para caracterizar de manera precisa y completa las cargas correspondientes.

Actividad.

- Determinar el tipo de subestación a diseñar de acuerdo a las normativas vigentes, requerimiento del cliente y viabilidad del diseño.

Metodología.

Para la elaboración de los planos de la subestación, se aplicaron las normas NTC 2050, RETIE y las guías del operador de red EPM RA6-011, RA8-012, RA8-013, RA8-014, RA8-030, RA8-035. Estas normas y guías proporcionaron el conjunto de requisitos y disposiciones generales necesarios para el diseño y construcción de subestaciones eléctricas interiores de media tensión.

Objetivo 2. Establecer el diseño del sistema de electrificación de media y baja tensión de las redes, que incluye el cálculo y dimensionamiento de conductores, la regulación de la

caída de tensión, el dimensionamiento de los sistemas mecánicos de soporte de conductores y el soporte mecánico de la subestación, para la ladrillera "Arcillas, La Belencita".

Actividad.

- Determinar puntos de conexión, ubicación de la subestación y tableros de distribución, Para establecer distancias de conductores y realizar cálculos regulación de caídas de tensión apoyados en la carga.

Metodología.

Según la normatividad del operador de red y el RETIE, se estableció el tipo de subestación a utilizar, la ubicación de la subestación, los elementos necesarios para su funcionamiento y se realizaron los cálculos de caídas de tensión apoyados en las cargas, además de instalar los respectivos tableros de distribución.

Actividad.

- Realizar cálculos del sistema mecánicos de soportes de conductores y soporte mecánicos de subestación.

Metodología.

Para llevar a cabo los cálculos de los sistemas mecánicos de soporte de conductores, se tuvieron en cuenta los códigos y normas establecidos en Colombia, los cuales fueron aplicados en la elaboración de dichos cálculos.

Objetivo 3. Diseñar el tablero de distribución, coordinación de protecciones y sistema de puesta a tierra.

Actividad.

- Determinar los requerimientos a utilizar para la realización del tablero de distribución por medio del cuadro de cargas.

Metodología.

En el cuadro de cargas se incluyó un resumen de las cargas eléctricas generales del proyecto, donde se detallaron los transformadores y su potencia, la potencia total del proyecto, el porcentaje de carga del transformador y el porcentaje de regulación. Se proporcionaron todos los datos necesarios del diagrama unifilar y se especificó el tipo de carga en la parte superior del cuadro.

Actividad.

- Realizar la coordinación de protecciones y sistema de puesta a tierra

Metodología.

Se investigó la documentación, como manuales y fichas técnicas, de cada equipo para conocer sus parámetros, de modo que se pudieran establecer los niveles de tensión necesarios para la coordinación de protecciones en la ladrillera y, a su vez, para su sistema de puesta a tierra.

Objetivo 4. Calcular costos y presupuestos de cantidades de materiales necesarios para una futura ejecución del proyecto.

Actividad.

- Establecer una estimación de costos para el proyecto

Metodología.

Para llevar a cabo una estimación temporal y calcular los costos asociados al proyecto, se inició creando una lista de tareas y acciones necesarias. En dicha estimación se tuvieron en cuenta los costos laborales internos, los costos de mano de obra y los materiales requeridos para la ejecución del proyecto.

8 Resultados

8.1 Realizar un censo de cargas en la ladrillera

En primer lugar, se procedió a la identificación de los dispositivos que consumen energía eléctrica en el sistema a diseñar, incluyendo equipos, motores e iluminación ubicados en la ladrillera.

Al realizar el censo de las cargas que se conectarán a la instalación eléctrica en la ladrillera, se considerarán los siguientes parámetros:

8.1.1 *Luminarias*

La recopilación de información relacionada con la iluminación se llevó a cabo siguiendo el siguiente procedimiento:

- Se identificaron las luminarias, incluyendo su tipo y potencia.
- Se identificaron los circuitos asociados a las luminarias.

8.1.2 *Tomacorrientes*

La revisión de los tomacorrientes abarca los siguientes aspectos:

- Identificación del tipo de tomacorrientes (sin regulación, regulado, bifásico o trifásico).
- Identificación de las cargas conectadas a los tomacorrientes (computadoras, equipos, etc.).
- Identificación de los paneles de distribución asociados a los tomacorrientes.

8.1.3 *Acondicionamiento térmico*

Se identifican los parámetros de los equipos encargados de acondicionar el área:

- Potencia del sistema de acondicionamiento térmico.
- Sistema de control del sistema de acondicionamiento térmico (Interruptores, breakers

o tablero de distribución).

8.1.4 Motores

Para obtener la información pertinente acerca de los motores, se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- Se identificó la potencia, el factor de potencia y la corriente nominal de cada motor.
- Se determinó el circuito al que estarían asignados.

Los motores considerados en el análisis son los siguientes:

- Motor 1:

El molino RCM-TRI-50 cuenta con una potencia de motor de 37 kW/50HP y tiene una capacidad de producción de entre 600 a 700 kg/h. Además, su peso es de 1,875 kg.

- Motor 2: Extrusora

La extrusora tiene una potencia de motor de 40HP.

- Motor 3:

La bomba de vacío para extrusora tiene una potencia que varía entre 1.5 a 10HP.

- Motor 4: Banda 1

El motor de la banda 1 tiene una potencia de 10HP.

- Motor 5: Banda 2

El motor de la banda 1 tiene una potencia de 5HP.

- Motor 6: Banda 3

El motor de la banda 1 tiene una potencia de 5HP.

8.1.5 Protecciones

Se llevó a cabo una inspección de las protecciones relacionadas con las cargas y los

bloques, la cual abarcó lo siguiente:

- Descripción técnica de las protecciones (si fue posible identificarlas).
- Identificación de las cargas asociadas a las protecciones.

Posteriormente, se registraron los parámetros más relevantes de cada dispositivo en la Tabla 3. Estos parámetros incluyeron la potencia nominal, el voltaje de operación, la corriente nominal, el factor de potencia, entre otras.

De acuerdo con la norma CENS ítem 2.9 Pág. 25/68, Tabla 25, para cargas especiales, la demanda máxima diversificada se calcula de la siguiente manera:

- Sumar todas las cargas al 100% como se muestra en los cuadros de carga, según el numeral 4.
- La Demanda Máxima Total (DMT) es igual a la suma total de las cargas, resultando en 117189 VA.
- La Demanda Máxima Total Diversificada también es 117189 VA.

Por lo tanto, la DMT será de 150 KVA.

Estos cálculos se realizan siguiendo las pautas establecidas en la norma para asegurar la correcta determinación de la Demanda Máxima Diversificada.

Tabla 1*Cuadro de cargas del tablero general 1.*

Circuito	Carga	Especial	Potencia (W)	Potencia (VA)	P (R)	P (S)	P (T)	Conduc.	Protec.
1,2,5	Tablero de distribución (TD)	1	90000	112500	37285	37285	37285	4/0 AWG	3 X 150A
	Total	1	90000	112500	37285	37285	37285	4/0 AWG	3 X 150 A

Nota. Se determinan 3 circuitos, calibre de conductores y protecciones para el primer tablero general. Fuente: Autor.

Tabla 2*Cuadro de cargas del tablero general 2.*

Carga	Circuito	Tomas 180 W	Tomas Especial	Lum (40 W)	Potencia (W)	Fp	Potencia (VA)	Inom (A)	Protec.	Conduc.
Luminarias caseta	1			1	40	0,90	44	0,3	1 x 20A	12 AWG
Tomas caseta	3	1			180	0,90	200	1,6	1 x 20A	12 AWG
Tomas trifásicas	4		1		4000	0,90	4444	11,7	3 x 20A	12 AWG
Reserva										
	TG	1	1	1	4220	0,90	4689	12,3	3 X 40A	8 AWG

Nota. Se tiene en cuenta parámetros como factor de potencia, corriente nominal, circuitos para realizar el cuadro de cargas del tablero general 2. Fuente: Autor.

Tabla 3*Cuadro de cargas total.*

Carga	Potencia (VA)	P(A)	P(B)	P(C)	Conduc.	Protec.
Tablero general 1 (TG1)	112500	3750 0	3750 0	37500, 0	4/0 AWG	3 x200A
Tablero general 2 (TG2)	4689	1563	1563	1563,0	8 AWG	3 x 40A
Total	117189	3906 3	3906 3	39063, 0	4/0 AWG CU	

Nota. El tablero general 1 consume mayor potencia, por ello requiere una protección con mayor capacidad de corriente en comparación con el tablero general 2. Fuente: Autor.

Tabla 4*Cuadro de cargas del tablero de distribución.*

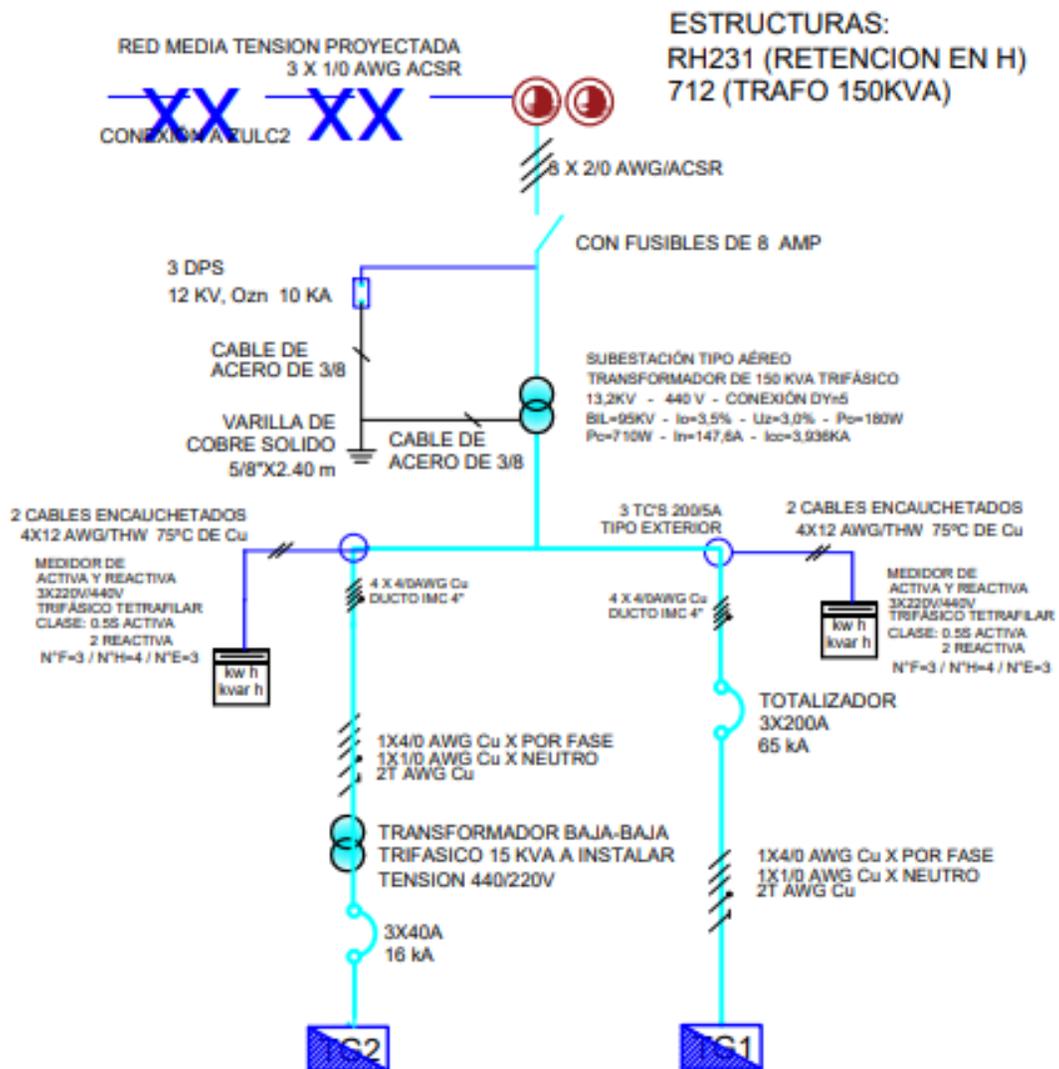
Circuito	Motor hp	Especial	Fp	Potencia (W)	Potencia (VA)	I nom (A)	P (por fase)	Conduc.	Protec.
1,2,3	50	1	0,8	37285	46606,3	61,2	15535,4	4 AWG	3 X 100A
4,5,6	40	1	0,8	29828	37285,0	48,9	12428,3	6 AWG	3 X 70A
7,8,9	10	1	0,8	7457	9321,3	12,2	3107,1	12 AWG	3 X 20A
10,11,12	10	1	0,8	7457	9321,3	12,2	3107,1	12 AWG	3 X 20A
13,14,15	5	1	0,8	3728,5	4660,6	6,1	1553,5	12 AWG	3 X 20A
16,17,18	5	1	0,8	3728,5	4660,6	6,1	1553,5	12 AWG	3 X 20A
Total		6	0,8	89484	111855,0	146,8	37285,0	4/0 AWG	3 x 150 A

Nota. Se presenta un factor de potencia común de 0.8. Fuente: Autor.

Con base en la información recopilada en el censo de cargas, se representa de manera precisa la distribución de la carga eléctrica del sistema en un plano que cumple con las especificaciones establecidas para la creación de diagramas unifilares, como IEEE 315, ANSI Y32 e IEC 60617 (Figura 3 y 4). El diagrama unifilar se elaboró utilizando el software de diseño CAD (Computer Aided Design) AutoCAD en su versión 2023, siguiendo las normas mencionadas.

Figura 3

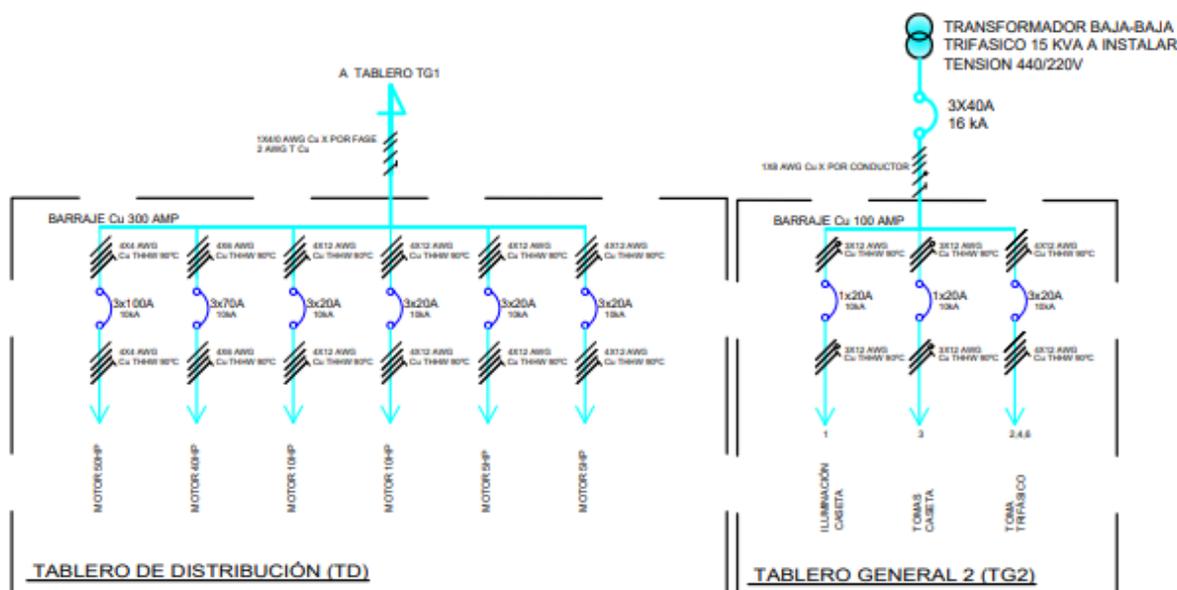
Diagrama unifilar principal.



Nota. El diagrama unifilar se elaboró en el software de AutoCAD.Fuente: Autor

Figura 4

Diagrama unifilar sub.



Nota. El diagrama unifilar se elaboró en el software de AutoCAD. Fuente: Autor

8.2 Determinar el tipo de subestación a diseñar de acuerdo a las normativas vigentes, requerimiento del cliente y viabilidad del diseño.

Para determinar el tipo de subestación a diseñar, se toma en consideración, principalmente, el transformador que se utilizará. Los tipos de transformadores más comunes son el "Pad Mounted" y el Convencional. A continuación, en la Tabla 5, se comparan las características del transformador convencional con el transformador "Pad Mounted", con el propósito de seleccionar el más adecuado para el proyecto.

Tabla 5

Comparación entre las características del transformador convencional y el transformador Pad Mounted.

Características	Transformador convencional	Transformador Pad-Mounted
Ubicación	Montado en postes o torres elevadas.	Instalado en una plataforma en el suelo.
Espacio	Requiere más espacio en altura.	Requiere menos espacio en altura.
Costo	Puede ser más económico dependiendo del proyecto.	Puede ser más costoso debido a su diseño y características específicas.
Proceso de instalación	Requiere trabajos de cimentación y postes.	Requiere excavaciones y plataforma de instalación.
Carga y capacidad	Aplicable en diversas capacidades de carga. Se encuentra en potencias más altas.	Aplicable en diversas capacidades de carga. Se usa en distribución de baja y media potencia.

Fuente: Autor.

Con base en la información de la tabla 5, la opción elegida es el transformador convencional, debido a su montaje en poste, lo que lo convierte en una alternativa más económica.

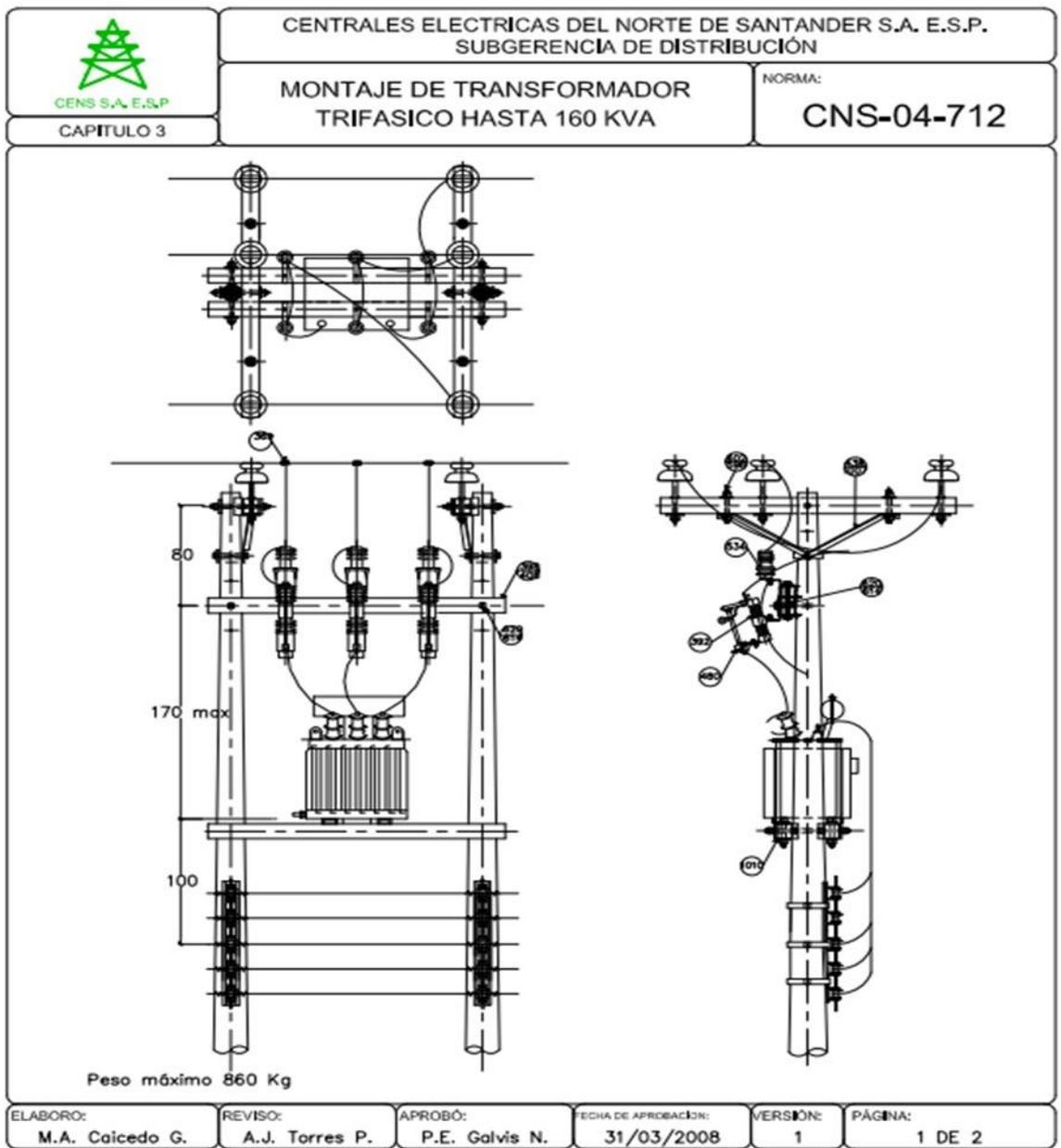
En cumplimiento de la normativa actual, se ha decidido utilizar una subestación tipo poste

con la estructura CNS-04-712, como se muestra en la figura 5. Esta elección se basa en las ventajas que ofrece en términos de flexibilidad de ubicación y facilidad de instalación en comparación con las subestaciones tipo pedestal. Además, el montaje y la puesta en servicio de esta subestación requieren menos recursos y tiempo en comparación con las alternativas convencionales. También es importante destacar que este tipo de subestación genera un menor impacto ambiental, ya que implica menos excavación y alteración del terreno.

La subestación tipo poste estará equipada con un transformador trifásico de 150 kVA, seleccionado de acuerdo con los requisitos establecidos para la estructura. Este transformador tiene la capacidad de convertir el voltaje de 13200V a 440V, lo que resulta en una opción más económica debido a la reducción del consumo de corriente de los motores y, en consecuencia, disminuirá los costos energéticos. Así, se establecerá un nivel de tensión de 440V para la distribución de baja tensión (BT) y proporcionará una salida de 220V.

La conexión del transformador se llevará a cabo en configuración FFFN (Fase-Fase-Fase-Neutro), garantizando una distribución equilibrada de la carga eléctrica y un funcionamiento eficiente en el sistema de distribución.

Figura 5
Montaje del transformador trifásico en una subestación tipo poste



Nota. Adaptado de la Norma Técnica de CENS, subestaciones, capítulo 4. Fuente: CENS, 2023.

Por otro lado, la selección del tipo de medida se basa en el conocimiento de las

características de los tres tipos disponibles: directa, semidirecta e indirecta, los cuales se detallan en la tabla 6.

Tabla 6

Características de los tipos de medidas.

Características	Medida directa	Medida indirecta	Medida semidirecta
Definición	Se obtiene directamente del instrumento de medición.	Se obtiene mediante cálculos y comparaciones con valores conocidos.	Combina elementos de la medición directa e indirecta.
Precisión	Alta.	Puede ser afectada por errores de calibración o cálculo.	Depende de la precisión de los instrumentos utilizados.
Costo	Puede ser más económica	Puede requerir equipos adicionales.	Puede variar según los elementos utilizados.
Instrumentos utilizados		Necesita un medidor tanto para energía activa como la reactiva, así como un transformador de corriente para cada una de las fases.	medidor de energía activa y/o reactiva) y un transformador de corriente para cada una de las fases que suministran energía a la carga.

Nota. La información fue suministrada del capítulo 6 de la normatividad CENS. Fuente: Autor.

Teniendo en cuenta la tabla 6, se opta por seleccionar 2 cuentas semidirectas, ya que los equipos necesarios para este tipo de medición son económicos y están disponibles a nivel comercial.

Además, es importante considerar las distancias mínimas de seguridad en áreas donde existen construcciones, ya que estas medidas deben aplicarse en las zonas energizadas de dichas estructuras. Las distancias se encuentran en la tabla 7.

Tabla 7

Distancias mínimas de seguridad en zonas con construcción.

Descripción	Tensión nominal entre fases (kV)	Distancia (m)
Distancia vertical “a” sobre techos y proyecciones, aplicable solamente a zonas de muy difícil acceso a personas y siempre que el propietario o tenedor de la instalación eléctrica tenga absoluto control tanto de la instalación como de la edificación (Figura 13.1).	44/34,5/33	3,8
	13,8/13,2/11,4/7,6	3,8
	<1	0,45
Distancia horizontal “b” a muros, balcones, salientes, ventanas y diferentes áreas independientemente de la facilidad de accesibilidad de personas. (Figura 13.1).	66/57,5	2,5
	44/34,5/33	2,3
	13,8/13,2/11,4/7,6	2,3
	<1	1,7

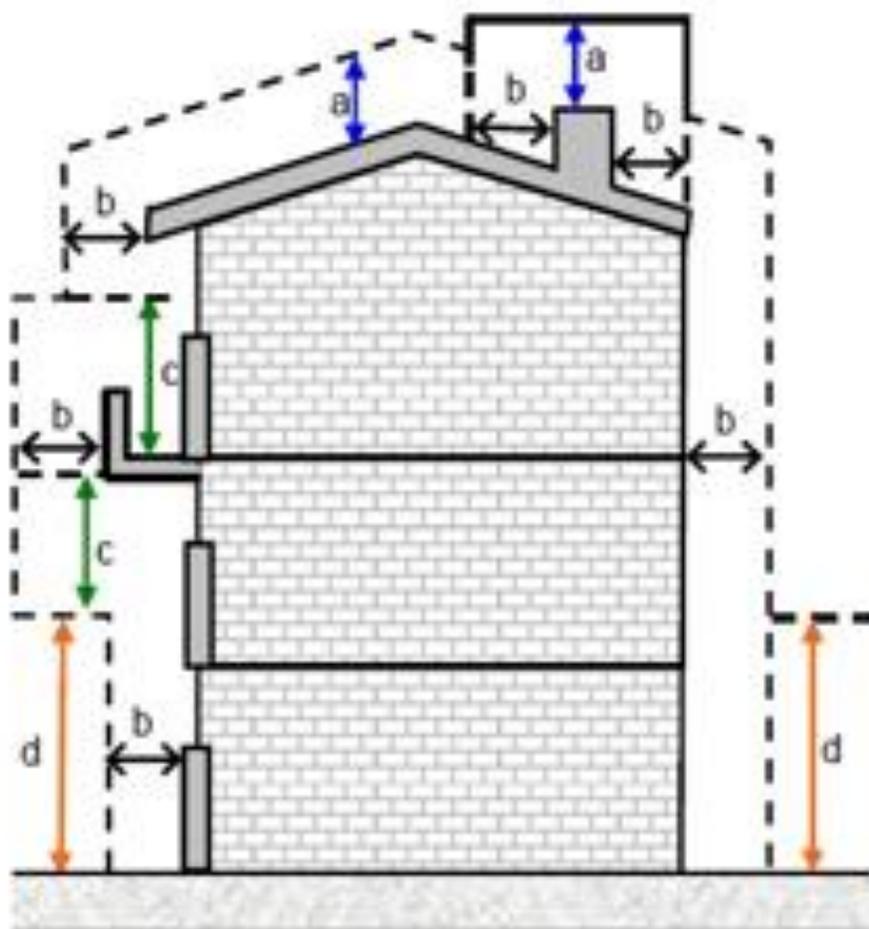
Distancia vertical “c” sobre o debajo de balcones o techos de fácil acceso a personas, y sobre techos accesibles a vehículos de máximo 2,45m de altura. (Figura 13.1).	44/34,5/33	4,1
	13,8/13,2/11,4/7,6	4,1
	<1	3,5
Distancia vertical “d” a carreteras, calles, callejones, zonas peatonales, áreas sujetas a tráfico vehicular para vehicular de mas de 2,45 m de altura. (Figura 13.1).	115/110	6,1
	66/57,5	5,8
	44/34,5/33	5,6
	13,8/13,2/11,4/7,6	5,6
	<1	5

Nota. Para ser interpretado se requiere tener en cuenta la figura 13.1 de la normatividad vigente.

Fuente: RETIE,2015.

Figura 6

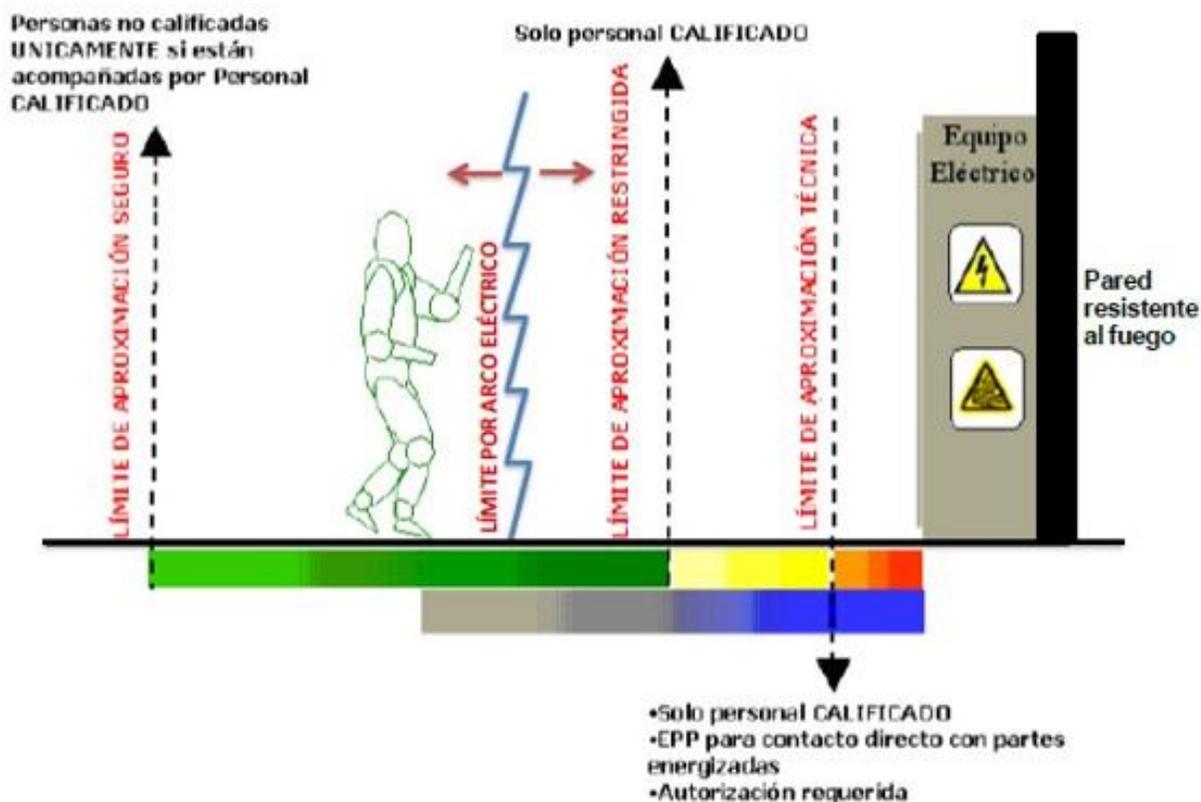
Distancias de seguridad en zonas con construcciones.



Nota. Figura adaptada de la normativa RETIE. Fuente: RETIE, 2015.

Figura 7

Límites de aproximación.



Nota. Adaptado del anexo general de reglamento técnico de instalaciones eléctricas-RETIE,2015.

Por otra parte, se utilizará un tubo metálico galvanizado IMC de 4" (pulgadas) como ducto para la acometida principal, cuya elección se basa en la información proporcionada en la tabla 37 del ítem 11.7.2 de la norma CENS, que especifica el máximo número de conductores permitidos en un ducto metálico.

En cuanto a los alimentadores de tablero, se emplearán ductos de 3" en PVC y de 1" en PVC. Para los circuitos ramales del tablero, se utilizarán ductos de 1/2" y 3/4" en PVC. Estas

decisiones se tomaron considerando las recomendaciones y especificaciones de la norma para asegurar la correcta capacidad y distribución de los conductores eléctricos.

8.3 Determinar puntos de conexión, ubicación de la subestación y tableros de distribución, para establecer distancias de conductores y realizar cálculos regulación de caídas de tensión apoyados en la carga.

Durante la etapa de construcción, según Álvarez (2019) el replanteo implica marcar con precisión y ubicar adecuadamente los elementos arquitectónicos requeridos antes de iniciar la construcción de la obra. Esta tarea, que requiere un alto grado de precisión, será llevada a cabo por operarios especializados debido a la importancia de su cuidado y exactitud en el proceso.

Se utilizará el replanteo artesanal, el cual se basa en los principios básicos de geometría y ofrece la ventaja clave de una ejecución precisa. Por esta razón, se llevó a cabo una visita previa al lugar donde transcurren las redes de media tensión de 13,2 y 34,5 kV, con la asistencia y experiencia del ingeniero electromecánico Roni Mauricio Jaya Camacho. Durante esta visita, se tomó la decisión de establecer el punto de conexión en el nivel 2 (13,2 kv) de la media tensión en el nodo existente llamado "zulc2". Asimismo, se identificó el tipo de estructuras presentes en el lugar, y se consideró la necesidad de solicitar permiso de las autoridades viales debido a que una carretera nacional atraviesa la zona.

Con el fin de definir la ruta adecuada, se tomaron medidas para obtener los permisos correspondientes de los propietarios de las fincas por donde se requiere el paso de las instalaciones eléctricas, garantizando que no se vean afectados y que se respeten los puntos de referencia necesarios. Todo esto se lleva a cabo para asegurar una implementación óptima y sin contratiempos en el proyecto.

Por otro lado, el proyecto se encuentra ubicado en el municipio de El Zulia, en el departamento de Norte de Santander, específicamente en el predio situado en la Vereda La Alejandra, cuyas coordenadas geográficas son $7^{\circ}57'13.2''N$ y $72^{\circ}36'22.6''W$, se visualiza en la figura 8.

Figura 8

Imagen satelital de la ubicación de la subestación.



Nota. La imagen se obtuvo a partir del software Google Maps y se realizó el trazado utilizando AutoCAD. Fuente: Autor

Además, se realizó la conexión en media tensión nivel 2 (13,2 kv) en el nodo existente de la celda ZULC2. También se llevó a cabo la construcción de tramos y nodos de red en media tensión para suministrar energía a un nuevo transformador trifásico de 150KVA, con una capacidad de conversión de voltaje de 13200V a 440V. Este transformador proporcionará energía a un gabinete utilizando cable 4/0 AWG Cu en baja tensión (BT). Además, se instalarán dos nuevas cuentas trifásicas con mediciones semidirectas.

Tabla 8*Acometida de media tensión.*

Acometida media tensión	
Calibre utilizado No ACSR 2/0 AWG	
Nivel de tensión (kV)	13200
Carga (kVA)	150
Fp	0,9
Corriente ($i = s/vl$)(A)	6,56
Longitud (metros)	388
Momento	58200
Kg (Tabla 28 norma CENS)	30,36
Factor de corrección (numeral 11.4.5 norma CENS)	1
%R = $fc * (kg/vl*vl) * m$	0,3679
%R < 1	Cumple
R (TABLA 14 NORMA CENS)	0,256
%PL = $((r * M) / ((VL*VL) * COS \phi)) * FC * 100$	0
%P < 1	Cumple

Fuente: Autor.

Procedimiento:

Para calcular el valor necesario en el circuito, se considera la ecuación 1 para el corriente nominal primario (i_{n1}):

$$i_{n1} = \frac{S}{v_1} \quad (1)$$

Sustituyendo los valores, se obtiene:

$$i_{n1} = \frac{150000}{\sqrt{3} \times 13200} = 6,56A$$

A continuación, se halla el valor del momento haciendo uso de la ecuación 2.

$$M = kva \times m \quad (2)$$

Sustituyendo los valores, se obtiene:

$$M = 150 \times 388 = 58200$$

Para determinar cuánto varía la tensión en un sistema con respecto a una referencia, se utiliza la ecuación 3 de regulación de tensión en porcentaje:

$$R\% = F_C \frac{K_G}{V_L^2} M \quad (3)$$

Sustituyendo los valores, se obtiene:

$$R\% = 1x \frac{30,36}{(13200)^2} \times 58200 = 0,3679$$

Para evaluar la eficiencia de un sistema y comprender cuánta potencia se disipa, recurrimos a la ecuación de pérdidas máximas de potencia en porcentaje:

$$PL\% = \frac{rM}{V_L^2 \cos \phi} \times 100 \quad (4)$$

Sustituyendo los valores, se obtiene:

$$PL\% = \frac{(0,256)(58200)}{(13200^2) \times 0.90} \times 100 = 0$$

Tabla 9*Cálculo de acometida de baja tensión para el tablero de motores*

Cálculo acometido de baja tensión

Tipo de Red	Trifásico tretrafililar (FFFN)
Nivel de tensión (V)	440
Carga Máxima instalada (KVA)	150
Factor de Potencia	0,9
Corriente calculada	146,8 A
Longitud (metros)	70
Momento (KVA – m)	10500
Conductor escogido	4/0 AWG
Corriente conductor escogido (Tabla 8 normas CENS)	260 A
Temperatura	90° C.
Factor de corrección temp. (Tabla 10 normas CENS)	1
No. de conductores (fase) total	3
No. de conductores por fase	1
KG (tabla 15 normas CENS)	20,67
Factor de Corrección tipo de red (tabla 10)	2,25
Δ % regulación = $(F_c) \times (kG / (VL)^2) \times M$	1,12
$\Delta < 2$	Cumple

Fuente: Autor.

Procedimiento:

A continuación, se halla el valor del momento haciendo uso de la ecuación 2.

$$M = kva \times m \quad (2)$$

Sustituyendo los valores, se obtiene:

$$M = 150 \times 70 = 10500$$

Para determinar cuánto varía la tensión en un sistema con respecto a una referencia, se utiliza la ecuación 3 de regulación de tensión en porcentaje:

$$R\% = F_c \frac{K_G}{V_L^2} M \quad (3)$$

Sustituyendo los valores, se obtiene:

$$R\% = 1x \frac{20,67}{(440)^2} X 10500 = 1,12$$

Tabla 10

Cálculo de la acometida de baja tensión para tablero de oficinas.

Cálculo acometido de baja tensión	
Tipo de Red	Trifásico trifilar (FFFN)
Nivel de tensión (V)	220
Carga Máxima instalada (KVA)	150
Factor de Potencia	0,9
Corriente calculada	12,3
Longitud (metros)	10
Momento (KVA – m)	10500
Conductor escogido	8 AWG
Corriente conductor escogido (Tabla 8 normas cens)	55 A
Temperatura	90° C.
Factor de corrección temp. (Tabla 10 normas cens)	1
No. de conductores (fase) total	3
No. de conductores por fase	1
KG (tabla 28 normas cens)	30,36
Factor de Corrección tipo de red (tabla 30)	2,25
Δ % regulación = $(F_c) \times (kG / (V_L)^2) \times M$	0,94
$\Delta < 2$	Cumple

Fuente: Autor.

A continuación, se halla el valor del momento haciendo uso de la ecuación 2.

$$M = kva \times m \quad (2)$$

Sustituyendo los valores, se obtiene:

$$M = 150 \times 10 = 1500$$

Para determinar cuánto varía la tensión en un sistema con respecto a una referencia, se utiliza la ecuación 3 de regulación de tensión en porcentaje:

$$R\% = F_C \frac{K_G}{V_L^2} M \quad (3)$$

Sustituyendo los valores, se obtiene:

$$R\% = 1x \frac{30,36}{(220)^2} \times 1500 = 0,94$$

Tabla 11*Cálculo de acometida total de baja tensión.*

Cálculo de acometida total de baja tensión	
Tipo de Red	Trifásico tetrafilar (FFFN)
Nivel de tensión(V)	440
Carga máxima instalada (KVA)	150
Factor de Potencia	0,9
Corriente calculada	196,8
Longitud (metros)	70
Momento (KVA – m)	10500
Conductor escogido	4/0 AWG CU
Corriente conductor escogido (Tabla 8 normas cens)	260 A
Temperatura	90° C.
Factor de corrección temp. (Tabla 10 normas cens)	1
No. De conductores (fase) total	3
No. De conductores por fase	1
KG (tabla 28 normas cens)	30,36
Factor de Corrección tipo de red (tabla 30)	2,25
Δ % regulación = $(Fc) \times (kg/(VL)^2) \times M$	1,65
$\Delta < 2$	Cumple

Fuente: Autor.

A continuación, se halla el valor del momento haciendo uso de la ecuación 2.

$$M = kva \times m \quad (2)$$

Sustituyendo los valores, se obtiene:

$$M = 150 \times 70 = 10500$$

Para determinar cuánto varía la tensión en un sistema con respecto a una referencia, se utiliza la ecuación 3 de regulación de tensión en porcentaje:

$$R\% = F_c \frac{K_G}{V_L^2} M \quad (3)$$

Sustituyendo los valores, se obtiene:

$$R\% = 1x \frac{30,36}{(440)^2} X 10500 = 1,65$$

Se construyeron cinco tramos de 388 metros cada uno en media tensión y tres tramos de 70 metros en baja tensión, utilizando cable ACSR 2/0 AWG trifásico para media tensión y 4/0 AWG CU para baja tensión. Estos tramos se instalaron para alimentar un transformador nuevo en media tensión. Además, se construyeron tres nodos de red como parte de la infraestructura necesaria para el suministro de energía.

La regulación de tensión se determinará utilizando la siguiente ecuación:

$$R\% = F_c \frac{K_G}{V_L^2} M \quad (3)$$

En esta ecuación:

R%: Regulación de tensión en porcentaje

FC: Factor de corrección

KG: Constante de regulación generalizada

VL: Voltaje de línea

M: Momento eléctrico (L×kVA)

Es importante cumplir con los límites de regulación establecidos en la tabla 12, que se encuentra en el ítem 2.4.2 de la norma CENS. Esta tabla establece los límites de regulación de voltaje que deben ser respetados para asegurar un suministro eléctrico adecuado.

Tabla 12*Límites de la regulación de voltaje.*

Nivel de tensión	Área	Límites de regulación de voltaje
Circuitos de baja tensión	Zona urbana	3%
	Zona rural	3%
	Alumbrado público	3%
	Acometidas	2%
Circuitos de media tensión	Para expansión de redes derivadas de un circuito alimentador principal	Menor o igual a 1% a partir del barraje de la subestación de transmisión.
	Para acometidas de uso exclusivo	Menor o igual al 0.03% a partir del punto de conexión.

Nota. Adaptación tomada de norma técnica CENS. Fuente: CENS, 2023.

Tabla 13*Regulación de caídas de tensión.*

Longitud (m)	Capacidad (KVA)	Carga por circuito (KVA)	# Fases	tipo de red	FP	Voltaje (V)	K	% RV	I (A)
Acometida 1	150,00	120,00	3	FFFN	0,9	440	1,00	0,000106767	1,121049
Acometida 2	150,00	30,00		FFFN	0,9	440	1,00	0,000106767	1,121049
PO-P1	150,00	150,00	3	FFFN	0,9	13200	1,00	1,74242E-07	0,000549
P1-P2	150,00	150,00	3	FFFN	0,9	13200	1,00	1,74242E-07	0,000549
P2-P3	150,00	150,00	3	FFFN	0,9	13200	1,00	1,74242E-07	0,001098
P3-P4	150,00	150,00	3	FFFN	0,9	13200	1,00	1,74242E-07	0,004365
P4-P5	150,00	150,00		FFFN	0,9	13200	1,00	1,74242E-07	0,003581

Fuente: Autor.

Las pérdidas máximas de potencia se calculan utilizando la siguiente ecuación 4:

$$PL\% = \frac{rM}{V_L^2 \cos \Phi} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

PL%: Pérdidas máximas de potencia en porcentaje

r: Resistencia por unidad de longitud (Ω/km)

M: Momento eléctrico ($L \times \text{kVA}$)

VL: Voltaje de línea

Φ : Angulo del factor de potencia de la carga.

Procedimiento:

Para la acometida 1, el momento se determina mediante la aplicación de la ecuación (2):

$$M = 150 \times 70 = 10500$$

Para determinar la regulación de tensión expresada en porcentaje, se recurre a la ecuación (3), resultando en:

$$R\% = 1x \frac{20,6}{(440)^2} X 10500 = 1,12$$

Para el cálculo de las pérdidas máximas de potencia expresadas en porcentaje, se emplea la ecuación (4):"

$$PL\% = \frac{rM}{V_L^2 \cos \phi} \times 100$$

$$PL\% = \frac{(0,116)(10500)}{(440^2) \times 0,9} \times 100 = 0,97$$

Para la acometida 2, el momento se determina mediante la aplicación de la ecuación (2):

$$M = 150 \times 70 = 10500$$

Para determinar la regulación de tensión expresada en porcentaje, se recurre a la ecuación (3), resultando en:

$$R\% = 1x \frac{20,6}{(440)^2} X 10500 = 1,12$$

Para el cálculo de las pérdidas máximas de potencia expresadas en porcentaje, se emplea la ecuación (4):"

$$PL\% = \frac{(0,116)(10500)}{(440^2) \times 0,9} \times 100 = 0,97$$

Ahora, se considera el tramo p_0-p_1 :

El momento se determina mediante la aplicación de la ecuación (2):

$$M = 150 \times 21 = 3150$$

Para determinar la regulación de tensión expresada en porcentaje, se recurre a la ecuación (3), resultando en:

$$R\% = 1x \frac{30,36}{(13200)^2} X 3150 = 0,000549$$

Para el cálculo de las pérdidas máximas de potencia expresadas en porcentaje, se emplea la ecuación (4):

$$PL\% = \frac{rM}{V_L^2 \cos \emptyset} \times 100$$

$$PL\% = \frac{(0,256)(3150)}{(13200^2) \times 0,9} \times 100 = 0,00$$

A continuación, se determina para el tramo p_1-p_2 :

El momento se determina mediante la aplicación de la ecuación (2):

$$M = 150 \times 21 = 3150$$

Para determinar la regulación de tensión expresada en porcentaje, se recurre a la ecuación (3), resultando en:

$$R\% = 1x \frac{30,36}{(13200)^2} X 3150 = 0,000549$$

Para el cálculo de las pérdidas máximas de potencia expresadas en porcentaje, se emplea la ecuación (4):

$$PL\% = \frac{(0,256)(3150)}{(13200^2)x 0,9} \times 100 = 0,00$$

Para el tramo p₂-p₃, el momento se estima utilizando la ecuación (2):

$$M = 150 \times 42 = 6300$$

Para determinar la regulación de tensión expresada en porcentaje, se recurre a la ecuación (3), resultando en:

$$R\% = 1x \frac{30,36}{(13200)^2} X 6300 = 0,001098$$

Para el cálculo de las pérdidas máximas de potencia expresadas en porcentaje, se emplea la ecuación (4):

$$PL\% = \frac{(0,256)(6300)}{(13200^2)x 0,9} \times 100 = 0,00$$

Para el tramo p₃-p₄, el momento se estima utilizando la ecuación (2):

$$M = 150 \times 167 = 25050$$

Para determinar la regulación de tensión expresada en porcentaje, se recurre a la ecuación (3), resultando en:

$$R\% = 1x \frac{30,36}{(13200)^2} X 25050 = 0,004365$$

Para el cálculo de las pérdidas máximas de potencia expresadas en porcentaje, se emplea la ecuación (4):

$$PL\% = \frac{(1,256)(25050)}{(13200^2)x 0,9} \times 100 = 0,02$$

Para el tramo p₃-p₄, el momento se estima utilizando la ecuación (2):

$$M = 150 \times 137 = 20550$$

Para determinar la regulación de tensión expresada en porcentaje, se recurre a la ecuación (3), resultando en:

$$R\% = 1x \frac{30,36}{(13200)^2} X 20550 = 0,003581$$

Para el cálculo de las pérdidas máximas de potencia expresadas en porcentaje, se emplea la ecuación (4):

$$PL\% = \frac{(2,256)(20550)}{(13200^2)x 0,9} \times 100 = 0,03$$

Es fundamental cumplir con los límites establecidos para las pérdidas máximas de potencia, los cuales se encuentran especificados en la tabla 11 de la norma CENS, en el ítem 2.5.2. Estos

límites establecen los valores máximos de porcentaje de pérdidas de potencia que deben ser respetados para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro del sistema eléctrico.

Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis detallado de cortocircuito y falla a tierra, enfocándose particularmente en el cálculo de la corriente de cortocircuito. Para tal fin, se partió de la información proporcionada por los fabricantes líderes de transformadores, en la que se asume que $U_z\%$ es igual a 4.5. Este valor se incorporó en la siguiente ecuación:

$$I_{CC} = \frac{100 * I_S}{U_z} \quad (5)$$

$$I_{CC} = \frac{100 * 196,82A}{4} = 4920.5KA$$

Para el cálculo de los cortacircuitos, en instalaciones de media tensión se emplean cortacircuitos de tipo abierto destinados a la instalación A. Posteriormente, se procede a calcular el valor del hilo fusible que será instalado en el devanado primario del transformador en poste como medio de protección.

$$I_{Protprimario} = \frac{S_t}{V_{In primario}} \quad (6)$$

$$I_{Protprimario} = \frac{S_t}{V_{In primario}} = \frac{150000}{\sqrt{3} * 13200} = 6,56A$$

Con el objetivo de determinar la capacidad nominal del tipo de hilo a emplear, se propone utilizar la carga de manera continua. Por consiguiente, se opta por seleccionar cortacircuitos equipados con porta-fusibles de hilo, que dispongan de una capacidad nominal de 8 Amperios, de tipo K, diseñados para un voltaje de 15KV.

Para seleccionar los dispositivos de protección contra sobrecarga (DPS) se hace uso de la siguiente ecuación:

$$V_{Pararrayos} = F_{pt} * V_{lmax} \quad (7)$$

La red de media tensión implementada es de tipo trifásica trifilar, con un aterrizamiento sólido. De acuerdo con el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), para las redes de media tensión a 13,2 KV, el voltaje de línea máximo permitido es de 15 KV. Por consiguiente, el Factor de Puesta a Tierra (Fpt) se determina como $F_{pt} = 0.8$. Al aplicar este factor en la ecuación 7, se obtiene:

$$V_{Pararrayos} = 0.8 * 15kV = 12kV$$

Se ha optado por un Dispositivo de Protección contra Sobretensiones (DPS) con una tensión nominal de 12kV y una capacidad nominal de descarga de 10kA. Este dispositivo, dotado de un Nivel Básico de Aislamiento (BIL) de 110 kV, está fabricado en óxido de zinc y viene equipado con una válvula de expulsión.

8.4 Realizar cálculos del sistema mecánicos de soportes de conductores y soporte mecánicos de subestación.

En esta actividad, se ha llevado a cabo el cálculo mecánico de las estructuras conforme a las directrices y especificaciones establecidas por la NORMA CENS. Las estructuras empleadas comprenden las siguientes: CNS-03-231-02, CNS-03-523-02, CNS-03-560-02, CNS-04-712, CNS-03-730-02, CNS-03-628-01, CNS-03-629-01 y CNS-03-626-01. Todas ellas han sido estandarizadas, diseñadas y aplicadas en estricto cumplimiento con las normas ICEL y CENS.

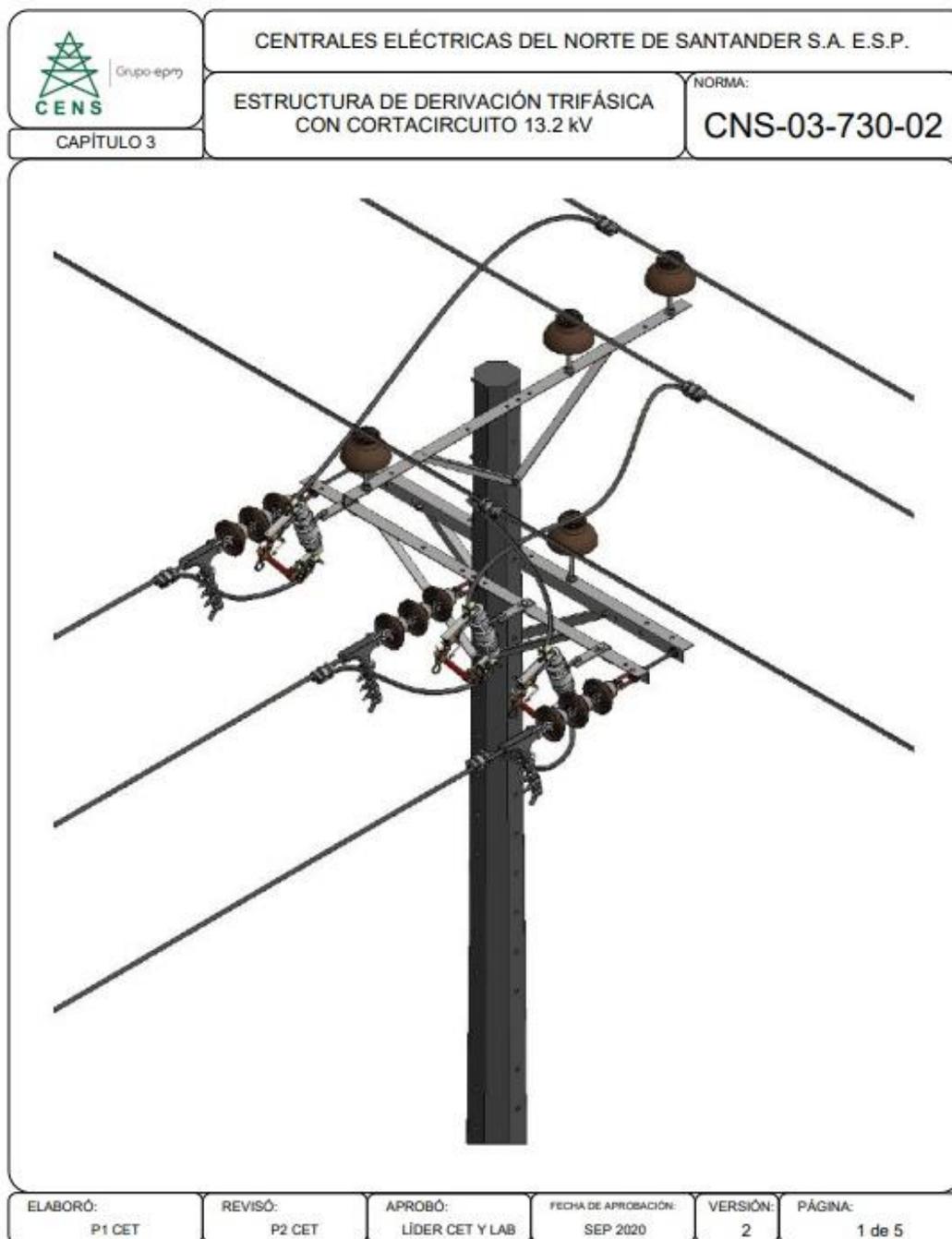
Estas estructuras están concebidas y calculadas para resistir todas las variantes de esfuerzos mecánicos generados por el propio peso de las estructuras y las tensiones inducidas por los

conductores en los respectivos vanos. Por ende, se asegura que las estructuras seleccionadas están en conformidad con las normas ICEL y CENS, garantizando su eficacia y seguridad al resistir las tensiones asociadas con los vanos y tipos de estructuras utilizadas en el proyecto.

En cuanto a los soportes mecánicos de la subestación, es importante destacar que el poste 0 ya cuenta con una estructura de tipo 550, la cual opera como nodo de conexión. No obstante, se sugiere la implementación de una estructura 730 para mejorar la respectiva conexión como se visualiza en la figura 9.

Figura 9

Estructura 730



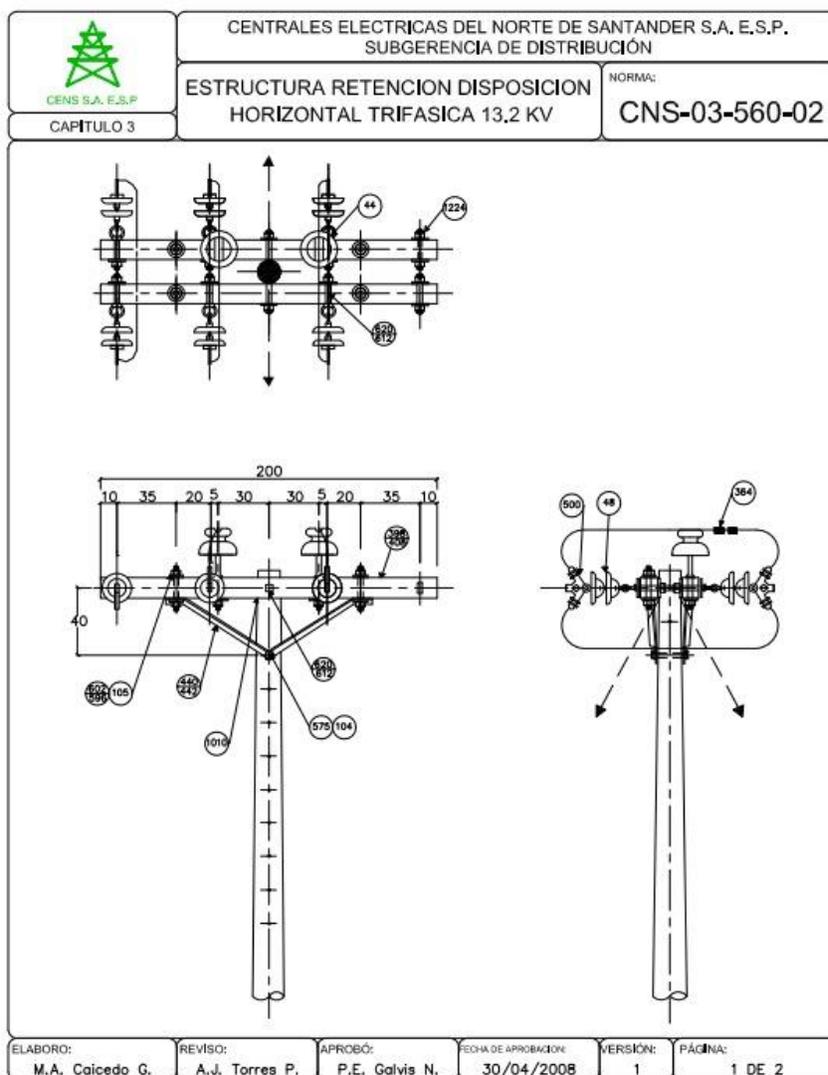
Nota. Extraída del capítulo 3 de la norma CNS-03-730-02.

Por su parte, el poste 1 alberga una estructura de tipo 560 mostrado en figura 10, mientras que el poste 2 tiene una estructura 523A establecida (figura 11). Al llegar al poste 3, se identifica

nuevamente una estructura de tipo 560 (figura 9-9. Siguiendo esta secuencia, el poste 4 dispone de una estructura rh231 visualizada en la figura 12.

Figura 10

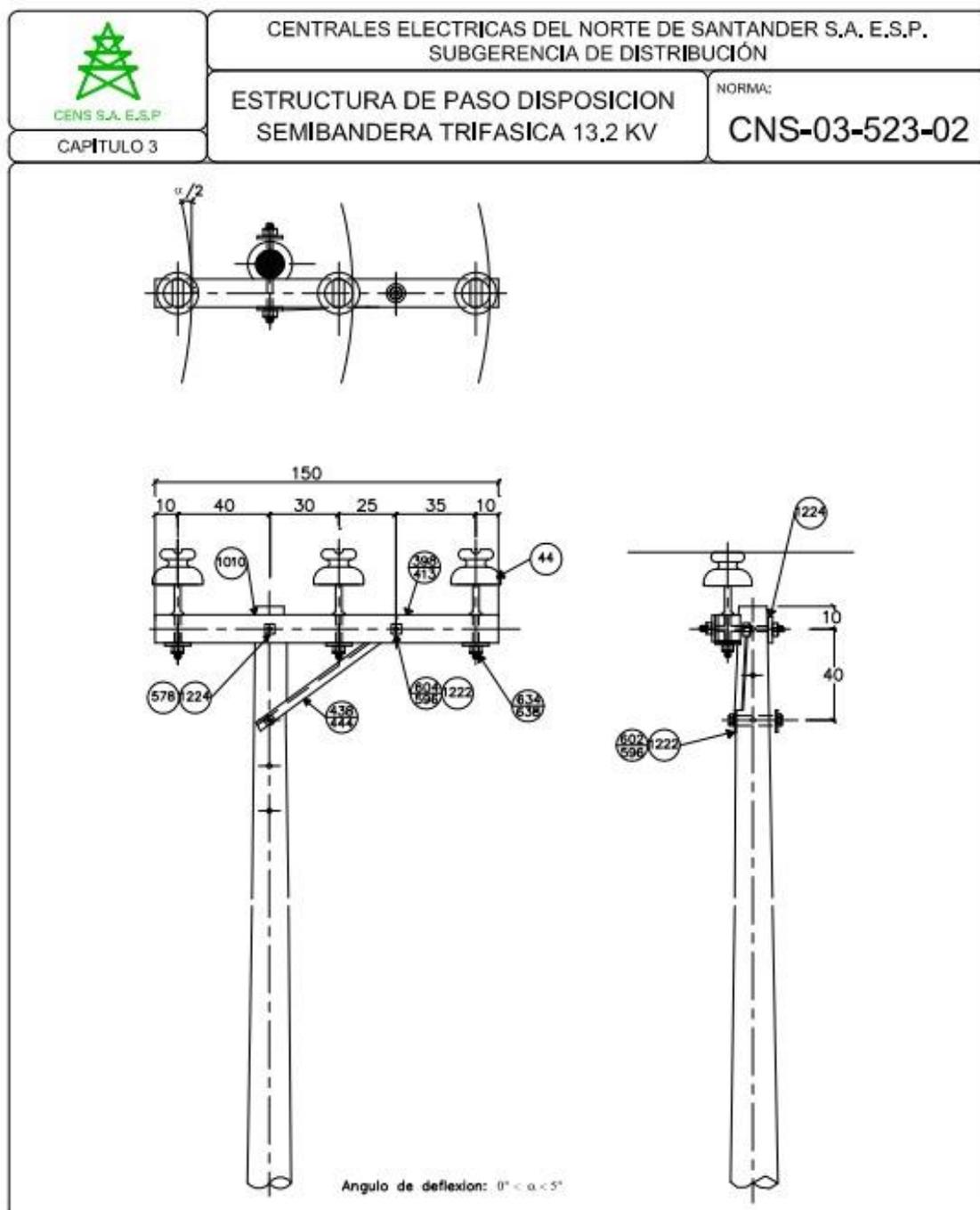
Estructura 560



Nota. Extraída del capítulo 3 de la norma CNS-03-560-02.

Figura 11

Estructura 523A



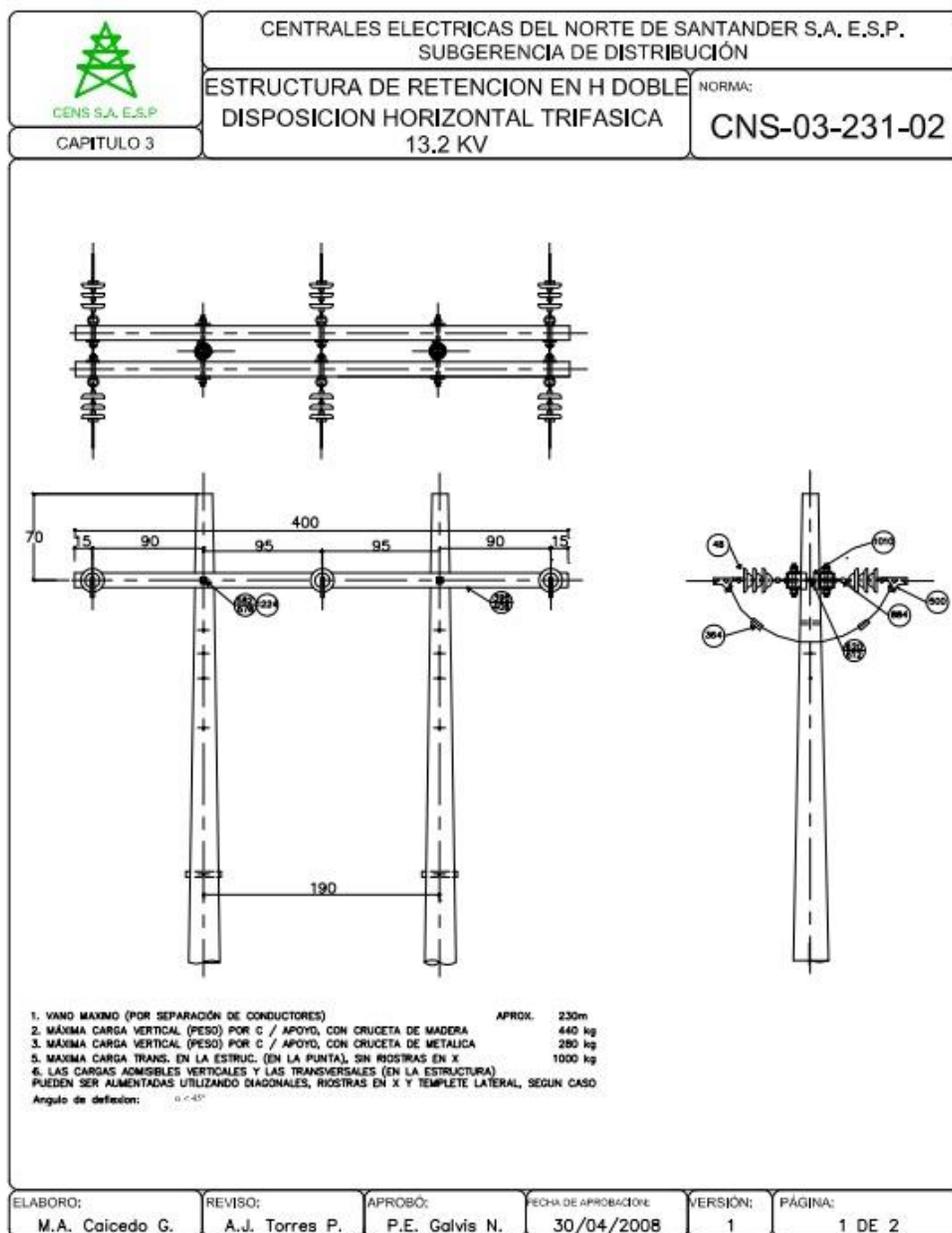
Nota. Extraída del capítulo 3 de la norma CNS-03-523-02.

Basado en la norma NC - RA2 - 201, se presenta la lista de materiales, que incluye: un poste de concreto monolítico de 12 m y 1350 kgf, una cruceta metálica de dimensiones 2400 mm x 3" x 3" x 1/4", entre otros elementos considerados en la lista para el cálculo del presupuesto. Además,

se considera el TENSIONADO DEL CONDUCTOR. El análisis mecánico de los conductores está detallado en el documento GM-12, titulado "Guía metodológica: cálculos mecánicos de estructuras y elementos de sujeción", elaborado por el Grupo EPM. Este análisis se realiza bajo ciertas condiciones limitantes. La normativa ha sido formulada considerando condiciones de clima cálido, altitudes de hasta 1000 msnm y velocidades máximas de viento de 100 km/h. Para un conductor 2/0 AWG (Quail), el vano máximo es de 200 m y el vano peso máximo también es de 200 m, basándose en la hipótesis A, que contempla montaje con viento y sin bayoneta.

Figura 12

Estructura RH231.



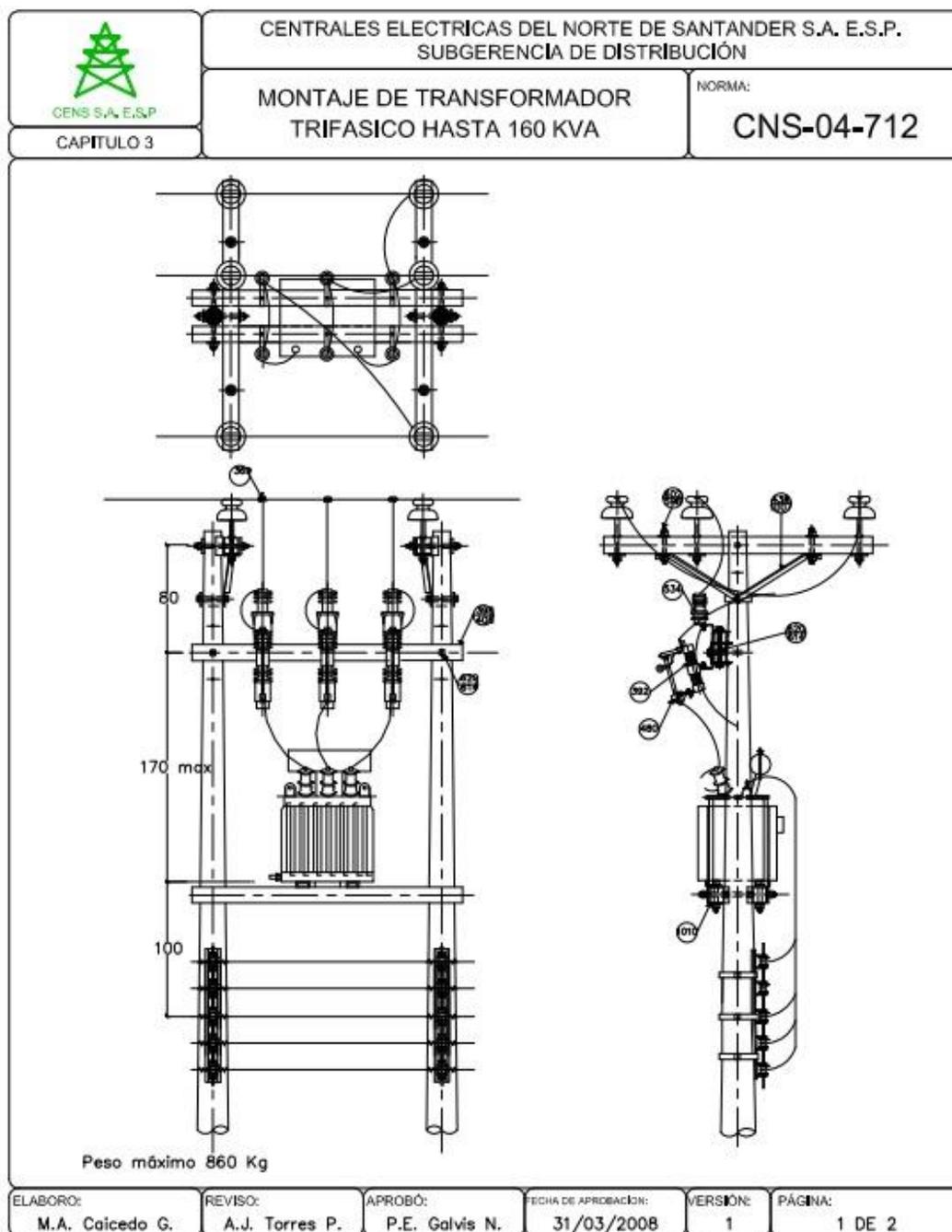
Nota. Extraída del capítulo 3 de la norma CNS-03-231-02.

Con base en la tabla 2 NC-RA2-511, la lista de materiales incluye un poste de concreto monolítico de 12 m y 750 kgf, una cruceta metálica de dimensiones 4500 mm x 3" x 3" x 1/4". Los demás elementos están detallados en el listado de materiales destinados al cálculo del presupuesto, presentando un vano peso máximo de 405 m.

En relación con el poste 5, este cuenta con una infraestructura modelo RH231, complementada con una estructura de tipo 712, como se ilustra en la Figura 13. En secuencia, el poste 6 está equipado con una resistente estructura modelo 629, representada en la Figura 14. Tras una revisión, el poste 7 posee una estructura modelo 626, la cual puede observarse en la Figura 15. Finalmente, el poste 8 se caracteriza por albergar una sólida estructura modelo 628, expuesta en la Figura 16.

Figura 13

Estructura tipo 712.

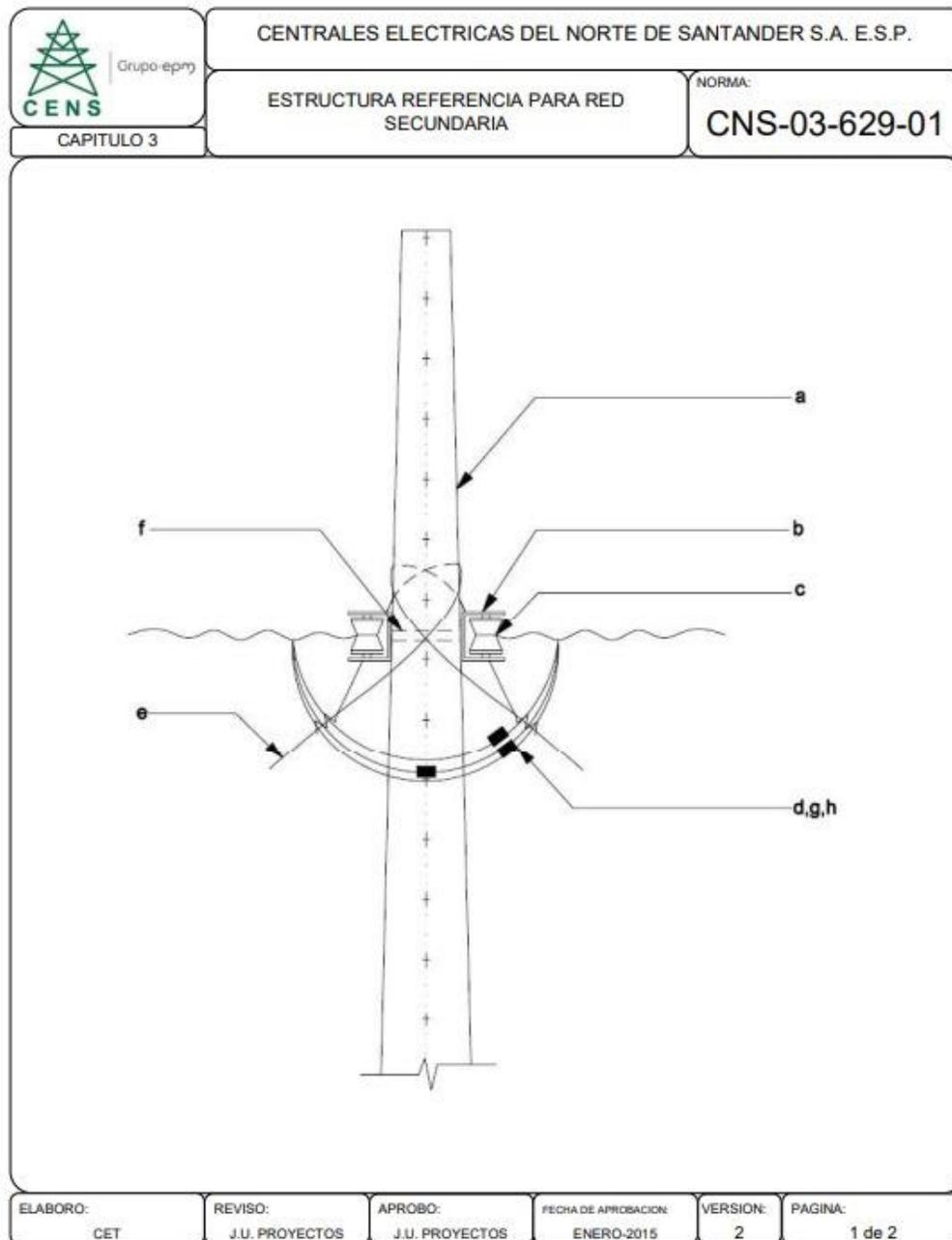


Nota. Extraída del capítulo 3 de la norma CNS-04-712.

Se dispone de dos postes de concreto monolíticos, cada uno de 12 m y un peso de 1050 kgf, conforme a la lista de materiales presentada en el capítulo correspondiente de la estructura.

Figura 14

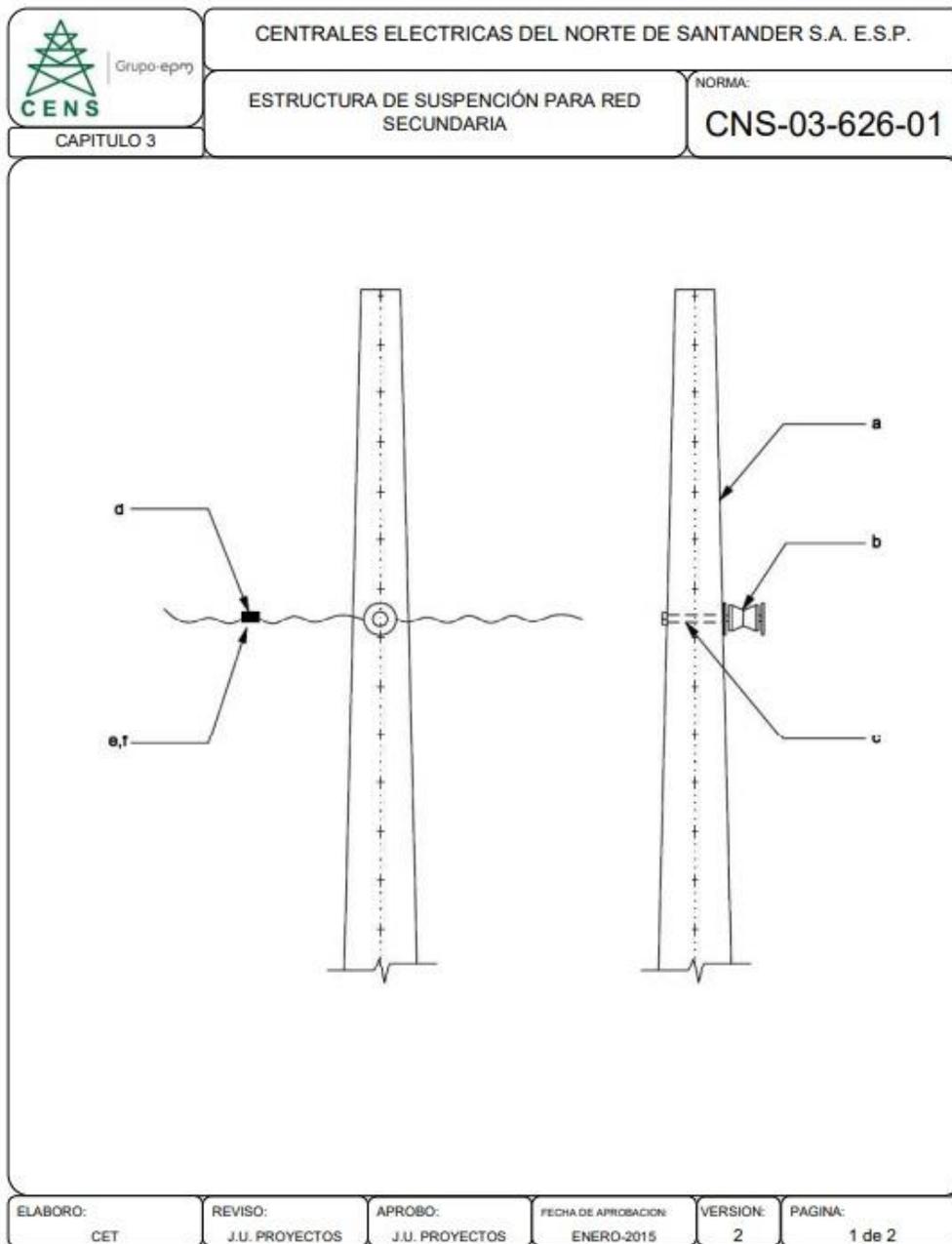
Estructura 629



Nota. Extraída del capítulo 3 de la norma CNS-03-629-01.

Figura 15

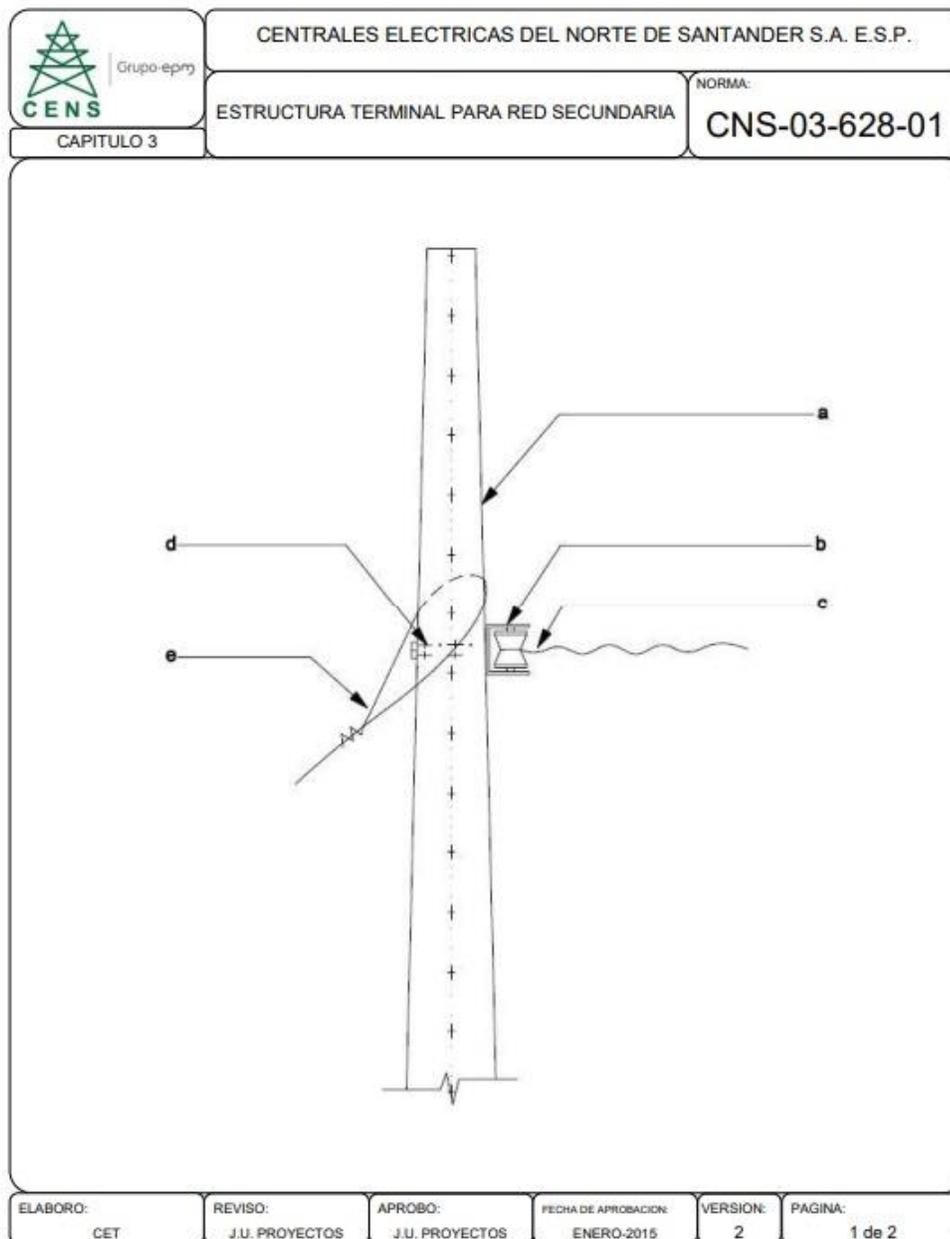
Estructura 626



Nota. Extraída del capítulo 3 de la norma CNS-03-626-01.

Figura 16

Estructura 628



Nota. Extraída del capítulo 3 de la norma CNS-03-628-01.

Es relevante señalar que todos estos postes poseen estructuras metálicas, incluyendo las crucetas que también son de este material.

En la actividad subsiguiente, se ha detectado una inversión en el orden de ejecución. Al desarrollar los objetivos y tareas, surgió un error; para el diseño de tableros es imperativo

determinar previamente las protecciones requeridas. Por consiguiente, el objetivo prioritario es la coordinación de protecciones.

8.5 Realizar la coordinación de protecciones.

Para implementar las protecciones adecuadas, es imprescindible conocer primero qué tipo de arranque poseen los motores que se van a utilizar. Por lo tanto, se debe examinar los tipos de arranque de motores trifásicos, que son: arranque directo, arranque suave y arranque estrella-triángulo. Su importancia radica en que, en el caso del arranque directo, la corriente de arranque es siete veces la corriente nominal. Por lo tanto, si nuestro motor tiene una corriente nominal de 46 amperios, nuestra corriente de arranque sería de 322 amperios. En consecuencia, la protección se dispararía de inmediato debido a este alto valor de corriente. En la tabla 14 se comparan las características de estos tres tipos de arranque a considerar.

Tabla 14

Descripción de los tipos de arranque de un motor.

	Arranque directo	Arranque suave	Arranque estrella-triángulo
Ventaja	Simple, económico, proporciona el máximo par de torsión al arranque.	Reduce la corriente de arranque, minimizando los picos de corriente y reduciendo el estrés en la red eléctrica.	Reduce la corriente de arranque al iniciar el motor en una configuración de estrella, antes de cambiar a triángulo para operación normal, reduciendo así los picos de corriente.
Desventaja	Causa una gran corriente de arranque (típicamente 5-7 veces la corriente nominal), lo que puede afectar la red eléctrica y causar una caída de voltaje.	Más costoso que el arranque directo, puede no ser adecuado para aplicaciones que requieren un alto par de torsión al arranque.	Complejo, no proporciona un alto par de torsión al arranque, y puede no ser adecuado para motores que necesitan comenzar bajo carga.

Fuente: Autor.

El tipo de arranque que se empleará es el estrella-triángulo, particularmente útil con una tensión de 440 VAC, debido a su efectividad en la reducción de la corriente. Por ende, la

consideración principal reside en el tipo de arranque a utilizar, su análisis comparativo de ventajas y desventajas, así como su correlación con las opciones de tensión entre 220 y 440 V.

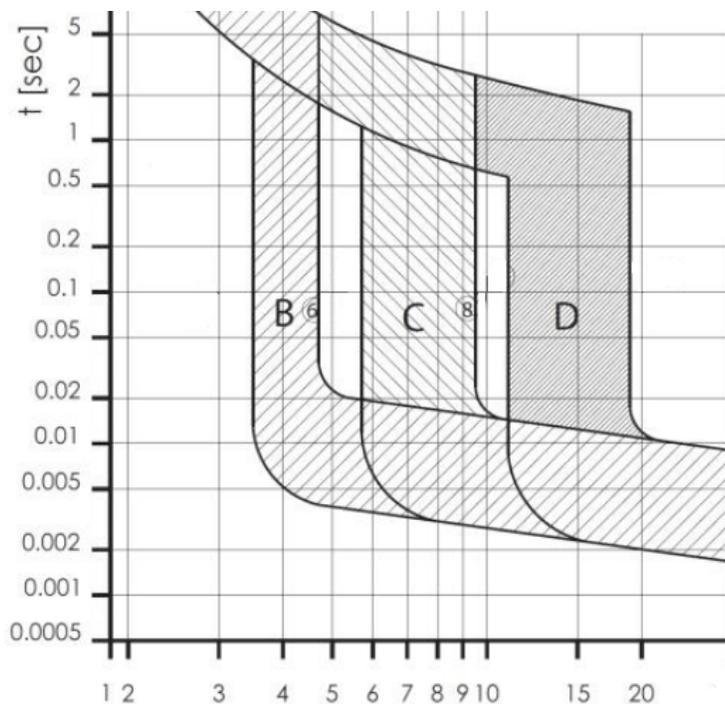
Es importante destacar que se optará por la tensión de 440 V debido a que esta elección permite una reducción en el calibre del cable requerido. Esta adaptación resulta en una disminución de los costos, convirtiéndose en una opción económica más eficiente.

Por otro lado, los interruptores de circuito, también conocidos como "breakers", se clasifican en diferentes categorías basándose en sus características de disparo.

- Clase B: Este tipo de interruptor se dispara generalmente entre 3 y 5 veces la corriente nominal. Se utiliza comúnmente en instalaciones residenciales donde no se espera que haya grandes picos de corriente.
- Clase C: Los interruptores de clase C se disparan entre 5 y 10 veces la corriente nominal. Se utilizan a menudo en instalaciones industriales y comerciales donde pueden producirse picos de corriente más altos.
- Clase D: Estos interruptores se disparan entre 10 y 20 veces la corriente nominal. Se utilizan en aplicaciones con cargas inductivas altas, como motores y transformadores.

Figura 17

Detalle de la zona magnética de la curva de disparo



Fuente: <https://www.profetolocka.com.ar/2019/04/18/entendiendo-las-curvas-de-disparo-de-los-interruptores-automaticos/>.

En consecuencia, se selecciona la protección tipo A. Dado que se optó por arranques estrella-triángulo y sus corrientes de arranque oscilan entre 1,4 y 2,4 veces su corriente nominal, la elección es adecuada. La clase A se dispara a un valor no mayor de 5 veces la corriente nominal.

En otro aspecto, para el cálculo y la coordinación de las protecciones, se procede a analizar las curvas proporcionadas por los fabricantes para distintos dispositivos de protección.

Los datos correspondientes al transformador son los siguientes:

- Potencia: 150 [kVA]
- Tensión Primaria: 13200 [V]

- Tensión Secundaria: 440 [V]
- Impedancia UZ%: 4%

A partir de la información establecida en la tabla se selecciona la corriente de cortocircuito según la tensión del sistema e impedancia del transformador.

Tabla 15

Corrientes de cortocircuito según tensión del sistema e impedancia del transformador.

Kva	Impedancia de corto circuito nominal Z_{cc} (pu)	Tensión nominal en M.T (kV)	Tensión nominal en B.T (kV)	Corriente de corto circuito en M.T		Corriente de corto circuito en dBT
				$I_{cc}(A)$	$I_{cc}(A)$	$I_{cc}(A)$
				13.2kV	11.4kV	0.12Kv
5				8.7	10.1	1666.7
10				17.5	20.3	3333.3
15	0.025	11.4-13.2	0.24-0.12	26.2	30.4	5000.0
25				43.7	50.6	8333.3
				13.2kV	11.4kV	0.208kV
15				18.7	21.7	1189.6
30				37.5	43.4	2379.2
45	0.035			56.2	65.1	3568.8
75		11.4-13.2	0.208/0.120	93.7	108.5	5948.0
112.5				140.6	162.8	8922.0
150	0.040			164.0	189.9	10409.0

Fuente: CODENSA.

Tabla 16*Corrientes seleccionadas*

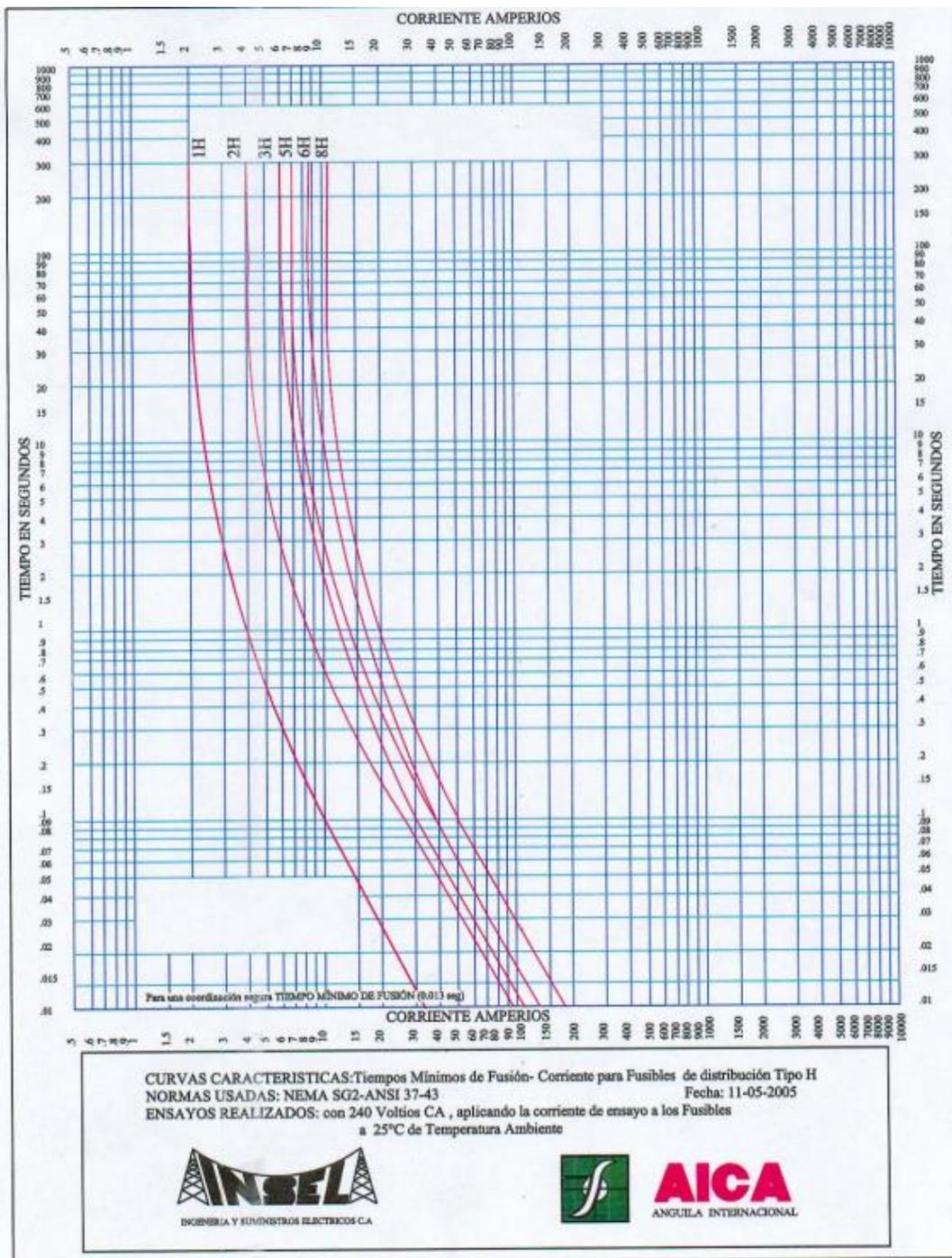
150kVA	Corriente Primaria		Corriente secundario	
	Nominal	Corto-Circuito	Nominal	Corto-Circuito
	6,56 A	164.0 [A]	196,82 [A]	4920,5 [kA]

Respecto a los diferentes puntos de protección, se han designado los dispositivos siguientes:

En el punto de transición de aéreo a subterráneo, identificado por el Poste P3 en el plano, se ha emplazado un fusible de hilo de tipo extra-rápido con una capacidad de 8 A. Para la protección primaria en baja tensión, se emplea un totalizador de 200 A, configurado al 90% de su capacidad. Según la figura 18, se establece que ante una corriente de cortocircuito de 164.0 A, el intervalo de respuesta es de 0,1 s.

Figura 19

Curva de tiempos de fusión vs corriente para fusibles tipo H.



Fuente: INSEL (ingeniería y suministros eléctricos C.A)

Con base en la figura previamente presentada, se observa que ante una corriente de cortocircuito de 164.0 A, el tiempo de respuesta es de 0,01 s. Tras analizar el cuadro de cargas y realizar los cálculos correspondientes para las protecciones, se llevó a cabo la elección de los interruptores de circuito (breakers) y del totalizador.

8.6 Determinar los requerimientos a utilizar para la realización del tablero de distribución por medio del cuadro de cargas.

Durante el diseño de tableros de distribución, resulta imperativo determinar las dimensiones del totalizador y del breaker para anticipar el espacio que ocuparán dentro del tablero. El Breaker Industrial Fijo de 200A posee un peso de 1.4 kg y dimensiones de 0.1050 metros de ancho, 0.1500 metros de alto y 0.0600 metros de profundidad. En contraposición, el Breaker Industrial Fijo de 100A presenta un peso de 0.8100 kg y dimensiones de 0.0760 metros de ancho, 0.1300 metros de alto y 0.0600 metros de profundidad. El Breaker Industrial Fijo de 70A mantiene un peso similar al de 100A, es decir, 0.8000 kg, y conserva dimensiones idénticas. Por su parte, el breaker en caja moldeada de 3 polos de 20A ostenta medidas de 135mm de longitud, 76mm de ancho y 90mm de alto. La meticulosidad en estos detalles es fundamental para asegurar un diseño óptimo y eficiente del tablero de distribución.

Más allá del diseño de tableros de distribución, es esencial estar al tanto de las especificaciones de los aisladores de barraje. En este contexto, se requiere un barraje de 300A. Esta elección se justifica ya que la corriente nominal asciende a 196.7 amperios; por ende, un barraje de 200A resultaría insuficiente, llevando a optar por la siguiente alternativa comercial de 300A. Adicionalmente, se emplearán termoencogibles en colores marrón, naranja, amarillo,

blanco y verde, todos con un diámetro de 30MM. También será necesario incorporar una platina de cobre de 100A y el cofre correspondiente. La inclusión y precisión en estas consideraciones son vitales para garantizar un diseño coherente y seguro del sistema de distribución.

Un cofre eléctrico metálico, también conocido como caja de distribución o tablero eléctrico, es una parte esencial de cualquier sistema de distribución eléctrica. Este dispositivo proporciona un lugar seguro y organizado para alojar los dispositivos de protección y control, como los interruptores automáticos (breakers), los fusibles, los interruptores de aislamiento, entre otros.

El propósito principal de un cofre eléctrico metálico es proporcionar un grado adecuado de protección a estos componentes, protegiéndolos de factores ambientales como la humedad, el polvo y las fluctuaciones de temperatura. Además, también ofrecen protección a las personas contra descargas eléctricas.

Los cofres eléctricos metálicos se fabrican con diferentes tipos de metales, incluyendo el acero, el acero inoxidable y el aluminio, cada uno con sus propias ventajas y desventajas. Por ejemplo, el acero inoxidable es altamente resistente a la corrosión, pero es más costoso que el acero regular. Por otro lado, el aluminio es más ligero y también resistente a la corrosión, pero puede ser menos duradero en ciertos entornos.

Por otro lado, los grados de protección, ya sean IP, IK o Clase Eléctrica, se mencionan frecuentemente en especificaciones de productos eléctricos o luminarias. Estos dispositivos, ya sean equipos electrónicos o luminarias, deben operar de manera segura durante extensos periodos y bajo circunstancias ambientales desafiantes. No siempre es posible eludir la influencia de factores como el polvo y la humedad, o la intrusión de cuerpos extraños. Las distintas clases de

protección especifican el grado de exposición al que se puede someter un dispositivo eléctrico sin que esta sufra daño o suponga un riesgo de seguridad.

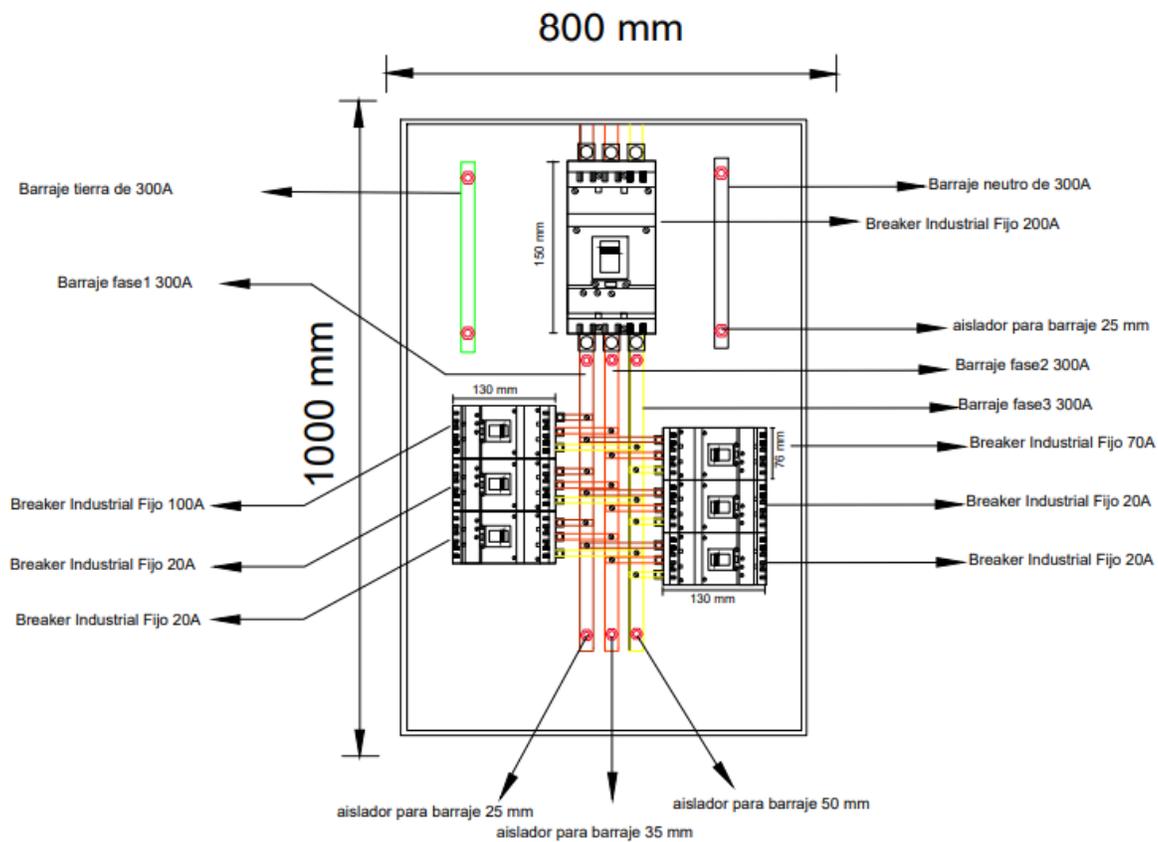
El grado de protección IP corresponde al estándar internacional IEC 60529, denominado "Degrees of Protection". Esta normativa estipula un sistema de clasificación que establece el grado de protección contra sólidos (por ejemplo, polvo) y líquidos (como agua) que deben poseer las luminarias en función de su propósito. Este sistema es reconocido internacionalmente y representa el estándar empleado para definir los niveles de protección de luminarias LED.

Con base en los criterios establecidos, optamos por un grado de protección IP44. Este es adecuado para iluminación exterior, especialmente para demarcación o propósitos decorativos. Asimismo, es idóneo para su empleo en baños o áreas con humedad.

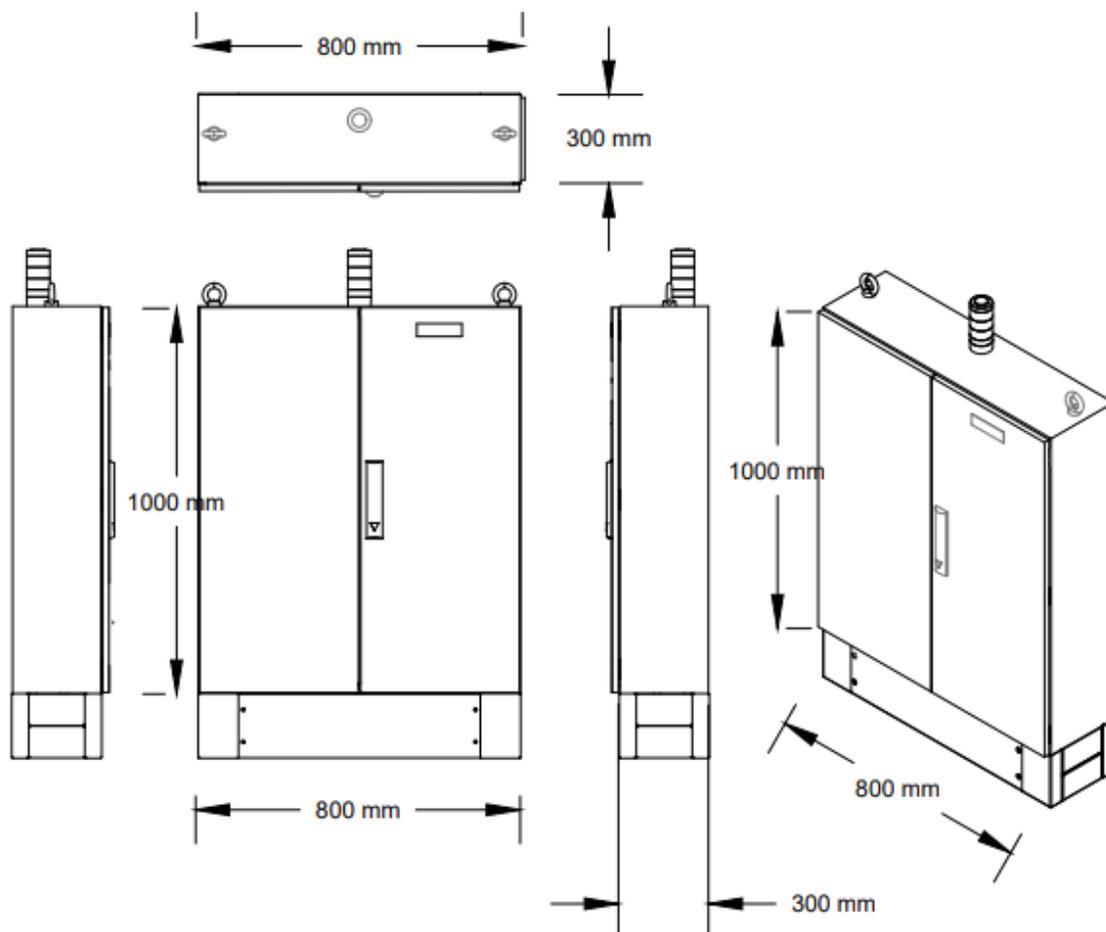
El diseño del cofre también es fundamental para facilitar su instalación y mantenimiento. Los cofres eléctricos metálicos modernos suelen tener una puerta de acceso frontal, y su interior está organizado de manera que se pueda acceder fácilmente a todos los componentes.

Figura 20

Tablero de motores



Nota. Realizado en AutoCAD. Fuente: Autor

Figura 21*Cofre del tablero de motores*

Nota. Realizado en AutoCAD. Fuente: Autor

Para los tableros de oficinas, se ha seleccionado como referencia comercial el tablero TERCOL trifásico. Este tablero, con puerta cerrada, ofrece espacio para un totalizador de 12 circuitos. Su referencia es TRP312TG. Las especificaciones técnicas de este tablero son fundamentales para comprender su funcionalidad y eficacia, y se presentarán a continuación para una mejor comprensión de sus características y aplicabilidad en el contexto de las oficinas, además

su distribución va a estar acorde al diagrama unifilar del presente tablero, y el resto se dejan como reserva para futuras instalaciones.

Figura 22

Tablero comercial TERCOL trifásico



Fuente: <https://interelectricas.com.co/cajas-y-tableros/1476-tablero-trifasico-con-puerta-de-36-circuitos.html>

Tabla 17*Especificaciones del tablero de distribución*

Características	Dato
Knock out	C40 D4 E2
Medidas Caja	74x33x11
Medidas tapa	76x35
Caja	Galvanizada

Fuente: Autor.

Basándose en los cuadros de cargas previamente realizados, se han incluido en el tablero de motores un total de 6 interruptores termomagnéticos industriales de 3x100A , 3x70A , 3X20A, 3X20A, 3X20A, 3X20A. Además, se ha instalado un totalizador de 200 A, un barraje de 300A con su respectiva señalización de colores con la finalidad de asegurar la capacidad adecuada de suministro eléctrico.

8.6.1 Sistema de puesta a tierra

Según Cárdenas (2015) los sistemas de puesta a tierra desempeñan un papel crucial en la actualidad, ya que garantizan la protección y funcionamiento correcto de los diversos sistemas eléctricos y electrónicos. Además, son esenciales para la seguridad de las personas que interactúan o se encuentran en zonas de influencia de los sistemas eléctricos.

Antes de proceder con el diseño de un sistema de puesta a tierra, es imprescindible conocer la resistividad del suelo donde se instalará dicho sistema. Esta variable tiene un impacto significativo en el diseño, ya que su valor determina la necesidad de mayor espacio para el sistema. De esta manera, se consigue una resistencia de puesta a tierra más baja y se logran mantener las tensiones de paso y de contacto dentro de los límites permitidos.

Por ello, es fundamental entender los requisitos generales del sistema de puesta a tierra que se va a instalar. Este entendimiento es la clave para un diseño adecuado de puesta a tierra, el cual debe garantizar el control de las tensiones de paso, de contacto y transferidas. La resistencia de puesta a tierra es un elemento crucial en este contexto, ya que actúa como un indicador que limita directamente la máxima elevación de potencial. Para determinar un parámetro adecuado de resistencia de puesta a tierra, se pueden consultar los valores máximos que se presentan en la tabla 18. Estos valores son adoptados de las normas técnicas IEC 60364-4-442, ANSI/IEEE 80, NTC 2050 y NTC 4552, y sirven como referencia para el diseño eficaz del sistema.

Tabla 18

Valores de referencia para resistencia de puesta a tierra

Aplicación	Valores máximos de resistencia de puesta a tierra
Estructuras y torrecillas metálicas de líneas o redes con cable de guarda	20 Ω
Subestaciones de alta y extra alta tensión	1 Ω
Subestaciones de media tensión	10 Ω
Protección contra rayos	10 Ω
Punto neutro de acometida en baja tensión	25 Ω
Redes para equipos electrónicos o sensibles	10 Ω

Fuente: Anexo general.

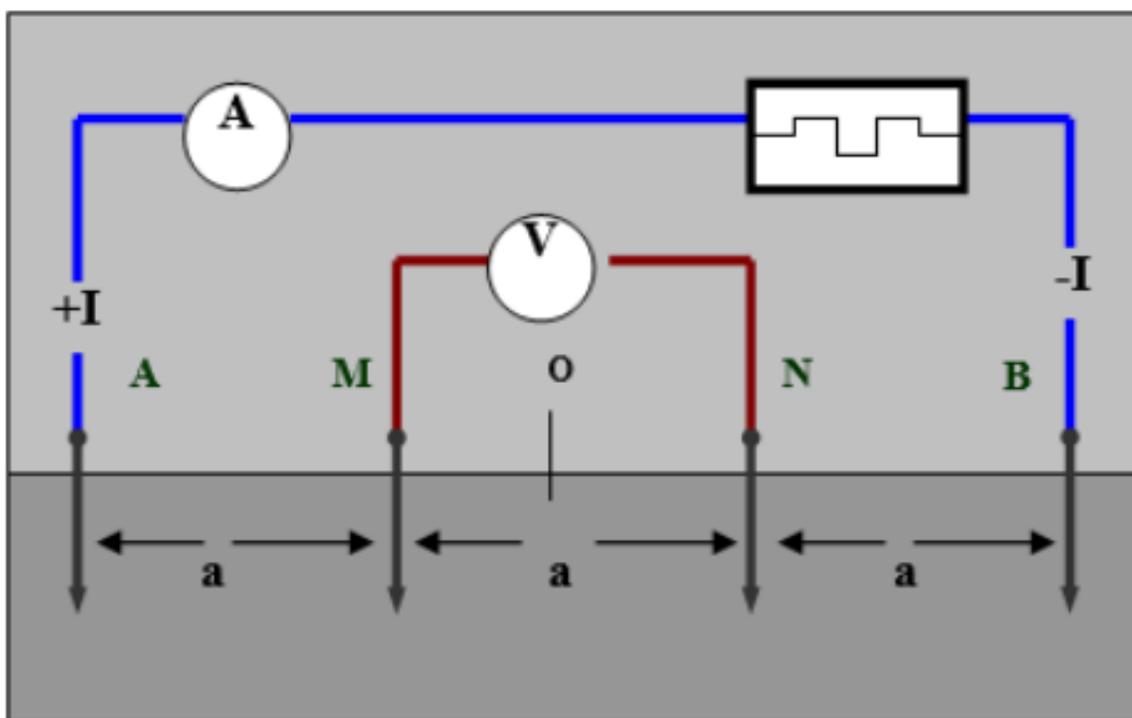
Para medir la resistividad del suelo mediante la implementación del método simétrico de Wenner, el cual Este aparato se compone de cuatro electrodos, denominados A y B (de emisión) y M y N (de medición), los cuales se ubican en línea recta. Cada electrodo está a una distancia "a" de los demás, siendo esta igual entre todos. Para establecer la simetría entre los electrodos,

es preciso seleccionar un punto de referencia "0" en el sistema. Este punto se conoce también como "punto de exploración", ya que puede llegar a ser el lugar de exploración máxima, dependiendo de las características del terreno, la distancia entre los electrodos de emisión, la frecuencia del equipo de medición, entre otros factores.

En la figura 23 se muestra el esquema del dispositivo simétrico de Wenner.

Figura 23

Esquema del dispositivo simétrico de Wenner



Fuente: Cárdenas, 2015

A fin de determinar la resistividad aparente del terreno, recurrimos a la Ecuación (6), que corresponde a la formulación general de Wenner.

$$\rho = \frac{4\pi Ra}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4p^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + p^2}}} \quad (6)$$

Donde:

ρ = valor de la resistividad, expresada en [ohmio-metro]

π = 3.14159

R= es el valor de la resistencia leída en el equipo usado para calcular ρ

a= distancia entre jabalinas expresada en metros (m)

p= penetración de la jabalina

Los datos para este proyecto fueron suministrados por la empresa IEMAC, que contrató servicios externos para realizar estas pruebas y diseñar la malla a tierra.

$\rho = ?$

π = 3.14159

R = 2.72 ohmios

a = 1 m

p = 0.25 m

Al introducir los datos proporcionados en la ecuación de Wenner, se obtiene:

$$\rho = \frac{4(3.14159)(2.72)(1)}{1 + \frac{2(1)}{\sqrt{(1)^2 + 4(0.25)^2}} - \frac{(1)}{\sqrt{(2)^2 + (0.25)^2}}} = 18.97 \text{ Ohmios} - \text{metro}$$

El conductor del electrodo de puesta a tierra, a veces llamado conductor a tierra, tiene la función de conectar la puesta a tierra con el barraje principal. Para los sistemas de baja tensión, la selección de este conductor debe basarse en la Tabla 250-94 de la NTC 2050 o utilizando la ecuación suministrada por la norma IEC 60364-5-54.

Tabla 19

Conductor del electrodo de tierra de instalaciones de corriente alterna

Cuadro 250-94
Conductor del electrodo de tierra de instalaciones de c.a.

Sección del mayor conductor de entrada a la acometida o sección equivalente de conductores en paralelo		Sección del conductor al electrodo de tierra	
Cobre	Aluminio o aluminio revestido de cobre	Cobre	Aluminio o aluminio revestido de cobre*
2 o menos	1/0 o menos	8	6
1 o 1/0	2/0 o 3/0	6	4
2/0 o 3/0	4/0 o 250 Kcmils	4	2
Más de 3/0 a 350 Kcmils	Más de 250 Kcmils a 500 Kcmils	2	1/0
Más de 350 Kcmils a 600 Kcmils	Más de 500 Kcmils a 900 Kcmils	1/0	3/0
Más de 600 Kcmils a 1100 Kcmils	Más de 900 Kcmils a 1750 Kcmils	2/0	4/0
Más de 1100 Kcmils	Más de 1750 Kcmils	3/0	250 Kcmils

Fuente: NTC 2050.

Teniendo en cuenta que el calibre del conductor de la acometida es número 4/0 AWG, la tabla anterior nos guía para seleccionar el conductor del electrodo de puesta a tierra como un conductor de cobre de calibre número 2 AWG, que tiene un diámetro de 6,54 mm.

Después de realizar el estudio de la resistividad del suelo en el sitio donde se instalará el sistema de puesta a tierra, el siguiente paso es diseñar dicho sistema, tomando en cuenta todos los parámetros necesarios para su construcción. Tras esto, se llega a la fase crucial de validación de cualquier instalación de puesta a tierra, que es la medición de la resistencia de puesta a tierra.

Sin la medición de la resistencia, ningún sistema de puesta a tierra puede considerarse válido, ya que este valor de resistencia ofrece un indicativo útil acerca del grado de precisión alcanzado en la realidad, en comparación con las consideraciones teóricas utilizadas en el cálculo del sistema de puesta a tierra. Este valor también determina las posibles tensiones de paso y de contacto que pueden surgir cuando circula una corriente de falla.

Para determinar la resistencia del sistema de puesta a tierra, se empleó la fórmula de Schwarz. Esta ecuación (7), referenciada en el artículo 14.3 de la norma IEEE Std. 80-2000, se presenta a continuación:

$$R_g = \frac{R_1 * R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} \quad (7)$$

Donde:

R1 → Resistencia de tierra de los conductores de la malla en Ω .

R2 → Resistencia de tierra de todas las varillas de tierra en Ω .

Rm → Resistencia mutua entre el grupo de conductores de la malla R1 y el grupo de varillas de tierra R2, en Ω .

La resistencia de la malla terrestre puede denotarse como R1 y su cálculo se realiza de la manera siguiente:

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_C} \left[\ln \left(\frac{2L_C}{\sqrt{dch}} \right) - \frac{K_1 L_C}{\sqrt{A}} - K_2 \right] \quad (8)$$

$$K_1 = -0.05 \frac{L_X}{L_Y} + 1.2$$

$$K_2 = 0.1 \frac{L_X}{L_Y} + 4.68$$

ρ → Resistividad del terreno Ω -m.

L_C → Longitud total de todos los conductores de la malla en m.

h → Profundidad de los conductores de la malla en m.

dc → Diámetro del conductor de la malla en m.

A → Área cubierta por los conductores de la malla de tierra m².

L_X, L_Y → Largo, ancho de la malla en m.

Sustituyendo los datos suministrados se calcula R1:

$$R_1 = \frac{18.97}{\pi(64)} \left[\ln \left(\frac{2(64)}{\sqrt{(0.00654)(0.5)}} \right) - \frac{(1.15)(64)}{\sqrt{(64)}} - (4.78) \right] = 0.59 \Omega$$

La resistencia proporcionada por las varillas de tierra, representada como R_2 , se calcula de la siguiente forma:

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi n_r L_r} \left[\ln \left(\frac{8L_r}{d_r} \right) - 1 + \frac{2K_1 L_r}{\sqrt{A}} - (\sqrt{n} - 1)^2 \right]$$

Donde:

n_r → Número de varillas de tierra.

L_r → Longitud de cada varilla en m.

d_r → Diámetro de la varilla en m.

Datos:

$$n_r = 9$$

$$L_r = 2.4 \text{ m}$$

$$d_r = 0.016 \text{ m}$$

Se obtiene para R_2 :

$$R_2 = \frac{18.97}{2\pi(9)(2.4)} \left[\ln \left(\frac{9(2.4)}{(0.016)} \right) - 1 + \frac{2(1.15)(2.4)}{\sqrt{64}} - (\sqrt{9} - 1)^2 \right] = 0.4 \Omega$$

Se calcula R_m :

$$R_m = \frac{18.97}{\pi(2.4)} \left[\ln \left(\frac{2(64)}{(2.4)} \right) + \frac{(1.15)(64)}{\sqrt{64}} - (4.78) + 1 \right] = 18.60 \Omega$$

Tomando en cuenta los cálculos previos, podemos determinar el valor de la Resistencia del Sistema de Puesta a Tierra, aplicando la primera ecuación, como se muestra a continuación:

$$R_g = \frac{R_1 * R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} \quad (7)$$

$$R_g = \frac{(0.59)(0.4) - (18.60)^2}{(0.59) + (0.4) - 2(18.60)} \rightarrow R_g = 9.54 \Omega$$

La resistencia obtenida para la puesta a tierra es inferior al valor máximo estipulado para

subestaciones de media tensión, conforme a las directrices del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE).

En relación a la tensión de paso, si asumimos que el peso mínimo de las personas que ingresan a la instalación es de 50 kg, entonces:

$$U_{paso} = \frac{0.116(1000 + 6C_s P_s)}{\sqrt{t_c}} \quad (9) \text{ donde } C_s = 1 - \frac{0,09(1 - \frac{P}{P_s})}{2h_s + 0,09}$$

$$C_3 = 1 - \frac{0,09 \left(1 - \frac{18.79}{3000}\right)}{2 * 0,2 + 0,09} = 0.81$$

$$U_{paso} = \frac{0.116(1000 + 6(0,81)(3000))}{\sqrt{0,15}} = 4666.37 V$$

Para determinar la tensión de contacto, se aplica la ecuación dando como resultado:

$$U_{contacto} = \frac{0,116(1000 + 1.5C_3 P_s)}{\sqrt{t_c}} = \frac{0,116(1000 + 1.5(0,81)(3000))}{\sqrt{0,15}} = 1391.22V$$

$\rho = 18.97 [\Omega\text{-m}]$. Resistividad del terreno.

$h_s = 0,2 [\text{m}]$. Grosor de la capa superficial.

$t_c = 0,15 [\text{s}]$. Tiempo de despeje de la falla.

$P_s = 3000 [\Omega\text{-m}]$. Resistividad aparente de la capa superficial – gravilla (IEEE Std. 80).

Dado que los valores de tensión de paso y de contacto resultan ser superiores, es necesario calcular entonces los valores reales. Para calcular el Potencial de Riesgo de Tierra (GPR, por sus siglas en inglés), se utilizó la corriente de falla suministrada por CENS S.A. E.S.P., que es de $I_g = 1373.6 \text{ kA}$. Por lo tanto, el valor del GPR se determina de la siguiente manera:

$$GPR = I_g * R_g = (1373.6) * (9.54) = 13104.1(V)$$

Se puede determinar el valor real de la tensión de la malla utilizando la siguiente ecuación

(10):

$$E_m = \frac{\rho I_G K_m K_i}{L_M} \quad (10)$$

$$E_m = \frac{(18.97)(1373.6)(0.93)(0.94)}{(76.73)} = 296.87 \text{ V}$$

El valor resultante satisface los requisitos estipulados, dado que es menor que la tensión de contacto máxima tolerable para un ser humano, establecida en 300 V durante un intervalo de 150 ms. En la mencionada ecuación 11, denota el valor geométrico del espaciamiento de la malla, cuyo cálculo se realiza de la forma siguiente:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16hd_c} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd_c} - \frac{h}{4d_c} \right) + \frac{k_{ii}}{k_h} \ln \left(\frac{8}{\pi(2n-1)} \right) \right] \quad (11)$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{4^2}{16(0.5)(0.00654)} + \frac{(4+2(0.5))^2}{8(4)(0.00654)} - \frac{0.5}{4(0.00654)} \right) + \frac{1}{1.22} \ln \left(\frac{8}{\pi(2(2)-1)} \right) \right] = 0.93$$

Siendo k_{ii} el factor de corrección que ajusta los efectos de los conductores sobre la esquina de la malla.

$$k_{ii} = 1$$

Por otro lado, K_h es un factor de corrección que tiene en cuenta los efectos de la profundidad de la malla, dado por:

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \quad (12)$$

Con $h_0 = 1m$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{0.5}{1}} = 1.22$$

Sabiendo que n representa el número de conductores paralelos de una malla rectangular equivalente, y está dado por:

$$n = n_a n_b n_c n_d$$

Como para mallas cuadradas tenemos que $n = n_a$

$$n_a = \frac{2L_c}{L_p} \quad (13)$$

$$n_a = \frac{2(64)}{(64)} = 2$$

Donde:

$L_c \rightarrow$ Longitud total de los conductores de la malla horizontal en m.

$L_p \rightarrow$ Longitud del perímetro de la malla en m.

El factor k_i corresponde al factor de irregularidad, y se define de la manera siguiente:

$$k_i = 0.644 + 0.148n$$

$$k_i = 0.644 + 0.148(2) = 0.94$$

Para mallas con muchas varillas de tierra en las esquinas, así como a lo largo del perímetro, la longitud efectiva enterrada (L_M) es:

$$L_M = L_C + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_X^2 + L_Y^2}} \right) \right] L_R \quad (14)$$

$$L_M = (64) + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{(2.4)}{\sqrt{4^2 + 4^2}} \right) \right] (21.6) = 76.73 \text{ m}$$

Donde:

$L_R = n_r L_r \rightarrow$ Longitud total de todas las varillas

$n_r \rightarrow$ Numero de varillas.

$L_r \rightarrow$ Longitud de cada varilla.

Determinación de la Tensión Real de Paso. El cálculo del valor de la tensión real de paso se efectúa mediante la siguiente expresión:

$$E_P = \frac{\rho I_G K_S K_i}{L_S} \quad (15)$$

$$E_P = \frac{(18.97)(1373.6)(0.389)(0.94)}{66.02} = 144.32 \text{ v}$$

Para mallas, ya sea con o sin varillas de tierra, la longitud efectiva del conductor subterráneo, denotada como L_S , se define como:

$$L_S = 0.75L_C + 0.85L_R \quad (16)$$

$$L_S = 0.75(64) + 0.85(21.2) = 66.02 \text{ m}$$

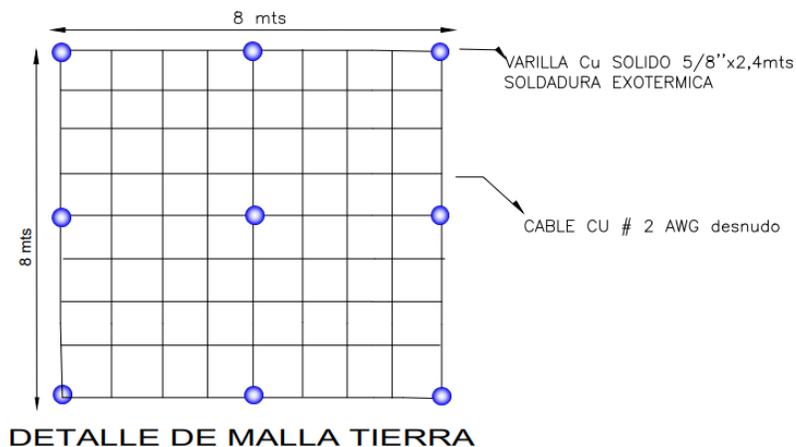
El valor de K_S se calcula si:

$$K_S = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right] \quad (17)$$

$$K_S = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2(0.5)} + \frac{1}{4+0.5} + \frac{1}{4} (1 - 0.5^{2-2}) \right] = 0.389$$

Figura 24

Diseño de malla tierra en AutoCAD.



Fuente: Autor.

8.7 Establecer una estimación de costos para el proyecto

Con el objetivo de determinar los materiales, referencias y cantidades requeridas, se consultó la normativa promulgada por el operador de red CENS, específicamente en el Capítulo 3 de la CNS-03-101-02. Dicha norma proporcionó la información esencial para la confección del presupuesto de materiales, que se presenta en la Tabla 12. Los precios citados provienen de la empresa Inter Eléctricas.

Tabla 20

Presupuesto de materiales para el proyecto.

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unit	Total
Poste de 12m x 1050 en concreto	6	Unidad	\$2.600.00 0	\$15.600.000
Aislador Tipo suspensión polimérico tipo ASUS MT	24	Unidad	\$60.000	\$1.440.000
Arandela de presión 5/8"	100	Unidad	\$400	\$40.000
Arandela de presión 1/2"	30	Unidad	\$350	\$105.000
Grapa de retención en Aluminio de 6-2/0AWG 3000Kg	45	Unidad	\$35.000	\$1.575.000
Perno 5/8" x8" galvanizado en caliente	45	Unidad	\$6.500	\$292.500
Perno 1/2"x 1 1/2" galvanizado en caliente	50	Unidad	\$3.000	\$150.000
Esparrago de 5/8"x10 con 4 tuercas	50	Unidad	\$8.500	\$425.000
Tuerca de ojo alargado 5/8"	80	Unidad	\$13.000	\$1.040.000
Bulto cemento x 40KG	10	Unidad	\$26.000	\$260.000
Bulto arena	20	Unidad	\$9.000	\$180.000
Bulto triturado de 1/2"	20	Unidad	\$9.000	\$180.000
Transporte de material a sitio	1	Unidad	\$100.000	\$100.000
Cruceta metálica 2 1/2" x 2 1/2" x 3/16" x 2,4 m.	14	Unidad	\$225.000	\$3.150.000
Aislador tipo pin 15KV ANSI 55-5	10	Unidad	\$25.000	\$250.000

Esparrago de 5/8"x12 con 4 tuercas	30	Unidad	\$10.000	\$300.000
Porta aislador pasante de 5/8" para cruceta metálica 13,2KV	30	Unidad	\$10.000	\$300.000
collarín de salida 9-10	6	Unidad	\$30.000	\$180.000
Perno de 5/8"x12 Galvanizado en Caliente	30	Unidad	\$4.000	\$120.000
Tuerca de ojo redondo 5/8"	30	Unidad	\$14.000	\$420.000
Cable ACSR 2/0 AWG	1200	Mts	\$8.500	\$10.200.000
DPS 12 KV	3	Unidad	\$134.000	\$402.000
Cortacircuitos 15 KV	3	Unidad	\$203.000	\$609.000
Transformador trifásico 150 KVA 13,200 VAC-440/220VAC	1	Unidad	\$30.000.000	\$30.000.000
Kit SPT Transformador	1	Unidad	\$250.000	\$250.000
Itanita (Compuesto SPT)	6	Paca	\$50.000	\$300.000
Arandela cuadrada plana 1/2"	40	Unidad	\$6.800	\$272.000
Perno 5/8" x10" galvanizado en caliente	15	Unidad	\$7.000	\$105.000
Arandela cuadrada plana 5/8"	90	Unidad	\$9.500	\$855.000
Diagonal en V de 48" para cruceta metálica sin doblez	10	Unidad	\$60.000	\$600.000
Varilla Anclaje de 5-8 x 1 80 mts	2	Unidad	\$32000	\$64000
Aislador TYCO Tensor de 3 1 -2	2	Unidad	\$6000	\$12000
Guardacabo Cable 3-8	2	Unidad	\$2000	\$4000
Alambre Galvanizado #10	2	Kg	\$10.000	\$20.000
Cable acero galv 1/4" extra alta resistencia	34	Mts	\$2.700	\$91.800
Tuerca hexagonal 5/8" astm-a- 194 grado 2h	2	Unidad	\$2.000	\$4.000
Bloque anclaje polimérico 400x300x100mm	2	Unidad	\$20.000	\$40.000
Varilla cobre cobre 5/8" x 2.40 mts	1	Unidad	\$270.000	\$270.000
TCS medida semidirecta	6	Unidad	\$450.000	\$2.700.000
Bornera de Prueba Para Tres Elemento	2	Unidad	\$150.000	\$300.000

Medidor Trifásico Semidirecta E Indirecta ELSTER	2	Unidad	\$2.250.00 0	\$4.500.000
Tubo Galvanizado IMC de 1 1/4 x 3Mts	2	Unidad	\$120.000	\$240.000
Capacete Roscado en Aluminio para Tubería IMC de 1 1-4	2	Unidad	\$8.000	\$16.000
Coraza Liquid Tight Tipo Americano 1 1-4 Pulgadas x Metro	2	MTS	\$12.000	\$24.000
Conector Coraza Liquid - Recto 1 1-4 Pulg – 4900397	4	Unidad	\$12.000	\$48.000
Fleje o Cinta metálica en (BandIt) Acero Inoxidable de 3-4	20	Mts	\$4.000	\$80.000
Hebilla en Acero Inoxidable para Fleje o Cinta metálica 3-4	20	Unidad	\$1.200	\$24.000
Caja Contador Trifásica Vertical para 1 Medidor 57X27X18	2	Unidad	\$130.000	\$260.000
Cable Encauchetado 4×12 AWG	40	Mts	\$14.500	\$580.000
			SUB	
			TOTAL3	\$ 78.978.300

Fuente: Autor.

Tabla 21*Presupuesto de red de baja tensión.*

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unit.	Total
Suministro e instalación de 3 postes de concreto (grúa, mano de obra, Abertura de huecos, hincada, aplomada, apisonada y fundida de postes).	3	Unidad	\$1.200.000	\$3.600.000
Suministro e instalación de 80 metros cable 4/0 trenzado 4 hilos (transporte material, mano de obra)	80	Mts	\$80.000	\$6.400.000
Suministro e instalación de 24 mts de bandeja portacables (transporte material, mano de obra)	24	Mts	\$140.000	\$3.360.000
Suministro e instalación de tablero de distribución (transporte de material, mano de obra)	1	Global	\$12.000.000	\$12.000.000
Transformador 10 KVA Seco Baja	1	Unidad	\$9.000.000	\$9.000.000
			Total	\$ 34.360.000

*Fuente: Autor.***Tabla 22***Estimación de costos del proyecto.*

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unit.	Total
Red media tensión - subestación	1	Global	\$107.148.300	\$107.148.300
Red baja tensión – tableros	1	Global	\$ 34.360.000	\$ 34.360.000
			Total	\$ 141.508.300

Fuente: Autor.

9 Conclusiones

Se destaca que la proyección adecuada de la carga eléctrica es fundamental en el diseño de subestaciones eléctricas, siendo este un paso crucial para garantizar su eficiencia y adaptabilidad a las necesidades futuras. Si bien el sector industrial carece de normativas claras en relación con la carga proyectada, los sectores residenciales y comerciales cuentan con directrices claras que abarcan horizontes temporales específicos.

Por otro lado, tras un riguroso análisis basado en el método de replanteo, se ha determinado que los puntos óptimos de conexión para la subestación se localizan en el nodo ya existente "Zulc2". A partir de esta disposición, se cuentan con 5 tramos asignados para media tensión de nivel 2 (13,2KV) utilizando un conductor ASCR 2/0 AWG, y otros 3 tramos para baja tensión con un conductor 4/0 AWG Cu. Esta configuración asegura una eficiente distribución y administración de las tensiones en el sistema.

Además, se establece que la presencia y correcta funcionalidad de los tableros de distribución principal son vitales para la integridad y seguridad de cualquier sistema eléctrico. Al servir como mecanismos de protección, aseguran que el sistema responda adecuadamente frente a irregularidades, desconectando circuitos cuando sea necesario y, de esta manera, resguardando el sistema completo y evitando posibles contratiempos o daños. Es imperativo que tales dispositivos se mantengan y revisen regularmente para garantizar su eficacia en todo momento.

Por otro lado, la caída de tensión observada en la red de baja tensión de este proyecto fue del 1,12%, un valor que se sitúa por debajo del 2% máximo permitido según lo establecido en la norma CENS, específicamente en la tabla 9, ítem 2.42. Esto demuestra que el diseño del proyecto cumple adecuadamente con los estándares regulatorios en términos de caída de tensión.

Además, en el desarrollo del presente proyecto, para el sistema de puesta a tierra, se

estableció la necesidad de una malla cuadrada de dimensiones 8x8m, integrada por 9 varillas de cobre sólido de 5/8" x 2,4m, unidas mediante soldadura exotérmica y acompañadas de un cable de cobre #2AWG desnudo. Esta configuración específica surge de una resistividad del terreno identificada en 18.97 ohm-m. Es relevante mencionar que, en terrenos con características similares en resistividad, la cantidad de varillas en las mallas de puesta a tierra puede variar, lo que demuestra la importancia de un análisis detallado y personalizado. A su vez, este diseño garantiza el cumplimiento de los estándares establecidos, ya que, para subestaciones de media tensión, se espera no superar un valor máximo de resistencia de 10 ohm; en este caso, la resistencia lograda es de 2.78 ohm, lo que refuerza la eficiencia y seguridad del sistema propuesto.

10 Recomendaciones

Se sugiere que, durante el desarrollo de este diseño, se priorice la implementación de arranques suaves y variadores de frecuencia en sistemas motorizados. Esta propuesta tiene el potencial de ser sumamente relevante y beneficiosa, ya que responde a una demanda esencial en la industria. Al hacerlo, se contribuiría significativamente a la optimización del rendimiento y la prolongación de la vida útil de los equipos, además de reducir el consumo energético y minimizar el estrés en la red eléctrica.

Previo a la implementación del tablero de distribución, es esencial efectuar un diseño meticuloso de iluminación y de las tomas de servicio de la planta. Durante la elaboración de este proyecto, tales cargas se proyectaron y pueden influir directamente en la selección de las protecciones eléctricas del sistema. Un diseño adecuado garantiza una integración óptima de las cargas con las protecciones y minimiza potenciales riesgos eléctricos.

Es prudente elaborar un presupuesto con cierta antelación a la adquisición de materiales. Dada la fluctuación en los precios de los materiales, influenciada por el comportamiento del dólar, es aconsejable una planificación anticipada. Este consejo es especialmente relevante si consideramos que muchas de las materias primas utilizadas se importan y, por ende, sus costos están directamente relacionados con la tasa de cambio.

Es importante señalar que el diseño presente se concibió acorde a las limitaciones económicas del cliente, dado que, en aquel momento, no disponía de la solvencia financiera requerida para afrontar una inversión más amplia.

11 Referencia bibliográfica

- Barrantes, P. (2011). *Diseño del sistema de protección y control de subestaciones eléctricas*.
- Barrios, A. y Romero, C. (2012). *Análisis y distribución de cargas derivadas de la subestación C.U.C y diagrama unifilar*. [Tesis de pregrado, Corporación Universitaria de la Costa (CUC)]. Repositorio Institucional de la Corporación Universitaria de la Costa.
- Carlos III de Madrid*. [Tesis de pregrado, Universidad Carlos III de Madrid]. Biblioteca digital Institucional de la Universidad Carlos III de Madrid.
- González Vergara, A. (2009). Estudio de la acoplabilidad de transformadores de potencia (Bachelor's thesis).
- González, A. y Ángeles, M. (2019). *Replanteo previo*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/119698>
- Huarachi Mendola, M. V. Consumo de energía eléctrica y crecimiento económico: evidencia empírica para Bolivia 1999-2014 (Doctoral dissertation).
- Ingeniería Civil y Arquitectura Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes
INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN.
- López Urrego, S. (2021). Diseño de redes eléctricas de media y baja tensión en los departamentos de la Guajira y magdalena.
- Loya, F. (2012). Diseño de un banco de condensadores para la corrección del factor de potencia de la empresa banchisfood S.A.
- M. V. SA., “Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión.” pp. 1–788, 2003.
- Martínez, A. (2019). *Tipos de acometidas para la instalación eléctrica en arquitectura*. [Recurso interactivo]. <https://uapa.cuaieed.unam.mx/sites/default/files/minisite/static/5d4223c4-28e5-4885-a27f-04bf4470c29d/Tipos-de-Acometidas-para-la-Instalacion-Elctrica/index.html>
- Mesa, A. (2011). *Generalidades en Subestaciones*. Disponible en

<https://subestacion.files.wordpress.com/2012/03/substations.pdf>

MINMINAS. (15 de 02 de 2013). Anexo general del RETIE resolución 9 0708 de agosto 30 de 2013 con sus ajustes. Bogotá, D.C.: Ministerio de Minas y Energía.

Muñoz, C y Álvarez, M. (2019). *Diseño eléctrico de red de media y baja tensión asociado al uso final y diseño de iluminación para el colegio instituto técnico industrial piloto de Bogotá.*

[Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio

Institucional de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

NACIONAL DE TRANSFORMADORES TESLA.: ¿Cómo determinar el factor K

Quintero, D. (2013). *Diseño de circuito de media tensión para alimentar el corregimiento de San José de Oriente (Cesar).* [Tesis de pregrado, Universidad de la Costa]. Repositorio

Institucional de la Universidad de la Costa.

Ramírez, T. y Villa, M. (2018). *Diseño de un sistema de puesta a tierra y apantallamiento para el bloque 6 de la Institución Universitaria Pascual Bravo.* [Tesis de pregrado, Institución

Universitaria Pascual Bravo]. Repositorio Institucional de la Universidad Pascual Bravo.

Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP). Resolución No. 180540 de marzo 30 de 2010.

Sánchez, G. y Ruge, J. (2019). *Diseño del sistema eléctrico para la urbanización los naranjos en el municipio de Arboledas del departamento Norte de Santander. Universidad*

Francisco de Paula Santander. [Tesis de pregrado, Universidad Francisco de Paula

Santander]. Repositorio Institucional de la Universidad Francisco de Paula Santander.

