

Desarrollo de una Guía metodológica para orientar el diseño de líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV con aplicación al área nororiental del país.

Juan Sebastian Serrano Aguilar y Adrian Esteban Bermúdez Rodriguez

Trabajo de Grado para Optar al Título de ingenieros Electricistas

Director

Oscar Iván Aguirre Varela

Especialista en Gerencia de Recursos Energéticos

Codirector

Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga

Doctor en ciencias con énfasis en Ingeniería Eléctrica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Ingeniería Eléctrica

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

A Dios quien siempre ha estado para mí en los buenos y malos momentos, a mi madre, Maritza Rodriguez Pardo quien siempre ha dado todo por mí y a quien estoy profundamente agradecido por los valores que me ha inculcado desde niño, a mi padre, Leonel Bermúdez Mateus quien con su calma me ha dado tranquilidad y seguridad en mí mismo, a mi hermano, Christian David Bermúdez Rodriguez (Q.E.P.D), quien hasta su ultimo día quiso lo mejor para mí, con su guía y consejo logré convertirme en el hombre que soy hoy en día y que donde quiera que esté, estará orgulloso de mi, a ustedes tres les debo todo lo que soy, no tengo la forma de agradecerles por todos los sacrificios que han hecho por mí.

Este proyecto es una pequeña forma de mostrarles mi profundo agradecimiento y amor que les tengo.

Adrian Esteban Bermúdez Rodriguez

Dedicatoria

Le dedico este trabajo a mi madre Edna Rocío Aguilar, quien me ha inculcado los valores necesarios para afrontar la vida y me ha acompañado y apoyado en todas las etapas de mi vida, a mi padre Jaime Orlando Serrano, quien ha sido un ejemplo a seguir, en todo el sentido de la palabra, que me ha guiado y orientado en todos los aspectos de mi vida, y a mis hermanos Camilo Andrés y Santiago José que me han acompañado en todos los momentos de mi vida.

Este trabajo es una pequeña muestra del agradecimiento, cariño y amor que les tengo.

Juan Sebastian Serrano Aguilar

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento, primero, a Dios por su constante guía y consuelo, proporcionándome un refugio seguro y sereno que ha contribuido en cada etapa de mi formación, moldeando la persona en la que me he convertido hoy.

En particular, deseo dedicar un agradecimiento especial a mi tía María Eva Bermúdez Mateus. Sus sabios consejos y buenos deseos han sido fundamentales para mi crecimiento personal. El papel que ha desempeñado en mi vida ha sido crucial para mi desarrollo.

Agradezco sinceramente a nuestro director, Oscar Iván Aguirre Varela, quien siempre ha brindado lo mejor de sí con profesionalismo y amabilidad. También, a nuestro codirector, Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga, cuya disposición para ofrecer apoyo y orientación ha sido invaluable. Ambos son personas excepcionales con sólidos valores.

Quiero dedicar un agradecimiento especial a todos mis familiares, amigos, mi pareja y demás personas que han brindado consejo, apoyo y buenos deseos a lo largo de este proceso. Sin ustedes, este logro no habría sido posible. A todos, gracias totales. Este proyecto representa mi manera modesta de expresarles cuanto les agradezco y cuanto amor les tengo.

Adrian Esteban Bermúdez Rodriguez

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento a Dios, quien me ha guiado y acompañado a lo largo de toda mi vida, quien trazó mi camino para estar donde me encuentro hoy en día y quien nunca me ha dejado sólo. Igualmente, a mis padres por el amor y el apoyo que me han dado a lo largo de toda mi vida, por los sacrificios que han hecho para darnos a mis hermanos y a mi lo mejor, esfuerzos que hoy en día dan frutos.

Agradezco a nuestro director, Oscar Iván Aguirre Varela, por su apoyo y acompañamiento claves para el desarrollo de este proyecto, a nuestro codirector, Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga, por la orientación brindada, la experiencia y los conocimientos compartidos.

También, quiero dedicar un agradecimiento especial a mi pareja María Paula Corredor, su amor y apoyo fueron inspiración y motivación a lo largo de mi proceso académico, y finalmente, agradezco a todos mis familiares y amigos, que me han apoyado y aconsejado, y han deseado lo mejor para mí.

Juan Sebastian Serrano Aguilar

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	14
1. Problema a resolver.....	16
2. Alcance	17
3. Objetivos	18
3.1 Objetivo General.....	18
3.2 Objetivos Específicos.....	18
4. Justificación	19
5. Marco normativo.....	20
6. Generalidades de líneas de distribución de 34,5 kV	24
6.1 Objetivos de las líneas de distribución de 34,5 kV	24
6.2 Elementos que conforma las líneas de distribución de 34,5 kV	24
6.3 Requerimientos de las líneas de distribución de 34,5 kV	26
7. Estructuración de la guía metodológica	27
7.1 Identificación de la información	27
7.2 Clasificación de la información	28
7.3 Análisis de la información	28
7.4 Elaboración del contenido.....	28
7.4.1 Organización del proceso.....	28
7.4.2 Público objetivo	29
7.4.3 Objetivos de la guía	29
7.5. Diagrama de flujo	30

8. Desarrollo del contenido.....	33
8.1. Preguntas previas	33
8.2. Criterios generales de diseño	33
8.3. Recursos de diseño.....	33
8.4. Metodología de diseño.....	34
8.5. Bibliografía y referencias.....	38
9. Revisión y ajustes	38
10. Conclusiones	40
11. Recomendaciones	41
Referencias Bibliográficas	42
Apéndices.....	44

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Metodología de diseño</i>	34

Lista de imágenes

	Pág.
Figura 1 <i>Diagrama de flujo</i>	30
Figura 2 <i>Reunión con OR ESSA</i>	39

Lista de Apéndices

	pág.
Apéndice A. Guía metodológica para orientar el diseño de líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV con aplicación al área nororiental del país.	44
Apéndice B. Diagrama de flujo.	44

Glosario

Apoyo: nombre genérico dado l dispositivo de soporte de conductores y aisladores de las líneas o rede aéreas. Pueden ser postes, torres u otro tipo de estructura.

Cable: conjunto de alambres sin aislamiento entre sí y entorchado por medio de capas concéntricas.

Conductor: elemento diseñado para conducir corriente y utilizado para interconectar los terminales de los diferentes equipos eléctricos.

Distancia de seguridad: distancia mínima alrededor de un equipo eléctrico o de conductores energizados, necesaria para garantizar que no habrá accidente por acercamiento de personas, animales, estructuras, edificaciones o de otros equipos.

Estructura: todo aquello que puede ser construido o edificado, pueden ser fijas o móviles, pueden estar en el aire, sobre la tierra, bajo tierra o en el agua.

Flecha: distancia vertical máxima en un vano, entre el conductor y la línea recta horizontal que uno los dos puntos de sujeción.

Operador de red (OR): empresa de servicios públicos encargada de la planeación, de la expansión y de las inversiones, operación y mantenimiento de todo o parte de un sistema de transmisión regional o un sistema de distribución local.

Vano: distancia horizontal entre dos apoyos adyacentes de una línea o red.

Zona de servidumbre: franja de terreno que se deja sin obstáculos a lo largo de una línea de transporte o distribución de energía eléctrica, como margen de seguridad para la construcción, operación y mantenimiento de dicha línea, así como para tener una interrelación segura con el entorno.

Resumen

Título: Guía metodológica para orientar el diseño de líneas de distribución aéreas, rurales de 34,5 kV con aplicación al área nororiental del país*

Autor: Juan Sebastian Serrano Aguilar, Adrian Esteban Bermúdez Rodriguez**

Palabras Clave: Líneas de distribución, diseño, orientación, seguridad.

Descripción: El presente proyecto se enfoca en la creación de una guía metodológica cuyo propósito fundamental es brindar orientación a profesionales interesados en llevar a cabo el diseño de líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV con aplicación al área nororiental del país, facilitando la recopilación integral de información y su posterior integración en proyectos eléctricos, asegurando elevados niveles de seguridad y confiabilidad en el suministro de energía para la región. La guía aborda aspectos fundamentales del proceso de diseño, como la selección de conductores y de estructuras, distancias de seguridad, aisladores, cálculos eléctricos y mecánicos, entre otros elementos esenciales. Estos enfoques garantizan la obtención de un diseño más eficiente y confiable, con un impacto tangible en las comunidades. Este proyecto se lleva a cabo cumpliendo con lo establecido en la normativa colombiana actual, en especial, el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), la normativa vigente del Operador de Red ESSA (Electrificadora de Santander) y la normativa vigente del Operador de Red CENS (Centrales Eléctricas del Norte de Santander). Asimismo, este proyecto incorpora valiosas recomendaciones brindadas por expertos altamente calificados de una empresa santandereana. La práctica y experiencia son elementos fundamentales en la formación profesional, lo que confiere aún más significado a estas recomendaciones.

*Trabajo de Grado

**Facultad de ingenierías fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería eléctrica, electrónica y telecomunicaciones. Director Oscar Aguirre. Codirector Oscar Quiroga

Abstract

Title: Methodological guide for guiding the design of rural overhead distribution lines at 34,5 kV with application to the northeastern region of the country*

Author(s): Juan Sebastian Serrano Aguilar, Adrian Esteban Bermúdez Rodríguez**

Key Words: Distribution lines, design, guidance, security.

Description: The present Project focuses on the creation of a methodological guide whose main purpose is to provide guidance to professionals interested in designing 34.5 kV aerial rural distribution lines in the northeastern area of the country. It facilitates comprehensive data collection and its subsequent integration into electrical projects, ensuring high levels of safety and reliability in energy supply for the region. The guide addresses fundamental aspects of the design process, such as conductor and structure selection, safety distances, insulators, electrical and mechanical calculations, among other essential elements. These approaches ensure the development of a more efficient and reliable design, with a tangible impact on communities. This project adheres to current Colombian regulations, notably the Technical Regulations for Electrical Installations (RETIE), the current standards of the ESSA Network Operator (Electrificadora de Santander), and the current standards of the CENS Network Operator (Centrales Eléctricas del Norte de Santander). Additionally, the project is distinguished by incorporating valuable recommendations from highly qualified experts of a Santander-based company. Practical experience is a fundamental aspect of professional development, adding even more significance to these recommendations.

*Trabajo de Grado

**Facultad de ingenierías fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería eléctrica, electrónica y telecomunicaciones. Director Oscar Aguirre. Codirector Oscar Quiroga

Introducción

En el contexto de las infraestructuras eléctricas, el diseño de líneas de distribución aéreas rurales adquiere una importancia estratégica para asegurar la confiabilidad y eficiencia en la provisión de energía en áreas específicas. Estas líneas se encargan de transportar energía eléctrica desde y hacia los centros de transformación a lo largo del sector rural del país. Se encargan de distribuir la electricidad a través de cables y estructuras específicamente diseñadas para resistir las condiciones y desafíos del entorno, en consecuencia, el profesional encargado del diseño de este tipo de líneas se enfrenta a desafíos significativos. Cuando el diseño realizado no es el adecuado, pueden surgir una serie de problemas que afectan tanto la eficiencia operativa como la seguridad del suministro, es decir, se pueden presentar pérdidas de eficiencia energética, interrupciones frecuentes del suministro, baja confiabilidad del sistema, mayor necesidad del mantenimiento y reparaciones, riesgos de seguridad, impacto ambiental negativo y limitaciones en el desarrollo de la región. Es imperativo realizar diseños acordes a las particularidades de la región sin comprometer la confiabilidad, todo ello acorde a la normativa vigente. Es crucial tener en cuenta que, con el transcurso del tiempo, dicha normativa experimentará modificaciones y actualizaciones.

La guía metodológica permitirá identificar y establecer criterios fundamentales que se adecúen tanto a las particularidades de la región como a las exigencias del sistema en su conjunto. Esto se traducirá directamente en la estandarización y disminución del tiempo de diseño de las líneas de distribución aéreas rurales.

Este proyecto se enfoca en el componente de diseño, que aborda los aspectos de las líneas de distribución aéreas rurales, teniendo presente la interacción con los operadores de red. En última instancia, este proyecto no se limita al ámbito académico.

1. Problema a resolver

La planificación y ejecución de proyectos relacionados con líneas distribución aérea rural de 34,5 kV plantean numerosos desafíos. Aspectos como el trazado de rutas, la topografía del terreno, las condiciones ambientales, las zonas protegidas y las especificaciones técnicas deben considerarse minuciosamente. Además, todos estos elementos deben alinearse con la normativa vigente y respaldados por un enfoque de ingeniería adaptado a las necesidades de los operadores de red.

En este contexto, es crucial abordar eficazmente la carencia de una metodología definida para el diseño de estas líneas en el área nororiental del país, por lo que se pretende desarrollar una guía metodológica que oriente y normalice el diseño y selección de los elementos de una línea de distribución aérea rural de 34,5 kV.

2. Alcance

El alcance de este proyecto se centra en desarrollar una guía metodológica que establezca lineamientos, criterios y pautas fundamentales que orienten el diseño de líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en la región nororiental del país, considerando las normas técnicas nacionales e internacionales vigentes, así como las desarrolladas y/o definidas por los operadores de red ESSA y CENS.

Esta guía proporcionará una herramienta eficaz y practica que oriente la toma de decisiones y la implementación de mejores prácticas de diseño.

Es importante aclarar que la guía se enfoca en el diseño de líneas trifásicas, y los criterios y pautas se basan estrictamente en los aspectos técnicos y no en el ámbito económico o financiero. A su vez, no será objeto de este estudio el diseño del sistema de protecciones de las líneas de distribución.

El alcance de este proyecto incluye los siguientes aspectos:

Definición de los operadores de red: Operadores de red de los cuales se obtendrá la información y normativa necesaria para desarrollar la guía.

Especificación de los requisitos y cumplimiento de normativas según el operador de red: Definición de los requisitos técnicos, así como las normas de cada operador de red aplicables al diseño de líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV para el área nororiental del país.

Selección de materiales: Selección de los materiales apropiados para el diseño de líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Desarrollar una guía metodológica para orientar el diseño de líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV, atendiendo los requisitos de los operadores de red del área nororiental del país.

3.2 Objetivos Específicos

- Establecer los requerimientos de una guía metodológica y contenido general de la misma.
- Desarrollar los elementos de la guía metodológica acorde a los requisitos, regulaciones y normativas aplicables a las líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país.
- Compilar cada uno de los elementos desarrollados y presentados de una manera procedimental mediante la guía.

4. Justificación

El desarrollo de infraestructura eléctrica en zonas rurales juega un papel crucial en la mejora de la calidad de vida y el impulso económico para distintas comunidades. En este caso, enfocado al área nororiental de Colombia, caracterizada por su diversidad y dispersión de comunidades rurales, el diseño eficiente de líneas de distribución aéreas de 34,5 kV se convierte en un factor determinante para garantizar el suministro confiable de energía eléctrica.

La región nororiental presenta desafíos en términos de accesibilidad, condiciones climáticas variables y una topografía que puede dificultar el despliegue de infraestructuras eléctricas. La falta de acceso confiable a la electricidad en las zonas rurales limita el desarrollo socioeconómico y afecta la calidad de vida de los habitantes. La implementación de una guía metodológica específica para esta área permitirá abordar de manera eficaz estos desafíos y optimizar el diseño de las líneas de distribución.

Garantizar el cumplimiento de las regulaciones vigentes y adoptar las mejores prácticas en diseño y seguridad es esencial para proporcionar un servicio eléctrico confiable y seguro a las comunidades rurales del área nororiental por lo cual la guía metodológica se alinea con los estándares y normativas del sector eléctrico, compilando todas las normas y regulaciones que atañen el diseño de estas líneas, estableciendo una relación entre la normativa y cada etapa de diseño.

5. Marco normativo

Las líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV están estrictamente reglamentadas por un conjunto de normativas y estándares. Estas regulaciones garantizan la eficacia, confiabilidad y seguridad de dichos sistemas. A continuación, se proporciona una recopilación detallada de las normas utilizadas en este ámbito:

ASTM B232 Standard Specification for Concentric-Lay-Stranded Aluminum Conductors (Especificaciones estándar para cables de aluminio conductores de líneas aéreas).

Esta norma establece los requisitos para los conductores de aluminio y acero reforzado (ACSR) destinados a su uso en líneas aéreas de transmisión eléctrica. También aborda aspectos como las dimensiones, las propiedades mecánicas y eléctricas, así como los métodos de prueba aplicables a estos conductores. Adicionalmente, proporciona pautas para la fabricación y la calidad de los materiales utilizados en la construcción de estos conductores.

ANSI C29.2-2012 Insulators – Wet-Process Porcelain And Toughened Glass – Suspension Type (Especificaciones para aisladores de porcelana y vidrio para líneas aéreas).

Esta norma se enfoca en los dispositivos de protección utilizados en sistemas de distribución eléctrica, específicamente en los cortacircuitos y enlaces fusibles encapsulados. Se centra en establecer estándares para los cortacircuitos y enlaces fusibles encapsulados utilizados en sistemas de distribución eléctrica, con el objetivo de garantizar su eficacia y seguridad en la protección de los equipos y circuitos eléctricos.

CNS-NT-03 Redes de media y baja tensión norma técnica CENS.

Dentro de este documento se incluyen valores, tablas e información adoptada del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE acerca de las redes de media y baja tensión.

CNS-NT-02 Parámetros de diseño norma técnica CENS.

Dentro de este documento se incluyen valores, tablas e información adoptada del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE acerca de los parámetros de diseño de la norma técnica CENS.

CREG 070 – 1998 (Comisión de regulación de Energía y Gas).

Establece las normas técnicas y de calidad que deben cumplir los equipos y materiales utilizados en la construcción y operación de sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica en el país.

IEC 60826 Design criteria of overhead transmission lines (Criterios de diseño de líneas de transmisión aéreas).

Esta norma se centra en proporcionar criterios técnicos de diseño para las líneas de transmisión aéreas, asegurando su eficiencia, confiabilidad y seguridad. La norma aborda diversos aspectos del diseño de líneas aéreas, como la selección de materiales, cálculos de carga, factores de seguridad, distancias de seguridad, y otros aspectos relacionados con la ingeniería.

IEC 60287 Electric cables – Calculation of the current rating (Cables eléctricos – Cálculo de la capacidad de corriente).

La norma se centra en proporcionar métodos para calcular la capacidad de corriente admisible en cables eléctricos, teniendo en cuenta factores como la sección transversal del conductor, la temperatura ambiente, la forma de instalación, la agrupación de cables, entre otros. Aborda diferentes condiciones bajo las cuales se pueden encontrar los cables, como la carga continua, la sobrecarga temporal, las condiciones de emergencia y otros escenarios relevantes.

Ley 1228 – 2008

Esta ley determina las franjas mínimas de retiro obligatorio o áreas de exclusión, para carreteras del sistema vial nacional.

NTC 3275 – 2019 Aisladores compuestos tipo suspensión para distribución.

Esta norma cubre los requisitos de materiales, dimensiones, rotulado y ensayos de aisladores compuestos tipo suspensión para distribución.

NTC 1329 – 2013 Prefabricados en concreto. Postes de concreto para líneas de energía y telecomunicaciones.

Establece las especificaciones que deben cumplir los postes de concreto, utilizados como soportes estructurales para equipos y líneas aéreas de iluminación, telecomunicaciones y electricidad.

NTG-01 – 2021 Norma de electrificación rural ESSA.

Define las especificaciones para el diseño de las redes de electrificación rural, cumpliendo con lo dispuesto en el RETIE.

NT-01 – 2019 Norma técnica cálculo de conductor económico.

Tiene como propósito facilitar la selección del calibre del conductor a partir de criterios técnicos.

RA6-010 – 2021 Norma técnica para sistemas de puesta a tierra EPM.

Esta norma se enfoca en determinar los requisitos básicos de un sistema de puesta a tierra que garantice la seguridad para las personas, la protección de las instalaciones y la compatibilidad electromagnética de acuerdo con las exigencias establecidas por el RETIE. Además, la norma establece las configuraciones básicas de puesta a tierra y los materiales a emplearse en el sistema con el fin de cumplir las exigencias del RETIE, en cuanto a garantizar la seguridad de las personas para obtener la resistencia de puesta a tierra y las tensiones de paso y de contacto adecuadas, de acuerdo con la resistividad que posea el terreno.

RETIE – 2013 Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas.

Esta norma establece los requisitos técnicos y de seguridad para las instalaciones eléctricas. Su objetivo es garantizar la seguridad de las personas, la protección de la vida humana, animal y vegetal, y la preservación del medio ambiente en relación con el uso de la energía eléctrica.

6. Generalidades de líneas de distribución de 34,5 kV

Las líneas de distribución de 34, kV forman parte de una gran red distribuida en todo el territorio nacional, son aquellos elementos que permiten transportar electricidad y suelen conectar dos subestaciones que suministran energía a ciudades o centros poblados, aunque a veces pueden alimentar a usuarios con alta demanda o apartados de redes de distribución de menor voltaje, como en zonas rurales.

En Colombia las líneas de distribución manejan diferentes niveles de tensión, por lo cual las de 34,5 kV son utilizadas sólo en ciertas regiones, por algunos operadores de red, como lo son los departamentos de Santander y Norte de Santander, operados por ESSA y CENS.

6.1 Objetivos de las líneas de distribución de 34,5 kV

El objetivo de las líneas de distribución de 34,5 kV es transportar energía eléctrica para que esta llegue al usuario final o a una segunda subestación desde los centros de transformación o generación en algunos casos. Esta misión debe cumplir ciertos requisitos, como la continuidad del suministro y los límites de variación de voltaje, para garantizar el derecho de toda la población colombiana a contar con el servicio de electricidad en sus hogares.

6.2 Elementos que conforma las líneas de distribución de 34,5 kV

Apoyos: Son todas las estructuras que se fijan al suelo y en las cuales se colocarán los herrajes y estructuras de soporte de los conductores, pueden ser postes de concreto, metálicos, fibra de vidrio o torrecillas metálicas. En algunos casos los postes requieren el uso de templetos o retenidas.

Herrajes: Son las estructuras metálicas sujetas a los postes, sobre los cuales se encuentran los aisladores

Aisladores: Son los dispositivos que separan los conductores de las estructuras de apoyo o soporte, garantizando un aislamiento eléctrico

Conductores: Son los cables que transportan la electricidad y se encuentran sujetos a los aisladores, para este tipo de líneas, son de aluminio y cuentan con diferentes tipos de aleaciones o refuerzos

Espaciadores: Se usan cuando la red es de tipo compacta y su objetivo es garantizar la distancia de separación entre los conductores.

Amortiguadores: Son elementos que se usan con el objetivo de reducir o mitigar los efectos de las vibraciones en las líneas

Sistema de apantallamiento: Cable de guarda, cuya función es proteger a la línea de descargas atmosféricas, direccionando las altas corrientes al sistema de puesta a tierra

Sistema de puesta a tierra: Sistema que desvía las altas corrientes en caso de descargas atmosféricas o fallas en la línea, compuesto por los bajantes y los conductores o electrodos de puesta a tierra

Protecciones: Conjunto de dispositivos que actúan en el momento de una falla, para garantizar la protección de equipos conectados a la línea y personas.

Seccionadores: Dispositivos que permiten seccionar la línea cuando no se encuentre energizada.

Equipo de medida: Conjunto de elementos (CT's, PT's, medidor, entre otros) que permite conocer el flujo de energía a través de la línea

6.3 Requerimientos de las líneas de distribución de 34,5 kV

- Las líneas de distribución deben evitar pasar por zonas de inestabilidad geológica, zonas con pendientes excesivas, inundables, de alto nivel cerámico, inaccesibles al personal y a los materiales, suelos rocosos, terrenos de erosión continua, reservas bióticas, áreas protectoras de acueductos, páramos y subpáramos, zonas con restricciones ambientales (Por ejemplo, Distritos Regionales de Manejo Integral, parques, reservas, zonas con especies vedadas, etc.), cuerpos de agua y zonas para la conservación de la avifauna.
- Las líneas de distribución deben evitar pasar por zonas de explotación y concesión minera o petrolera, zonas restringidas por posibles expansiones de infraestructura vial (Ley 1228 de 2008), sitios de interés histórico, cultural y arqueológico, áreas de especial sensibilidad por razones étnicas y culturales, predios inmersos en procesos judiciales y zonas de urbanismo.
- Los criterios de diseño deben estar bajo la normatividad y criterios del operador de red de la región en la que se ubicará la línea. A su vez, deben cumplir lo establecido por la CREG 025, CREG 070, la NTC 1329, NTC 1340, NTC 3275, IEEE 50, IEEE 519, la Ley 1228 de 2008 y el Reglamento técnico de instalaciones eléctricas.
- El conductor portador de corriente y el cable de guarda deben cumplir los requisitos establecidos en los artículos 20.2 y 25.7.1 del RETIE. En caso de usar conductor semi-aislado, este debe tener un aislamiento de 36 kV.
- La selección de las estructuras de apoyo y soporte debe ir acompañadas de cálculos mecánicos en los que se tengan en cuenta las condiciones climáticas (temperatura y viento) de la región. Se deben cumplir las distancias mínimas y separación entre conductores establecidas en los artículos 13 y 25.6.1 del RETIE. En algunos casos las estructuras de

apoyo deben implementar el uso de templetas y retenidas para cumplir con los factores de seguridad por esfuerzos mecánicos. La cimentación y longitud de empotramiento de los postes debe cumplir con los requisitos y recomendaciones del artículo 20.17.2 del RETIE.

- La coordinación de aislamiento de las líneas debe cumplir y considerar lo establecido por los artículos 20.1, 22.7 y 25.6 del RETIE, y las condiciones establecidas en cuanto al tipo y cantidad de aisladores por cada operador de red.
- Las líneas de distribución cuentan con un sistema de apantallamiento que debe cumplir con lo establecido en los artículos 20.20, 22.9 y 25.5 del RETIE. El sistema de puesta a tierra debe cumplir lo establecido por el artículo 15 del RETIE y tener presente lo establecido en el estándar IEEE 80.
- Los entregables de la etapa de diseño de las líneas de distribución son: el plano de planta, el plano de perfil (plantillado), detalle constructivo de las estructuras, tabla resumen de apoyos, memorias de cálculo, informe del trayecto, informe final del proyecto.

7. Estructuración de la guía metodológica

La realización de la guía metodológica desarrollada en este proyecto contó con diversas partes o etapas mencionadas a continuación:

7.1 Identificación de la información

En esta etapa se determinó la información necesaria para la investigación, explorando fuentes de literatura académica, normativa nacional y de los operadores de red de interés, e información obtenida de la práctica, proporcionada por una empresa santandereana que cuenta con un alto nivel de experiencia en el diseño de líneas de distribución.

7.2 Clasificación de la información

La información de la etapa anterior se clasificó según la vigencia, relevancia y actualidad, teniendo presente, en cuanto a la normativa, el alcance geográfico, es decir, si es regional, nacional o internacional.

7.3 Análisis de la información

En esta etapa se asignó la información teórica, práctica y normativa a la etapa del diseño que competía. Para eso se planteó una metodología definida, basada en lo establecido por la normativa nacional e internacional, y especialmente, en lo determinado por las normas de los operadores de red CENS (CNS-NT-03 “Redes de media y baja tensión) y ESSA (C NTG-01 norma de electrificación rural), garantizando un orden procedimental adecuado para el diseño, y el cumplimiento de la normativa vigente.

7.4 Elaboración del contenido

Una vez compilada y organizada la información, el proceso siguiente fue desarrollar el contenido de la guía de acuerdo a las normativas y estándares vigentes, enriquecido por la contribución de expertos, personal capacitado y el Operador de Red.

7.4.1 Organización del proceso

Se hace necesario tener claridad sobre el concepto de guía metodológica y la estructura de la misma, por lo que se definen los ítems. Las normas de escritura y requerimientos de este tipo de documento, junto con la forma de presentar el contenido de estudio. El resultado de esta fase lo

podemos ver plasmado en el índice de la guía y en la redacción a lo largo de todo el documento, en donde se consigna el procedimiento de diseño, las normas a cumplir y consejos dados por la experiencia.

7.4.2 Público objetivo

La guía va dirigida a ingenieros electricistas encargados de la etapa de diseño de líneas de distribución. Teniendo presente que este público maneja el lenguaje técnico de la guía y los presaberes o conceptos básicos necesarios a la hora de leer el documento

7.4.3 Objetivos de la guía

Proporcionar orientación detallada y completa sobre los principios y procedimientos relacionados con el diseño de líneas de distribución de 34,5 kV aéreas rurales en el área nororiental del país.

Estandarizar el proceso de diseño de las líneas de distribución de 34,5 kV aéreas rurales en el área nororiental de Colombia, definiendo un orden específico para dicho proceso.

Ayudar a los profesionales encargados del proceso de diseño de líneas de distribución de 34,5 kV aéreas rurales a cumplir con las leyes, normas, regulaciones y estándares vigentes que atañen este tipo de líneas.

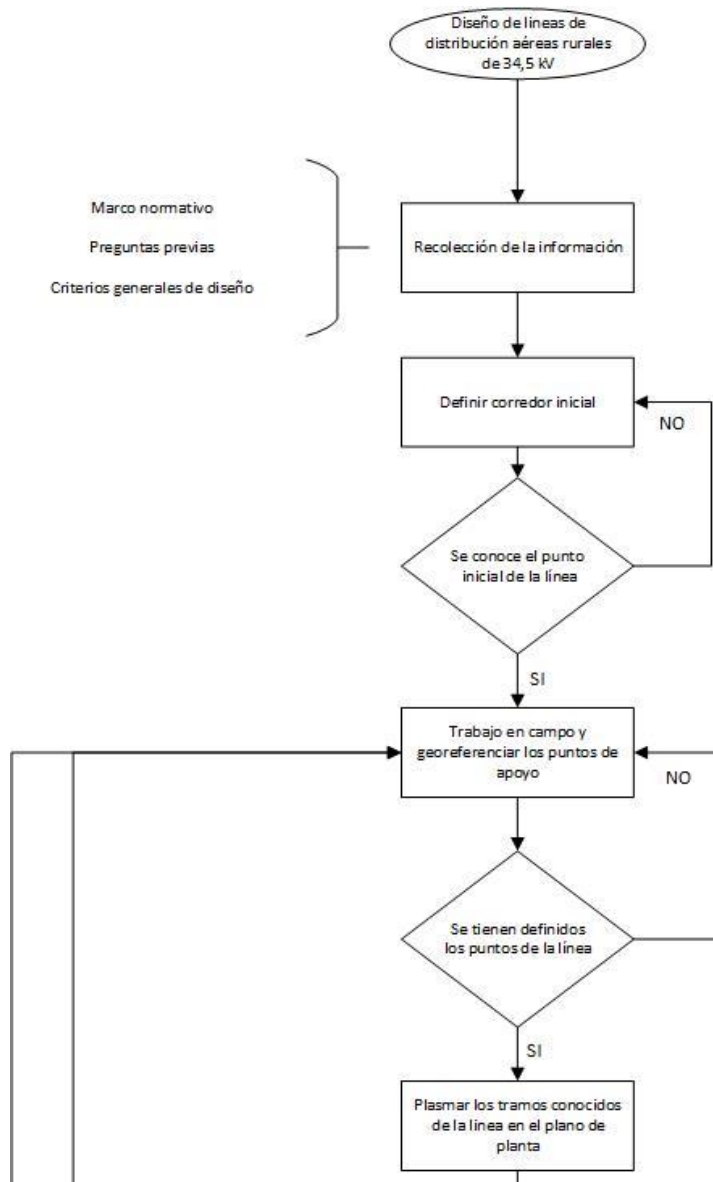
Fomentar la adopción de mejores prácticas de diseño en los profesionales de la región.

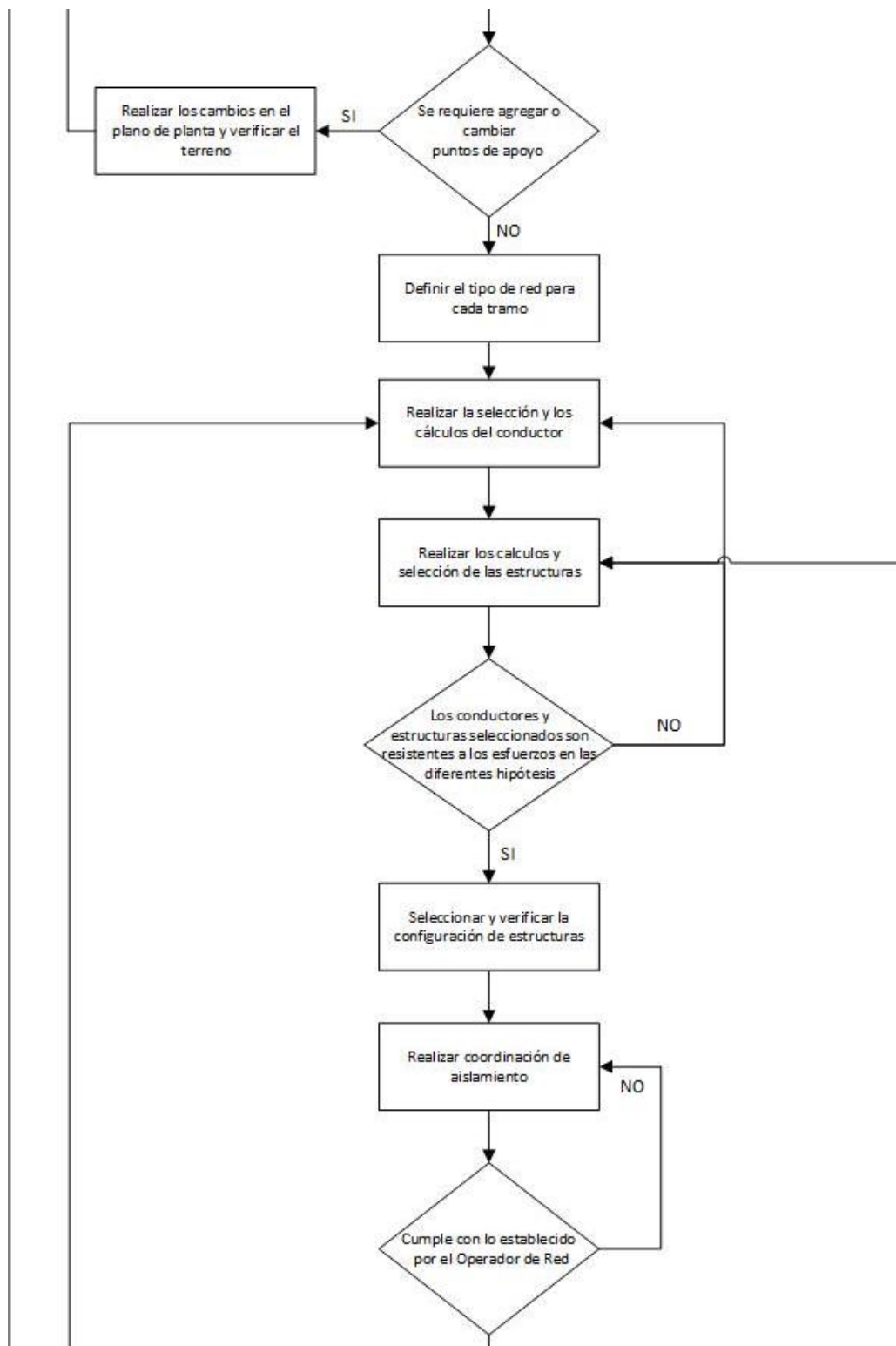
7.5. Diagrama de flujo

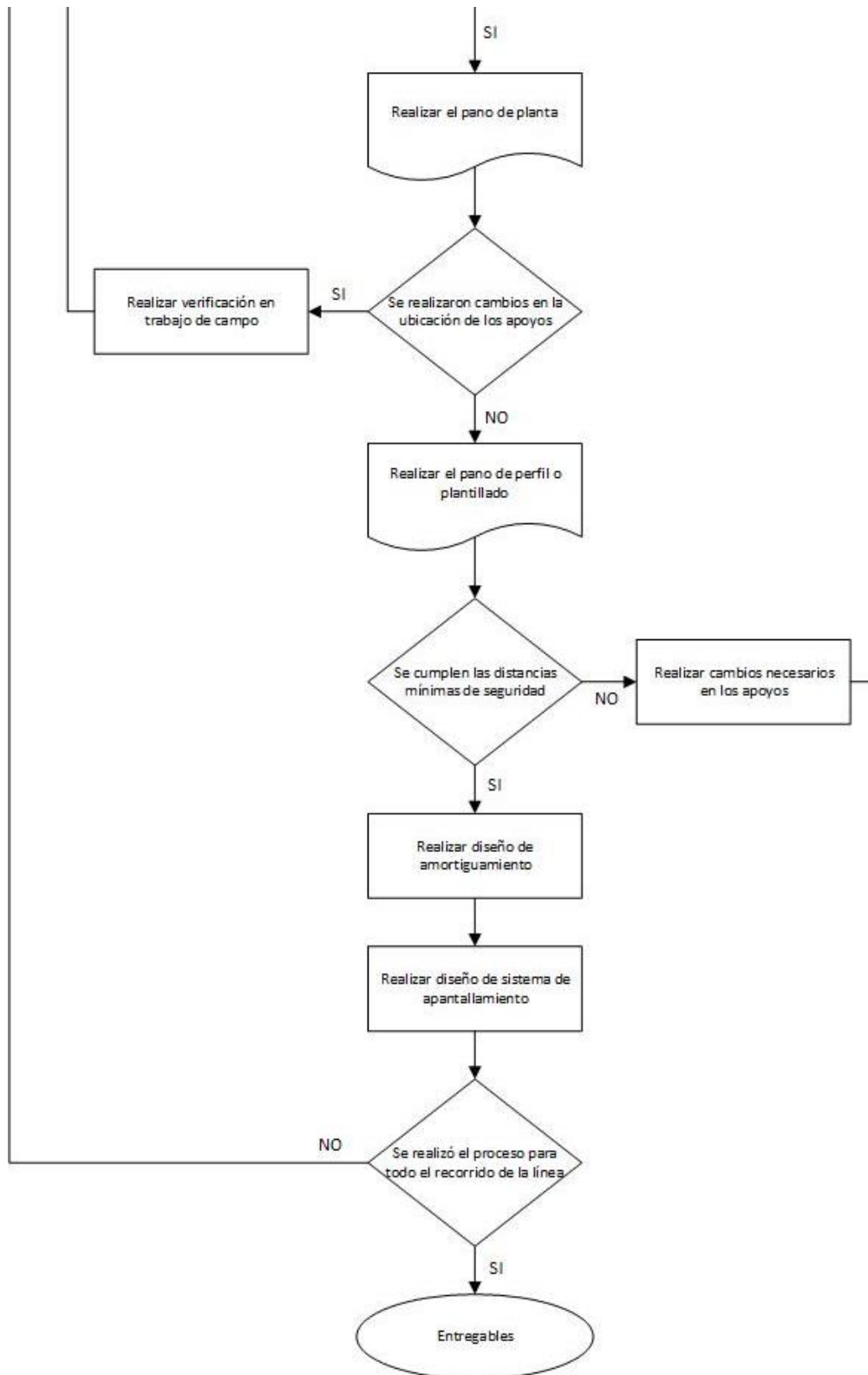
Se elaboró un diagrama de flujo que presenta de manera concreta y concisa el proceso de diseño, sirviendo como una herramienta gráfica y procedimental útil para el ingeniero o grupo de diseño. Este diagrama se encuentra adjunto como Apéndice B en la presente tesis.

Figura 1

Diagrama de flujo







8. Desarrollo del contenido

A continuación, se muestran los apartados de la guía en el orden que se consideró adecuado para el diseño, describiendo cada etapa, la normativa que cumple y en donde encontrarla.

8.1. Preguntas previas

Al iniciar el diseño de una línea de distribución de 34,5 kV, se pueden generar preguntas sobre el diseño y sus componentes, por eso se plantearon cuestionamientos en la página 14 de la guía metodológica, en la cual se define el entregable del proyecto donde se consigna la respuesta de dicha pregunta.

8.2. Criterios generales de diseño

Son todos los criterios que se deben considerar al iniciar el diseño de la línea, son de carácter físico, biótico, sociocultural y técnico. Especifican las normas y regulaciones que se deben tener en cuenta en las primeras fases del diseño, y brindan recomendaciones útiles al momento de diseñar. En esta etapa es vital conocer la experiencia de ingenieros diseñadores, los cuales proporcionaron conceptos técnicos, consejos y buenas prácticas de diseño para plasmar en la guía y orientar al lector de la mejor manera. Esta fase, se encuentra consignada en la página 15 del documento y tiene en cuenta la Ley 1228 de 2008 y los artículos 13 y 25.6 del RETIE

8.3. Recursos de diseño

Antes de iniciar el diseño se debe contar con los recursos físicos y digitales necesarios para el diseño, por lo que en la página 20 de la guía se recomiendan los elementos necesarios para un correcto procedimiento.

8.4. Metodología de diseño

Corresponde al orden procedimental del diseño, definido con base a la investigación teórica, la normativa, y los conocimientos obtenidos de la experiencia, buscando fomentar mejores prácticas de diseño y garantizando excelentes resultados de dicho proceso. Los pasos de diseño se encuentran consignados en la siguiente tabla, con una breve descripción, la normativa que se debe cumplir, las subetapas de cada ítem y número de página de la guía

Tabla 1

Metodología de diseño

Titulo	Descripción	Normativa	Subetapas	Pág.
1. Conceptua lización general del terreno	Con la utilización de la herramienta tecnológica Google Earth se obtiene una vista global del área de interés desde el punto inicial hasta el punto final del trazado. Se busca establecer un corredor inicial y realizar un trazado preliminar de la primera alternativa de ruta, considerando factores como la topografía, la vegetación, las edificaciones y otros elementos del entorno. Además, se sugiere la visualización de una segunda alternativa de ruta. Se destaca la necesidad de recopilar datos que sirvan como base para el diseño posterior de la línea de distribución.	• NA	NA	18
2. Trabajo en campo - levantami ento	Se lleva a cabo el reconocimiento del terreno y el recorrido de la primera alternativa de la ruta. Se crean los planos que detallan el recorrido, identifican el norte y contienen notas importantes para el diseño y construcción.	• Ley 1228 de 2008 • Artículo 13 del RETIE • Artículo 25.6 del RETIE	NA	19

	<p>Durante el recorrido en el terreno, se verifican y ajustan los planos, y se definen los puntos de ubicación de los apoyos. Se toman medidas del terreno y se considera una servidumbre amplia. Después del trabajo en campo, se digitalizan los planos y se genera un archivo KMZ para visualización en Google Earth. .</p>			
3. Selección del conductor y cable de guarda	<p>La selección del conductor se puede realizar teniendo en cuenta el concepto del cálculo del conductor económico o la alineación regulatoria que le corresponde a los Operadores de Red.</p> <p>Se definen los calibres mínimos de los conductores y se realizan los cálculos de los mismos, considerando la capacidad de corriente, las pérdidas de energía, la regulación y la capacidad de corriente de cortocircuito.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • CNS-NT-03 • NTG-01 • Artículo 20.2 del RETIE • Artículo 25.7 del RETIE • RA6-010 EPM • NT-01 EPM 	<p>3.1 Tipo y calibre mínimo</p> <p>3.2 Cálculo del conductor</p>	<p>20</p> <p>23</p>
4. Cálculos mecánicos de conductor es	<p>Se realizan los cálculos mecánicos de los conductores, donde se determinan las tensiones y la flecha del conductor, para garantizar que no supere la tensión máxima de rotura y que la flecha no supere las distancias mínimas de seguridad establecidas por el RETIE, Art. 13.</p> <p>Se ha tomado como referencia la GM-12 “Guía Técnica: Cálculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos” de EPM.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Artículo 13 del RETIE • CREG 025 • IEC 60826:2017 anexo F • CREG-070 • CNS-NT-03 (3.8.4.2) • EPM GM-12 	<p>4.1 Curva de tendido</p> <p>4.2 Cálculo de flecha</p> <p>4.3 Esfuerzos en los conductores</p>	<p>27</p> <p>27</p> <p>28</p>
5. Cálculos mecánicos en	<p>Se calculan los esfuerzos sobre las estructuras y elementos de sujeción ocasionados por los conductores en diversas condiciones, se consideran</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Artículo 20.17.1 del RETIE 	<p>5.1 Árboles de carga</p> <p>5.2 Hipótesis de carga</p>	<p>30</p> <p>31</p>

estructuras	los factores de máxima deflexión para los postes, y continuamos guiándonos de la GM-12	<ul style="list-style-type: none"> • EPM GM-12 	5.3 Factor de máxima deflexión	32
	Se escoge, según los cálculos mecánicos y criterios del OR, las estructuras de apoyo y soporte ideales para la línea.	<ul style="list-style-type: none"> • NC- RA6-001 		
	La postería debe cumplir ciertas características y especificaciones técnicas presentes en las normas, a su vez, se debe hacer una verificación de la capacidad de carga de los postes y las retenidas, en caso de requerirse.	<ul style="list-style-type: none"> • CNS-NT-03 (3.8.5) • CNS-NT-03-06 • CNS-NT-11 • CNS-NT-11-01. 	6.1 Estructuras de apoyo	33
6.	Se obtienen las distancias mínimas de separación entre conductores y la selección de se hace según las estructuras permitidas por cada OR, validando el cumplimiento de dichas distancias.	<ul style="list-style-type: none"> • RETIE, Art. 13.3, 20.1, 20.17, 22.7, 25.4 y 25.6 • NTG-01 (6.8.1) 	6.2 Distancias entre conductores y selección de estructuras	36
Selección de estructuras	Una vez seleccionada las estructuras de soporte, se debe realizar la verificación mecánica de la capacidad de carga estructural de los elementos o herrajes, con un factor de seguridad de 2,5.	<ul style="list-style-type: none"> • EPM ET-TD-ME04-01 • EPM ET-TD-ME04-02 • EPM ET-TD-ME04-03 		
	Los aisladores a usar en las estructuras vienen dados por el tipo de configuración seleccionada, sin embargo, cada OR presenta una normativa en las que se establecen las características de los aisladores y su correcta selección. El OR ESSA, en la norma NTG-01, establece el tipo y la cantidad de aisladores que se deben usar según el tipo de estructura. El OR CENS establece en su norma CNS-NT-03 el tipo de aislamiento, dando los valores de tensión más elevada	<ul style="list-style-type: none"> • Norma Técnica ESSA grupo 7 • EPM ET-TD-ME02-01 • EPM ET-TD-ME02-04 • NC- RA6-001 de EPM • EPM GM-03 	6.3 Coordinación de aislamiento	39
			6.4 Uso de templates o retenidas	41

	para el material, y la tensión soportada por impulso de rayo.			
7. Cimentación y longitud de empotramiento	Se presentan las características y condiciones de la cimentación directamente en el suelo y con aporte de hormigón. También se orienta el cálculo de la profundidad mínima de empotramiento, la cual depende de la longitud del poste.	<ul style="list-style-type: none"> • NTR-01 • RETIE, Art. 20.17.2 	7.1 Cimentación y longitud de empotramiento en postes	41
			7.2 Cimentación de torrecillas	43
8. Planos de planta y plantillado	En esta fase se presentan los planos esenciales para proyectos de esta índole, para validar el cumplimiento de las distancias mínimas horizontales y verticales, y cambiar la ubicación de los apoyos si se requiere.	<ul style="list-style-type: none"> • RETIE, Art. 13.2 • NTG-01 (6.7) • CNS-NT-03 	8.1 Plano de planta	43
			8.2 Plantillado	45
9. Cálculo de los amortiguadores	Se establece la cantidad de amortiguadores según la longitud de cada tramo de la línea.	<ul style="list-style-type: none"> • RETIE, Art. 20.20, 22.9 y 25.5 	NA	46
10. Diseño sistema de apantallamiento	Se desarrolla el sistema de apantallamiento para la línea, tomando como referencia la “Guía metodológica cálculo de sistema de puesta a tierra” GM-04, que orienta la medición de resistividad del terreno, el análisis y modelamiento del suelo, la corriente efectiva de falla, las tensiones de paso y contacto, y las configuraciones de puesta a tierra para los postes. A su vez, se abordan las directrices de cada OR para la conexión a tierra de los cables de guarda.	<ul style="list-style-type: none"> • NC-RA6-010 • IEEE 80 • GM-04 • GM-010 	10.1 Medición de la resistividad del terreno	47
			10.2 Análisis y modelamiento del suelo	47
			10.3 Corriente efectiva de falla	47
			10.4 Tensiones de paso y contacto	48
			10.5 Configuración	48

			de puesta a tierra	
			11.1 Plano de planta	49
			11.2 Plantillado	49
			11.3 Detalle constructivo de las estructuras	49
11. Entregables	Se refiere a todos los documentos que se generan como parte del diseño de las líneas de distribución eléctrica. Adicional al plano de planta, plantillado, y memorias de cálculo (como todo diseño), se encuentran: El plano con los dibujos a detalle de todas las estructuras de apoyo y soporte. Un resumen (en forma de tabla) de todos los apoyos, incluyendo enumeración, coordenadas, tipo de poste, tipo de estructura, entre otras. Un informa detallado del trayecto de la línea, con principales obstáculos y descripción del terreno. El informe final del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> • RETIE • NTG-01 (6.7) • CNS-NT-03 	11.4 Tabla resumen de apoyos	50
			11.5 Memorias de cálculo	50
			11.6 Informe del trayecto	50
			11.7 Informe final del proyecto	50

8.5. Bibliografía y referencias

En la guía metodológica se usaron diversas referencias bibliográficas que abarcan normas, regulaciones, leyes, guías técnicas y libros que se encuentran mencionadas al final del documento.

9. Revisión y ajustes

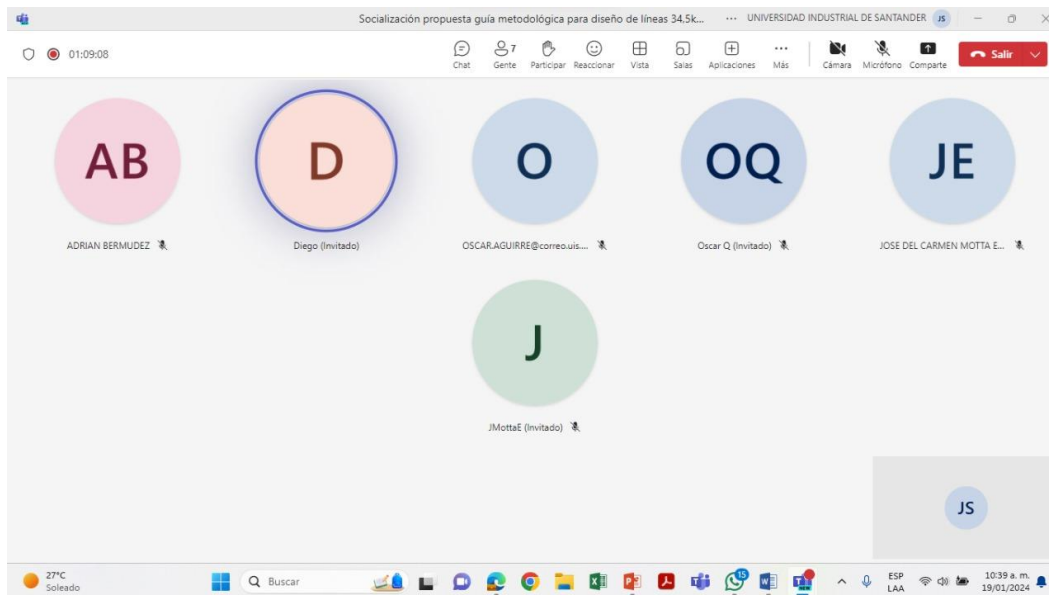
Tras realizar la primera versión de la guía, realizada por los estudiantes, se envió el documento inicial al director de trabajo grado con el objetivo de hacer recomendaciones, correcciones y ajustes, el ingeniero Oscar Iván Aguirre, es especialista en gestión de proyectos y gerencia de recursos energéticos, y cuenta con experiencia en dirección de proyectos de

planeación, diseño y construcción de líneas de distribución de 34,5 kV con el OR ESSA. La guía se compartió con el mismo propósito a ingenieros diseñadores de la empresa Volta ingeniería S.A.S., la cual ha diseñado varias líneas de distribución para el OR ESSA.

Como tercer filtro, el documento fue compartido y socializado con ingenieros del área de planeación y operación del OR ESSA, para validar el cumplimiento de la normativa y realizar sugerencias sobre el proyecto.

Figura 2

Reunión con OR ESSA



Después de recibir los comentarios y sugerencias por parte de los ingenieros, se llevaron a cabo las correcciones y ajustes necesarios para completar la segunda versión de la guía. Esta nueva versión, junto con los anexos y el libro correspondiente al proyecto de grado, se remitieron al codirector del proyecto, el profesor e ingeniero Oscar Arnulfo Quiroga. Este experto llevó a cabo las últimas revisiones del contenido de la guía y proporcionó recomendaciones sobre la presentación del libro. Tras efectuar las correcciones sugeridas, se logró la versión final del

documento metodológico, presentado en esta tesis como un entregable destacado y como el resultado culminante de este trabajo.

10. Conclusiones

Las líneas de distribución constituyen una parte invaluable del sistema eléctrico nacional, y los ingenieros diseñadores están llamados a aplicar las mejores prácticas en su concepción. Este enfoque no solo simplifica el proceso de construcción, sino que también asegura la correcta operación de estas líneas, con un impacto directo en las personas, comunidades e industrias que se benefician de este tipo de diseños.

El diseño de líneas de distribución de 34,5 kV en el área nororiental del país demanda un proceso estandarizado que contemple diversos factores, incluyendo consideraciones ambientales, sociales, culturales y técnicas, entre otros. Este procedimiento debe incorporar de manera integral la normativa actual que rige estas líneas, con especial atención a las directrices del operador de red del territorio en cuestión. Establecer y mantener una comunicación constante con este operador es esencial, ya que este emite criterios y toma decisiones que el diseñador debe tener en cuenta y seguir meticulosamente.

La colaboración estrecha con el personal especializado de un operador de red se presenta como un componente esencial y determinante en el desarrollo de una guía metodológica de diseño exitosa. La interacción directa con estos profesionales facilita la definición precisa de las características esenciales y del contenido general de la guía, garantizando así su alineación con las necesidades particulares de un operador de red. Esta sinergia entre diseñadores y personal especializado no solo fortalece la precisión de la guía, sino que también contribuye a la creación de un recurso valioso y eficaz que se adapta de manera óptima a las condiciones específicas y dinámicas del entorno operativo de la red. En última instancia, esta colaboración resulta

fundamental para el éxito y la utilidad práctica de la guía metodológica de diseño en el ámbito de las redes.

11. Recomendaciones

La recomendación fundamental de este proyecto es validar la vigencia de las normas que sirven de base para la guía metodológica. Dicha guía fue elaborada en el año 2024, considerando la normativa vigente hasta ese momento. No obstante, es crucial reconocer la posibilidad de que se hayan efectuado modificaciones, actualizaciones o derogaciones en las normas y regulaciones consideradas inicialmente. Para esto se deben considerar los siguientes factores:

- Cambios legales y reglamentarios.
- Fecha de elaboración.
- Consistencia y cumplimiento.
- Integridad del proyecto.
- Responsabilidad y conformidad.

Evaluar periódicamente y actualizar continuamente la guía metodológica ayudará a mantener la relevancia y la efectividad del documento a lo largo del tiempo.

Referencias Bibliográficas

CENS. (2016). Redes de media y baja tensión. (CNS-NT-03). CENS.

CENS. (2020). Parámetros de diseño. (CNS-NT-02). CENS.

Checa, L.M. (1988). Líneas de transporte de energía. Marcombo.

ESSA. (2022). Norma electrificación rural. (NTG-01). ESSA.

EPM. (2019). Guía metodológica: Cálculo de conductor económico. (EPM-UCET-NYL-GM-01).

EPM.

EPM. (2019). Guía metodológica: Cálculo del sistema de puesta a tierra. (EPM-UCET-NYL-GM-

04). EPM.

EPM. (2019). Guía metodológica: Cálculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de

equipos. (EPM-UCET-NYL-GM-12). EPM.

EPM. (2019). Norma técnica: Cálculo de conductor económico. (EPM-UCET-NYL-NT-01).

EPM.

EPM. (2019). Norma técnica: Puesta a tierra de redes de distribución eléctrica. (EPM-UCET-NYL-

Ra6-010). EPM.



EPM. (2019). Instalación de retenidas. (NC-RA6-001). EPM.

Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (2013). Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). Bogotá, Colombia.

Apéndices

Apéndice A. Guía metodológica para orientar el diseño de líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV con aplicación al área nororiental del país.

Apéndice B. Diagrama de flujo.

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
	Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 1 de 53

Anexo A.

Desarrollo de una guía metodológica para orientar el diseño de líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV con aplicación al área nororiental del país.

Juan Sebastian Serrano Aguilar y Adrian Esteban Bermúdez Rodríguez

Versión N° 2

Director:

Oscar Iván Aguirre Varela

Especialista en Gerencia de Recursos Energéticos

Codirector:

Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga

Doctor en ciencias con énfasis en Ingeniería Eléctrica



Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones



Bucaramanga

2024



 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:	
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024	
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país			
	Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 2 de 53	

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	6
II. OBJETO	6
III. ALCANCE	6
IV. DEFINICIONES	7
V. MARCO NORMATIVO EXTERNO	10
VI. PREGUNTAS PREVIAS	12
VII. CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO	13
1. Físicas	13
2. Bióticas.....	14
3. Sociales y culturales	14
4. Técnicos	16
VIII. RECURSOS DE DISEÑO.....	17
IX. METODOLOGÍA DE DISEÑO	18
1. Conceptualización general del terreno.....	18
2. Trabajo en campo – levantamiento	19
3. Selección del conductor y cable de guarda	20
3.1 Tipo y Calibre mínimo	20
3.2 Cálculo del conductor.....	23
4. Cálculos mecánicos de conductores	26
4.1 Curva de tendido	27
4.2 Calculo de flecha	27
4.3 Esfuerzos en los conductores.....	28
5. Cálculos mecánicos en estructuras	30
5.1 Árboles de carga.....	30
5.2 Hipótesis de carga.....	31
5.3 Factor de máxima deflexión para los postes	32
6. Selección de estructuras	33
6.1 Estructuras de apoyo.....	33



 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:	
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024	
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país			
	Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 3 de 53	

6.2	Distancias entre conductores y selección de estructuras	36
6.3	Coordinación del aislamiento	39
6.4	Uso de templetes o retenidas	41
7.	Cimentación y Longitud de empotramiento.....	41
7.1	Cimentación y longitud de empotramiento en postes	41
7.2	Cimentación en Torrecillas.....	43
8.	Planos de planta y plantillado	43
8.1	Plano de planta	43
8.2	Plantillado	45
9.	Cálculo de los amortiguadores	46
10.	Apantallamiento de la línea	46
10.1	Medición de la Resistividad del terreno.....	47
10.2	Análisis y modelamiento del suelo	47
10.3	Corriente efectiva de falla.....	47
10.4	Tensiones de paso y contacto	48
10.5	Configuración de puesta a tierra	48
11.	Entregables.....	49
11.1	Plano de planta	49
11.2	Plantillado – plano de perfil.....	49
11.3	Detalles constructivos de las estructuras.....	49
11.4	Tabla resumen de apoyos	50
11.5	Memorias de cálculo.....	50
11.6	Informe del trayecto	50
11.7	Informe final del proyecto	50
X.	BIBLIOGRAFÍA.....	52

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:	
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024	
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país			
	Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 4 de 53	



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Preguntas previas	12
Tabla 2 Tipo de conductores.....	20
Tabla 3 Cable de guarda	22
Tabla 4 Factor de corrección K	30
Tabla 5 Factores de seguridad y máxima deflexión	33
Tabla 6 Distancias verticales.....	37
Tabla 7 Distancias horizontales	38
Tabla 8 Distancias mínimas en zonas con construcciones	45
Tabla 9 Número de amortiguadores	46

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:	
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024	
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país			
	Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 5 de 53	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Red compacta</i>	21
Figura 2	<i>Red abierta</i>	21
Figura 3	<i>Esfuerzos en un conductor</i>	29
Figura 4	<i>Árboles de carga</i>	30
Figura 5	<i>Cimentación con aporte de hormigón</i>	43

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
	Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 6 de 53

I. INTRODUCCIÓN

En la compleja red de infraestructura energética, las líneas de distribución desempeñan un papel vital en la operación y el desarrollo de la región Nororiental del país, caracterizada por paisajes incomparables que van desde majestuosas llanuras hasta exuberantes montañas. Este rincón geográfico alberga una compleja serie de necesidades energéticas, vinculadas al crecimiento demográfico y la productividad, que requieren una constante actualización en la infraestructura del sistema eléctrico, por lo que periódicamente se hacen necesarias nuevas líneas de distribución que satisfagan estos requerimientos



La construcción de las líneas requiere una etapa de diseño en la que se encuentran involucrados ingenieros, los cuales se enfrentan a diferentes desafíos y retos al momento de establecer un orden en el proceso de diseño y de aplicación de la normatividad vigente; por lo cual surge la idea de desarrollar una guía metodológica que sirva como herramienta de apoyo para orientar el proceso de diseño de líneas aéreas de distribución de energía, de 34,5 kV, que compile la normatividad vigente para cada fase del diseño.

II. OBJETO

Desarrollar una guía integral que sirva como una referencia clara para los ingenieros y planificadores involucrados en la concepción, diseño y construcción de líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en la región nororiental del país. Esta guía se centrará en proporcionar herramientas prácticas a un buen nivel de detalle, para la elección de los materiales y tecnologías más apropiadas, y los cálculos necesarios para este tipo de diseños. El propósito principal es facilitar el diseño de líneas de distribución aéreas, obteniendo resultados eficientes y de alta calidad, que cumplan con requisitos normativos y específicos para el suministro seguro y confiable de electricidad.

III. ALCANCE

Esta guía metodológica es un documento detallado el cual se centra en establecer lineamientos, criterios y pautas fundamentales que orienten el diseño de líneas aéreas rurales de 34,5 kV en la región nororiental del país, considerando las normas técnicas nacionales e internacionales vigentes, así como las desarrolladas y/o definidas por los operadores de red ESSA y CENS.

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
	Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 7 de 53

Con este documento se busca estandarizar el proceso de diseño de estas líneas y facilitar la toma de decisiones y la implementación de mejores prácticas para garantizar la eficiencia, seguridad y calidad del suministro energético en el nororiente colombiano.

Es importante aclarar que la guía se enfoca en el diseño de líneas trifásicas, y los criterios y pautas se basan estrictamente en los aspectos técnicos y no en el ámbito económico o financiero. A su vez, no será objeto de este estudio el diseño del sistema de protecciones de las líneas de distribución.

IV. DEFINICIONES

AISLADOR: “Elemento de mínima conductividad eléctrica, diseñado de tal forma que permita dar soporte rígido o flexible a conductores o a equipos eléctricos y aislarlos eléctricamente de otros conductores o de tierra.” (energía, 2013)

AISLAMIENTO: “Sistema de protección que evita el contacto directo entre partes conductoras y personas o el medio ambiente.” (energía, 2013)

ALAMBRE: “Hilo o filamento de metal, trefilado o laminado, para conducir corriente eléctrica.” (energía, 2013)

APOYO: “Nombre genérico dado al dispositivo de soporte de conductores y aisladores de las líneas o redes aéreas. Pueden ser postes, torres u otro tipo de estructura.” (energía, 2013)

AW: Acero aluminizado.

CABLE: “Conjunto de alambres sin aislamiento entre sí y entorchado por medio de capas concéntricas.” (energía, 2013)



CARGA DE ROTURA: “Carga máxima que un material o estructura puede soportar antes de fracturarse o romperse.” (energía, 2013)

CARGA DE TRABAJO: “Carga máxima que un material o estructura puede soportar de manera segura durante un uso normal y continuo.” (energía, 2013)

CERTIFICACIÓN: “Procedimiento mediante el cual un organismo expide por escrito o por un sello de conformidad, que un producto, un proceso o servicio cumple un reglamento técnico o una(s) norma(s) de fabricación.” (energía, 2013)

CONSTRUCCIÓN: “Conjunto de actividades que se realizan para adelantar la ejecución de las obras físicas de las líneas de distribución.” (energía, 2013)

CONDUCTOR: “Elemento diseñado para conducir corriente y utilizado para interconectar los terminales de los diferentes equipos eléctricos.” (energía, 2013)

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
	Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 8 de 53

CONDUCTOR ENERGIZADO: “Todo aquel que no está conectado a tierra.” (energía, 2013)

CONDUCTOR NEUTRO: “Conductor activo conectado intencionalmente al punto neutro de un transformador o instalación y que contribuye a cerrar un circuito de corriente.” (energía, 2013)

CONDUCTOR A TIERRA: “También llamado conductor del electrodo de puesta a tierra, es aquel que conecta un sistema o circuito eléctrico intencionalmente a una puesta a tierra.” (energía, 2013)

CONTRATISTA: “Persona natural o jurídica que responde ante el dueño de una obra, para efectuar actividades de asesoría, interventoría, diseño, supervisión, construcción, operación, mantenimiento u otras relacionadas con las instalaciones eléctricas y equipos asociados.” (energía, 2013)

CONTAMINACIÓN: “Liberación artificial de sustancias o energía hacia el entorno y que puede causar efectos adversos en el ser humano, otros organismos vivos, equipos o el medio ambiente.” (energía, 2013)

DISTANCIA AL SUELO: “Distancia mínima, bajo condiciones ya especificadas, entre el conductor bajo tensión y el terreno.” (energía, 2013)

DISTANCIA DE SEGURIDAD: “Distancia mínima alrededor de un equipo eléctrico o de conductores energizados, necesaria para garantizar que no habrá accidente por acercamiento de personas, animales, estructuras, edificaciones o de otros equipos.” (energía, 2013)

DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA: “Transferencia de energía eléctrica a los consumidores, dentro de un área específica.” (energía, 2013)

DISTANCIA DE TRABAJO: “Es la distancia entre la fuente potencial del arco y la cara y pecho del operador.” (energía, 2013)



EMPALME: “Conexión eléctrica destinada a unir dos partes de conductores, para garantizar continuidad eléctrica y mecánica.” (energía, 2013)

EPP: “Elementos de protección personal.” (energía, 2013)

ESTRUCTURA: “Todo aquello que puede ser construido o edificado, pueden ser fijas o móviles, pueden estar en el aire, sobre la tierra, bajo tierra o en el agua.” (energía, 2013)

FASE: “Designación de un conductor, un grupo de conductores, un terminal, un devanado o cualquier otro elemento de un sistema polifásico que va a estar energizado durante el servicio normal.” (energía, 2013)

FLECHA: “Distancia vertical máxima en un vano, entre el conductor y la línea recta horizontal que une los dos puntos de sujeción.” (energía, 2013)

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
	Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 9 de 53

GA: Acero galvanizado.

LÍNEA ELÉCTRICA: “Conjunto compuesto por conductores, aisladores, estructuras y accesorios destinados al transporte de energía eléctrica.” (energía, 2013)

LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN: “Sistema de cables y equipos utilizados para transportar electricidad desde la red de transmisión hasta los usuarios finales.” (energía, 2013)

OPERADOR DE RED (OR): “Empresa de Servicios Públicos encargada de la planeación, de la expansión y de las inversiones, operación y mantenimiento de todo o parte de un Sistema de Transmisión Regional o un Sistema de Distribución Local.” (energía, 2013)

PLANO ELÉCTRICO: “Representación gráfica de las características de diseño y las especificaciones para construcción o montaje de equipos y obras eléctricas.” (energía, 2013)

RED DE DISTRIBUCIÓN: “Conjunto de circuitos y subestaciones, con sus equipos asociados, destinados al servicio de los usuarios de un municipio.” (energía, 2013)

REQUISITO: “Precepto, condición o prescripción que debe ser cumplida, es decir que su cumplimiento es obligatorio.” (energía, 2013)

SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN LOCAL (SDL): “Sistema de transporte de energía eléctrica compuesto por el conjunto de líneas y subestaciones, con sus equipos asociados, que operan a los Niveles de Tensión 3, 2 y 1 dedicados a la prestación del servicio en un Mercado de Comercialización.” (energía, 2013)

SISTEMA DE PUESTA A TIERRA: “Es un sistema de conexión eléctrica que permite disipar corrientes de falla o sobrecarga a la tierra.” (energía, 2013)

SISTEMA DE PROTECCION: “Es un conjunto de dispositivos y sistemas que detectan y aíslan las fallas eléctricas para proteger los equipos y garantizar la seguridad de las personas.” (energía, 2013)

VANO: “Distancia horizontal entre dos apoyos adyacentes de una línea o red.” (energía, 2013)

ZONA DE SERVIDUMBRE: “Es una franja de terreno que se deja sin obstáculos a lo largo de una línea de transporte o distribución de energía eléctrica, como margen de seguridad para la construcción, operación y mantenimiento de dicha línea, así como para tener una interrelación segura con el entorno.” (energía, 2013)

(*) Tomados del reglamento técnico de instalaciones eléctricas

(energía, 2013)

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
	Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 10 de 53

V. MARCO NORMATIVO EXTERNO

- ASTM (American Society for Testing and Materials).
- ASTM B232: Especificaciones estándar para cables de aluminio conductores de líneas aéreas.
- ANSI (American National Standards Institute).
- ANSI C29.2: Especificaciones para aisladores de porcelana y vidrio para líneas aéreas.
- CREG 070 de 1998: Reglamento de distribución de energía eléctrica.
- CREG 025 de 1995: Código de redes.
- CNS-NT-03 norma técnica CENS “Redes de media y baja tensión”.
- CNS-NT-02 norma técnica CENS “parámetros de diseño”.
- ET-TD-ME04-01 “especificación técnica para postes de concreto”.
- ET-TD-ME04-02 “especificación técnica para postes de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV)”.
- ET-TD-ME04-03 “especificación técnica para postes metálicos”.
- Electric Power Research Institute EPRI, Transmission line grounding Volume 1, EPRI.
- GM-01 de EPM “Guía metodológica: Cálculo de conductor económico”.
- GM-012 de EPM “Guía Técnica: Cálculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos”.
- GM-04 de EPM “Guía metodológica: Cálculo del sistema de puesta a tierra”.
- IEC (International Electrotechnical Commission).
- IEC 60826: Características eléctricas de líneas aéreas.
- IEC 60287: Calculo de la corriente de cortocircuito en líneas aéreas.
- IEC 60826: Criterios aéreos de líneas aéreas de transmisión.
- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 11 de 53

- IEEE 1248: Guía para el diseño, instalación y mantenimiento de sistemas de distribución aéreos.
- IEEE 80: Sistema de puesta a tierra.
- IEEE 519: Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power systems.
- ICONTEC (Instituto colombiano de normas técnicas y certificación).
- Ley 1228 de 2008: Fajas mínimas de retiro.
- NTC 1340: Tensiones nominales en sistemas de energía eléctrica a 60 Hz en redes de servicio público.
- NTC 3275: Especificaciones para aisladores fabricados de materiales poliméricos (Aisladores tipo suspensión).
- NTC 1329: Prefabricados en concreto. Postes de concreto armado para líneas de energía y telecomunicaciones.
- NTG-01 norma de electrificación rural ESSA.
- NT- 01 Norma técnica: cálculo de conductor económico.
- RA6-001 “Norma técnica: Instalación de retenidas”
- RA6-010 EPM “Norma Técnica: Puesta a tierra de redes de distribución eléctrica”.
- Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE).
- UNE-HD-60364-4-43 de 2013.
- UNE-HD 60364-5-54 de febrero de 2015.

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país			
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 12 de 53


VI. PREGUNTAS PREVIAS

Al iniciar el diseño de una línea de distribución de 34,5 kV, surgen interrogantes relacionados con el diseño y sus componentes. Por este motivo, se formulan una serie de preguntas y se establece el entregable del proyecto, donde se registra la respuesta a dicha pregunta.

Tabla 1

Preguntas previas

<i>PREGUNTA(S) CLAVE(S)</i>	<i>ENTREGABLE(S)</i>
¿Cuál es la capacidad de potencia requerida por la línea?	Memoria de cálculos.
¿Cuál es la longitud total estimada de la línea de distribución?	Plano que muestre el recorrido y la longitud total de la línea de distribución, así como
¿Cómo es la topografía del terreno y con qué obstáculos naturales se puede encontrar la línea?	mapas topográficos que indiquen la topografía del área y la ubicación de obstáculos.
¿Cuál es el punto inicial y el punto final de la línea?	
¿Cuáles son las condiciones climáticas de la región?	Análisis detallado de las condiciones climáticas y su impacto en el diseño, incluido en el informe del proyecto.
¿Cómo pueden estas condiciones afectar la integridad de la línea?	
¿Cuáles son las normativas y regulaciones locales y nacionales que deben cumplirse en el diseño de líneas eléctricas?	En el informe del proyecto se hace referencia a la normativa y regulación que aplican.
¿Qué tipos de conductores se utilizarán en la línea?	Especificaciones de los conductores, incluyendo tipo y dimensiones, también los

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 13 de 53

¿Qué tipos de estructuras de soporte serán más adecuadas para la topografía y condiciones específicas? planos detallados que muestren el tipo de estructura.

¿Cómo son los accesos y condiciones viales de la zona donde se planea construir la línea? Se debe presentar un informe con la localización de la línea, la ubicación de cada

¿Cuáles son los criterios adicionales a considerar para seleccionar el recorrido de la línea? apoyo, especificaciones sobre los accesos y demás detalles topográficos.

¿Qué impacto se prevé que tendrá el proyecto en el ámbito social y ambiental? Informe con estudio que evalúe las afectaciones a la comunidad y al medio ambiente, presentando un plan con las medidas recomendadas para mitigar y/o eliminar dichas afectaciones.

VII. CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO

Durante el diseño de líneas de distribución aéreas rurales, es importante tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Físicas

Evitar que el trazado de la línea pase por:

- Terrenos con pendientes pronunciadas, susceptibles a inestabilidades hídricas y/o geológicas.
- Áreas propensas a inundaciones, con mal drenaje o capacidad portante deficiente.
- Suelos sujetos a erosión continua o intermitente; en caso de atravesar estos terrenos, se deben tomar medidas para garantizar la estabilidad de la línea.

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país			
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 14 de 53

- Lugares inaccesibles para el personal y los materiales.
- Áreas identificadas como zonas de explotación minera actual o potencial.
- Zonas de riesgo definidas por los municipios en sus mapas de riesgo locales.
- Áreas con alta exposición a descargas atmosféricas, contaminación natural o industrial, y valles con vientos canalizados.
- Tramos extensos de cultivos industriales o sujetos a fumigación aérea, como algodón, sorgo, etc.
- Zonas restringidas debido a posibles expansiones de infraestructura vial según lo establecido en la ley 1228 de 2008.
- Áreas ocupadas o previstas para ser ocupadas por otras infraestructuras como líneas de transmisión, distribución, poliductos, oleoductos, etc.
- Territorios actuales o potenciales para la explotación y concesión de petróleo.
- Suelos rocosos, arenosos o áridos; los terrenos con ondulaciones suaves son mas adecuados para trazar la línea.

2. Bióticas

Evitar que el trazado de la línea pase por:

- Áreas designadas como reservas bióticas por las autoridades ambientales.
- Zonas cubiertas por bosques, humedales, paramos y subparamos.
- Cuerpos de agua como lagos, ciénagas, manantiales, ríos, quebradas y áreas de recarga de acuíferos.
- Áreas prioritarias para la conservación de la avifauna; en caso de no poder evitarlo, se deben establecer medidas específicas de prevención y mitigación para reducir el impacto en la avifauna.
- Zonas sujetas a restricciones ambientales, como distritos regionales de manejo integral, parques naturales, reservas y áreas con especies protegidas.

3. Sociales y culturales

Evitar que el trazado de la línea pase por:

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
	Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 15 de 53

- Terrenos destinados a actividades agropecuarias, pesqueras, recreativas y de valor paisajístico, cultural y científico que podrían ser afectados en su función social debido a la construcción y operación del proyecto.
- Áreas donde las comunidades dependen en gran medida de los recursos naturales que serían afectados por el proyecto. Se debe priorizar alternativas que minimicen el impacto en aguas subterráneas y superficiales, especialmente en regiones donde estos recursos son escasos.
- Zonas con propiedades pequeñas que al dividirse impedirían el uso productivo de las unidades familiares de subsistencia. Se sugiere utilizar los límites o cercas existentes.
- Lugares de relevancia histórica, cultural y arqueológica, designados como parques arqueológicos, patrimonio histórico nacional o patrimonio histórico de la humanidad, así como sitios arqueológicos que merezcan ser preservados por su singularidad.
- Áreas de especial importancia étnica, cultural o de propiedad colectiva, como reservas, resguardos y territorios comunitarios, así como lugares simbólicos (templos, centros de peregrinación, espacios rituales).
- Propiedades involucradas en procesos legales, para facilitar la obtención de servidumbres.
- Zonas urbanas o áreas con planes de desarrollo urbano.

Se debe tener en cuenta:

- Establecer comunicación con la comunidad, mediante acercamientos con líderes sociales y juntas de acción comunal, manteniendo un diálogo constante a lo largo del proyecto.
- Evaluar la situación de orden público en la región para determinar si se requiere acompañamiento por parte de autoridades como la policía, el ejército o defensores de los derechos humanos.
- Analizar tendencias socioeconómicas, proyecciones de crecimiento urbano y movimientos poblacionales que puedan afectar la selección de la ruta.
- Considerar posibles proyectos urbanísticos o comerciales para evitar su interferencia con la línea y reducir costos de servidumbre.
- No permitir que los conductores de redes o líneas de servicios públicos atraviesen edificaciones con presencia de personas, según lo establecido en el artículo 13.1 del RETIE.

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 16 de 53

4. Técnicos

La línea debe cumplir con:

- Las distancias mínimas establecidas en el Capítulo 7 Artículo 25.6.1 del Reglamento técnico de instalaciones eléctricas.
- La separación mínima entre conductores establecidas en el Artículo 13.3 del Reglamento técnico de instalaciones eléctricas.

Los ítems anteriores deben ser validados en la fase de selección de estructuras y de cálculos mecánicos, y de ser necesario un replanteo o variación en el recorrido, debe validarse en sitio.

Se debe:

- Definir junto con el Operador de Red, el tipo de apoyos, conductores mínimos y la configuración de estos, que deberán ser parte de los criterios de diseño utilizados en el proyecto.

Se recomienda:

- En lo posible, ubicar la ruta de la línea cerca de carreteras o caminos que puedan servir como accesos, respetando las distancias mínimas de seguridad y las regulaciones sobre fajas de retiro según la Ley 1228 de 2008.
- Minimizar las deflexiones y ángulos intermedios en la medida de lo necesario.
- Marcar los vértices o apoyos con estacas u otras señales visuales claras para una identificación sencilla.
- Evitar que la línea cruce dentro de la faja de seguridad adquirida o reservada para ferrocarriles y futuras expansiones.
- Establecer ángulos mínimos de cruce entre el eje de la línea y ejes de carreteras, ferrocarriles, líneas de alta tensión, ríos navegables, etc.
- Los cruces con líneas de alta tensión deben ubicarse en la mitad de un vano, asegurando que ninguna de las líneas se encuentre dentro de la faja reservada para la otra.
- Considerar las especificaciones de estructuras, conductores y configuraciones definidas por el OR o el propietario del diseño al posicionar los apoyos y trazar los tramos.

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 17 de 53

- Si la línea atraviesa o pasa cerca de cuerpos de agua, los apoyos deben estar al menos a 35 metros de la cota máxima de inundación, tras revisar el comportamiento histórico del cuerpo de agua.
- En áreas arboladas, dar preferencia a la poda sobre la tala, cuando sea necesario atravesarlas.

Evitar que el trazado de la línea pase por:

- Áreas restringidas debido a la presencia de estaciones de radio, microondas, sistemas de comunicaciones, aeropuertos y oleoductos.
- Carreteras o ferrocarriles en lugares donde las vías están elevadas sobre terraplenes significativos.
- Zonas con fallas geológicas o una alta propensión a la inestabilidad geológica.

VIII. RECURSOS DE DISEÑO

Antes de iniciar el diseño de la línea de distribución, se debe contar con los implementos necesarios, tanto físicos como digitales. A continuación, se mencionan algunos de los más utilizados en el proceso de diseño:

Físicos:

- Equipo de topografía
- GPS
- Estacas (banderines)
- Papelería
- Vehículo aéreo no tripulado (Dron)
- Cámara fotográfica
- Equipo de computo
- Binoculares
- Anemómetro
- Pintura

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
	Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 18 de 53

- Planos impresos

Digitales:

- AutoCAD
- Google Earth
- Google maps
- Global mapper
- Office

IX. METODOLOGÍA DE DISEÑO

1. Conceptualización general del terreno

La primera etapa consiste en visualizar globalmente el área de interés, partiendo desde el punto inicial hasta el punto final del trazado, por medio de una herramienta tecnológica, como lo puede ser Google Earth (recursos de diseño). En esta etapa se hace una revisión de la zona, en búsqueda de establecer un corredor inicial, identificando y acatando lo mencionado en el numeral VII de la presente guía.

Es recomendable hacer un trazado preliminar de la primera alternativa de ruta para la línea, dentro del corredor mencionado, con el fin de tener un punto de partida al momento de realizar el trabajo en campo, dicho trazado se debe plasmar en un plano en el que se ubiquen zonas de arborización, depresiones geográficas, edificaciones, líneas de transmisión y distribución existentes, carreteras y cuerpos de agua. Adicionalmente se recomienda en esta etapa, visualizar una segunda alternativa para la ruta.

Para esta etapa se aconseja acudir a las autoridades gubernamentales con el propósito de solicitar información y recursos de tipo geográfico, topográfico, ambiental, arqueológico, cultural, de servicios públicos, urbanístico y jurídicos, por ejemplo, solicitar el plan de ordenamiento territorial departamental, reservas naturales arqueológicas y culturales presentes en la zona, mapas con los trazados de los acueductos, gaseoductos, oleoductos y líneas eléctricas (facilitadas por el OR) entre otros.

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país			
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 19 de 53

2. Trabajo en campo – levantamiento

Una vez identificado el corredor de la primera alternativa de la ruta, se procede al reconocimiento del terreno y recorrido de esta alternativa, etapa en la cual se desarrollan los planos, que contienen el recorrido (identificando y plasmando el norte), notas importantes para el diseño y la posterior construcción.

Se hace de gran importancia sembrar las bases con la comunidad para generar confianza y comunicación, esto mediante diálogos y reuniones con presidentes de las juntas de acción comunal, líderes sociales y habitantes de la región, de esta manera a lo largo del futuro proyecto se puede generar un mejor ambiente de trabajo y en algunas ocasiones contar con el apoyo o acompañamiento de estas personas.

Es importante en esta etapa, ubicar todos los elementos presentes en los planos desarrollados en la etapa de visualización global, con el propósito de validar y actualizar la información a medida que se vaya avanzando en el recorrido.

El trabajo de campo se apoya en una ubicación de referencia que actúa como punto de origen para el trazado en el terreno. no obstante, es relevante señalar que dicho punto de referencia no tiene por qué ser el punto inicial de la línea. Una vez definido el punto de referencia, se inicia el recorrido por el trazado preliminar, verificando la información plasmada en los planos (resultado de la observación del terreno por medio de herramientas digitales y bases de datos) y acatando los criterios de diseño, esto con la finalidad de realizar cambios y ajustes en dicho trazado.

En algunos casos, el OR es quien define los tipos de apoyo y conductores a utilizar en la línea y los diseñadores atienden a estas decisiones. Dicha definición por parte del OR junto con los criterios generales de diseño (ítem VII) se deben tener en cuenta al seleccionar las ubicaciones preliminares de los apoyos.

A medida que se realiza el recorrido, se definen los puntos en los cuales se ubicarán los apoyos, tomando la referencia geográfica de estos, y ubicando una señal visual como lo pueden ser estacas o banderines. Tener en cuenta que dichas ubicaciones deben ser validadas al momento de realizar los cálculos mecánicos. Se debe medir la altura del terreno entre punto y punto del trazado, con el fin de realizar el perfil de la ruta, que puede ser comparado con el obtenido de Google Earth.

Para la definición de los puntos y el trazado preliminar de la ruta, se debe considerar una servidumbre que comprenda el doble de la distancia mínima horizontal, que en este caso es 2,3 metros, y la longitud de la cruceta, por lo cual se usará un aproximado de 7 metros para el ancho de la servidumbre, valor que luego será calculado y validado.

Una vez realizado el trabajo en campo, el plano levantado, debe pasarse a medio digital, con todos los puntos de apoyo con sus respectivas coordenadas geográficas, el trazado de la línea

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
	Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 20 de 53

y las anotaciones importantes, adicionalmente del archivo de trabajo en AutoCAD se debe obtener un archivo en formato KMZ para su visualización en Google Earth.

3. Selección del conductor y cable de guarda

La elección del conductor puede basarse en el concepto de cálculo del conductor económico o seguir las directrices regulatorias establecidas por los OR en términos de metodología de remuneración, según lo definido por la CREG. Esta guía proporciona los cálculos necesarios para realizar esta selección.

Es importante que tanto el tipo de conductor portador de corriente como el cable de guarda seleccionado cumplan con los requisitos de producto establecidos en el Artículo 20.2 y 25.7.1 del RETIE.

3.1 Tipo y Calibre mínimo

3.1.1 Conductor de fase

Es importante conocer cuáles son los tipos de conductores permitidos por el OR en las líneas de distribución del nivel de tensión para el cual se desarrolla el presente documento, teniendo en cuenta su material, composición, tipo de aislamiento, calibre y condiciones especiales del terreno.

Los requisitos de los conductores en las líneas de distribución de 34,5 kV establecidos por los OR se encuentran en el capítulo 3 “redes de media y baja tensión” de la norma técnica CENS - CNS-NT-03, y la NTG-01 “norma de electrificación rural” ESSA.

De las dos normas mencionadas anteriormente se obtienen los parámetros de tipo de red, material, aislamiento y calibre mínimo del conductor, presentados en la siguiente tabla:

Tabla 2

Tipo de conductores

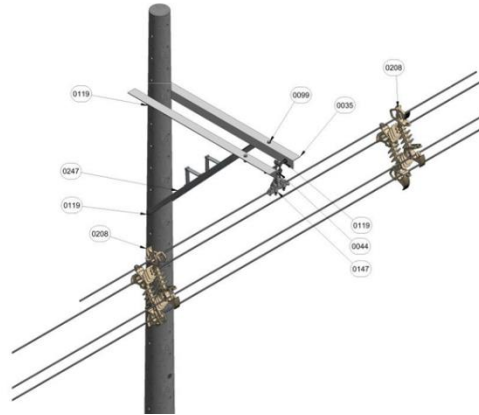
TIPO DE CONDUCTORES Y RED				
MATERIA L	AISLAMIENT O	TIPO DE RED	CALIBRE MÍNIMO	CALIBRE MÍNIMO

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 21 de 53

			CIRCUITO PRIMARIO	CIRCUITO RAMAL
ACSR / AAAC	Desnudo Semi-aislado (ecológico)	Abierta Abierta / Compacta	266,8 kcmil	2/0 AWG

Figura 1

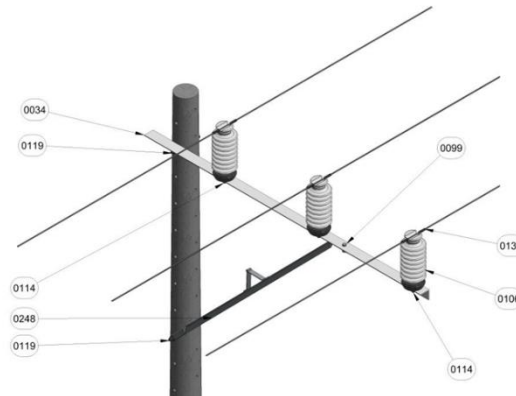
Red compacta



Nota. ESSA-Normas técnicas-Grupo 7- Configuración de redes.

Figura 2

Red abierta



 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país			
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 22 de 53

Nota. ESSA-Normas técnicas-Grupo 7- Configuración de redes.

Se debe dar prioridad al conductor ACSR desnudo en red abierta ya que significa un menor peso para los apoyos y la longitud de los tramos puede ser mayor, los casos en los que se debe usar otro material, aislamiento o tipo de red, se encuentran consignados en los numerales 6.9 y 6.9.1 de la NTG-01 ESSA, en donde adicionalmente se establecen las condiciones de uso de espaciadores y la puesta a tierra del cable mensajero (utilizado para sostener los espaciadores). Adicionalmente, cuando el conductor sea semi-aislado debe tener nivel de aislamiento de 36 kV.

3.1.2 Cable de guarda

El material y calibre del conductor de guarda, definidos por su uso y configuración son establecidos en la tabla presentada a continuación, extraída de la “Norma Técnica: Puesta a tierra de redes de distribución eléctrica” RA6-010 EPM numeral 6.2.

Tabla 3

Cable de guarda

Tipo de configuración	Cable de acero recubierto de aluminio	Cable ACSR/GA	Cable ACSR/AW (4/3)
Solo Guarda (en bayoneta)	7 N° 8 AWG	-	-
Guarda y Neutro corrido	-	ver (*)	-
Guarda y Mensajero (red compacta o red aislada)	7 N° 8 AWG	-	-
Guarda, Mensajero y neutro corrido (red compacta)	-	-	2/0 AWG

“(*)”: Como cable neutro se utilizará 2 ACSR (GA o AW) para conductores de fase de calibre 2 AWG; 1/0 ACSR (GA o AW) para conductores de fase de calibre hasta 2/0 AWG, y para

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 23 de 53

calibres de cables de fase superiores a 2/0 AWG se utilizará cable neutro de 2/0 ACSR (GA o AW)” (EPM, RA6-010 Norma técnica: Puesta a tierra de redes de distribución eléctrica, 2019, pág. 21)

En cuanto a la puesta a tierra del cable de guarda se diferencia según el OR. Para ESSA, los criterios se encuentran en el numeral 6.12 de la NTG-01, y para CENS, están consignados en el capítulo 3.7.2 de la norma CNS-NT-03.

3.2 Cálculo del conductor

La selección del conductor óptimo se basa tanto en criterios técnicos como económicos. Para el OR ESSA, el cálculo se remite al numeral 6 de la “Guía metodológica: Cálculo de conductor económico” de EPM, GM-01.

Para cada tramo de la línea, se debe seleccionar un tipo de conductor y de red, a lo largo de todo el trazado es posible usar red abierta y compacta, utilizando conductores desnudos, aislados y semi-aislados para diferentes tramos de la línea, en este caso se debe garantizar la correcta unión entre los diferentes tipos de conductores, utilizando los accesorios adecuados.

3.2.1 Capacidad de corriente

Para determinar el calibre del conductor de fase, se requiere calcular la corriente nominal de la línea considerando la distorsión armónica, y aplicarle un margen de seguridad del 15% recomendado a partir de la experiencia (este factor puede ser ajustado y debe ser validado por el diseñador), de la siguiente manera:

$$I_{cond} = 1,15 \times \frac{S_{3\phi}}{\sqrt{3}xV_L} \times \left(1 + \frac{THD}{100}\right)$$

$S_{3\phi}$: Potencia trifásica.

V_L : Es la tensión de línea.

THD: Es el índice de distorsión armónica total (porcentaje).

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 24 de 53

El cálculo del THD viene dado por:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}}{I_1}$$

La fórmula se encuentra en el numeral 6.1.1 de la GM-01 Guía metodológica: Calculo de conductor económico.

En caso de no disponer con los medios para definir el THD, se sugiere el 5%, límite dado por la norma IEEE 519, y se deben tener en cuenta los límites de armónicos de voltaje y demás consideraciones presentes en el numeral 5 de dicha norma. Cuando se tengan parques solares cercanos y/o con conexión a la línea se debe tener cuidado especial y realizar un estudio detallado para determinar el THD.

Una vez obtenida la corriente, se debe seleccionar el calibre del conductor, según la capacidad de corriente de acuerdo a las tablas de la sección 310 de la NTC 2050, y se deben aplicar los factores de corrección por temperatura presentes en la sección mencionada.

3.2.2 Pérdidas de energía por efecto Joule

Una vez seleccionado el calibre del conductor y teniendo en cuenta las características del mismo, se deben evaluar las pérdidas de energía esperadas, tanto de potencia activa como reactiva.

Pérdidas de potencia activa:

$$P = 3 \times i^2 \times R \times l \times F_{pérdidas} \quad [W]$$

La fórmula se encuentra en el numeral 6.1.2 de la GM-01 Guía metodológica: Calculo de conductor económico.

Pérdidas de potencia reactiva:

$$Q = 3 \times i^2 \times X \times l \times F_{pérdidas} \quad [VAR]$$

La fórmula se encuentra en el numeral 6.1.2 de la GM-01 Guía metodológica: Calculo de conductor económico.

Porcentaje de pérdidas

$$\%Pérdidas = \frac{\sqrt{3} \times i \times R \times l \times ((0,7 \times Fc) + 0,3) \times 100}{V_L \times FP \times No \text{ conductores/fase}} \quad [W]$$

La fórmula se encuentra en el numeral 6.1.2 de la GM-01 Guía metodológica: Calculo de conductor económico.

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
	Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 25 de 53

Las pérdidas estimadas deben ser inferiores a los máximos tolerables definidos por cada OR, para el caso de la ESSA es de 1,85%, y para CENS 1%. En caso de no serlo, debe devolverse al paso anterior (3.2.1) y seleccionar un conductor de calibre superior, e iterar las veces necesarias para cumplir los dos criterios (Capacidad amperimétrica y pérdidas).

3.2.3 Calculo de regulación

Método presentado por ESSA:

El porcentaje de caída de tensión se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\% \Delta V = M \times K$$

$$M = S \times L$$

La fórmula se encuentra en el numeral 6.1.3 de la GM-01 Guía metodológica: Calculo de conductor económico.

Siendo la constante de regulación K una propiedad física del conductor, y se encuentra, para algunos tipos de configuraciones, en la tabla 18 numeral 8.3.1 de la NTG-01, y se calcula de la siguiente manera:

$$K = \frac{R \cos(\varphi) + X L \sin(\varphi)}{10 \times (V)^2}$$

La fórmula se encuentra en el numeral 6.1.3 de la GM-01 Guía metodológica: Calculo de conductor económico.

Método presentado por CENS:

La regulación de voltaje se calcula aplicando la siguiente metodología:

$$R\% = F_c \frac{K_G}{V_L^2} M$$

$$M = S \times L$$

La fórmula se encuentra en el numeral 2.4.1 de CENS – Norma técnica – CNS-NT-02.

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 26 de 53

El método empleado para el cálculo de regulación debe ser el indicado por el OR que se encargue de la operación del sistema eléctrico en la zona donde se ubica la línea. La regulación de tensión debe ser inferior a los máximos tolerables definidos por cada OR, para el caso de la ESSA es de 3%, y para CENS 1%. En caso de no serlo, debe devolverse al primer paso (3.2.1) y seleccionar un conductor de calibre superior, e iterar las veces necesarias para cumplir los tres criterios (Capacidad amperimétrica, pérdidas y regulación).

3.2.4 Capacidad de corriente de cortocircuito

En este punto, se debe corroborar que el conductor seleccionado cumpla con la corriente de falla suministrada por el OR. Para calcular la corriente de cortocircuito debemos usar la siguiente ecuación:

$$I_{cc} = k \times A \times \sqrt{\frac{1}{t}}$$

La fórmula se encuentra en el numeral 6.1.4 de la GM-01 Guía metodológica: Calculo de conductor económico.

Si la corriente de cortocircuito del conductor es inferior a la corriente de falla suministrada por el OR, debe devolverse al primer paso (3.2.1) y seleccionar un conductor de calibre superior, e iterar las veces necesarias para cumplir los criterios (Capacidad amperimétrica, pérdidas, regulación de tensión y capacidad de cortocircuito).

Una vez el conductor seleccionado cumpla con los límites requeridos en los pasos anteriores, se procede a realizar los cálculos mecánicos.

4. Cálculos mecánicos de conductores

En esta etapa, se realizan los cálculos mecánicos de los conductores, en los cuales se determinan las tensiones y la flecha del conductor, para garantizar que la tensión máxima de rotura no sea superada, y que se cumplan las distancias mínimas de seguridad establecidas por el RETIE en el artículo 13.

Se ha tomado como referencia la GM-12 “Guía Técnica: Cálculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos” de EPM.

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 27 de 53

4.1 Curva de tendido

Para realizar los cálculos referentes a la curva de tendido, se debe dirigir al numeral 6.2 de la GM-12 “Guía Técnica: Cálculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos” de EPM. Para obtener en cada tramo de la línea la ecuación de la catenaria, longitud del cable, vano regulador, vano peso y vano viento.

4.2 Calculo de flecha

El cálculo de la flecha se realiza tramo por tramo y contempla las condiciones a las que puede exponerse el conductor y como afecta esto a la ecuación del cambio de estado. Las hipótesis a las que se puede exponer el conductor son las siguientes:

- Hipótesis A. Máxima velocidad del viento (Temperatura mínima y viento máximo).
- Hipótesis B. Mínima temperatura (Temperatura mínima y sin viento).
- Hipótesis C. Operación Diaria (Temperatura diaria promedio y sin viento, EDS).
- Hipótesis D. Máxima flecha (Temperatura máxima y sin viento).

Hipótesis tomadas del numeral 6.3.1 de la GM-12 Guía metodológica: Calculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos.

La descripción completa de cada condición se encuentra descrita en la tabla 1, numeral 6.3.1 de la GM-012 “Guía Técnica: Cálculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos”.

Se debe tener en cuenta que, para iniciar el cálculo de la flecha en las diferentes condiciones, se supone una tensión para la condición de temperatura mínima sin viento (Hipótesis B), ya que esta será la tensión que se tendrá en los conductores una vez realizado el montaje y debe ser inferior al 25% de la tensión de rotura del conductor (se recomienda trabajar con el 10%). Se calcula la flecha para esta condición y con la ecuación de cambio de estado se obtienen los valores de flecha y tensión para las otras tres condiciones (Hipótesis), teniendo presente que la tensión de rotura del conductor no puede ser superada.

La tensión inicial supuesta está bajo el criterio del diseñador y debe ser mencionada dentro de los entregables.

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 28 de 53

4.2.1 Condiciones limitantes

Debe remitirse al numeral 6.3.1 de la GM-012 “Guía Técnica: Cálculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos” para obtener la descripción completa de cada hipótesis, los porcentajes máximos de tensión mecánica del conductor y los límites de tensión mecánica para cada una de las hipótesis.

4.2.2 Ecuación cambio de estado

La ecuación cambio de estado examina dos estados para un cable tendido en un vano de cierta longitud. Conociendo la tensión a una temperatura y una sobrecarga (Esfuerzo) específicas, es posible conocer la tensión a otra temperatura y otra sobrecarga. Se evalúa para valores de temperaturas comprendidas entre la mínima y la máxima.

Debe remitirse al numeral 6.3.2 de la GM-012 “Guía Técnica: Cálculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos” para obtener las especificaciones acerca de la ecuación de cambio de estado.

En este punto es importante mencionar las exigencias del operador de red CENS respecto al cálculo de flechas y tensiones se encuentran consignadas en el apartado 3.8.4.2 de la CNS-NT-03.

4.3 Esfuerzos en los conductores

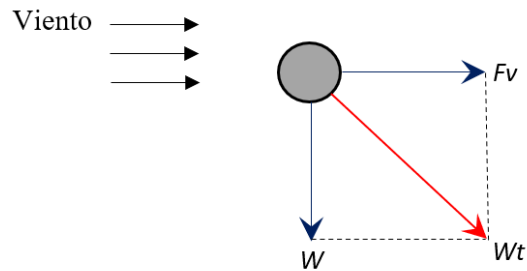
Una vez obtenidas las flechas y tensiones para las cuatro hipótesis se procede a calcular los esfuerzos que actúan sobre los conductores, como el propio peso del conductor y la presión ejercida por el viento cuando su dirección es transversal a la línea.

El peso resultante del conductor se debe a la carga vertical, originada por su propio peso, y la fuerza horizontal ejercida por la acción del viento.

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 29 de 53

Figura 3

Esfuerzos en un conductor



Fuente: Propia.

Obteniéndose la siguiente expresión:

$$Wt = \sqrt{W^2 + F_v^2}$$

Siendo:

W: peso del conductor [kg/m].

Fv: Fuerza ejercida por el viento [kg/m].

La fuerza del viento viene dada por la siguiente ecuación:

$$Fv = Pv \times d = 0,007 \times K \times v^2 \times d \quad (kg/m)$$

Donde:

Pv: Presión del viento [kg/m² de sección longitudinal del cable].

V: Velocidad del viento [km/h].

d: Diámetro del conductor [m].

K: Factor de corrección.

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 30 de 53

Tabla 4

Factor de corrección K

Factor de corrección K	
Diámetro ≤ 16 mm	Diámetro > 16 mm
0,6	0,5

Ecuaciones tomadas de Líneas de transmisión de energía eléctrica del Ing. Gustavo Adolfo Nava Bustillo - capítulo 8: Cálculo mecánico.

5. Cálculos mecánicos en estructuras

5.1 Árboles de carga

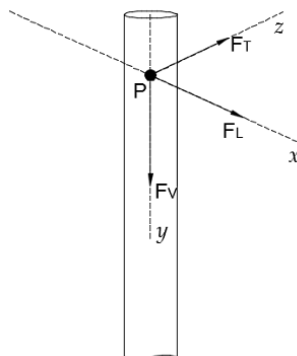
Según la GM-12 Guía metodológica: Calculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos, “Para cada tipo de estructura, se definen tres tipos de carga:

- Cargas verticales, FV: en la dirección axial del poste.
- Cargas longitudinales, FL: en el sentido de la línea.
- Cargas transversales, FT: en la dirección del viento.

En la siguiente figura se muestra el sentido de las cargas descritas (Longitudinal, vertical, transversal) aplicadas a una estructura.”

Figura 4

Árboles de carga



	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 31 de 53

Nota. GM-12 “Guía metodológica: Cálculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos”.

5.2 Hipótesis de carga

Las hipótesis a tener en cuenta son de dos tipos: cargas normales y cargas anormales, estas últimas en condición de cable roto y desequilibrio del 50%.

5.2.1 Carga normal

En las condiciones de carga normales se contempla que la estructura está bajo la acción simultánea de los tres tipos de fuerzas (verticales, transversales y longitudinales), así como todos los conductores y cable de guarda en operación normal con viento máximo y temperatura coincidente.

5.2.1.1 Cargas verticales

Las fuerzas verticales en las estructuras se determinan de la siguiente manera:

$$FV = (Vp \times Pu) + (PCA)$$

La fórmula se encuentra en el numeral 7.1.1 de la GM-12 Guía metodológica: Calculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos.

5.2.1.2 Cargas longitudinales

Este tipo de cargas son generadas debido al desbalance vectorial el cual se presenta ante vanos reguladores contiguos diferentes, como también por desbalanceo causado por rotura de conductores.

$$FL = Max(|TL_{iVR1} - TL_{iVR1}|)$$

La fórmula se encuentra en el numeral 7.1.2 de la GM-12 Guía metodológica: Calculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos.

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 32 de 53

En este punto es importante saber que se debe calcular la diferencia de las tensiones para las distintas condiciones de tensión mecánica limitantes (hipótesis) y la mayor será la carga longitudinal del vano en análisis.

5.2.1.3 Cargas transversales

Se origina por la carga debida al viento sobre los conductores y cadena de aisladores (FTV) y la carga provocada por el efecto de tensión del conductor el cual se debe al ángulo de deflexión del conductor, se calcula de la siguiente manera:

$$FT = (FTV + (FT\alpha))$$

La fórmula se encuentra en el numeral 7.1.3 de la GM-12 Guía metodológica: Calculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos.

Las ecuaciones para obtener los valores de la fórmula anterior se encuentran en el numeral 7.1.3 de la GM-12 “Guía Técnica: Cálculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos”.

5.2.2 Cargas anormales

Las hipótesis para cargas anormales o excepcionales se encuentran contenidas en el numeral 7.2 de la GM-12 “Guía Técnica: Cálculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos”. En este apartado se indica como calcular los tres tipos de fuerzas para las condiciones de cable roto y desequilibrio 50% de tensiones.

5.3 Factor de máxima deflexión para los postes

El Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE presenta en el artículo 20.17.1 los factores de seguridad y porcentajes de máxima deflexión para los apoyos, según el material de los mismos. Los cuales son mostrados en la siguiente tabla:

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país			
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 33 de 53

Tabla 5

Factores de seguridad y máxima deflexión

Material	Factor de seguridad (FS)	Deflexión máxima
Concreto	2,5	3%
Fibra de vidrio	2,0	10%
Acero	2,0	10%

Valores obtenidos de los numerales 7.3.1 y 7.3.2 de la GM-12 "Guía Técnica: Cálculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos".

6. Selección de estructuras

La selección del poste se puede hacer de dos formas, la primera consiste en hallar la carga de rotura mínima (habiendo aplicado el factor de seguridad) y luego escoger un poste que cumpla con ese criterio; la segunda forma es el procedimiento inverso, primero se selecciona un poste y se verifica que la tensión de rotura aplicando el factor de seguridad sea superior a la resultante de los esfuerzos, y en caso de no serlo se adicionan templetas que puedan compensar los esfuerzos, o se escoge un poste con mayor carga de rotura. Este proceso se itera las veces necesarias para cumplir con el criterio de selección.

Se recomienda usar postes de concreto en hache para lograr vanos de mayor distancia, en caso de no ser posible o que el OR no apruebe este criterio, utilizar postera sencilla (un solo poste) de concreto, fibra de vidrio o metálico.

Se pueden utilizar torrecillas metálicas como estructuras de soporte, para casos específicos de largas distancias, gran altura y fuerzas de rotura superiores a las de los postes. Estas son diseñadas según las necesidades de altura y carga de rotura.

6.1 Estructuras de apoyo

Dentro de los materiales para los apoyos permitidos por el RETIE en el artículo 20.17 se encuentran los utilizados en las líneas de distribución de 34,5 kV, los apoyos pueden ser postes de concreto, metálicos o de fibra polimérica, y en caso de requerirse, torrecillas metálicas.

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
	Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 34 de 53

El producto debe cumplir con los requisitos y las normas establecidas en el artículo 20.17 y 25.4 del RETIE. Adicionalmente, para el operador CENS se debe cumplir con lo establecido en el numeral 3.8.5 CNS-NT-03, y para ESSA, lo exigido en el numeral 6.8.1 de la NTG-01

Para la selección del apoyo se debe tener en cuenta:

- Criterios técnicos de diseño mencionados en el ítem VII.
- Los esfuerzos mecánicos.
- La flecha máxima (para cumplir distancias mínimas).
- Longitud y carga de rotura estandarizadas.

Según la NTG-01 se recomienda validar la necesidad del uso de apoyos adicionales a los calculados en el trazado de la línea, cuando se presenten los siguientes casos:

- a) Donde se presenta acercamiento a taludes, edificaciones, puentes, etc. Para cumplir con las distancias de seguridad.
- b) A lado y lado de cruces con vías, líneas telefónicas, líneas de transmisión o distribución, etc.

Para una selección correcta del apoyo, se debe determinar previamente la altura y la carga de rotura cumpliendo el marco regulatorio vigente y las exigencias propias del OR.

La “Norma de electrificación rural” en el numeral 6.8.1 establece que, “para los proyectos de electrificación rural adelantados por ESSA o por convenios interadministrativos de cualquier orden, el uso del poste PRFV es de carácter obligatorio, siempre y cuando el cálculo mecánico de la estructura lo permita”. (ESSA, NTG-01 Norma electrificación rural, 2022)

6.1.1 Postería en concreto

Se recomienda en lugares de fácil acceso para su respectivo traslado y las características y especificaciones técnicas para los postes de concreto se encuentran en el documento ET-TD-ME04-01 de EPM. Debe garantizarse el cumplimiento de las normas mencionadas en el numeral 4 de dicho documento.

“Para postes de concreto hasta 2000 kgf, se debe presentar el certificado RETIE de conformidad de producto. Para cargas de rotura que superen los 2000 kgf, será válido presentar la declaración de cumplimiento al certificado de conformidad de producto bajo la norma NTC 1329”. (ESSA, NTG-01 Norma electrificación rural, 2022)

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 35 de 53

“La postería de concreto a utilizar en las redes de baja y media tensión tendrá como mínimo una carga de rotura de 510 kg para estructuras de paso y de 750 kg y 1050 kg para retenciones y terminales de circuito respectivamente.” (CNS-NT-03 Redes de media y baja tension)

Se debe realizar una verificación del poste seleccionado acorde a lo indicado en el numeral 7.4.2 de la GM-12 “Guía Técnica: Cálculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos”.

6.1.2 Postería en fibra de vidrio

Las características y especificaciones técnicas para los postes de fibra de vidrio se encuentran consignadas en el documento ET-TD-ME04-02. Y debe garantizarse el cumplimiento de las normas mencionadas en el numeral 3 de dicho documento.

Se debe realizar una verificación del poste seleccionado acorde a lo indicado en el numeral 7.4.3 de la GM-12 “Guía Técnica: Cálculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos”.

6.1.3 Postería Metálica

Las características y especificaciones técnicas para los postes metálicos se encuentran consignadas en el documento ET-TD-ME04-03. Debe garantizarse el cumplimiento de las normas mencionadas en el numeral 3 de dicho documento.

“En caso de requerirse el uso del poste metálico con carga de rotura superior a 2000 kgf, este debe contar con certificación de conformidad de producto bajo la norma de fabricación ASCE 48.” (ESSA, NTG-01 Norma electrificación rural, 2022)

“Queda prohibida la instalación de postes metálicos cercanos a líneas de transmisión de alta tensión, debido al riesgo existente de inducción de corriente en la estructura metálica en situaciones climatológicas desfavorables.” (CNS-NT-03 Redes de media y baja tension)

Se debe realizar una verificación del poste seleccionado acorde a lo indicado en el numeral 7.4.1 de la GM-12 “Guía Técnica: Cálculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos”.

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país			
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 36 de 53

6.1.4 Torrecilla metálica

En los casos donde se necesite gran altura en la estructura de soporte, como en el cruce de un río u otros casos específicos, se deben implementar torrecillas metálicas, cuya carga de rotura sea mayor a la fuerza actuante multiplicada por un factor de seguridad (se recomienda que sea de 2) definido por el diseñador.

Tener presente que no debe haber un cambio abrupto en la altura de los apoyos para evitar que la tensión de los conductores afecte considerablemente la cimentación de las estructuras, por lo cual los apoyos aledaños deben ir aumentando de altura progresivamente, usando postes de diferentes longitudes e incluso pequeñas torrecillas en caso de requerirse.

6.2 Distancias entre conductores y selección de estructuras

Para hacer una correcta selección de las estructuras de sujeción en los apoyos, se deben conocer y calcular las distancias mínimas de separación entre los conductores, tanto en el mismo circuito como con otros circuitos soportados en la misma estructura. También estas distancias se deben considerar para la selección de los espaciadores en red compacta.

6.2.1 Distancias verticales

Según el artículo 13.3 del RETIE, las distancias verticales mínimas de separación entre conductores soportados en la misma estructura son:

Para red compacta con cables semi-aislados, 27 cm.

Para red abierta con conductor desnudo las distancias se encuentran consignadas en la siguiente tabla:

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
	Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 37 de 53

Tabla 6

Distancias verticales

		Conductores a mayor altura		
		Conductores de suministro a la intemperie (tensión en kV)		
		Hasta 1 kV	Entre 7,6 y 66 kV	
Conductores a menor altura	Conductores y cables de comunicación, localizados en el apoyo de empresa de energía, o de empresas comunicaciones.	0,4	0,4 más 0,01 por kV sobre 7,6 kV	
	Conductores de suministro eléctrico a la intemperie	Hasta 1 kV	0,4	0,4 más 0,01 por kV sobre 7,6 kV
		Entre 1 kV y 7,6 kV	No permitido	0,4 más 0,01 por kV sobre 7,6 kV
		Entre 11,4 kV y 34,5 kV	No permitido	0,6 más 0,01 por kV sobre 7,6 kV
	Entre 44 kV y 66 kV	No permitido	0,6 más 0,01 por kV sobre 7,6 kV	

Tabla tomada del numeral 13.3 del reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE.

Las distancias establecidas en la tabla anterior aplican para conductores del mismo circuito y de circuitos diferentes, ya sean al mismo nivel de tensión o a uno diferente.

Tener presente que las distancias mencionadas anteriormente, aplican para circuitos de un mismo OR, para circuitos de operadores diferentes, se deben aumentar 60 cm.

6.2.2 Distancias horizontales

Según el artículo 13.3 del RETIE, la distancia horizontal mínima de separación entre conductores soportados en la misma estructura, tanto para conductores del mismo circuito como para circuitos diferentes, es de 55,8 cm, según la tabla 7:

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 38 de 53

Tabla 7

Distancias horizontales

Clase de circuito y tensión entre los conductores considerados	Distancias horizontales de seguridad (cm)
Conductores de suministro del mismo circuito Entre 8,7 y 50 kV	30 más 1 cm por kV sobre 8,7 kV
Conductores de suministro de diferente circuito 0 a 8,7 kV	30
Entre 8,7 y 50 kV	30 más 1 cm por kV sobre 8,7 kV
Entre 50 kV y 814 kV	71,5 más 1 cm por kV sobre 50 kV

Tabla tomada del numeral 13.3 del reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE.

6.2.3 Selección de la configuración de las estructuras

Conociendo las distancias mínimas de seguridad y la posibilidad de que un apoyo pueda soportar diferentes circuitos, se procede a seleccionar el tipo de estructura y sus configuraciones correspondientes. Esta selección se realiza mediante una revisión de las opciones permitidas según las normativas vigentes de configuración de redes establecidas por cada OR.

Para el OR ESSA, dentro del grupo 7 “Configuración de redes” de las normas técnicas vigentes, se encuentran las normas de construcción para las diferentes configuraciones de redes aéreas, las cuales son:

- Compacta
- Bandera
- Delta
- Semi bandera
- Hache
- Vertical
- Delta-semibandera

Para el OR CENS, dentro de las normas de estructuras, se encuentran las homologadas y vigentes para 34,5 kV, las cuales son:

- Compacta

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país			
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 39 de 53

- Bandera
- Delta
- Semi bandera (1 y 2 circuitos)
- Hache (1 y 2 crucetas)
- Vertical
- Trillizo

En este punto se seleccionan los tipos de configuración para las estructuras de paso, retención, ángulo y terminales. Es permitido que a lo largo del trayecto se usen dos o más configuraciones de estructuras según convenga.

6.2.4 Verificación de la configuración de las estructuras

Para la selección de las estructuras es necesario realizar verificaciones mecánicas y conocer la capacidad de carga estructural de los elementos de cada tipo de estructura, considerando los factores de seguridad.

Los herrajes son elementos de sujeción y su verificación se realiza de acuerdo al numeral 7.4.4 de la GM-12 “Guía Técnica: Cálculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos”.

6.3 Coordinación del aislamiento

La coordinación de aislamiento de la línea de distribución se puede realizar bajo el procedimiento establecido en la guía metodológica “coordinación de aislamiento para redes de distribución” GM-03.

Los aisladores a utilizarse en la línea de distribución deben cumplir con lo establecido en los capítulos 20.1 y 25.6 del RETIE, y las especificaciones técnicas ET-TD-ME02-01 o ET-TD-ME02-04 según corresponda.

Se aconseja verificar la distancia de fuga, la distancia de arco, capacidad mecánica y demás parámetros eléctricos de dichos aisladores, tomando como referencia los cálculos y valores establecidos en la guía metodológica GM-03.

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país			
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 40 de 53

Los aisladores a usar en las estructuras vienen dados por el tipo de configuración seleccionado en el poyo anterior (6.2.3), sin embargo, cada OR presenta una normativa en la que se establecen las características de los aisladores y su correcta selección.

Verificación de la capacidad mecánica de los aisladores:

“La capacidad mecánica de los aisladores será suministrada por el fabricante y su verificación se realiza teniendo en cuenta el capítulo 22.7 del RETIE.” (EPM, GM-12 Guía técnica: Cálculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos, 2019)

Para estructuras en suspensión se tiene lo siguiente:

$$C_r \geq (\overline{FV} + \overline{FT}) \times 2.5$$

Donde:

\overline{FV} : vector de cargas verticales.

\overline{FT} : Vector de cargas transversales.

C_r : carga de rotura.

Para estructuras en retención se tiene lo siguiente:

$$C_r \geq \text{Max}(FL) \times 2.5$$

Donde:

FL: carga longitudinal.

C_r : carga de rotura.

6.3.1 Otros puntos de atención

6.3.1.1 OR ESSA

El OR ESSA, según lo establecido en la norma NTG-01, define el tipo y la cantidad de aisladores requeridos en función del tipo de estructura, dirigirse al numeral 6.11 de la norma mencionada para obtener las características y cantidad de aisladores según el tipo de red, BIL y estructura.

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 41 de 53

6.3.1.2 OR CENS

El OR CENS establece en su norma CNS-NT-03 el tipo de aislamiento, dando los valores de tensión más elevada para el material, y la tensión soportada por impulso de rayo. La selección de aisladores debe cumplir con lo establecido en las normas CNS-NT-11 y CNS-NT-11-01.

6.4 Uso de templetes o retenidas

En los cálculos mecánicos se establece en cuáles apoyos se requiere el uso de retenidas o templetes, los cuales deben cumplir con lo establecido en la NC- RA6-001 “Instalación de retenidas” norma CNS-NT-03 y en la norma CNS-NT-03-06, en la cuales se especifica su clasificación, uso, factores de seguridad, limitaciones, distancias horizontales, composición, materiales y correcta forma de instalar.

En este punto es importante conocer la distancia entre el poste y el enclavamiento del templete, para posteriormente en la etapa de replanteo y revisión, corroborar, con las condiciones y el área del terreno, que sea posible su instalación.

Se debe realizar una verificación de la capacidad de la retenida acorde a lo indicado en el numeral 7.4.5 de la GM-12 “Guía Técnica: Cálculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos”.

7. Cimentación y Longitud de empotramiento

7.1 Cimentación y longitud de empotramiento en postes

Se debe cumplir con los requisitos y las recomendaciones del artículo 20.17.2 del RETIE, el cual establece que la profundidad mínima requerida para la cimentación se determina de la siguiente manera:

$$L_e = \frac{L}{10} + 0.6 \text{ m}$$

La fórmula se encuentra en el numeral 7.5 de la GM-12 Guía técnica: Calculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción.

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 42 de 53

Al obtener una altura real L_r , se realizará la verificación de las distancias mínimas y se procederá con el plantillado.

$$L_r = L - L_e$$

Donde:

L_r : longitud del suelo a la cima del poste.

La NTR-01 establece los tipos de cimentación para postes, siendo estos, cimentación directamente al suelo o cimentación con aporte de hormigón. “Se dará preferencia a las cimentaciones tipo directa, excepto en terrenos flojos que será mediante aporte de hormigón. La elección de un tipo de cimentación u otro dependerá del tipo de terreno y de la maquinaria disponible.” (ESSA, NTR-01 Redes aéreas de media tensión, 2022)

7.1.1 Cimentación directamente al suelo

Se recomienda priorizar este método de cimentación, que implica enterrar el poste directamente en el suelo.

“No se permite el uso de tierra vegetal como relleno, deberá ser sustituida por una mezcla de grava y tierra.” (ESSA, NTR-01 Redes aéreas de media tensión, 2022)

7.1.2 Cimentación con aporte de hormigón

Solo se emplean en suelos blandos y pueden ser de forma cilíndrica o prismática recta con sección cuadrada.

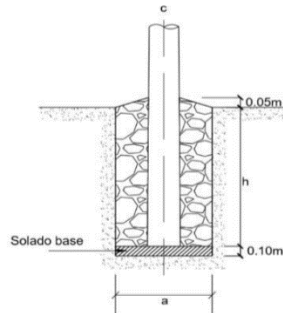
Las características de los materiales, la resistencia mecánica, los agregados, la calidad del agua y la pendiente de la peana, se especifican en la NTR-01.

“Para las cimentaciones cilíndricas de hormigón, se construirá un solado base en el fondo con una altura de 0,10 m, como se muestra en la imagen 5. Este solado tiene como objetivo reducir las presiones diferenciales en la base del poste para prevenir su hundimiento.” (ESSA, NTR-01 Redes aéreas de media tensión, 2022)

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 43 de 53

Figura 5

Cimentación con aporte de hormigón



Nota. NTR-01 “Redes aéreas de media tensión”.

7.2 Cimentación en Torrecillas

Tanto la construcción como la cimentación de la torrecilla obedece a los cálculos mecánicos de la parte civil y será responsabilidad del encargado de su construcción.

8. Planos de planta y plantillado

Dentro de los entregables del diseño, se encuentra el plano de planta y el plantillado, este último es útil para verificar las distancias mínimas verticales respecto al suelo, flora y demás objetos que se encuentren en la parte inferior de los conductores.

8.1 Plano de planta

El plano de planta es de gran importancia en el diseño de líneas de distribución, ya que en este se muestra el trazado de la línea, con la ubicación exacta de los apoyos y la información importante de la ruta.

La elaboración del plano de planta resume los datos adquiridos en etapas anteriores, y debe contener como mínimo lo siguiente:

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 44 de 53

- Todos los apoyos de la línea, ubicados en el lugar definido, cada uno con sus características básicas como la altura, la carga de rotura, el tipo de estructura y el nombre de identificación.
- Tramos de conductor (entre poste y poste) con su respectivo tipo, calibre y distancias de vano, tanto de fase como del cable de guarda.
- Identificación del ángulo marcado por el vano entrante y saliente en apoyos con estructura tipo ángulo.
- Características específicas del terreno obtenidas en la etapa de trabajo en campo, como la vegetación de la zona, el tipo de suelo, zonas protegidas, cuerpos de agua, carreteras, otras líneas de distribución o transmisión existentes, subestaciones, ubicación de edificaciones, tipos de cultivos, etc.
- Notas importantes en el trazado, como las propiedades que atraviesa la línea, indicando sus respectivos dueños.
- Respectivas notas y convenciones.

Una vez elaborado el plano de planta, o en el proceso de elaboración, se debe verificar que ningún apoyo, o tramo de la línea, supere las distancias mínimas horizontales respecto a construcciones, carreteras y demás elementos mencionados en el ítem VII (4) y en el artículo 13.2 del RETIE, al igual que los ángulos mínimos de cruces mencionados en el mismo numeral.

También se debe garantizar el cumplimiento de la servidumbre de la línea, con un ancho de 10 metros para CENS y para el OR ESSA está dada en el numeral 6.7 de la NTG-01 y obtenida de la siguiente forma:

$$\text{Servidumbre} = 2(2.3) + Dc$$

$$\text{Servidumbre} = 4.6 + Dc$$

Dc: longitud de la cruceta

La fórmula se encuentra en el numeral 6.7 de la NTG-01 norma de electrificación rural.

En el caso de infringir las distancias de servidumbre, las distancias mínimas de seguridad, o los ángulos mínimos de cruces, se debe remover el o los apoyos que ocasionen dicha infracción, y se debe realizar nuevamente el proceso de cálculos mecánicos y selección de estructuras. El proceso anterior debe iterarse las veces necesarias para cumplir con

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país			
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 45 de 53

parámetros mencionados, se debe realizar la verificación de las nuevas localizaciones de los apoyos en trabajo de campo, para continuar a la etapa de plantillado.

8.2 Plantillado

En esta etapa se busca verificar el cumplimiento de las distancias mínimas de seguridad del conductor al suelo, elaborando una plantilla en la que se represente la catenaria del conductor en su estado de máxima temperatura sobre el perfil topográfico del eje de la línea.

El perfil topográfico se realiza digitalizando las alturas de cota del terreno tomadas en el trabajo en campo, contemplando los diferentes terrenos y obstáculos.

Una vez realizado el plantillado, se procede a verificar que todos los tramos de la línea cumplan con las distancias mínimas expuestas en la tabla 8.

Tabla 8

Distancias mínimas en zonas con construcciones

Distancias mínimas de seguridad en zonas con construcciones	
Descripción	Distancia (m)
Muros y techos	4,1
Carreteras	5,6
Calles	5,6
Callejones	5,6
Zonas peatonales	5,6
Áreas sujetas a tráfico vehicular	5,6
Bosques y huertos con control de crecimiento	5,6
Bosques y huertos sin control de crecimiento	8,1
Conductores alimentadores de ferrocarriles y teleféricos	1,8
Ríos para embarcaciones con altura entre 2 a 7 m	10,2
Ríos para embarcaciones con altura inferior a 2 m	5,2
Campos deportivos abiertos	12

Valores tomados del numeral 13 del reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE.

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
	Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 46 de 53

Si algún tramo de la línea infringe las distancias mínimas, se recomienda aumentar la altura del poste o agregar apoyos intermedios con el objetivo de disminuir la flecha del conductor, en caso de que con este método no se solucione el problema, se debe replantear el tramo de la línea, con el cambio de la localización de los apoyos.

Cuando se reubique algún apoyo o se agreguen uno o varios postes en medio de los tramos, se debe remitir a la etapa de trabajo en campo y actualizar la información topográfica y verificar o realizar nuevamente la selección del conductor, los cálculos mecánicos y la selección de estructuras.

9. Cálculo de los amortiguadores

En función de cumplir con lo establecido en el artículo 22.9 del RETIE, los conductores deben contar con amortiguadores los cuales deben cumplir con los requisitos definidos en los Artículos 20.20 y 25.5 del RETIE.

La cantidad de amortiguadores por cada tramo están dada por la siguiente tabla:

Tabla 9

Número de amortiguadores

Longitud del vano [m]	Número de amortiguadores
< 100	0
Entre 100 y 350	1
> 350	2

10. Apantallamiento de la línea

El diseño del sistema de apantallamiento debe cumplir con lo establecido en la RA6-010 “Norma Puesta a tierra de redes de distribución eléctrica” y en el artículo 15 del RETIE. Remitirse a la GM-04 “Guía metodológica cálculo de sistema de puesta a tierra” para encontrar el procedimiento de diseño.

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país			
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 47 de 53

10.1 Medición de la Resistividad del terreno

Esta etapa es de gran importancia, ya que la resistividad del terreno influye directamente en la seguridad del sistema. Consta de mediciones precisas aplicando técnicas especializadas y el uso de herramientas adecuadas para obtener datos confiables de la resistividad del suelo.

Es de aclarar que no es necesario realizar la medición en cada apoyo de manera individual, se recomienda hacer una o dos mediciones por cada tipo de suelo y área que atraviese la línea, de este modo se tendrá una medida de resistividad representativa del terreno.

La medición de la resistividad se debe realizar según lo establecido en la RA6-014 “Norma técnica: Mediciones para el sistema de puesta a tierra” en la cual se detalla el procedimiento para la aplicación de los métodos por los cuales se puede hacer dicha medición.

10.2 Análisis y modelamiento del suelo


En esta etapa, se debe analizar el tipo de suelo, para escoger según sus características específicas el método que mejor lo representa y obtener de las medidas de resistividad del terreno, el valor promedio que será el que se use en el diseño del sistema de puesta a tierra.

Cuando las mediciones de resistividad presentan una dispersión menor al 30% el suelo se considera homogéneo, de lo contrario se debe usar el modelo de suelo de dos capas, el cual es una representación más exacta de las condiciones reales del suelo.

10.3 Corriente efectiva de falla

En un caso de falla, no toda la corriente se dirige hacia tierra, es por eso que es necesario calcular la corriente efectiva de falla, que está relacionada con el factor S_f (el porcentaje de corriente de falla que realmente va hacia tierra). La magnitud de la corriente de falla viene dada por el OR, y en caso de no ser así, se debe seguir lo planteado en la guía metodológica GM-010 “Análisis de cortocircuito y falla a tierra en redes de distribución de energía del grupo EPM”.

En sistemas trifásicos trifilares con conductor de guarda, la corriente de falla produce una corriente en el cable de tierra que debe tenerse en cuenta al calcular la corriente a tierra. Para distancias de hasta 60 km, se aconseja utilizar el enfoque de parámetros concentrados descrito

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
	Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 48 de 53

en el libro de Transmission Line Grounding Volume 1, este método requiere el uso de la herramienta ATP-EMTP, y su procedimiento se encuentra orientado en la Guía metodológica GM-04.

El diseñador puede establecer como criterio propio, que la corriente efectiva sea igual a la corriente de falla, en este caso el sistema podría estar sobre dimensionado, pero de igual manera cumpliría su función.

10.4 Tensiones de paso y contacto

Las tensiones de paso y contacto se deben calcular según el estándar IEEE 80 y deben ser menores a las tolerables establecidas por el RETIE en el artículo 15.1.

10.5 Configuración de puesta a tierra

Para seleccionar el tipo de configuración del sistema de puesta a tierra y su equipotencialización, se debe remitir a la norma NC-RA6-010 “Puesta a tierra de redes de distribución eléctrica”. (EPM, RA6-010 Norma técnica: Puesta a tierra de redes de distribución eléctrica, 2019)

La norma citada, menciona que “la configuración 2 tipo varilla se recomienda para poner a tierra las redes de distribución rurales en media tensión, mientras que la configuración 3 tipo triada se recomiendan para casos especiales en los cuales se requieran sistemas más robustos.” (EPM, RA6-010 Norma técnica: Puesta a tierra de redes de distribución eléctrica, 2019)

Para el OR ESSA “el cable de guarda debe aterrizar al menos una vez por cada tres estructuras y en las terminales. Y cuando los vanos son muy largos, por ejemplo, en cruces de ríos, o zonas montañosas, se debe controlar que, en un tramo de la línea de 1600 metros, existan como mínimo cuatro (4) puestas a tierra, de lo contrario se deben aterrizar todas las estructuras.” (ESSA, NTG-01 Norma electrificación rural, 2022)

Para el OR CENS “Todo alimentador primario aéreo rural con tensión igual o superior a 34,5 kV debe llevar cable de guarda aterrizado en todas las estructuras u otro sistema de protección adecuado contra sobretensiones, de tal manera que el número de salidas por año cumpla lo establecido en la tabla 42 del Capítulo 2.” (CNS-NT-03 Redes de media y baja tension)

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 49 de 53

11. Entregables

Todo diseño de líneas de distribución contiene los siguientes entregables:

11.1 Plano de planta

Este entregable se debe desarrollar a medida que se va avanzando en las distintas etapas de diseño y sus actualizaciones se realizaron en el numeral 9,1. Debe contener lo mencionado en dicho numeral y demás información levantada en terreno.

El plano de planta se entrega en formato DWF (AutoCAD) y KMZ para su visualización en Google Earth.

11.2 Plantillado – plano de perfil

Igual que el plano de planta, el plantillado se viene trabajando a lo largo del diseño, su función se encuentra mencionada en el numeral 9,2. Contiene el perfil de la ruta y el plantillado de las catenarias conductores.

Su presentación puede ser en formato DWF (AutoCAD) o el predeterminado de algún software o aplicación especializada para la etapa de plantillado o perfil de ruta. Es crucial definir una escala adecuada para asegurar una representación precisa y proporcional del diseño.

11.3 Detalles constructivos de las estructuras

Se debe entregar un plano general con los dibujos de cada tipo de estructura empleada lo largo de la línea, acompañado de una tabla descriptiva que enumere los elementos específicos implementados en cada una de las estructuras. Este entregable se puede basar en las configuraciones dadas por el OR, y en caso de que en el diseño se utilice una estructura modificada de las convencionales, deben plasmarse sus modificaciones, es decir, el nuevo esquema.

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
	Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 50 de 53

11.4 Tabla resumen de apoyos

Para este entregable se debe realizar una tabla que consigne cada uno de los apoyos, con sus respectivas coordenadas geográficas, tipo, altura y carga de rotura del poste, tipo de estructura (función y codificación), ángulo, puesta a tierra, templetes, tipo de cimentación, tipo de conductor y red entrante y saliente. También se puede agregar información predial de la localización de cada apoyo.

Es importante enumerar los apoyos secuencialmente desde el punto inicial de la línea a lo largo de todo su recorrido, hasta el punto final de la misma.

11.5 Memorias de cálculo

Debe contener todos los cálculos realizados a lo largo del diseño, tanto eléctricos como mecánicos exigidos por el RETIE, adicionalmente se deben mencionar los criterios que se tuvieron en cuenta para tomar las decisiones en todo el proceso de diseño.

11.6 Informe del trayecto

Informe en el cual se ve plasmado el recorrido de la línea punto a punto, destacando las condiciones del terreno, obstáculos del trayecto y accesos a cada uno de los apoyos, realizando registro fotográfico de cada punto con vista del terreno, del tramo anterior y el tramo siguiente.

Este entregable puede ir acompañado de un registro visual tomado con ayuda de un dron, haciendo un reconocimiento del área y el recorrido de la línea guiado por las coordenadas de los apoyos.

11.7 Informe final del proyecto

Es un informe resumen del proyecto que contiene toda la información técnica del diseño, además de notas y recomendaciones de construcción, y la información de los predios que atraviesa la línea. A su vez, se recomienda realizar una evaluación preliminar del impacto

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
	Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 51 de 53

social y ambiental del proyecto y consignar una tabla de cantidades de postería, estructuras y conductores que se van a utilizar en la línea.

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país			
Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez	Versión: 2
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 52 de 53

X. BIBLIOGRAFÍA

- CENS. (s.f.). Obtenido de <https://www.cens.com.co/>
- CENS. (2016). CNS-NT-03 Redes de media y baja tensión.
- CENS. (2020). CNS-NT-02 Parámetros de diseño.
- Checa, L. M. (1988). Líneas de transporte de energía. Zaragoza: Marcombo.
- Min. de Minas y energía (2013). Reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE. Colombia.
- EPM. (2019). GM-01 Guía Metodológica: Cálculo de conductor económico.
- EPM. (2019). GM-04 Guía metodológica: Cálculo del sistema de puesta a tierra.
- EPM. (2019). GM-10 Guía metodológica: Análisis de cortocircuito y falla a tierra.
- EPM. (2019). GM-12 Guía técnica: Cálculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos.
- EPM. (2019). GM-03 Guía metodológica: Coordinación de aislamiento para redes de distribución.
- EPM. (2019). RA6-010 Norma técnica: Puesta a tierra de redes de distribución eléctrica.
- EPM. (2019). RA6-014 Norma técnica: Mediciones para el sistema de puesta a tierra.
- EPM, G. (2015). Especificación técnica para postes metálicos.
- EPM, G. (2018). Especificación técnica para aisladores de porcelana y vidrio.
- EPM, G. (2018). Especificación técnica para aisladores poliméricos.
- EPM, G. (2018). Especificación técnica para postes de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV).
- EPM, G. (2019). Especificación técnica para postes de concreto.
- EPM, G. (2021). Instalación de retenidas.
- EPM, G. (2021). NC-RA6-010 Puesta a tierra de redes de distribución eléctrica.
- ESSA. (s.f.). Obtenido de <https://www.essa.com.co/site/>
- ESSA. (2022). NTG-01 Norma electrificación rural.

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Fecha de emisión:
	GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR DISEÑOS		22/02/2024
	Líneas de distribución aéreas rurales de 34,5 kV en el área nororiental del país		
	Elaboró:	Juan Sebastian Serrano Aguilar	Adrian Esteban Bermúdez rodriguez
Revisó:	Oscar Aguirre	Oscar Quiroga	Página 53 de 53

ESSA. (2022). NTR-01 Redes aéreas de media tensión.

Ley 1228 de 2008. (s.f.). Obtenido de

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=31436>

Anexo B. Diagrama de flujo para orientar el proceso de diseño

