

Guía Metodológica para Orientar el Diseño Electromecánico de Subestaciones de Media Tensión  
del Tipo Convencional de Acuerdo con lo Requerido para un Sistema de Distribución Local-  
SDL

Sebastián Quintero Rocavista y Jersson David Castro Galvis

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista

Director

Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga

PhD en Ingeniería

Codirector

Oscar Iván Aguirre Varela

Especialista en Gerencia de Recursos Energéticos

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Ingeniería Eléctrica

Bucaramanga

2024

### **Dedicatoria**

Este trabajo de grado está dedicado a Dios por su presencia y ser protector durante toda mi vida. En memoria de mi abuela Sara Moreno de Castro (Q.E.P.D) por su cariño y apoyo, a mi madre Argeliar Galvis Galvis por darme la vida y su claro ejemplo de esfuerzo y sacrificio al igual que mi padre William Castro Moreno por ser una persona trabajadora, así mismo a mi hermana Andrea Estefanía Castro Galvis y padrino Henry Jaimes Monsalve por su apoyo económico y emocional a lo largo de mi instancia en la universidad. A todos ellos que hicieron parte para lograr cumplir mi sueño de ser Ingeniero Electricista de la Universidad Industrial de Santander muchas gracias.

*Jersson David Castro Galvis*

### **Dedicatoria**

Son muchas las personas a las que tengo que agradecer el haber llegado a este punto de etapa formativa como futuro ingeniero, pero primero que todo doy gracias a Dios por ser siempre mi guía, protector y fortaleza en todo este proceso que no ha sido fácil.

A mi señora madre Rosalba Rocavista Viana quien no dudo de mi en ningún momento y quine se aventó junto a mí en este proceso sin dudarle y siempre confiando y brindándome su apoyo incondicional a pesar de la difícil situación familiar por la que atravesamos hace 14 años. Mi madre es sin duda alguna la persona principal a quien le dedico este enorme logro y le doy infinitas gracias por todo su amor, y ser ese ejemplo de fortaleza y berraquera que me impulso hasta aca sin importar cuán difícil pueda convertirse el proceso.

A mi familia por supuesto por siempre estar ahí pendiente de mí, también por su apoyo y en especial a mi tío Iván Darío Rocavista quien nos ha brindado su ayuda incondicional tanto emocional como económicamente desde hace 14 años, siendo esto un factor clave para poder llegar hasta aquí.

Y por supuesto a la persona quien sé que me está observando, cuidando y guiando desde el cielo y que tenía siempre esa visión de verme como todo un profesional, por lo que este logro se lo dedico también a mi señor padre Alberto Quintero Valencia (Q.E.P.D), y que el día de la ceremonia sé que estará a mi lado recibiendo ese diploma orgulloso de lo que he logrado.

A todos ellos mil y mil gracias por todo y por ser parte de este proceso que hoy culmina con el objetivo cumplido de ser un ingeniero de la Universidad Industrial de Santander.

*Sebastián Quintero Rocavista*

### **Agradecimientos**

Principalmente queremos agradecer a nuestros padres que con su apoyo, sacrificio y amor incondicional fueron nuestro pilar para lograr llegar hasta este punto de nuestras vidas. Por su puesto a nuestros profesores y tutores, el Ingeniero Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga que con su orientación, colaboración y experiencia nos permitieron ir mejorando de manera constante cada uno de los aspectos que ha sido tratados en el presente trabajo de grado. A el Ingeniero Oscar Iván Aguirre Varela, a quien en particular queremos hacer hincapié en su constante apoyo en actividades como visitas técnicas a diversas subestaciones y áreas operativas que contribuyeron en gran medida al desarrollo del proyecto y nos permitieron tener una perspectiva diferente de los conceptos necesarios en el tema de estudio de este. Por ultimo agradecer a nuestra alma mater la Universidad Industrial de Santander, que nos permitió desarrollarnos no solo como futuros profesionales, sino que también como personas éticas e integras y con un claro pensamiento crítico de cara a una vida profesional en la cual esperamos llevar en alto el nombre de esta prestigiosa institución educativa, y claro a cada uno de los profesores que fueron parte de nuestro proceso académico, sin ellos, sin su entrega, orientación y acompañamiento en cada una de las clases magistrales, no hubiese sido posible consolidar cada uno de los temas que hicieron parte de nuestro trabajo.

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>12</b>
<b>1. Marco Normativo .....</b>	<b>15</b>
<b>2. Procedimiento .....</b>	<b>19</b>
2.1. Etapa I-Identificación de la Información. ....	20
2.2. Etapa II-Filtrado y Selección de la Información.....	23
2.3. Etapa III-Análisis de la Información .....	23
2.4. Etapa IV-Redacción del Contenido .....	24
2.4.1. ¿A Quién Va Dirigida la Guía?.....	24
2.4.2. Finalidad del Documento.....	25
2.4.3. Formato para la Guía .....	25
2.4.4. Estructura General para la Guía.....	27
2.5. Etapa V-Revisión y Ajuste .....	28
2.6. Herramientas Utilizadas Durante el Desarrollo del Proyecto .....	29
<b>3. Redacción del Contenido Principal de la Guía Propuesta .....</b>	<b>30</b>
3.1. Generalidades.....	30
3.2. Planificación del Contenido.....	31
3.2.1. Temas Preliminares.....	31
3.2.2. Temas Principales .....	32
3.2.3. Temas complementarios .....	32
3.2.4. Anexos .....	33
3.3. Desarrollo Simplificado del Contenido de la Guía Propuesta .....	34

3.3.1.	Cuestionamientos Oportunos .....	36
3.3.2.	Marco Normativo Externo .....	37
3.3.3.	Configuraciones .....	38
3.3.4.	Análisis de Criterios y Metodología de Selección de la Configuración de Barra ....	41
3.3.5.	Selección de Equipos .....	44
3.3.6.	Tableros.....	50
3.3.7.	Conductores .....	51
3.3.8.	Distancias de seguridad.....	57
3.3.9.	Disposición física.....	63
<b>4.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>65</b>
	<b>Referencias Bibliográficas.....</b>	<b>68</b>

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. <i>Normas y estándares usados en el desarrollo.</i> .....	15
Tabla 2. <i>Márgenes para hojas verticales y horizontales de la guía.</i> .....	27
Tabla 3. <i>Formato para presentación de configuración de barra.</i> .....	40
Tabla 4. <i>Modelo para la presentación de criterios de cada configuración.</i> .....	41
Tabla 5. <i>Modelo para la presentación de criterios en base a costos, área, facilidad en mantenimiento y control de cada configuración.</i> .....	43
Tabla 6. <i>Formato para presentación de equipos.</i> .....	47
Tabla 7. <i>Formato para distancias de seguridad</i> .....	61
Tabla 8. <i>Formato para presentación de las distancias de seguridad para celdas.</i> .....	63
Tabla 9. <i>Formato para presentación de vistas de planta y corte para cada configuración.</i> .....	64

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1. <i>Portal Biblioteca Virtual UIS</i> . .....	21
Figura 2. <i>Reunión con personal experto y visita a patio S/E Palos 34.5/13.8 kV</i> .....	22
Figura 3. <i>Formato de portada para la guía metodológica</i> . .....	26
Figura 4. <i>Formato de rotulo para encabezado</i> . .....	27
Figura 5. <i>Flujograma para el proceso de diseño y elaboración de la guía</i> . .....	35
Figura 6. <i>Esquema general de diseño</i> . .....	37
Figura 7. <i>Desarrollo modular de barrajes</i> . .....	42
Figura 8. <i>Diagrama de bloques para metodología de selección de configuración de barraje</i> . ...	44
Figura 9. <i>Flujograma con pasos recomendados a seguir</i> .....	48
Figura 10. <i>Representación de ductos subterráneos y ductos conductores en cárcamo</i> . .....	53
Figura 11. <i>Flujogramas para selección de conductores de interconexión y barraje</i> .....	56
Figura 12. <i>Flujograma para metodología de determinación de las distancias de seguridad</i> . ....	58
Figura 13. <i>Zonas de seguridad para mantenimientos y transformadores aislados en aceite</i> . .....	60

### **Lista de Apéndices**

“Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS”

Apéndice A. Guía Metodológica para Orientar el Diseño Electromecánico de Subestaciones de Media Tensión del Tipo Convencional de Acuerdo con lo Requerido para un Sistema de Distribución Local-SDL

## Resumen

**Título:** Guía metodológica para orientar el diseño electromecánico de subestaciones de media tensión del tipo convencional de acuerdo con lo requerido para un Sistema de Distribución Local – SDL.\*

**Autor:** Sebastián Quintero Rocavista, Jersson David Castro Galvis\*\*

**Palabras Clave:** Convencionales, CREG, Diseño electromecánico, Equipos, Exterior, Interior, Media tensión, Operador de red, RETIE (REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS) (2013), Subestaciones, Sistema de Distribución Local.

**Descripción:** El presente trabajo de grado consiste en desarrollar una guía metodológica que permita orientar el diseño del componente electromecánico de subestaciones en media tensión del tipo convencional. Con la cual se busca un modelo normalizado para el proceso constructivo de este tipo de instalaciones que satisfaga los requerimientos del operador de red para un Sistema de Distribución Local (SDL), en concordancia con las normas y estándares aplicables. El desarrollo de la guía involucra el talento humano de estudiantes, profesores y personal experto del OR, así como el uso de herramientas de ofimática y diseño asistido por computadora CAD etc.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánica. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones.

Director: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga. PhD en Ingeniería. Codirector: Oscar Ivan Aguirre Varela. Especialista en gerencia de recursos energéticos.

### Abstract

**Title:** Methodological Guide for Guiding the Electromechanical Design of Conventional Medium-Voltage Substations According to the Requirements of a Local Distribution System – LDS.\*

**Author(s):** Sebastian Quintero Rocavista, Jersson David Castro Galvis\*\*

**Key Words:** Conventional, CREG (Colombian Energy and Gas Regulatory Commission), Electromechanical Design, Equipment, Exterior, Interior, Medium Voltage, Network Operator, RETIE (2013) (Electrical Installations Technical Regulations), Substations, Local Distribution System.

**Description:** The present thesis aims to develop a methodological guide to guide the design of the electromechanical component of medium-voltage conventional-type substations. This guide seeks to establish a standardized model for the construction process of such installations, meeting the requirements of the network operator for a Local Distribution System (LDS), in accordance with applicable regulations and standards. The development of the guide involves the human resources of students, professors, and specialized personnel from the OR, as well as the use of office tools and computer-aided design (CAD) software.

---

\* Degree Work

\*\* Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering.

Director: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga. PhD in Engineering. Codirector: Oscar Ivan Aguirre Varela. Specialist in Energy Resource Management.

## Introducción

La historia universal reciente se partió en dos grandes capítulos para la humanidad, el antes de la pandemia ocasionada por la aparición del virus SAR\_Covid-19 y las necesidades energéticas derivadas de los nuevos esquemas de trabajo que en algunos casos, países y sectores surgieron y en otros, tomaron una mayor fuerza para dar continuidad a los procesos y negocios a nivel global. Este importante hecho, sumado a los diferentes esfuerzos mundiales en pro de promover una mayor conciencia ambiental, de lo cual se derivan destacadas iniciativas como los *Objetivos de Desarrollo Sostenibles* de la Organización de Naciones Unidas, hacen que la transición energética y la ampliación de la cobertura en materia de servicios públicos domiciliarios como lo es la energía eléctrica, se conviertan en uno de los temas de la agenda permanente en las políticas de gobierno, los reguladores y los diferentes actores de la cadena energética (Generadores, transmisiones, Distribuidores – Operadores de Red, comercializadores, etc.).

El acceso a la energía eléctrica además de haberse convertido en un derecho fundamental, es un instrumento esencial para el desarrollo sostenible; lo cual representa un reto importante tanto para las políticas de gobierno, como para los diseñadores, fabricantes y operadores de instalaciones, equipos y elementos asociados a la cadena de suministro; en donde se busca mantener un delicado y permanente equilibrio entre lo requerido para mantener la atención de la demanda y los recursos comprometidos en esta compleja actividad. En respuesta al continuo crecimiento urbanístico normado a través esfuerzos regulatorios como los Planes de Ordenamiento Territorial – POTs y demás instrumentos de las planeaciones municipales, actores como el Ministerio de Minas y Energía, la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME, La Comisión para la Regulación de Energía y Gas – CREG y los Operadores de Red continuamente deben enfrentarse a la ampliación, expansión, modernización, construcción y reposición de sus activos

monitoreando y cuidando diversos factores como el alcance, costo, calidad, riesgo y sobre todo el tiempo, lo cual debe ser consistente y coherente con la regulación aplicable y sustentarse sobre la base de un desarrollo de ingeniería que se adapte a las necesidades para poder atender el crecimiento de la demanda de manera segura, oportuna y eficiente, bajo la atenta mirada de los entes reguladores que cada vez son más exigentes. Esto conlleva a que con frecuencia se vean limitados los plazos para la formulación, planeación y ejecución de dichos proyectos de la red eléctrica.

Teniendo en cuenta los principios fundamentales de eficacia y eficiencia definidos por la ley eléctrica colombiana<sup>††</sup>, los cambios regulatorios del sector energético que ajustan las reglas de juego en materia de remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional – SIN<sup>‡‡</sup> y la importancia de mantener adecuadas prácticas de ingeniería como base para la toma de decisiones, dados los avances en materiales y tecnologías aplicadas a transformadores y otros equipos electromecánicos, buscando soluciones más sostenibles y eficientes, persisten desafíos como las variadas condiciones operativas y los cambios normativos. Sin embargo, el estado del arte revela que hay un número significativo de literaturas e investigaciones (Patiño Yepes, 2012) sobre subestaciones eléctricas siendo el libro de Mejía Villegas (2003) el más conocido en nuestro ámbito, estos se centran en criterios generales de diseño y operación de subestaciones a niveles de 57.5 kV hasta los 500 kV. Haciendo evidente la falta de información detallada para el diseño en subestaciones en media tensión, la cual se remonta a trabajos investigativos o tesis de grado enfocadas en temas muy generales que influyen en el

---

<sup>††</sup> LEY 142 DE 1994, Artículo 5, Numeral 5.1.

<sup>‡‡</sup> Resolución CREG 015 de 2018

diseño de estas (Linares Escobar, 2009). Por lo anterior el presente trabajo grado tiene como objetivo principal desarrollar una propuesta de guía metodológica para orientar el diseño electromecánico de subestaciones de media tensión del tipo convencional de acuerdo con lo requerido para un Sistema de Distribución Local – SDL, en donde será necesario establecer y desarrollar los requerimientos y elementos para la elaboración del contenido en temas como selección de equipos, configuraciones, conductores, distancias de seguridad, disposición física entre otros, tanto para S/E tipo interior como exterior en base a la regulación y normatividad aplicable, vinculando al personal especializado de un operador de red. Dejando claridad que aspectos como sistemas de puesta a tierra, servicios auxiliares, obras civiles y sobre todo costos, no serán del alcance de este trabajo, permitiendo así consolidar un entregable, el cual de manera preliminar será socializado y se someterá a la validación de expertos con el fin de ajustar esos requerimientos asociados al componente electromecánico a las necesidades del Operador de red incumbente, la regulación vigente y las buenas prácticas de ingeniería. Logrando un producto claro, coherente, preciso y adecuado al contexto en el que se va a utilizar garantizando su calidad y efectividad comunicativa, que potenciara las capacidades y tiempos de respuesta de los Operadores de Red y sus áreas de formulación y desarrollo de proyectos, para implementar mejoras en los sistemas de distribución de energía eléctrica.

## 1. Marco Normativo

Para la elaboración de la guía propuesta, fue necesario realizar una exhaustiva búsqueda de material normativo necesario en la formulación de este tipo de documentos, abarcando de forma preliminar temas como niveles de aislamiento, tensiones y corrientes estandarizadas y a partir de allí derivar en aspectos más específicos que influyeran en el diseño del componente electromecánico.

**Tabla 1.**

*Normas y estándares usados en el desarrollo.*

NORMA	DESCRIPCIÓN
<b>ANSI C37.32, American National Standard for High Voltage Switches, Bus Supports, and Accessories Schedules of Preferred Ratings, Construction Guidelines, and Specifications.</b>	Allí, se proporciona especificaciones de diseño para interruptores con capacidades nominales superior a 1000 voltios.
<b>ASTM A759, Standard Specification for Carbon Steel Crane Rails.</b>	Por la cual se presentan los estándares y especificaciones de rieles de acero al carbono, aplicables en las carrileras para el movimiento de los transformadores al interior de la instalación.
<b>IEEE Std C37.30, IEEE Standard Requirements for AC High-Voltage Air Switches Rated Above 1000 V.</b>	Allí, se adoptan las clasificaciones requeridas, los requisitos de construcción y prueba, así como las aplicaciones y practicas sugeridas para todos los interruptores de alta tensión tanto para instalación en interiores y exteriores.
<b>IEEE Std C37.42, IEEE Standard Specifications for High-Voltage (&gt; 1000 V) Expulsion-Type Distribution-Class Fuses, Fuse and Disconnecting Cutouts, Fuse Disconnecting Switches, and Fuse Links, and Accessories Used with These Devices.</b>	Mediante el cual se establece las especificaciones para fusibles usados en tensiones superiores a 1000 V, así como fusibles cortacircuitos, fusibles seccionadores y accesorios para todos estos dispositivos.

<b>IEEE Std C37.113, IEEE Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines.</b>	Su principal propósito es proporcionar información que ayude a implementar el uso correcto de relés y otros dispositivos para proteger líneas eléctricas trifásicas de alta tensión.
<b>IEEE Std C57.12.00, IEEE Standard for General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers.</b>	Estándar mediante el cual se presenta los requisitos eléctricos y mecánicos tanto para transformadores de distribución y potencia sumergidos en líquido, así como para autotransformadores y transformadores de regulación.
<b>IEEE Std 693-2005 IEEE Recommended Practice for Seismic Design of Substations.</b>	Mediante el cual se adoptan recomendaciones prácticas para el diseño sísmico de subestaciones.
<b>IEEE Std 693-2018, IEEE Recommended Practice for Seismic Design of Substations.</b>	Por la cual se realizan recomendaciones prácticas para el diseño sísmico de subestaciones incluyendo calificativos para los equipos, así como la aplicación de criterios sísmicos, capacidades estructurales, requisitos de desempeño para la operación del equipo, métodos de instalación y documentación.
<b>IEEE Std 605, IEEE Guide for Bus Design in Air Insulated Substations.</b>	Se presentan recomendaciones para el diseño de barras en subestaciones AIS con el fin de garantizar un funcionamiento seguro y confiable de esta.
<b>IEEE Std 979, IEEE Guide for Substation Fire Protection.</b>	Estándar que se enfoca en el riesgo de incendios en subestaciones eléctricas.
<b>IEEE Std 1584, IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations.</b>	Por el cual se implementan modelos matemáticos para que los diseñadores y operadores de instalaciones los apliquen al analizar y determinar la distancia de riesgo de arco eléctrico y la energía incidente.
<b>IEC 60909-0, Short-circuit currents in three-phase AC systems - Part 0: Calculation of currents.</b>	Mediante el cual se aplica cálculos de corrientes de cortocircuito en sistemas de CA trifásicos de baja tensión y en sistemas de CA trifásicos de alta tensión, que van a funcionar a una frecuencia nominal de 50 Hz o 60 Hz.
<b>IEC 60282-1, High-voltage fuses - Part 1: Current-limiting fuses.</b>	La cual presenta los tipos de fusibles limitadores de corriente de alta tensión diseñados para uso en exteriores o interiores en sistemas de corriente alterna de 50 Hz y 60 Hz y que tengan tensiones nominales superiores a 1000 V.
<b>IEC 60255-1, Measuring relays and protection equipment - Part 1: Common requirements.</b>	Norma en donde se adoptan reglas y requisitos comunes aplicables a relés de medición y equipos de protección para el sistema de

	energía, equipos de control, monitoreo, entre otros.
<b>IEC 60071-1, Insulation coordination - Part 1: Definitions, principles, and rules.</b>	Esta primera parte se aplica a sistemas de CA trifásicos que presentan una tensión superior a 1 kV. De igual forma se aborda el procedimiento que se debe tener en cuenta a la hora de seleccionar tensiones nominales en base a él aislamiento fase-tierra, fase-fase.
<b>IEC 60071-2, Insulation coordination - Part 2: Application guide.</b>	Siguiendo con lo mencionado en la norma anterior, esta segunda parte tiene como objetivo brindar las directrices necesarias para determinar las tensiones nominales soportadas para los rangos I y II de IEC 60071-1.
<b>IEC 60364-4-442, Electrical installations of buildings - Part 4: Protection for safety - Chapter 44: Protection against overvoltage - Section 442: Protection of low-voltage installations against faults between high-voltage systems and earth.</b>	Norma en la cual se brindan reglas que permitan una correcta protección contra los efectos de perturbaciones conducidas y radiadas sobre las instalaciones eléctricas.
<b>IEC 60076-1, Power transformers - Part 1: General.</b>	Norma que tiene como finalidad presentar las generalidades de los transformadores de potencia, se aplica a transformadores de potencia trifásicos y monofásicos (incluidos los autotransformadores).
<b>IEC 60076-2, Power transformers - Part 2: Temperature rise.</b>	Mediante la cual se aborda orientaciones acerca del calentamiento de transformadores sumergidos en líquidos.
<b>IEC 60076-3, Power transformers - Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air.</b>	Tiene como finalidad dar a conocer los requisitos y pruebas de aislamiento correspondientes (aplica a transformadores de potencia según lo definido por el IEC 60076-1).
<b>IEC 60672-1, Ceramic, and glass insulating materials - Part 1: Definitions and classification.</b>	Mediante la cual se brinda información pertinente a definiciones y clasificaciones de los materiales cerámicos, de vidrio y vitrocerámicos que se utilizan con fines de aislamiento eléctrico.
<b>IEC 61466-2, Composite string insulator units for overhead lines with a nominal voltage greater than 1 000 V - Part 2: Dimensional and electrical characteristics.</b>	Norma aplicable a cadenas de aisladores con una carga mecánica especificada de 40 kN y de 70 kN a 600 kN para líneas aéreas de distribución de CA con una tensión nominal superior a 1000 V.
<b>IEC 62271-100, High-voltage switchgear, and control gear - Part 100: Alternating-current circuit-breakers.</b>	Norma que se aplica a disyuntores de CA trifásicos diseñados para instalación interior o exterior en sistemas con tensiones superiores a 1000 V.

<b>IEC 62271-102, High-voltage switchgear, and control gear - Part 102: Alternating current disconnectors and earthing switches.</b>	Aborda lo relacionado a seccionadores de corriente alterna y seccionadores puesta a tierra diseñados para instalaciones interiores y exteriores para tensiones nominales superiores a 1000 V.
<b>IEC 62271-200, High-voltage switchgear, and control gear - Part 200: AC metal-enclosed switchgear and control gear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV.</b>	Norma aplicable a la apartamenta de equipos de control y prefabricados en envoltente metálico diseñados para CA para tensiones nominales entre 1 kV y 52 kV.
<b>IEC 60059, IEC standard current ratings.</b>	Da a conocer las clasificaciones de corriente estándar para dispositivos, elementos e instrumentos eléctricos.
<b>IEC 60099-4, Surge arresters - Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for A.C. systems.</b>	Norma aplicable a los descargadores de sobretensiones no lineales del tipo resistencia de oxido metálico.
<b>IEC 60099-5, Surge arresters - Part 5: Selection and application recommendations.</b>	Allí se presenta información, orientación y recomendaciones para la selección y aplicación de descargadores de sobretensiones para su uso en sistemas trifásicos con tensiones nominales superiores a 1 kV.
<b>IEC 61869-2, Instrument transformers - Part 2: Additional requirements for current Transformers.</b>	Norma aplicable a transformadores de corriente del tipo inductivos de nueva fabricación para su uso mediante instrumentos de medición eléctricos y/o dispositivos de protección eléctrica con frecuencias nominales de 15 Hz a 100 Hz.
<b>IEC 61869-3, Instrument transformers - Part 3: Additional requirements for inductive voltage Transformers.</b>	Norma aplicable para aquellos nuevos transformadores de tensión del tipo inductivo para su uso con instrumentos de medición eléctrica y dispositivos de protección eléctrica en frecuencias de 15 Hz a 100 Hz.
<b>IEC 62271-1, High-voltage switchgear, and control gear - Part 1: Common specifications for alternating current switchgear and control gear.</b>	En la cual se adopta especificaciones comunes para los equipos de conmutación y control de CA diseñados para instalación en interiores y/o exteriores con tensiones nominales superiores a 1 000 V.
<b>IEC 60949, Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects.</b>	Norma que establece la manera adecuada para calcular la corriente de cortocircuito adiabático asi como el factor de modificación que presente el efecto de calentamiento no adiabático.
<b>IEC 61936-1, Power installations exceeding 1 kV AC and 1,5 kV DC - Part 1: AC.</b>	Norma que brinda información de los requisitos para el diseño y la construcción de instalaciones de energía eléctrica en sistemas con tensiones nominales superiores a 1 kV.

<b>IEC 61850, Communication networks and systems for power utility automation - ALL PARTS.</b>	Mediante el cual se integran todas las funciones de control, protección, medición y supervisión en una subestación.
<b>NESC, National Electrical Safety Code.</b>	El código NESC establece las disposiciones básicas para proteger a las personas de los peligros que se pueda presentar en las instalaciones eléctricas.
<b>NFPA 70, NEC National Electrical Code.</b>	Es el punto de partida para el diseño, la instalación y la inspección eléctrica para proteger a las personas y la propiedad de los peligros eléctricos.
<b>NFPA 70E, Standard for Electrical Safety in the Workplace.</b>	Norma mediante la cual se brinda recomendaciones necesarias y requisitos para la protección contra riesgos eléctricos en el lugar de trabajo.
<b>NFPA 850, Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations.</b>	Da a conocer las recomendaciones prácticas de seguridad contra incendios para plantas de generación eléctrica de gas, petróleo, carbón y combustibles alternativos.
<b>NTC 2050, Código Eléctrico Colombiano.</b>	El código eléctrico colombiano, tiene como objetivo salvaguardar la vida de las personas y de los bienes contra riesgos que pueden surgir por el uso de la electricidad.
<b>RETIE, Reglamento técnico de Instalaciones Eléctricas.</b>	Cuyo objetivo es establecer medidas que garanticen la seguridad de las personas, vida animal, vegetal, y la preservación del medio ambiente previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico.

## 2. Procedimiento

Para llevar a cabo el presente trabajo de grado, se estableció un proceso de desarrollo que se dividió en cinco grandes etapas, en las cuales se derivaron tareas específicas que permitieron

cumplir a cabalidad con cada uno de los objetivos establecidos en la fase inicial del proyecto. Las fases en las cuales se dividió el desarrollo de este trabajo de grado son las siguientes:

### **2.1.Etapa 1-Identificación de la Información.**

Una vez formulada y aprobada la propuesta de desarrollar guía metodológica para el diseño del componente electromecánico como tema de investigación, se inició con la identificación y recopilación de la información que pudiese ser necesaria durante el proceso de elaboración de la guía. Esto significó una búsqueda exhaustiva de material bibliográfico y normativo, en el que se optó inicialmente por abarcar temas generales en el campo de las subestaciones, y desde allí iniciar con el filtrado de dicha información para verificar la relevancia, precisión y calidad de esta, como se verá en la etapa II del proceso, buscando aspectos técnicos más específicos de cara a los temas a abordar en el contenido del documento. Para la búsqueda y recopilación de todo este material, fue importante el uso que se le dio a la base de datos que la Universidad Industrial de Santander tiene a través de su Biblioteca Virtual, pues esta cuenta con un amplio abanico de autores, normas y estándares como ASTM INTERNATIONAL, ICONTEC (la cual cuenta con acceso a normas propias e IEC), AENOR (en donde, al igual que con ICONTEC se pudieron encontrar normas IEC, pero en esta ocasión con su traducción al español) y finalmente IEEE.

**Figura 1.***Portal Biblioteca Virtual UIS.*

Así mismo, durante esta etapa se realizaron diversas reuniones con personal experto por parte de un operador de red, con el propósito de tener una perspectiva diferente acerca de la información necesaria que se debe tener a la hora de formular un proyecto de diseño para subestaciones eléctricas en general, así como aclarar todo tipo de dudas que se pudieran hasta ese entonces, aprovechando la amplia experiencia de ellos en este campo. Dentro de estas reuniones se tocaron temas como el diseño, construcción, operación, mantenimiento y todo lo relacionado con criterios de selección que se deben considerar para cada uno de los componentes que constituyen una instalación de este tipo. Es importante aclarar que, si bien las reuniones con el personal experto hacen parte de esta etapa, durante el proceso general de desarrollo de todo el proyecto fue necesario realizar algunas reuniones adicionales de cara a solventar dudas y ajustes

adicionales que fueron surgiendo a medida que se cumplía con el cronograma establecido. Es de resaltar el valioso aporte que estos profesionales del área nos brindaron, además de recomendaciones, mejores prácticas e incluso lecciones aprendidas de proyectos en los cuales han participado.

Finalmente, en esta fase, tuvo lugar un par de visitas técnicas a subestaciones en donde se pudo observar el funcionamiento, configuración y disposición de los equipos que componen este tipo de subestaciones, además del acompañamiento de profesionales encargados de estas instalaciones, lo cual nos permitió alinear nuestra visión acerca de cómo queríamos desarrollar el proyecto y comprender mucho mejor el alcance que tiene el desarrollar una propuesta de este tipo y como esta puede aportar al desarrollo de la infraestructura eléctrica.

### **Figura 2.**

*Reunión con personal experto y visita a patio S/E Palos 34.5/13.8 kV*



Algunas de las tareas desarrolladas en esta fase fueron:

- **Levantamiento de información bibliográfica y normativa**
- **Identificación de información relevante para el proyecto**

- **Reuniones con personal experto en el área de las subestaciones eléctricas**
- **Visitas técnicas a subestaciones Palos y Subestación Sur**

## **2.2. Etapa II-Filtrado y Selección de la Información**

Una vez que se identificó la información, esta se listó en un archivo Excel, en donde se revisó su relevancia y como esta podía ser de utilidad para el desarrollo de la guía propuesta. Para el caso del material normativo, así como los estándares recopilados, se verifico que estos estuvieran vigentes de modo que a partir de ellos se pudiera derivar la búsqueda de aspectos técnicos más específicos para la selección y disposición de equipos que constituyen el componente electromecánico. En resumen, para la selección de la información que se usó en el desarrollo de la guía metodológica propuesta, se tuvieron en cuenta criterios como:

- **Vigencia: Las normas y estándares deben estar vigentes.**
- **Relevancia: La información que allí se tenga deberá ser aplicable al proyecto.**
- **Calidad: El material debe ser de fuentes confiables y afines a la materia, y su información debería ser bien detallada y documentada.**

## **2.3. Etapa III-Análisis de la Información**

Complementado lo realizado en la etapa anterior, aquí una vez seleccionada y filtrada la información correspondiente, se realizó el debido análisis de esta de forma que fuera posible identificar criterios, recomendaciones y conclusiones que pudieran servir como referente en la elaboración de la guía propuesta. Esto, nos permitió ir desglosando dicha información de tal forma

que a medida que se fue desarrollando el contenido de la guía, surgieran temas adicionales a considerar, buscando que la guía propuesta fuese lo más completa posible. Las actividades realizadas en esta etapa fueron

- **Analizar y verificar el contenido de la información.**
- **Desglosar el contenido de la información en búsqueda de nuevos criterios y aspectos que fuesen necesarios para el desarrollo de la guía.**

## **2.4. Etapa IV-Redacción del Contenido**

Para la redacción del documento, inicialmente se presentaron los temas a incluir en el contenido a modo de propuesta, y con la ayuda de nuestros directores y los expertos, se derogaron y ajustaron varios temas los cuales se optó por no incluir al detalle en el contenido, entre los principales desatacan aspectos generales, obras civiles, sistemas de puesta a tierra, servicios auxiliares, apantallamiento, coordinación de aislamiento, protecciones, etc. De modo que estos fueran presentados en el contenido de una forma muy general a fin dejarlos mapeados, ya que son aspectos importantes en el proceso de diseño y que influyen en el tema principal objeto de estudio de este proyecto. Así mismo, el contenido de la guía se definió en base a criterios como:

### **2.4.1. *¿A Quién Va Dirigida la Guía?***

Ingenieros Electricistas: Pues serán ellos quienes, en su ejercicio profesional de la Ingeniería Eléctrica, dirigirán, diseñarán, supervisarán y ejecutarán proyectos de esta índole. Por lo que una guía para el diseño del componente electromecánico ofrecerá una herramienta útil y necesaria para el desarrollo de nuevas subestaciones o incluso modernizarlas, pues con este tipo de documentos, será posible lograr una mayor estandarización en la selección de materiales y

equipos en base a criterios de calidad y eficiencia que se deben cumplir en el desarrollo de este tipo de activos, favoreciendo así el tiempo de formulación y posterior construcción.

Técnicos y Operadores en Subestaciones: A través de los criterios establecidos, la guía propuesta tiene también como público objetivo al personal que trabaja en la operación diaria de las subestaciones eléctricas en este caso en media tensión, ofreciéndoles una herramienta con los principios, normas y las buenas prácticas recomendadas que se garantice la seguridad y eficiencia operativa en estas instalaciones.

Estudiantes de Ingeniería Eléctrica: La guía permitirá a los estudiantes contar con un documento práctico donde la información plasmada allí les permitirá complementar y reforzar los conocimientos adquiridos en su proceso formativo en el diseño de subestaciones y en los principios constructivos y de selección de equipos para estas instalaciones.

#### ***2.4.2. Finalidad del Documento***

Establecer requerimientos que vayan en línea con estándares y normas técnicas vigentes que permitan orientar el diseño electromecánico de subestaciones en media tensión del tipo convencional, permitiendo que se agilice el proceso de selección de los equipos, así como su disposición favoreciendo el tiempo de formulación y posterior construcción de este tipo de instalaciones.


#### ***2.4.3. Formato para la Guía***

Algo que debemos resaltar en esta etapa previo, es que este proyecto se desarrolló en paralelo con otros 2 proyectos relacionados con guías metodológicas, pero centradas en servicios auxiliares y sistemas de puesta a tierra y apantallamiento, igualmente para subestaciones en media tensión. Dando como resultado que cada grupo dentro su respectivo desarrollo, presentará un formato a su medida, por lo que se evaluó la posibilidad de crear un formato único de tal forma

que estas tres guías pudieran alinearse de alguna manera a través de un formato estándar de presentación que fuese sencillo y agradable a la vista para todos aquellos que hicieran uso del documento. Por lo que a decisión unánime a través de tres propuestas de diseño se llegó a la conclusión de que los tres documentos estuvieran redactados con el siguiente formato:

**Figura 3.**

*Formato de portada para la guía metodológica.*

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de edición: 12/12/2023	
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS COMPONENTE ELECTROMECAÁNICO EN SUBESTACIONES CONVENCIONALES EN MEDIA TENSIÓN PARA UN SDL			
Elaboró:	Sebastián Quintero Rocavista	Jersson David Castro Galvis	Versión: 5	
Revisó:	Oscar Quiroga	Oscar Aguirre	Página: 1 de 60	
GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DEL COMPONENTE ELECTROMECAÁNICO, PARA SUBESTACIONES DE TIPO CONVENCIONAL, DE MEDIA TENSIÓN, PARA UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN LOCAL - SDL				
Versión No 5				
12/12/2023				
<b>ELABORO</b> NOMBRE: Sebastián Quintero Rocavista      Jersson David Castro Galvis CARGO: Estudiante Ing. Eléctrica      Estudiante Ing. Eléctrica		<b>REVISÓ</b> Oscar Quiroga      Oscar Aguirre Director      Codirector		

Para este formato se opta por utilizar una fuente de letra Arial con tamaño No. 11, la cual será en negrita y en mayúscula para los títulos, el cuerpo del texto cuenta con un espaciado entre líneas y párrafos de 1,0 y cada hoja del documento cuya disposición sea vertical u horizontal, contará con las siguientes márgenes:

**Tabla 2.**


*Márgenes para hojas verticales y horizontales de la guía.*

Margen	Disposición vertical en [cm]	disposición horizontal en [cm]
Superior	2	3
Inferior	1,7	1,7
Izquierda	3	3,18
Derecha	3	3,18

Como se evidencia en la Figura 4. El formato cuenta con un encabezado en donde se plasmó un rotulo con la información importante referente a: título de la guía, personas que la elaboraron y revisaron, fecha de revisión, versión en la que se encuentra el desarrollo de la guía (la cual se fue actualizando a medida que esta se sometió a ajustes y revisiones) y finalmente el número de página, así como el total de estas.

**Figura 4.**

*Formato de rotulo para encabezado.*

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión: 12/12/2023
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		
	COMPONENTE ELECTROMECAÁNICO EN SUBESTACIONES CONVENCIONALES EN MEDIA TENSIÓN PARA UN SDL		Versión: 5
	Elaboró:	Sebastián Quintero Rocavista	
Revisó:	Oscar Quiroga	Oscar Aguirre	Página <b>1</b> de <b>164</b>

#### 2.4.4. Estructura General para la Guía

Además, y de forma simultánea a la definición del formato único para la redacción de la guía propuesta, se estableció la estructura global que llevaría dicho documento, de modo que se logrará organizar el contenido y a partir de allí derivar en los subtemas que lo conformarían. El esquema propuesto para la guía es el siguiente:

- **Introducción**
- **Objeto**
- **Alcance**

- **Definiciones**
- **Marco normativo externo**
- **Alineación regulatoria**
- **Contenido**
- **Anexos**

Es resumen, en esta etapa las actividades que se realizaron fueron:

- **Reunión con personal experto y experto en donde se definieron los temas para el contenido de la guía.**
- **Se estableció el formato único para la redacción del documento.**
- **Se definió la estructura general que tendría la guía.**
- **Se inicio con la redacción del documento.**

## **2.5.Etapa V-Revisión y Ajuste**

Finalmente, terminada la redacción de la guía propuesta, esta se sometió a revisión, recepción de comentarios y posterior ajuste, esto con la ayuda de los expertos, nuestros directores y algunos profesores de la escuela, a los cuales quisimos hacer parte de esta etapa, ya que sus comentarios podrían ser valiosos a la hora de ajustar y lograr una versión final. A medida que se fueron realizando los debidos ajustes, se estableció una nueva versión de la guía, la cual se revisaba nuevamente y se sugerían cambios y ajustes. Así entonces fueron 5 las versiones que se presentaron siendo esta ultima la que logro un conceso entre todos los involucrados en el proyecto y que quedaría como versión definitiva. Esta versión será anexada al presente documento y podrá ser

visible en la base datos de la biblioteca UIS. En resumen, las principales actividades desarrolladas en esta etapa final fueron:

- **Revisión y ajuste de versión preliminar de la guía**
- **Presentación y ajuste de nuevas versiones**
- **Presentación de versión definitiva**

## **2.6.Herramientas Utilizadas Durante el Desarrollo del Proyecto**

Durante el proceso de desarrollo del presente trabajo de grado, fueron las herramientas de ofimática, herramientas de diseño asistido por computadora CAD y sistemas de información geográfica así como motores de búsqueda las principales protagonistas. A continuación, se presentan las herramientas usadas durante el proceso de elaboración de la guía propuesta

- **Office 365:** La cual, a través de sus aplicaciones como Word, Excel, Power Point y Visio, permitieron la redacción y elaboración de flujogramas y presentaciones necesarias para el proyecto.
- **Microsoft Teams:** Cuyo uso fue importante, ya que varias de las reuniones fueron llevadas a cabo a través de esta plataforma, lo que nos permitió mantener un contacto permanente con todos los involucrados en el desarrollo de la guía.
- **AutoCAD:** Esta nos permitió elaborar los diferentes esquemas representativos de la guía, tanto para los equipos, así como unifilares de barra y diagramas de disposición tanto en vista de planta y corte.
- **Biblioteca Virtual UIS:** Donde se realizó la búsqueda de material normativo gracias al amplio abanico de fuentes con las que cuenta la plataforma.

- **Google Earth:** Sistemas de información geográfica como Google Earth, permitieron localizar subestaciones en este nivel de tensión con el propósito de verificar a través de imágenes satelitales ubicación, zonas aledañas y área de ocupación.
- **Motores de Búsqueda:** Estos permitieron complementar la información recopilada con material técnico de diferentes operadores de red.

### 3. Redacción del Contenido Principal de la Guía Propuesta

A partir de este capítulo se presentará el proceso que se llevó a cabo para la redacción del contenido de la guía propuesta, que criterios y factores se tuvieron en cuenta para incluir la información que allí se presenta y cuáles fueron los que llevaron a descartar cierta información.

#### 3.1.Generalidades

Nuevamente debemos mencionar, que en el documento entregable de este proyecto se mencionan varios temas que involucran, coordinación de aislamiento, aspecto civil y aspecto mecánico en temas de cargas entre otros. Estos temas si bien son fundamentales en el proceso de diseño de subestaciones eléctricas, no hacen parte del alcance de este proyecto por lo que estos se presentarán de una forma muy general que sirva como referencia al lector acerca de estas consideraciones y le permita tener una visión global y contextualizada acerca de estos aspectos

para el diseño de este tipo de instalaciones, los cuales tienen incidencia en el diseño del componente electromecánico. Por lo tanto, se espera que el lector tenga en cuenta esta información y pueda profundizar en fuentes especializadas en estos temas.

### **3.2. Planificación del Contenido**

Una vez aclarado y definido que temas serían plasmados de forma general en el documento, se procedió a planificar como será el desglose de los subtemas que llevaría la guía en su contenido. Si bien, el eje principal de este documento es el componente electromecánico, este engloba aspectos como configuración del barraje, selección de equipos, tableros, conductores tanto para el conexionado como para el barraje, distancias de seguridad que se deben tener en cuenta, las cuales influirán en la disposición física de los equipos seleccionados entre otros. Por lo que fue necesario definir un orden para la redacción de estos temas. Es así como, dentro del contenido se estableció la siguiente estructura para el orden y redacción de estos:

#### **3.2.1. *Temas Preliminares***

Decidimos darle esta denominación a aquellos temas que involucran aspectos que se deben considerar previo al emplazamiento de cualquier subestación y por ende previo al diseño del componente electromecánico, dentro de estos temas preliminares encontraremos:

- **Alineación regulatoria**
- **Criterios de diseño**
- **Proceso general de diseño**
- **Criterios generales en la ejecución del diseño de un proyecto**

### **3.2.2. *Temas Principales***

Aquí se plasmaron los temas que harán parte del “contenido grueso” o temas de interés que se engloban dentro del alcance del proyecto, por lo que estos tendrán una mayor dedicación y relevancia en el documento entregable. Allí se presentarán tablas con parámetros técnicos y recomendaciones, así como criterios de selección a través de especificaciones técnicas, figuras y flujogramas que servirán para cada una de las metodologías o secuencias de selección propuestas para cada equipo o elemento dentro del componente electromecánico. Dentro de los temas abordados se tiene los siguientes:

- **Cuestionamientos oportunos**
- **Marco normativo externo**
- **Configuración de subestaciones eléctricas**
- **Configuración de barraje**
- **Análisis de criterios que influyen en la selección de la configuración**
- **Metodología de selección de la configuración de barra**
- **Equipos**
- **Tableros**
- **Conductores**
- **Distancias de seguridad**
- **Disposición física**

### **3.2.3. *Temas complementarios***

Finalmente, los temas complementarios fueron aquellos que de alguna u otra forma se tuvieron alguna aplicación a los temas principales. Estos, se presentan al final del documento

siendo no menos importante que los demás, y la razón de esto es que así, facilitamos el entendimiento para el lector, pues al colocarlo inmediatamente después de los temas principales, se quiso relacionar y complementar la información previa, siguiendo una secuencia lógica y coherente. El tema propuesto aquí es el correspondiente a

- **Señalización e identificación.**

#### **3.2.4. Anexos**

Como cierre de la guía propuesta, se incluyeron los anexos en donde se recopiló cierta información que fue importante durante la redacción del documento entregable sobre todo a la hora de entender el proceso global de diseño que involucra la construcción de nuevas subestaciones, así como algunos esquemas y características técnicas. Dichos anexos se componen de:

- **Cálculo de efectos y definiciones a causa de las corrientes de cortocircuito máximas**
- **Obras civiles**
- **Tipos de esquemas de conexión de barras**
- **Efectos de mantenimiento en la seguridad del sistema**
- **Esquemas de equipos**

La decisión de incluir estos temas en la sección de anexos se hizo sobre la base de reducir el tamaño del documento principal.

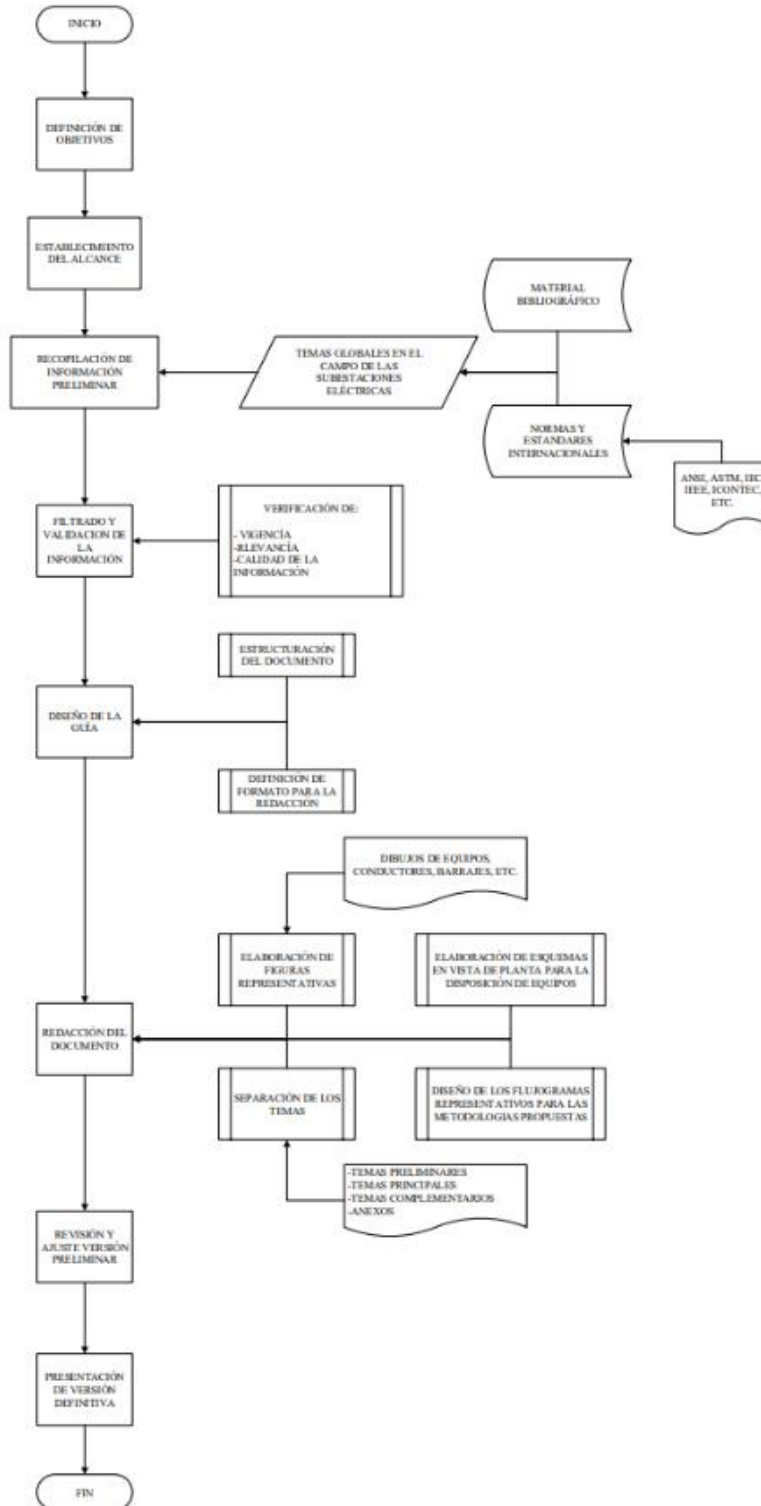
### **3.3. Desarrollo Simplificado del Contenido de la Guía Propuesta**

En este capítulo, se desglosarán de forma resumida aquellos temas que hacen parte de los temas principales previamente mencionados, y que por ende tendrán una mayor relevancia en el contenido del documento. Se explicará cómo fue el desarrollo de cada tema. Así mismo, se presentarán figuras, tablas y esquemas que se incluyeron dentro de cada uno de estos, además de los diferentes flujogramas que se desarrollaron con la herramienta Microsoft Visio para cada una de las metodologías o secuencias de pasos recomendados propuestas en temas como barraje y equipos.

Previo a iniciar con todo lo anteriormente mencionado, a continuación, se presenta un flujograma desarrollado con la herramienta Microsoft Visio en el que queremos mostrar de forma general todo el proceso que implicó desarrollar la guía propuesta. En él se muestran las diferentes etapas mencionadas en el Capítulo 2 y actividades que se llevaron a cabo para el cumplimiento de cada una de estas etapas.

**Figura 5.**

*Flujograma para el proceso de diseño y elaboración de la guía.*



### **3.3.1. Cuestionamientos Oportunos**

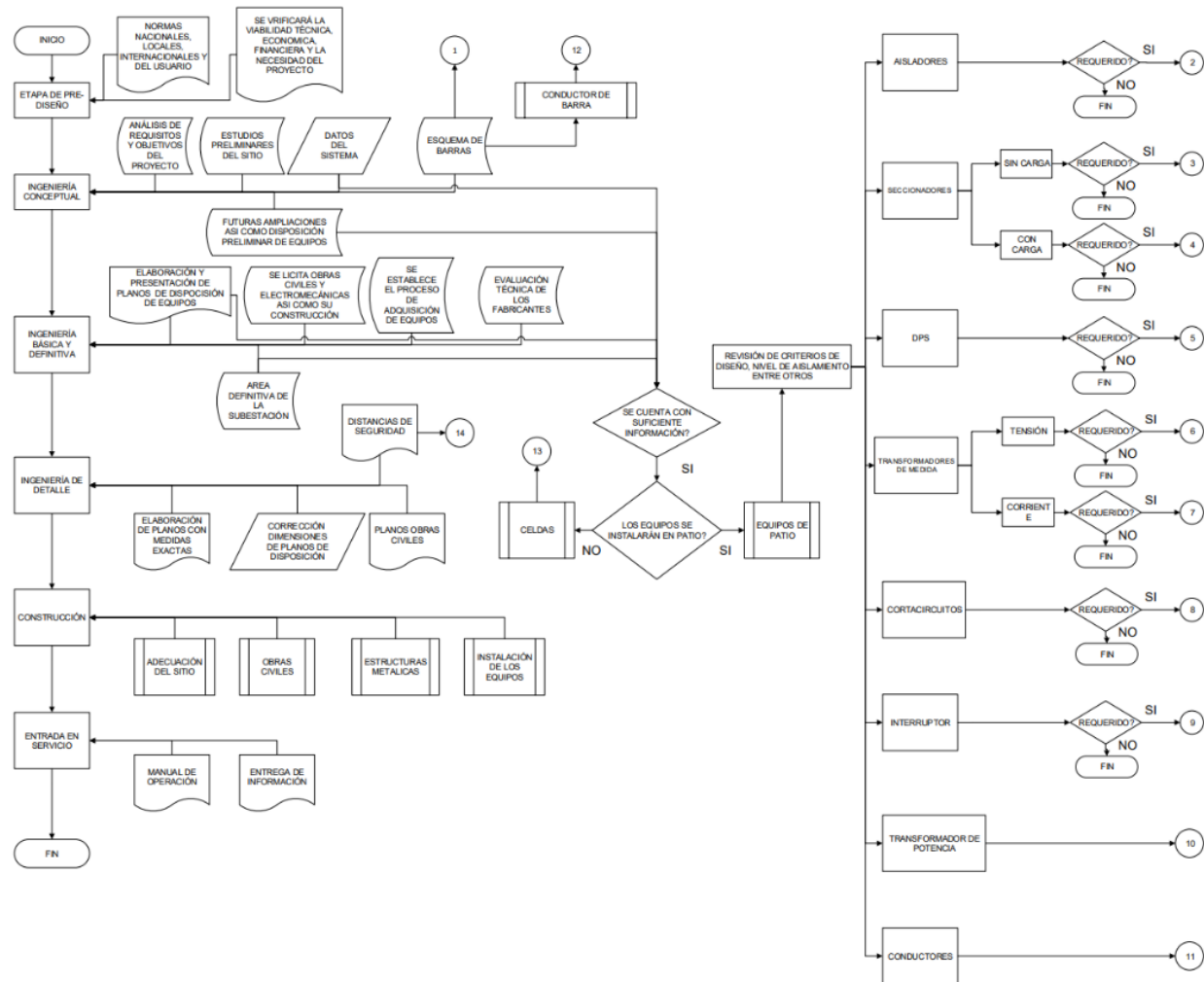
Debemos mencionar que, para la estructuración del contenido de la guía propuesta, la realización de reuniones y visitas técnicas con diferentes actores involucrados en el proyecto fue una estrategia fundamental para obtener información relevante que ayudo a alinear el proceso de formulación de esta. A partir de estas actividades, se logró identificar una serie de preguntas clave que los responsables de diseñar e implementar proyectos de construcción, expansión, modernización, y reposición de infraestructuras como las subestaciones eléctricas deben plantearse y responder previo a la ejecución de un proyecto de este tipo. Estas preguntas abarcan aspectos técnicos, ambientales, y sociales involucrando diferentes fuentes y actores tales como:

- **Normas**
- **Estándares**
- **Condiciones y contexto del sitio**
- **Restricciones**
- **Criterios de instalación**
- **Criterios eléctricos**
- **Estudios requeridos**

Esta serie de preguntas mínimas fueron claves para contar con los insumos requeridos para el proceso de diseño de la guía propuesta y fueron listados en una tabla al inicio del documento entregable, permitiendo además realizar un esquema general de diseño a través de un flujograma el cual se fue alimentado a medida que se desarrollaba el contenido. Así mismo, este esquema general conectará con los demás flujogramas representativos para las metodologías o secuencias de pasos para la selección de los equipos y elementos del componente electromecánico

**Figura 6.**

*Esquema general de diseño.*



**3.3.2. Marco Normativo Externo**

Si bien el aspecto regulatorio usado en el desarrollo de este proyecto ya se mencionó al inicio del presente documento, para el marco normativo externo se enfatizó en aquellas normas internacionales aplicables a subestaciones eléctricas, por lo que fuentes como ASTM, ANSI, IEC, IEEE y NFPA fueron las más consultadas y listadas al inicio de la guía, además de que permitieron derivar en temas más específicos que lograron abordar en su mayoría los criterios de selección

para barrajes, equipos y demás elementos que conforman el componente electromecánico. El listado de normas y estándares internacionales usados se puede consultar en más detalle en el capítulo 4 del presente documento.

### **3.3.3. Configuraciones**

Como primer tema que es parte del componente electromecánico, tenemos las configuraciones de barra para subestaciones eléctricas. Para las subestaciones objeto de estudio del presente proyecto, se verificó con la ayuda del personal experto cuales son las configuraciones típicas que las subestaciones en media tensión pertenecientes o que estén conectadas a un sistema de distribución local-SDL usan, dando como resultado aquellas que parten desde la configuración de barra sencilla y van hasta la configuración de barra principal más barra de transferencia. Es por esto, que decidimos tomar como punto de partida aquellas configuraciones que denominaremos como “generales” las cuales son:

- **Barra sencilla**
- **Barra doble**

A partir de estas dos, se podrán derivar desarrollos modulares que involucren seccionamiento de barra, añadir un paso directo o “By-Pass” a las bahías o incluir una barra adicional que sirva como transferencia, que permita mejorar los tres factores claves a la hora de definir el barraje de una subestación los cuales son:

- **Confiabilidad.**
- **Flexibilidad.**
- **Seguridad.**

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, además de otros factores que pueden influir en el diseño como lo es el tema del espacio disponible para una instalación de este tipo, las configuraciones definidas fueron:

- **Barra sencilla.**
- **Barra sencilla con seccionamiento.**
- **Barra sencilla con seccionador de By-Pass.**
- **Barra principal más barra de transferencia.**
- **Barra principal más barra de transferencia (con seccionamiento de barra).**
- **Doble barra.**
- **Doble barra con seccionador de By-Pass.**

Respecto a configuraciones como interruptor y medio, doble barra con doble interruptor o anillo (configuración americana), etc. No fueron consideradas dado que este tipo de configuraciones son de uso en subestaciones a niveles de alta y extra alta tensión.

Para documentar esta información, se realizó una pequeña descripción para cada configuración junto con un formato diseñado para su presentación, donde se incluyó el esquema unifilar de la configuración con sus diferentes desarrollos, y una tabla con la información relevante para cada configuración, la cual radica en:

- **Ventajas de la configuración**
- **Flexibilidad**
- **Confiabilidad**
- **Seguridad**
- **Opciones**

- **Facilidad de ampliación**
- **Observaciones**

Estos formatos de presentación se podrán evidenciar en la sección de anexos, debido a que en un principio se consideró que esta información ya debería ser de conocimiento por parte de la mayoría del público objetivo de la guía propuesta. Y, además, más adelante en el capítulo de disposición física, se vuelve a mencionar cada una de las configuraciones, por lo consideramos que el tema podría volverse algo repetitivo para el lector. Pero, a su vez entendimos que es conveniente incluir esta información que es de suma importancia debido a que, si bien en este tipo de subestaciones la configuración más utilizada es la de barra sencilla, es posible que a partir de ella o de alguna otra configuración de las ya mencionadas “configuraciones generales” se puedan obtener mejoras en los aspectos de confiabilidad, flexibilidad y seguridad, por lo que dicha información permitirá conocer los desarrollos de las configuraciones y sus esquemas unifilares. Así entonces, para satisfacer estos dos criterios, se optó por tomar la decisión mencionada al inicio de este párrafo.

**Tabla 3.**

*Formato para presentación de configuración de barra.*

<b>Imagen ilustrativa de la configuración</b>	
Figura XX. Nombre de la configuración.	
<b>ASPECTOS</b>	<b>DETALLES</b>
GENERAL	-
VENTAJAS	-
FLEXIBILIDAD	-
CONFIABILIDAD	-
SEGURIDAD	-
OPCIONES	-
FACILIDAD DE EXTENSIÓN	-
OBSERVACIONES	-

### 3.3.4. *Análisis de Criterios y Metodología de Selección de la Configuración de Barra*

Si bien estos son capítulos separados en la guía, estos dos se complementan, por lo que por efectos del presente documento, decidimos unirlos en uno solo. Así entonces, para el análisis respectivo que se debe realizar para la selección de la mejor configuración de barra se contemplaron varios criterios que se deberán considerar, entre los que se encuentran:

- **Identificar el Tipo o Función que Cumplirá la Subestación**

Aquí se presentaron a través de una tabla las tres principales tipos o funciones que una subestación tendrá las cuales se listaron como:

- ❖ **Subestación de generación**

- ❖ **Subestación de maniobra**

- ❖ **Subestación de transformación**

- **Necesidades de Flexibilidad, Confiabilidad y Seguridad**

Siguiendo con los tipos o funciones listadas, en este apartado se quiso presentar las necesidades de cada una respecto a los tres principales factores a considerar en la selección de la configuración de barraje como flexibilidad, confiabilidad y seguridad. Esta información se lista en la misma tabla junto con los tipos o funciones presentadas anteriormente.

#### **Tabla 4.**

*Modelo para la presentación de criterios de cada configuración.*

TIPO	FUNCIÓN	NECESIDAD
------	---------	-----------

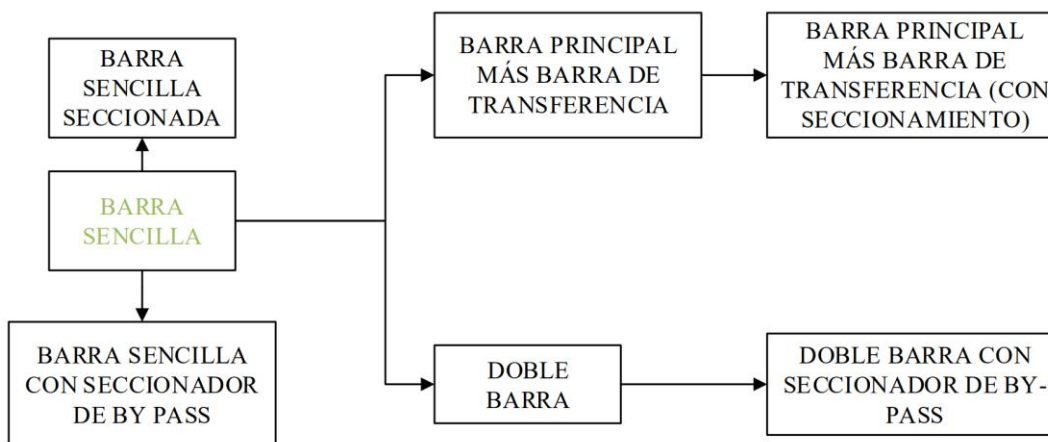
- **Facilidad de Extensión y Modulación**

En este apartado, lo que se planteo es la idea de cómo a medida que el sistema al cual se integró la subestación crece, esto puede significar un inconveniente para la configuración con la

que la instalación entró en operación, teniendo así que modificarla de forma que se pueda satisfacer las necesidades crecientes en cuanto a los tres aspectos ya mencionados de confiabilidad, flexibilidad y seguridad. De modo que allí se complementa lo mencionado sobre el desarrollo modular a partir de las configuraciones generales, como puede ser a partir de una barra sencilla llevarla a una barra sencilla más transferencia o una doble barra. Para ello se ilustra a modo de resumen en un diagrama de bloques dichos desarrollos tomando como punto de partida la barra sencilla.

**Figura 7.**

*Desarrollo modular de barrajes.*



- **Preselección de la Configuración**

Aquí simplemente se especificó lo que se debe realizar en esta actividad y se hace referencia a que el lector deberá revisar cada una de las necesidades que ofrece los diferentes barrajes presentados.

- **Costos y Área Necesaria, Facilidad Mantenimientos y Control**

Inicialmente, debemos dejar en claro nuevamente que el tema de costos no es del alcance de este proyecto, por lo que a lo largo del contenido de la guía no se verán valores numéricos que reflejen costos ya sean de operación, instalación o mantenimiento. Lo que se quiso presentar es simplemente un pequeño análisis a modo general y argumentativo de como cada configuración influye en el costo (especificando simplemente si una es más o menos costosa respecto a las demás). Así mismo, el área que se necesitará para disponer de esta contará con valores netamente referenciales con base a proyectos ya realizados, gracias a la información brindada por los expertos.

Finalmente, para cerrar los criterios que influyen en la selección de la configuración, se presentan aspectos a considerar en el mantenimiento y control de dichas configuraciones. Consideramos necesario incluir esta información para que se tenga una contextualización respecto al funcionamiento de la instalación una vez entre en operación. Dicha información estará unida con lo correspondiente a costo y área necesaria mediante una tabla:

**Tabla 5.**

*Modelo para la presentación de criterios en base a costos, área, facilidad en mantenimiento y control de cada configuración.*

CONFIGURACIÓN	COSTO	ÁREA	MANTENIMIENTOS	CONTROL
---------------	-------	------	----------------	---------

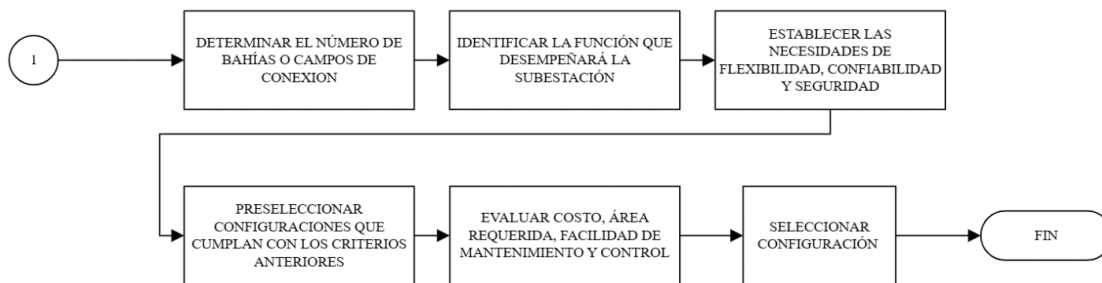
La información que allí se presenta es de carácter general, por lo que los aspectos ya sean de mantenimiento o simplicidad en el control, podrán discernir a los presentados en la tabla y estos podrán establecerse según sean las necesidades específicas de un proyecto de expansión o modernización. Por lo que se recomienda que el lector realice un análisis mucho más detallado o consulte con personal experto a fin de evaluar las necesidades en estos dos campos.

- **Revisión y Selección de la Configuración más Adecuada y Diagrama Representativo para la Metodología de Selección**

Para finalizar el tema correspondiente a la configuración de barraje, se explica un poco acerca de lo que se debe realizar para poder llegar a la configuración más adecuada a través de la verificación de todos los criterios presentados anteriormente, de modo que la configuración que más se moldee a estas necesidades sea la que en definitiva utilizará la instalación. Así mismo, se presenta un pequeño esquema de bloques con la respectiva metodología o secuencia de pasos a seguir para la selección del barraje.

### Figura 8.

*Diagrama de bloques para metodología de selección de configuración de barraje.*



### 3.3.5. Selección de Equipos

Este capítulo es quizás el eje central de la propuesta, pues aquí se presentó cada uno de los equipos que constituyen el componente electromecánico para las subestaciones eléctricas en media tensión objeto de estudio del presente trabajo de grado.

Previo a abordar cada uno de los equipos, se plantearon los criterios a considerar para dicha selección, con esto se quiso dar conocimiento de aquellas consideraciones que permitieran definir cómo será la instalación de los equipos. Esto debido a que las subestaciones de tipo convencional según lo visto en el marco conceptual, obtienen su aislamiento a través del aire a presión

atmosférica por lo que en la mayoría de los casos los equipos se ubicarán en un patio de conexiones, sin embargo, otra alternativa que se planteo es que los equipos a excepción del transformador de potencia se instalen en celdas (equipos de maniobra, medida, barrajes, etc.) debido a las posibles limitaciones de espacio que puedan presentarse en el terreno donde se estos se vayan a izar. Es por esto por lo que se listaron los siguientes criterios que el lector deberá considerar:

- **Tipo de subestación (a modo de dejar plasmado como criterio general de diseño)**
- **Nivel básico de asilamiento**
- **Factores de corrección por altitud**
- **Efectos producidos por corrientes de cortocircuito**
- **Calibre de los alimentadores**

Adicional a esto, se especifican criterios referentes a:

- **Espacio disponible**
- **Condiciones climáticas y ambientales**
- **El tipo de equipos**
- **Costos de instalación y mantenimiento**
- **Flexibilidad y expansión de la subestación**
- **Reconocimiento de la inversión (establecido por la resolución CREG 015 del 2018)**

Esto con el fin de que la instalación y disposición de los equipos se ajuste a las necesidades específicas de cada proyecto y vaya en línea con lo establecido con los entes reguladores afines al área, garantizando un funcionamiento seguro y eficiente de la instalación en conjunto.

- **Equipos que Serán Instalados en Subestaciones del Tipo Convencional**

Los equipos que se presentaron en la guía propuesta fueron netamente aquellos que se requieren para este tipo de instalaciones, por lo que equipos como reconectores no son parte de esta lista ya que estos hacen parte de las subestaciones denominadas “tipo potrero” o reducidas.

Los equipos en cuestión son los siguientes:

- **Aisladores.**
- **Seccionador sin carga.**
- **Seccionador bajo carga**
- **Dispositivo de protección contra sobretensiones (DPS).**
- **Transformador de tensión.**
- **Transformador de corriente.**
- **Corta circuitos.**
- **Interruptor de potencia (este puede reemplazar al seccionador bajo carga y al cortacircuitos).**
- **Transformador de potencia.**

La revisión de información referente a especificaciones técnicas se realizó a través de fuentes bibliográficas como lo es el libro de Mejía Villegas (2003) en el cual a pesar de que este se refiere a subestaciones de alta y extra alta tensión, la información acerca de los equipos como seccionadores, interruptores, DPS, etc. Fue de enorme ayuda para el listado de parámetros a

considerar en la selección de estos, a eso le sumamos que durante la redacción de este capítulo se revisaron de forma simultánea normas referentes a estos equipos, las cuales se pueden revisar en el capítulo 4 del presente documento.

Además, con la ayuda del personal experto y las visitas técnicas que se realizaron, permitieron recopilar información adicional y relevante que se debe considerar a la hora de realizar la selección de estos equipos, la cual se reflejará en cada uno de los flujogramas para la metodología o secuencia lógica de pasos propuestas para la selección.

Así entonces para la redacción de este capítulo, se elaboró al igual que con las configuraciones de barra un formato para presentar cada uno de los equipos en los cuales, se listarán los parámetros a considerar en la selección de estos.

Hay que aclarar que los parámetros técnicos presentados en este capítulo se hacen en base a aquellos que los diferentes fabricantes disponen en sus catálogos, así como los establecidos en normas y estándares referentes a cada uno de los equipos.

En ese orden de ideas, lo primero que se encontrará el lector en la presentación de cada equipo o elemento será el formato con la información técnica para la selección de estos, seguido del correspondiente flujograma de proceso para la metodología de selección elaborados en la herramienta en donde se quiere mostrar un paso a paso recomendado que se debe seguir a la hora de verificar los aspectos de selección, y así complementar lo presentado en el formato.

**Tabla 6.**

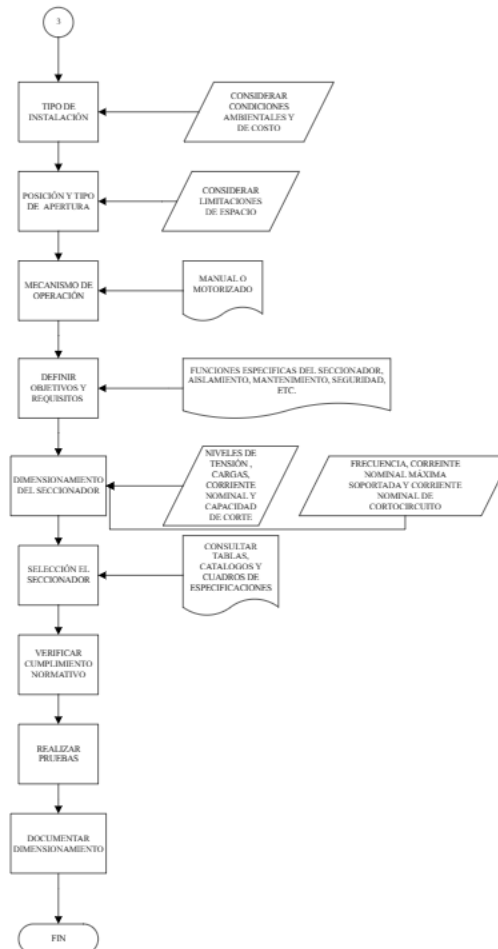
*Formato para presentación de equipos.*

Norma	-
Tipo de instalación	-
Posición	-
Accionamiento	-
Tipo de operación	-

Frecuencia nominal	-	-
Tensión de servicio continuo	<b>34.5 kV</b>	<b>13.8 kV</b>
Tensión máxima de diseño	-	-
Corriente nominal	-	-
<b>Corriente mínima de cortocircuito</b>		
A tensión nominal	-	-
A valor pico del impulso de corriente	-	-
<b>Tensión de prueba al impulso (BIL)</b>		
A tierra y entre polos	-	-
Entre contactos abiertos	-	-
<b>Tensión de prueba a frecuencia industrial durante 1 minuto en seco</b>		
A tierra y entre polos	-	-
Entre contactos abiertos	-	-

**Figura 9.**

*Flujograma con pasos recomendados a seguir*



Ahora, si la opción más conveniente es instalar los equipos bien sea de maniobra, medición y barrajes a través de celdas, en la guía propuesta se listaron de igual forma los parámetros a considerar en la selección de estas en base a lo visto en proyectos ya ejecutados y a la información obtenida gracias al personal experto. Es así entonces que, al igual que con los equipos de patio, para las celdas se presenta un formato a modo de tabla tanto para las celdas de entrada y salida tipo GIS o AIS en 34.5 kV y 13.8 kV, así como las celdas para el transformador que servirán como enlace tanto en 34.5 kV como para 13.8 kV. Allí, se especifican lo siguiente:

- **Generalidades**
- **Nivel de aislamiento**
- **Dimensiones exteriores**
- **Grado de protección**
- **Llegada de conductores de potencia**
- **Parámetros técnicos por considerar según sea la función de la celda.**

Seguido a esto el lector, podrá encontrar algunas recomendaciones, requerimientos y certificaciones adicionales que se deberán tener para las celdas, tal y como señala el RETIE (2013), en las cuales las celdas deberán cumplir con los requisitos establecidos por las normas técnicas internacionales en los que destacan:

- **Controles de para efectos de arco**
- **Prueba de flamabilidad para los aisladores**
- **Seguros para las puertas (en caso de ser tipo AIS)**
- **Firmeza en piezas susceptibles a desprenderse**
- **Total, hermetismo en caso de un arco**

- **Conexiones efectivas a tierra**
- **Debido rotulado de estudio de arco**
- **Grados de protección IP no menor a 2XC**
- **Certificación en incremento de temperatura**
- **Certificación en propiedades dieléctricas**
- **Certificación de distancias de aislamiento y fuga**

### **3.3.6. Tableros**

Para los tableros, simplemente se presentó una introducción acerca de la finalidad que estos tendrán en la subestación, así como la instalación de estos que irán en función de la disposición de los equipos que estarán al interior de estos. Debemos aclarar que, para efectos de la guía, así como del presente documento, los equipos que hacen parte integral de los tableros como lo pueden ser:

- **Relés de protección**
- **Circuitos auxiliares de control**
- **Interruptores**
- **Contactos**
- **Breaker de DC para control y señalización**
- **Breaker de DC para alimentar motor del interruptor**
- **Breaker de AC para iluminación, calefacción y toma**
- **Interruptor de mando eléctrico del disyuntor**
- **Pulsador de apertura mecánico del disyuntor**
- **Pulsador de cierre mecánico del interruptor**
- **Indicador de posición del interruptor**

- **Indicador de posición del seccionador**
- **Indicador de resorte “tensado” del interruptor**

No hacen parte del alcance de este proyecto por lo que se dejan plasmados en el contenido de la guía a modo de información general. Con ello se espera que se desarrolle un trabajo enfocado a este ámbito de las protecciones o sistemas de control para este tipo de subestaciones para profundizar en este tema y que se pueda complementar lo expresado en este capítulo.

Seguidamente, allí se dejó claridad de cómo serán las consideraciones constructivas y certificaciones que estos deberán tener para su instalación en subestaciones eléctricas. Dentro de estas consideraciones se menciona aquellas que involucran ergonomía y seguridad del personal, aislamiento y blindaje del gabinete, ventilación y refrigeración que mitiguen el sobrecalentamiento de los componentes instalados en su interior, certificaciones IP, etiquetado, puesta a tierra, etc. además se especificaron las alturas recomendadas para los equipos que se instalen al interior de estos, de modo que se pueda facilitar su lectura, supervisión y diagnóstico. Esta información se tomó en base a criterios obtenidos gracias a las reuniones con personal experto en el área.

### **3.3.7. Conductores**

Los conductores presentados en este capítulo fueron aquellos que son usados en toda la instalación, esto abarca tanto a los conductores que se usan en la interconexión de la subestación, así como los conductores que serán usados para el barraje. Además, se revisaron aspectos a considerar en la selección de estos como la capacidad de cortocircuito y la regulación de tensión presentando las correspondientes ecuaciones a revisar para el cálculo de estos parámetros. Así mismo, se revisaron criterios como la disposición de estos en bancos de ductos o disposición en cárcamos.

Al iniciar el capítulo, se hizo un pequeño resumen de las capacidades que se deben considerar para la selección de los conductores tanto en nivel de 34.5 kV, así como en 13.8 kV para la alimentación de equipos y circuitos en la subestación. Esto se hizo a través de una pequeña tabla donde se especifica los criterios respecto a las capacidades nominales para cada uno de los ítems que se listan a continuación:

- **Equipo o circuito**
- **Capacidad**
- **Corriente nominal**
- **Factor de seguridad**
- **Corriente de diseño**

Para cada ítem, se habla principalmente de cómo se deberá especificar las capacidades nominales, por ejemplo, para el primer ítem se aclara que se deberá especificar cada equipo, línea y circuito que será parte de la subestación, de modo que se determine para cada uno su respectivo análisis de capacidad. Otro caso por ejemplo es el de el ítem número tres en donde se habla que, para las corrientes nominales, estas se deberán ser especificadas en bases de datos suministradas por el cliente y/o propietario de la instalación o deberán ser determinadas con la ayuda de software dedicados al estudio de flujos de carga. Y así básicamente para los demás ítems, por lo que aquí lo que se quiso es presentar a modo muy general el cómo se debe proceder o que se deberá realizar para cada uno de estos criterios previo a la selección de los conductores.

Seguido a esto, se habla de las consideraciones que se deberá tener a la hora de disponer los conductores en banco de ductos. Todas estos se tomaron en relación con la NTC 2050 (1998) y la NFPA 70 (2023) o también conocido como NEC (National Electric Code). Estas consideraciones radican principalmente en el relleno que los ductos deberán tener, el material de

dichos ductos y la temperatura a considerar para la tierra; para que una vez se tenga esto claro se indiquen los parámetros para la selección de los conductores en ducto en base a la capacidad amperimétrica de estos de acuerdo con la Tabla 310-70 de la NTC 2050 (1998), los cuales son:

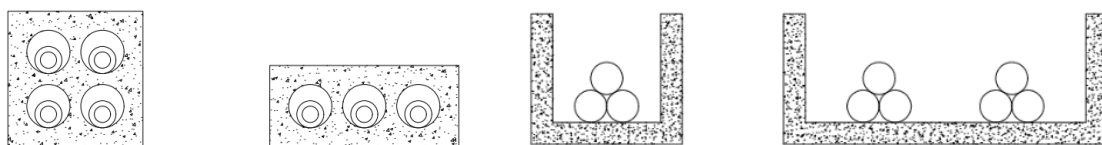
- **Equipo o circuito**
- **Calibre del conductor (AWG/Kcmil)**
- **Número de conductores por fase**
- **Capacidad de corriente (según Tabla 310-70)**
- **Capacidad corregida**
- **Ductos y diámetros en pulgadas**

Así mismo, se presentaron las consideraciones para aquellos conductores que se dispongan en cárcamos, en donde se sigue la misma línea de lo expresado para la disposición en ductos, con la diferencia de que, para el caso de los cárcamos, los parámetros para tener en cuenta serán en relación con la Tabla 310-67 de la NTC 2050 (1998) los cuales se listan a continuación:

- **Equipo o circuito**
- **Calibre del conductor (AWG/Kcmil)**
- **Número de conductores por fase**
- **Capacidad de corriente (según Tabla 310-67)**
- **Capacidad corregida**

**Figura 10.**

*Representación de ductos subterráneos y ductos conductores en cárcamo.*



Ahora y según lo comentado al inicio de este capítulo, en cuanto a los parámetros eléctricos a considerar en la selección de los conductores que harán parte de la instalación, se presentaron las respectivas ecuaciones a revisar para los cálculos a realizar tanto para la regulación de tensión y la capacidad de cortocircuito, siendo esta última necesaria para establecer la capacidad que los conductores manejarán en caso de una situación de contingencia o maniobra indebida de alguno de los equipos, para ello se revisa el estándar IEC 60949 en el cual establece que para determinar la corriente de corto circuito en media tensión para los conductores se debe seguir la siguiente ecuación:

$$I_{cc} = \frac{S}{\sqrt{t}} * K * \sqrt{\ln \frac{\theta_f + \lambda}{\theta_i + \lambda}} \quad (1)$$

Así mismo, para la regulación se establece el procedimiento a seguir a través de las siguientes ecuaciones, en donde es necesario determinar la caída de tensión e impedancia eficaz:

$$\Delta V = Z_{EF} * \sqrt{3} * L * I \quad (2)$$

$$Z_{EF} = R \cos(\theta) + X \sin(\theta) \quad (3)$$

$$\%Reg = \left( \frac{\Delta V}{V} \right) * 100 \quad (4)$$

Dentro de este capítulo, también se hace énfasis en como deberá ser el conexionado entre los equipos de patio, esto como medida preventiva en caso de que los equipos se instalen en patio de cara a una alta condición sísmica que se presentan en muchos de los lugares del territorio nacional. Así como cumplir con lo establecido en estándares como lo es el 693 de la IEEE (2005), en donde criterios como las distancias mínimas de seguridad, desplazamiento de los equipos de patio, flexibilidad del conductor y geometría del conductor deben considerarse para lograr la denominadas “holguras” recomendadas.

Finalmente, este capítulo se cierra con lo que respecta al conductor para el barraje, el cual se trató en cierta forma diferente al conductor de Inter conexionado de la subestación, dado que por lo general este será del tipo desnudo con materiales como:

- **Cobre**
- **Aluminio**
- **Aleación de aluminio o ACSR**

Por lo que los criterios respecto a los conductores para la conexión de equipos se diferenciaron en cierta medida, sobre todo en la resistencia a la corrosión, resistividad mecánica, conductividad eléctrica y capacidad de corriente.

Algunos de los criterios de selección para el conductor de barra que se mencionaron en este capítulo son:

- **Sección por intensidad máxima admisible por calentamiento**

En la cual se indicó como se determinará una vez se conozca la corriente nominal y condiciones de instalación.

- **Control de calentamiento en cortocircuito**

El cual se determinará en base a la siguiente ecuación:

$$I * \sqrt{t} = K * S \quad (5)$$

Así mismo, se presentaron los dos tipos de conductores que se usan en los barrajes como lo son

- **Barraje rígido**
- **Barraje flexible o tendido**

En donde se especificaron las ventajas y desventajas de cada uno de esto. Asi mismo, adicional a los correspondientes flujogramas de pasos para la selección de los conductores de

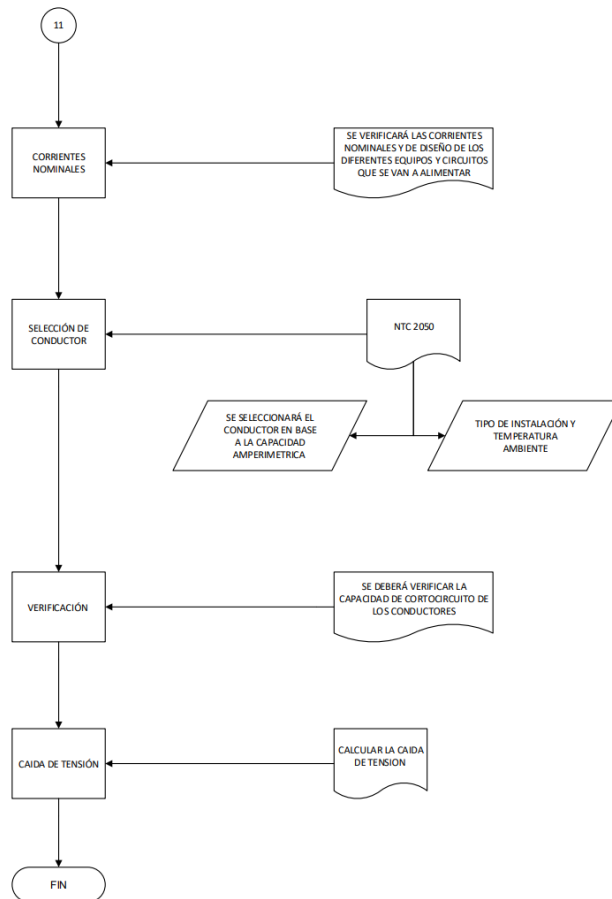
interconexión de la subestacion y de barra, se listan aquellos conductores que están homologados por la normativa técnica vigente, así como por los operadores de red. Los cuales son:

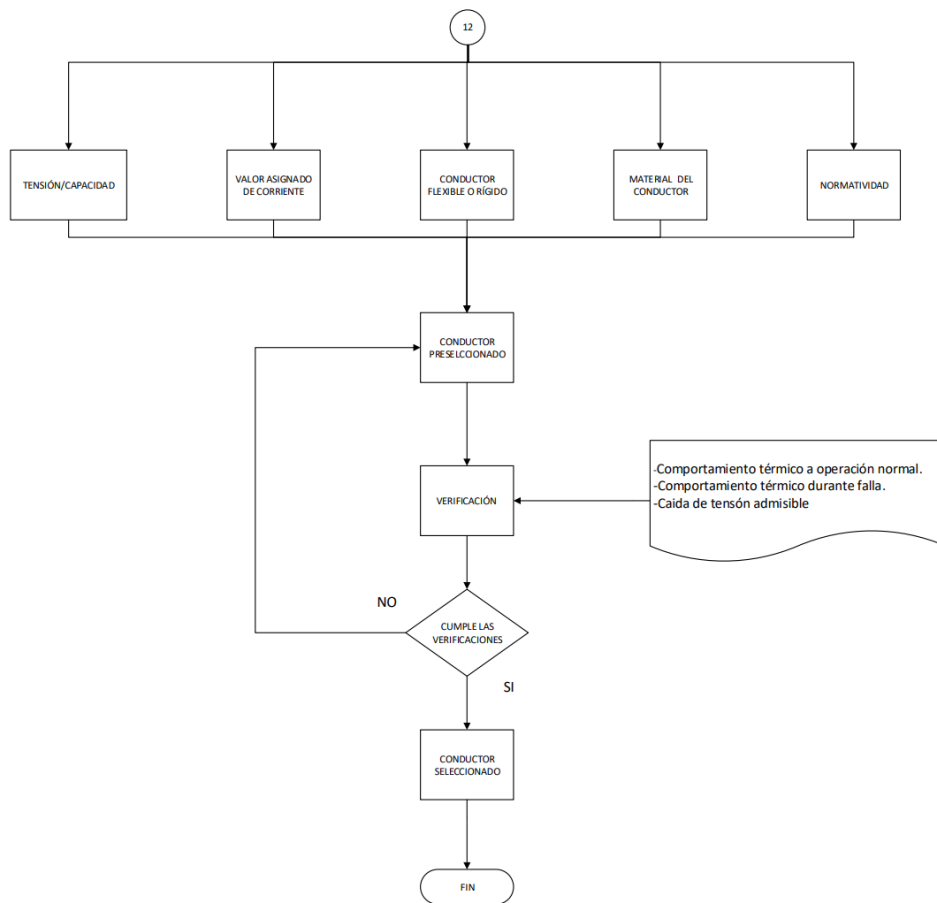
- **Cable de aluminio semiaislado 15 kV**
- **Cable monopolar aislado 15 Kv**
- **Cable de cobre aislado 15 kV**
- **Cable de cobre aislado 38 kV**

Para cada uno de estos, se especifica el calibre, denominación, tensión de diseño y temperatura.

**Figura 11.**

*Flujogramas para selección de conductores de interconexión y barraje*





### 3.3.8. Distancias de seguridad

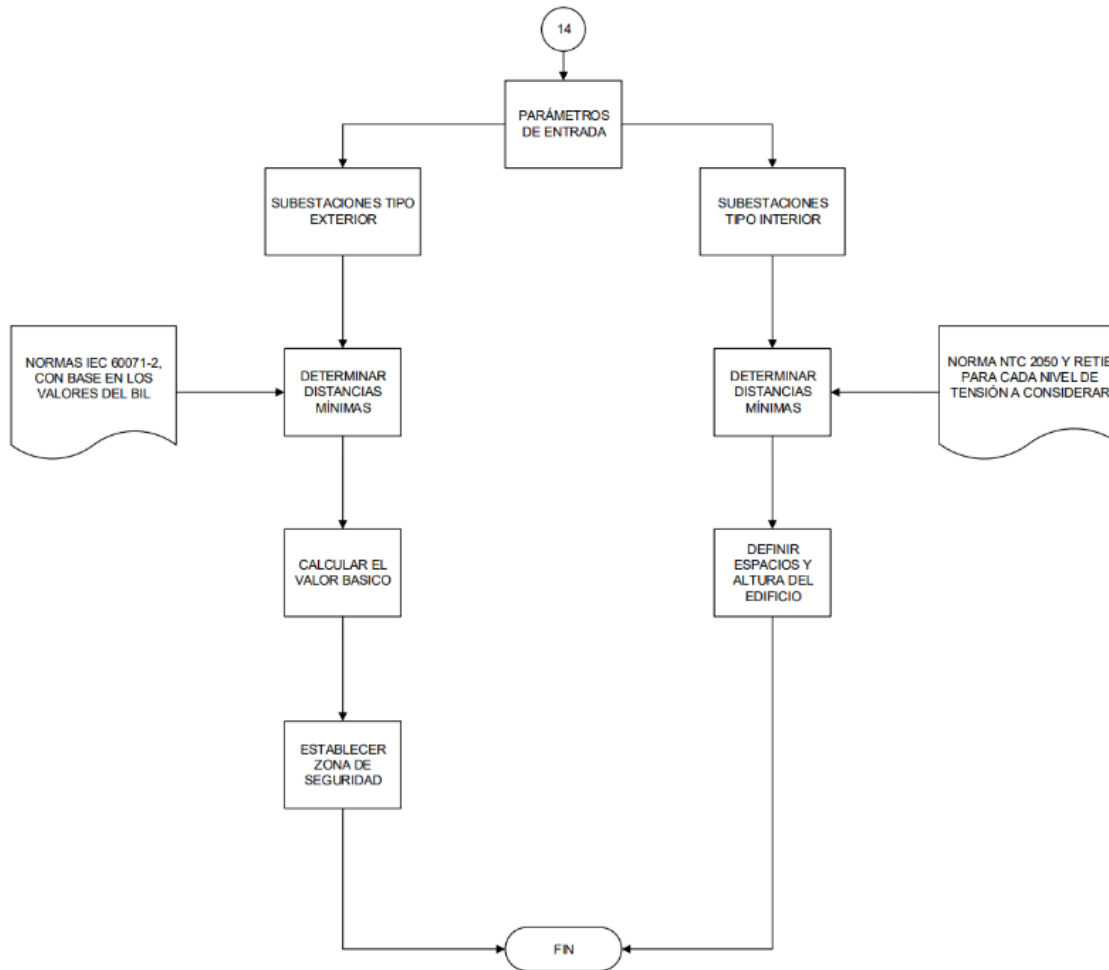
La estructuración de este capítulo consistió en describir un procedimiento donde se explique cada uno de los criterios a considerar en la determinación de dichas distancias, para ello se estableció el siguiente orden:

- **Parámetros de entrada**
- **Distancias de seguridad para subestaciones tipo exterior**
- **Distancias de seguridad para subestaciones tipo interior**

Así mismo, se estableció una metodología para la determinación de estas distancias, la cual es representada a través de un flujograma o secuencia de pasos:

**Figura 12.**

*Flujograma para metodología de determinación de las distancias de seguridad.*



Se optó por presentar de forma muy resumida los pasos a seguir en el esquema anterior, dado que la información al detalle complementara al flujograma. Los parámetros de entrada que deberán ser tomados en cuenta tanto para 34.5 kV como 13.8 kV, se toman en base al nivel básico de aislamiento BIL los cuales, a su vez, fueron tomados de estándares y normas tales como IEC e IEEE.

- **Tensión nominal fase-fase**
- **Máxima tensión de diseño fase-fase**

- **Tensión asignada al impulso tipo rayo**
- **Tensión asignada de corta duración a frecuencia industrial**

Una vez conocidos estos valores, se dio paso a las distancias de seguridad para las subestaciones tipo exterior, la cuales como ya hemos mencionado anteriormente, sus equipos serán instalados en un patio a la intemperie. Por lo que se estableció un procedimiento para la determinación de las distancias en esta configuración de subestación:

- **Distancias mínimas fase-tierra**
- **Valor básico**
- **Distancia de seguridad**
- **Movimiento de personal**
- **Movimiento vehicular**
- **Distancias para mantenimientos en equipos**
- **Distancias cerco perimetral**
- **Distancia de protección contra incendios para el transformador de potencia**

Como punto de partida, se presentaron los valores referentes a las distancias mínimas fase-tierra, las cuales se determinaron a partir de los valores de las tensiones asignadas al impulso tipo rayo, así como las tensiones asignadas de corta duración a frecuencia industrial, las cuales fueron revisadas y verificadas con la norma IEC 60071-1, en donde se establece que para estas distancias se tomará la distancia mínima conductor-estructura y punta-estructura.

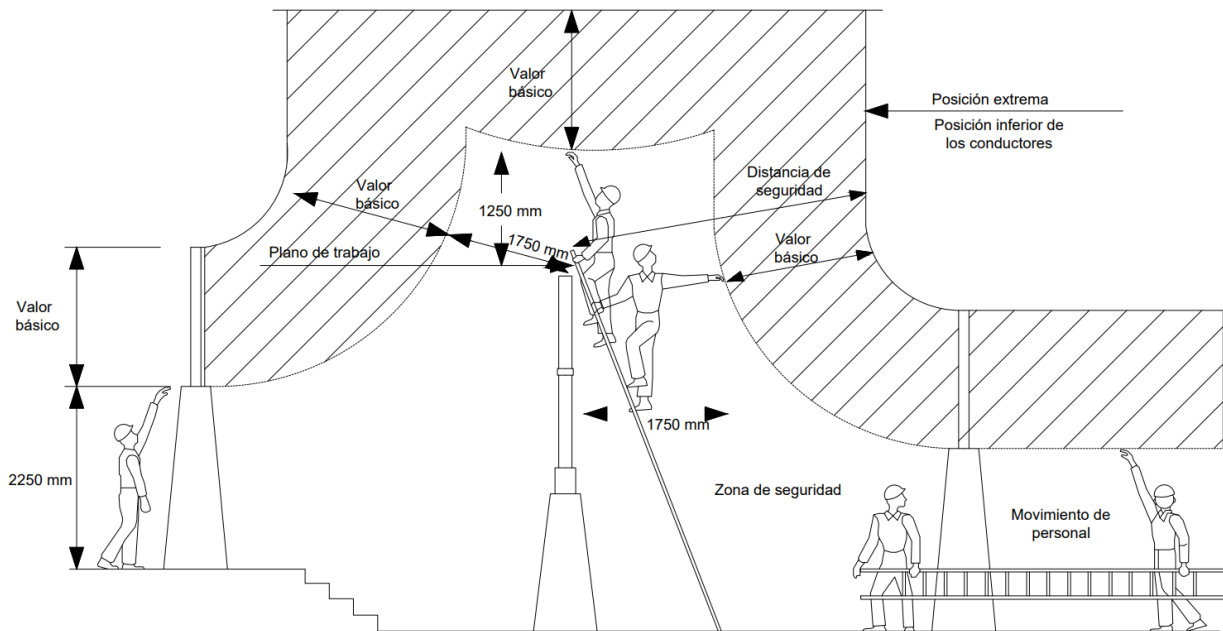
Seguido a esto se presenta la ecuación que permite el cálculo del valor básico, la cual servirá para dicho valor en 34.5 kV y 13.8 kV. A partir de allí, y trayendo a colación nuevamente la tensión asignada al impulso tipo rayo, se establecen cada uno de los valores de los criterios

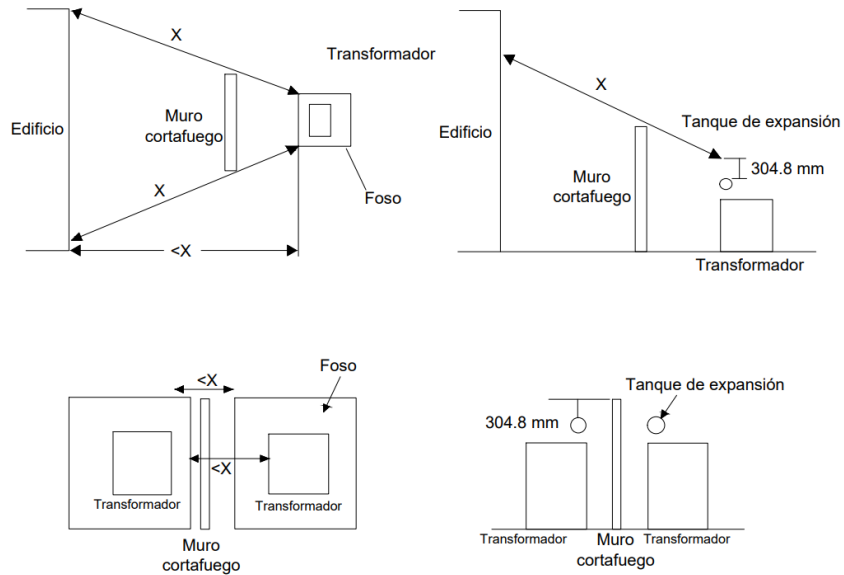
anteriormente mencionados, presentándolos a través de tablas y complementándolos con representaciones gráficas, en donde algunos de estos valores se presentan con base a lo establecido en el RETIE (2013) y la NFPA 850 (2020).

A continuación, se presentan algunos de los formatos para las tablas y figuras que han sido incluidas en este capítulo:

**Figura 13.**

*Zonas de seguridad para mantenimientos y transformadores aislados en aceite.*





**Tabla 7.**

*Formato para distancias de seguridad*

TENSIÓN NOMINAL [kV] (VALOR EFICAZ)	TENSIÓN ASIGNADA AL IMPULSO TIPO RAYO [kV] (VALOR PICO)	VALOR BÁSICO [mm]	DISTANCIA DE SEGURIDAD BAJO CONEXIONES	
			ZONA DE SEGURIDAD [mm]	VALOR TOTAL [mm]
13.8				
34.5				
Recomendación:				

En el caso de las subestaciones en donde la instalación de los equipos se haga al interior de una celda, en la guía se habla de las distancias de las edificaciones, para ello en este apartado se mencionan los siguientes criterios:

- **Distancias mínimas de aproximación para equipos energizados**

Dado que en el RETIE (2013), se especifican dichas distancias para este tipo de configuración, se extrajo y se presentó la información a través de tablas, complementándola con representaciones gráficas.

- **Definición de los espacios y altura al interior del edificio**

Aquí, debemos dejar claridad que, para establecer estos valores se consideraron tres condiciones a juicio de la NTC 2050 (1998), las cuales radican principalmente en criterios como:

- **Partes energizadas expuestas en un lado y partes sin energizar o puestas a tierra en el otro lado del espacio de trabajo**
- **Partes energizadas expuestas a un lado y puestas a tierra en el otro.**
- **Partes energizadas expuestas en ambos lados del espacio de trabajo.**

Además de estas consideraciones, se listaron algunos criterios adicionales que permitieron definir las distancias de seguridad para las celdas tanto en nivel de 34.5 kV como 13.8 kV según sea la condición. Esto a través de un formato de tabla donde son presentadas según la NTC 2050 (1998) y la distancia a seleccionar (la cual se estableció en base a los comentarios generados en las reuniones con el personal experto).

**Tabla 8.**

*Formato para presentación de las distancias de seguridad para celdas.*

	DESCRIPCIÓN	DISTANCIA MINIMA SEGÚN NTC 2050 [mm]	DISTANCIA QUE SELECCIONAR (APROXIMADA)
Distancia de celda a 34.5 kV a la pared del edificio [mm]	Celdas cuya parte frontal se encuentra frente a la pared del edificio de control.		
	Celdas cuya parte posterior se encuentra frente a la pared del edificio de control		
	Celdas cuya parte posterior se encuentra frente a la pared del edificio de control		
Distancia de celda a 13.8 kV a la pared del edificio [mm]	Celdas cuya parte frontal se encuentra frente a la pared del edificio de control.		
	Celdas cuya parte posterior se encuentra frente a la pared del edificio de control		
	Celdas cuya parte posterior se encuentra frente a la pared del edificio de control		
Distancia para tableros [mm]	Tableros en baja tensión cuya parte frontal se encuentra frente a la pared del edificio de control.		
	Tableros en baja tensión enfrentados entre sí		

### 3.3.9. Disposición física

Para la redacción de este capítulo, fue importante tener en cuenta las distancias de seguridad, es por esto y con el fin de seguir una secuencia en los temas que se optó por dejar al final del grupo de temas principales este capítulo. Lo que se quiso presentar aquí fueron los criterios a considerar en el diseño de la disposición física, además de aspectos constructivos como lo son:

- **Ancho de barra**
- **Ancho de campo**
- **Altura de campo**
- **Longitud de campo**

- **Verificación de áreas**
- **Disposición subestaciones tipo exterior**

Siendo esta última la que constituye gran parte del contenido de este capítulo ya que, a través de un formato de tabla, según sea la configuración de barra, se lista la cantidad de equipos que constituye esta, así como las vistas de planta y perfil para las bahías de línea y transformador de cada una de ellas. Esto para el caso de las subestaciones que opten por una configuración tipo exterior.

Para aquellas subestaciones en donde se opte por instalar los equipos en celdas, la disposición se hará en una caseta de control, la cual también se evidencia en la parte de verificación de áreas, en donde a través de un esquema típico para esta caseta se presenta la distribución que esta deberá llevar.

A continuación, se presenta el formato para las cantidades, vistas de planta y corte de cada configuración de barra.

**Tabla 9.**

*Formato para presentación de vistas de planta y corte para cada configuración.*

<b>BAHÍA DE LÍNEA</b>		
	<b>EQUIPOS</b>	<b>CANTIDAD</b>
Plano unifilar		
<b>BAHÍA DE TRANSFORMADOR</b>		
	<b>EQUIPOS</b>	<b>CANTIDAD</b>
Plano unifilar		

---

---

Vista de planta de la configuración en cuestión
Vista de perfil bahia de linea
Vista de perfil bahia de transformador

---

---

#### **4. Conclusiones y recomendaciones**

El desarrollo de una guía metodológica para el diseño del componente electromecánico en subestaciones de media tensión de tipo convencional, no solo permitirá cumplir una función de practicidad en el ámbito del diseño de este tipo de instalaciones, logrando una reducción en la formulación, planteamiento y ejecución de un proyecto de este tipo. También permitirá orientar de manera pedagógica a estudiantes de ingeniería eléctrica y demás interesados, dándoles una herramienta práctica que les permita conocer los aspectos a considerar desde la parte eléctrica y no eléctrica que tienen un peso considerable en el proceso de diseño de este tipo de instalaciones.

Contar con el apoyo y orientación del personal experto en el campo de las subestaciones, permitió alinear la visión y alcance que se buscó desde el inicio con el desarrollo de este proyecto, gracias a sus aportes en base a la experiencia, permitieron definir los requerimientos y criterios técnicos, normativos, ambientales e incluso sociales para la estructuración del contenido y nuestra propuesta. Así mismo su apoyo fue fundamental a la hora de resolver dudas en temas relacionados con estas instalaciones como lo es el diseño, construcción, operación y mantenimiento de estas instalaciones.

Con la socialización y validación de la guía propuesta, se logró construir un documento lo suficientemente robusto, el cual se fue ajustando durante las etapas finales de desarrollo logrando cubrir de forma satisfactoriamente los temas y subtemas planteados en un principio, garantizando que el contenido de estos fuese claro, coherente y preciso para el lector.

Así mismo, se demuestra que con este trabajo de grado se reduce la brecha entre el sector productivo y la academia. Si bien todo el conocimiento adquirido a lo largo de nuestro proceso académico es invaluable, tener un acercamiento al campo real en donde podamos ver, escuchar y conocer de cerca los procesos que involucran el diseño y puesta en marcha de activos como las subestaciones eléctrica, así como identificar las necesidades y oportunidades que puedan presentarse en proyectos que involucren estas instalaciones, nos da la oportunidad de desarrollar competencias y habilidades propias que necesitamos como futuros ingenieros electricistas mediante la aplicación práctica de los conocimientos teóricos adquiridos a través de una propuesta de trabajo de grado como la realizada en este proyecto, contribuyendo al fortalecimiento del sector, así como al avance investigativo, científico y tecnológico del país. Dando como resultados profesionales mejor preparados a la hora de enfrentar desafíos en el mundo laboral.

Finalmente, como principales recomendaciones se propone complementar la guía propuesta con aspectos de carácter económico y financiero que permita al lector tener una idea de los valores que un proyecto de diseño para subestaciones de este tipo involucra, esto debido a que, dentro del alcance de este proyecto, no se contemplaron dichos aspectos.

Implementar una herramienta, programa o aplicativo que complemente la guía propuesta en este trabajo, que permita tener una base de datos con información referente a fabricantes, especificaciones técnicas, parámetros y demás criterios a considerar en el diseño del componente electromecánico, permitiendo facilitar aún más la gestión y la toma de decisiones que disminuya

el tiempo de respuesta de operadores de red frente a la formulación, planeación y ejecución de proyectos que involucren construcción, expansión y/o modernización de activos como las subestaciones en media tensión de tipo convencional en media tensión.

Dar continuidad a este proceso, de forma que permita complementar los temas ya desarrollados en el campo de las subestaciones eléctricas de tipo convencional en media tensión como lo han sido servicios auxiliares, sistemas de puesta a tierra y apantallamiento y por supuesto el diseño del componente electromecánico. Esto con fin de estrechar vínculos y no perder ese contacto constante entre la academia y el sector productivo, reduciendo así la brecha entre ambas partes, de forma que se siga impulsando el desarrollo de competencias y habilidades que permita a los futuros profesionales fortalecer su formación práctica de cara a los desafíos del mundo laboral y así contribuir de manera efectiva al desarrollo del sector.

### Referencias Bibliográficas

- American National Standards Institute, Inc. (2022). *ANSI C37.32 American National Standard for High Voltage Switches, Bus Supports, and Accessories Schedules of Preferred ratings, Construction Guidelines, and Specifications*.
- American Society for Testing and Materials. (2021). *ASTM A759, Standard Specification for Carbon Steel Crane Rails*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Barión, G. d. (2020). *CARACTERIZACIÓN DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS*.
- Escobar, J. A. (2009). *Diseño de Subestaciones de Media Tensión*. Santiago de Cali, Colombia.
- FLUKE Corporation. (2023). *Centro de Recursos de FLUKE-Eléctrica*. Retrieved from <https://www.fluke.com/es-co/informacion/blog/electrica/que-es-la-tension>
- Gobierno de España. (2019). *Real Academia Española*. Retrieved from <https://www.rae.es/>
- HMV Ingenieros. (Segunda edición 2003). *Subestaciones de alta y extra alta tensión*.
- IEEE Power and Energy Society . (2015). *IEEE Std C37.113-2015, IEEE Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines*. Nueva York.
- IEEE Power and Energy Society. (2005). *IEEE Std 693-2005, IEEE Recommended Practice for Seismic Design of Substations*. Nueva York.
- IEEE Power and Energy Society. (2008). *IEEE Std 605-2008, IEEE Guide for Bus Design in Air Insulated Substations*. Nueva York.
- IEEE Power and Energy Society. (2009). *IEEE Std C37.42-2009, IEEE Standard Specifications for High-Voltage (> 1000 V) Expulsion-Type Distribution-Class Fuses, Fuse and Disconnecting Cutouts, Fuse Disconnecting Switches, and Fuse Links, and Accessories Used with These Devices*. Nueva York.

- IEEE Power and Energy Society. (2012). *IEEE Std 979-2012, IEEE Guide for Substation Fire Protection*. Nueva York.
- IEEE Power and Energy Society. (2015). *IEEE Std C57.12.00-2015, IEEE Standard for General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers*. Nueva York.
- IEEE Power and Energy Society. (2017). *IEEE Std C37.30-2017, IEEE Standard Requirements for AC High-Voltage Air Switches Rated Above 1000 V*. Nueva York.
- IEEE Power and Energy Society. (2018). *IEEE Recommended Practice for Seismic Design of Substations*. Nueva York.
- IEEE Power and Energy Society. (2018). *IEEE Std 1584-2018, IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations*. Nueva York.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (2017). *2017 National Electrical Safety Code® (NEC)*. Nueva York.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (1998). *NTC 2050 Código Eléctrico Colombiano*. Bogotá D.C.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (2012). *NTC 2207, Transformadores de instrumentos. Requisitos adicionales para transformadores de tensión inductivos*. Bogotá D.C.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (2013). *NTC 2205, Transformadores para instrumentos. Requisitos adicionales para transformadores de corriente*. Bogotá D.C.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (2021). *NTC 2797, Electrotecnia. Selección de fusibles para transformadores de distribución tipo poste y tipo pedestal*. Bogotá D.C.
- International Electrotechnical Commission. (1976). *IEC 60076-1, Power transformers - Part 1: General*. Ginebra.

International Electrotechnical Commission. (1988). *IEC 60949, Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects.*

Ginebra.

International Electrotechnical Commission. (1993). *IEC 60076-2, Power transformers - Part 2: Temperature rise.* Ginebra.

International Electrotechnical Commission. (1993). *IEC 60364-4-442, Electrical installations of buildings - Part 4: Protection for safety - Chapter 44: Protection against overvoltages - Section 442: Protection of low-voltage installations against faults between high-voltage systems and earth.* Ginebra.

International Electrotechnical Commission. (1995). *IEC 60672-1, Ceramic and glass insulating materials - Part 1: Definitions and classification.* Ginebra.

International Electrotechnical Commission. (1996). *IEC 60071-2, Insulation co-ordination - Part 2: Application guide.* Ginebra.

International Electrotechnical Commission. (1999). *IEC 60059, IEC standard current ratings.* Ginebra.

International Electrotechnical Commission. (2000). *IEC 60076-3, Power transformers - Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air.* Ginebra.

International Electrotechnical Commission. (2001). *IEC 62271-102, High-voltage switchgear and controlgear - Part 102: Alternating current disconnectors and earthing switches.* Ginebra.

International Electrotechnical Commission. (2011). *IEC 61869-3, Instrument transformers - Part 3: Additional requirements for inductive voltage transformers.* Ginebra.

International Electrotechnical Commission. (2012). *IEC 61869-2, Instrument transformers - Part 2: Additional requirements for current transformers.* Ginebra.

- International Electrotechnical Commission. (2014). *IEC 60099-4, Surge arresters - Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems*. Ginebra.
- International Electrotechnical Commission. (2016). *IEC 60909-0, Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Part 0: Calculation of currents*. Ginebra.
- International Electrotechnical Commission. (2016). *IEC 61850, Communication networks and systems for power utility automation - ALL PARTS*. Ginebra.
- International Electrotechnical Commission. (2017). *IEC 62271-1, High-voltage switchgear and controlgear - Part 1: Common specifications for alternating current switchgear and controlgear*. Ginebra.
- International Electrotechnical Commission. (2018). *IEC 60099-5, Surge arresters - Part 5: Selection and application recommendations*. Ginebra.
- International Electrotechnical Commission. (2019). *IEC 60071-1, Insulation co-ordination - Part 1: Definitions, principles and rules*. Ginebra.
- International Electrotechnical Commission. (2020). *IEC 60282-1, High-voltage fuses - Part 1: Current-limiting fuses*. Ginebra.
- International Electrotechnical Commission. (2021). *IEC 61936-1, Power installations exceeding 1 kV AC and 1,5 kV DC - Part 1: AC*. Ginebra.
- International Electrotechnical Commission. (2021). *IEC 62271-100, High-voltage switchgear and controlgear - Part 100: Alternating-current circuit-breakers*. Ginebra.
- International Electrotechnical Commission. (2021). *IEC 62271-200, High-voltage switchgear and controlgear - Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV*. Ginebra.

International Electrotechnical Commission. (2022). *IEC 60255-1, Measuring relays and protection equipment - Part 1: Common requirements*. Ginebra.

International Electrotechnical Commission. (2022). *IEC 61466-2, Composite string insulator units for overhead lines with a nominal voltage greater than 1 000 V - Part 2: Dimensional and electrical characteristics*. Ginebra.

Ministerio de Minas y Energía. (2008). *COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS RESOLUCIÓN No. 015 DE 2018*. Bogotá, D.C. Colombia.

Ministerio de Minas y Energía. (2013). *Reglamento Técnico de Instalaciones Electricas*.

National Fire Protection Association. (2020). *NFPA 850, Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations*. Quincy.

National Fire Protection Association. (2023). *NFPA 70, National Electrical Code*. Quincy.

National Fire Protection Association. (2024). *NFPA 70E, Standard for Electrical Safety in the Workplace*. Quincy.

Yepes, E. P. (2012). *Dimensionamiento de Subestaciones de Alta Tensión*. Santiago de Cali, Colombia.