

CRITERIOS TECNICOS NORMA REDES MT/BT CELSIA

Contenido

1	GENERALIDADES.....	5
1.1	NIVELES DE TENSIÓN.....	6
1.2	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE CELSIA.....	6
1.3	CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE CELSIA.....	7
1.4	ASPECTOS GENERALES DE LAS NORMAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE REDES DE MT Y BT	7
1.5	CRITERIOS GENERALES DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN.....	8
2	NOMENCLATURAS Y PRESENTACIÓN DE PROYECTOS	10
2.1	NOMENCLATURAS.....	10
2.2	PRESENTACIÓN DE PROYECTOS	10
2.3	PRESENTACIÓN DE PLANOS	11
3	CÁLCULOS ELÉCTRICOS.....	12
3.1.1	CÁLCULO DE REGULACIÓN EN CIRCUITOS DE BAJA TENSIÓN B.T.....	12
3.1.2	PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA TRANSFORMADOR EN REDES DE DISTRIBUCIÓN	13
4	CRITERIOS BÁSICOS MECÁNICOS	14
4.1.1	ESFUERZOS EN CONDUCTORES AÉREOS	15
4.1.2	CÁLCULO DE FLECHAS Y TENSIONES	15
4.2	CALCULO MECÁNICO DE APOYOS.....	15
4.2.1	ESFUERZOS VERTICALES	16
4.2.2	ESFUERZOS DEBIDOS AL VIENTO.....	16
4.2.3	ESFUERZOS DEBIDOS A TENSIONES DESEQUILIBRADAS	16
5	MATERIALES NORMALIZADOS	16
5.1	NORMA DE MATERIALES.....	16
5.2	ORGANIZACIÓN DE LA NORMA DE MATERIALES	16
5.2.1	GRUPO DE MATERIALES COMUNES	16
5.2.2	GRUPO DE MATERIALES ESPECÍFICOS.....	16
6	FACTORES DE DEMANDA	17
8.	CONEXION A TIERRA DE CABLES SUBTERRÁNEOS APANTALLADOS	18
9.	ENERGÍAS ALTERNATIVAS Y COMPROMISO AMBIENTAL	19
9.1	FUENTES NO CONVENCIONALES.....	19
9.2	POLÍTICAS AMBIENTALES DE CELSIA	19
9.2.1	POLÍTICA AMBIENTAL.....	19

9.2.2	CAMBIO CLIMÁTICO Y GESTIÓN DE EMISIONES	20
9.2.3	BIODIVERSIDAD:	20
9.2.4	GESTIÓN DEL AGUA.....	21
9.2.5	GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS.....	21
9.3	AUTO GENERACION A PEQUEÑA ESCALA	21
9.4	NORMAS TECNICAS AMIGABLES AMBIENTALMENTE	22
9.4.1	REDES SEMIAISLADAS COMPACTAS Y ABIERTAS	22
9.4.2	USO DE POSTES Y RETENIDAS	22
10.	PROTECCIONES BÁSICAS DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN	22
10.1	PROTECCIONES DE SOBRECORRIENTE	22
10.2	PROTECCIONES CONTRA SOBRETENSIÓN	23
11.	INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	23
12.	USO DE INFRAESTRUCTURA	23
13.	CARTILLA DE SEGURIDAD Y REQUISITOS DE RETIE	24
14.	BIBLIOGRAFÍA	25

Índice de Tablas

Tabla 1 Niveles de tensión sistemas transmisión y/o distribución	6
Tabla 2 Niveles de tensión redes de distribución CELSIA.....	6
Tabla 3 Altitudes y condiciones ambientales por zona	7
Tabla 4 Factores de demanda para cargas en servicios comunes	13
Tabla 5 Ecuaciones curvas factor demanda diversificada por estrato.....	18
Tabla 6 Valores del factor de demanda diversificada por estrato	18

Índice de Figuras

Figura 1. Portal de Provisión de Servicios para presentar proyectos en línea	11
--	----

1 GENERALIDADES

El sector eléctrico en Colombia inició un proceso evolutivo con las leyes 142 y 143 de 1994, que liberó los mercados estableciendo una competencia regulada por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) y la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD). De estas entidades salió el desarrollo de la regulación vigente en los cuatro grandes negocios de la electricidad en Colombia; Generación, Transmisión, Distribución y Comercialización.

Debido a la permanente variación de la regulación del sector eléctrico, CELSIA en su política de cumplir con sus exigencias, trabaja permanentemente en la actualización normativa, tecnológica y administrativa de los sistemas de energía que opera. Es así como en los sistemas de distribución bajo su operación, actualiza las normas de diseño y construcción de redes de distribución.

Los sistemas de distribución de energía evolucionan permanentemente, debido a la dinámica de su crecimiento, la regulación, la tecnología, su impacto ambiental y su interacción directa con el usuario final. Por esto las normas de diseño y construcción de redes eléctricas deben moverse en estos ejes de una forma integral.

Las redes de distribución eléctrica, de acuerdo con su cubrimiento, se encuentran prácticamente en todos los escenarios de la vida diaria; con los riesgos que puedan representar. A raíz de esto se aprobó el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), en el que se establecen los requisitos para la protección y seguridad de las personas, de la vida tanto animal como vegetal y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico.

De gran importancia son el impacto ambiental debido al calentamiento global y la evolución tecnológica, ambos relacionados con la reconfiguración de los sistemas de distribución debido a la presencia de la Autogeneración a Pequeña Escala (AGPE) o dicho de otra manera el impacto de las energías renovables; puntos que se deben considerar en las normas de distribución.

En este documento se desarrollan los criterios básicos para el diseño de redes de distribución eléctrica en media y baja tensión, como una herramienta que permita a los ingenieros de diseño y construcción tener la claridad necesaria para el desarrollo de proyectos que respeten de forma integral los requisitos arriba descritos.

Las presentes Normas aplican a todas las redes aéreas o subterráneas y a las transiciones que se presenten, para tensiones nominales de 34.5 kV, 13.2 kV, 240/120 V, 208/120 V; a todas las subestaciones transformadoras y sus respectivos equipos y componentes de medida, maniobra y protección; al sistema de Alumbrado Público que atienda CELSIA y a las acometidas y medidores que sirvan al usuario final.

CELSIA podrá, sin previo aviso, suprimir, modificar o adicionar, cualquier conjunto, criterio de construcción o elemento a utilizar incluido en estas Normas; razón por la cual se presume que los interesados estarán actualizados con respecto al contenido de las mismas, antes de solicitar la factibilidad de servicio para cualquier proyecto o montaje relacionado con el Sistema eléctrico de CELSIA.

Los temas no contemplados en esta norma se registrarán por lo especificado en las Normas Nacionales y/o Internacionales aplicables, así como las resoluciones emitidas por la CREG y el MME (RETIE).

Los materiales y equipos suministrados por particulares o firmas contratistas para ser instalados en el sistema de CELSIA, deben ser nuevos y cumplir con las Normas ICONTEC o internacionales y con las especificaciones técnicas exigidas por CELSIA y poseer las certificaciones de conformidad de producto RETIE y de norma de fabricación si les aplica.

1.1 NIVELES DE TENSIÓN

Los sistemas de Transmisión Regional y/o Distribución Local se clasifican en función de la tensión nominal de operación de acuerdo con la siguiente definición, presentada en la tabla 1:

NIVEL DE TENSIÓN	RANGO DE TENSIÓN ENTRE FASES
Nivel 4	Sistemas con tensión mayor o igual a 57.5 kV y menor a 220 kV
Nivel 3	Sistemas con tensión mayor o igual a 30 kV y menor a 57.5 kV.
Nivel 2	Sistemas con tensión mayor o igual a 1 kV y menor a 30 kV.
Nivel 1	Sistemas con tensión menor a 1 kV.

Tabla 1 Niveles de tensión sistemas transmisión y/o distribución en Colombia

Toda instalación eléctrica objeto del RETIE, debe asociarse a uno de los anteriores niveles. Si en la instalación existen circuitos en los que se utilicen distintas tensiones, el conjunto del sistema se clasificará, en el grupo correspondiente al valor de la tensión nominal más elevada.

1.2 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE CELSIA

CELSIA emplea en su sistema las tensiones nominales indicadas en la Tabla 2:

Características Eléctricas del Sistema de Distribución	
Tensiones nominales de línea (V)	120/208 - 13200 - 34500
Número de fases	2 - 3
Conexión en la Subestación Eléctrica	Y puesta a tierra en subestación
Frecuencia (Hz)	60

Tabla 2 Niveles de tensión redes de distribución CELSIA

1.3 CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE CELSIA

Debido a la similitud geográfica entre los departamentos del Tolima y Valle del Cauca, las condiciones ambientales se pueden tipificar en tres zonas geográficas determinadas por la altitud sobre el nivel del mar y la temperatura ambiental de cada una de ellas.

En la Tabla 3 se presentan las temperaturas establecidas para el diseño de líneas aéreas de media tensión abierta y semiaisladas y las de baja tensión con cable aislado multiplex.

Buenaventura es un caso que se sale de generalidad, por tratarse de condiciones ambientales para el nivel del mar con alta humedad y salinidad.

Condiciones Ambientales	
Altura sobre el nivel del mar (msnm)	0 – 3 000
Ambiente tropical	Contaminación Normal
Humedad relativa Máxima / Promedio (%)	96 / 90
Temperaturas: Mín. / Prom. / Máx. (°C) de 0 – 1 000 msnm. Zona A	15 / 26 / 40
Temperaturas: Mín. / Prom. / Máx. (°C) de 1 000 – 2 000 msnm. Zona B	10 / 20 / 35
Temperaturas: Mín. / Prom. / Máx. (°C) de 2 000 – 3 000 msnm. Zona C	5 / 15 / 30
Velocidad máxima del viento (km/h)	100
Velocidad máxima promedio de viento (km/h)	60

Tabla 3 Altitudes y condiciones ambientales por zona

1.4 ASPECTOS GENERALES DE LAS NORMAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE REDES DE MT Y BT

Las normas de construcción de redes de Media y Baja Tensión de CELSIA, están conformadas según el tipo de red, el nivel de tensión y anexos que las complementan. Estos anexos se dividen en Anexos Específicos, que complementan el desarrollo de cada norma con cálculos propios de cada tema y Anexos Generales que corresponden a procesos transversales o a la implementación en las redes de distribución de políticas corporativas.

Su organización se presenta a continuación:

➤ NORMAS

- Presentación de proyectos.
- Red aérea de Media Tensión Semiaislada
- Red Aérea de Media Tensión Convencional
- Red Aérea de Baja Tensión
- Red Subterránea de Media y Baja Tensión
- Centros de Transformación

- Materiales
- ANEXOS ESPECÍFICOS
 - Anexos Red Semiaislada
 - Anexos Red Aérea Media Tensión
- ANEXOS GENERALES
 - Vida Silvestre
 - Energías Alternativas
 - Presentación de Proyectos
 - Infraestructura Compartida con Telecomunicaciones
 - Arquitectura de la Red
 - Alumbrado Público

1.5 CRITERIOS GENERALES DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN

La distribución de energía eléctrica es una actividad cuyas técnicas están en un proceso constante de evolución reflejada en el tipo de equipos y herramientas utilizadas, en los tipos de estructuras, en los materiales con los que se construyen las redes de distribución y en los métodos de trabajo de las cuadrillas de construcción y mantenimiento, para lo cual la metodología de diseño y operación debe ser empleando un software de administración de redes desarrollado por cada empresa de energía y manteniendo criterios técnicos que garanticen la continuidad, calidad, confiabilidad de la misma, el cumplimiento de las condiciones de seguridad y estándares regulatorios (niveles de pérdidas) utilizando las mejores prácticas de ingeniería.

Definir trazado viable, considerando aspecto predial y socioambiental.

- Identificar cantidad de predios a intervenir y CAPEX predial y socioambiental.
- Realizar preingeniería con un trazado ajustado y viabilizado con predial y socioambiental, e identificar cantidad de predios a intervenir y CAPEX predial y socioambiental--La ruta debe considerar: no cortar predios, usar linderos, evitar paso o cruce por vías concesionadas, preferir vías secundarias o terciarias.
- Adicionalmente, el uso de tecnologías tales como postes autosoportados, postes de mayor altura a las tradicionales en redes de media tensión.
- Implementación de cable aislados, redes semiaisladas que permita reducir impactos prediales y socioambientales (reducir podas y aprovechamientos).

Para el diseño de redes se deberá tener en cuenta entre otros los siguientes criterios:

- a) Accesibilidad a los sitios de construcción, siempre que sea posible se debe procurar que la ruta de la red este próxima a carreteras o caminos.
- b) La ruta de la red de distribución debe ser en general el trayecto más corto en línea recta. En todo caso evitando el cruce por terrenos inaccesibles.

- c) Evitar en lo posible ángulos horizontales en los puntos bajos del terreno y en las laderas. Los ángulos horizontales deben proyectarse en las partes planas de la línea.
- d) Evitar zonas de cultivo, bosques nativos, orillas de quebradas, terrenos con problemas de erosión o inundación.
- e) Evitar el paso por áreas de conservación y protección del patrimonio histórico, cultural y arquitectónico.
- f) Utilizar zonas de servidumbre adecuada sin obstáculos a lo largo de la red, como margen de seguridad para la construcción, operación y mantenimiento, e interrelación segura con el entorno.
- g) Cumplir las distancias de seguridad que establece el RETIE.
- h) Seguridad para el personal y los equipos.
- i) Posibilidad de ampliación y flexibilidad de alimentación desde otras fuentes.
- j) Simplicidad en la construcción y operación (rapidez en las maniobras).
- k) Mantenimiento y políticas de adquisición de repuestos.
- l) Selección de estructuras sencillas, de mayor duración, de fácil mantenimiento, adecuadas con condiciones climáticas (temperatura, precipitaciones, velocidad del viento, contaminación ambiental), Etc.
- m) Selección de los conductores (preferiblemente cables aislados y semiaslados).
- n) Optimización del calibre de los conductores (calibre económico).
- o) Regulación de tensión (niveles máximos admisibles).
- p) Pérdidas de energía (niveles máximos admisibles).
- q) Proyección de centros de carga, requerimientos técnicos de los clientes, ubicación de cargas especiales e industriales, relación con otros proyectos en la zona.
- r) Optimización de costos (economía).
- s) Confiabilidad de los componentes.
- t) Continuidad del servicio.

En la Norma se dan pautas para escoger los tipos de estructuras a utilizar en un proyecto de redes eléctricas de distribución de media tensión; sin embargo, será el diseñador el que dimensione y seleccione mediante cálculos tanto eléctricos como mecánicos los requerimientos específicos a aplicar en cada proyecto.

Los niveles de tensión, de acuerdo con las definiciones en el punto GENERALIDADES y las redes de distribución se relacionan a continuación:

- Nivel de tensión 1: Redes aéreas y subterráneas de baja tensión a 120/240 V o 120/208 V.
- Nivel de tensión 2: Redes aéreas y subterráneas de media tensión a 13.2 kV.
- Nivel de tensión 3: Redes aéreas y subterráneas de media tensión a 34.5 kV.

2 NOMENCLATURAS Y PRESENTACIÓN DE PROYECTOS

2.1 NOMENCLATURAS

La nomenclatura de las normas se desarrolló conservando la metodología existente en CELSIA Valle, porque es funcional en su sistema nemotécnico para asignar los códigos de las estructuras y también porque el sistema de información de redes está montado con esta metodología.

La marcación de postes en el área de influencia de CELSIA tendrá en cuenta un código nemotécnico que se asignará por cada proyecto en la etapa de construcción, esta numeración deberá estar integrada en la última versión de planos tanto digitales como impresos. En la auditoria final para el recibo y posterior energización del proyecto, se revisará que esta nomenclatura esté como se indica en los planos suministrados.

En cada uno de los manuales asociados de las normas se presentan las nomenclaturas correspondientes.

2.2 PRESENTACIÓN DE PROYECTOS

CELSIA desarrolló una plataforma informática para la presentación y tramitación de proyectos y facilitar su desarrollo desde la etapa de solicitud de los datos básicos, hasta el recibo técnico y puesta en servicio. Esta plataforma agiliza todos los procesos relacionados con los proyectos de particulares, permitiendo a su vez seguir la trazabilidad en cada uno de sus pasos que se relacionan a continuación:

El contratista sea persona natural o jurídica, primero debe registrarse en línea a través de la página web de CELSIA, Proyectos Particulares, Provisión de Servicios, dando click en REGISTRARME COMO CONTRATISTA, siguiendo todos los pasos, el sistema le asigna una identificación y clave de acceso que le permitirá entrar a la aplicación desarrollada para el trámite de proyectos. Figura 1.

Una vez registrado en línea, el contratista queda inmediatamente habilitado para la presentación de proyectos y debe suministrar la información para sus etapas.

- I. Factibilidad del proyecto
- II. Revisión del proyecto, consistente en la revisión y aprobación de diseños.
- III. Recibo Técnico de las obras.

- IV. Solicitar las consignaciones para la conexión del proyecto a las redes de CELSIA.
- V. Solicitar la puesta en servicio de las instalaciones.
- VI. Consulta del estado de las solicitudes.

La aplicación tiene el registro de cada uno de estos pasos para realizar la trazabilidad al proyecto.

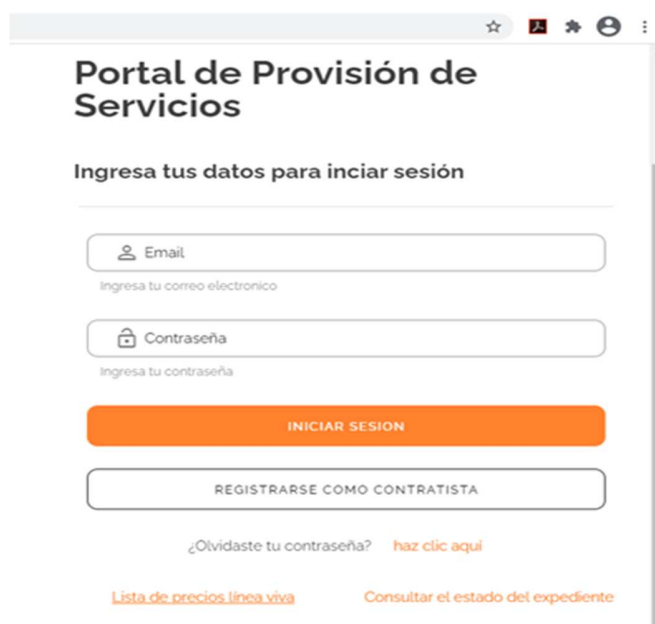


Figura 1. Portal de Provisión de Servicios para presentar proyectos en línea

CELSIA solicita la documentación propia de cada paso, y una vez analizada la información, responde informando su rechazo o aprobación y suministrando los datos requeridos para el siguiente paso.

2.3 PRESENTACIÓN DE PLANOS

Se presentan a continuación las escalas recomendadas para los planos típicos de las redes eléctricas; sin embargo, se podrán usar otras escalas que se ajusten mejor para un adecuado uso del papel y una mejor presentación del plano, de acuerdo con criterio de CELSIA y el Contratista.

Escala aplicables a los planos serán:

- Para las vistas de una subestación: 1:50
- Para secciones de vías: 1:100
- Redes urbanas aérea o subterránea: 1:500
- Para redes rurales: 1:1000 o 1:2000

Para información detallada ver las normas relacionadas con “PRESENTACIÓN DE PROYECTOS”.

3 CÁLCULOS ELÉCTRICOS

Los cálculos eléctricos de interés en una red de distribución son la regulación de tensión, las pérdidas técnicas y la coordinación de protecciones; para realizarlos es necesario tener definido el tipo de red, la clase de conductor, su calibre, la carga y la longitud del proyecto específico. El tipo de red y el conductor definen las características de impedancia y resistencia a la corriente alterna.

3.1 CÁLCULO DE REGULACIÓN EN CIRCUITOS DE MEDIA TENSIÓN M.T.

Las redes de media tensión – MT, debido a su longitud se consideran como redes cortas, y por lo tanto en su cálculo no se incorpora la reactancia capacitiva.

Las máximas variaciones de tensión permisibles en estado estacionario a 60 Hz están definidas en la norma NTC1340, o aquella que la modifique o sustituya, de acuerdo con esto se seleccionará aquel conductor cuya caída de tensión sea menor o igual a los siguientes límites:

- 13,2 kV: -10% + 5% de la Tensión Nominal desde la subestación de alimentación.
- 34,5 kV: -10% + 5% de la Tensión Nominal desde la subestación de alimentación.

3.1.1 CÁLCULO DE REGULACIÓN EN CIRCUITOS DE BAJA TENSIÓN B.T.

Las cargas especiales para efectos de cálculo de regulación se consideran sin factor de diversidad. Las constantes para el cálculo de circuitos a baja tensión se presentan en TABLA A1 de ANEXO RED AÉREA BT.

Para el cálculo de la caída de tensión se utiliza el método del momento eléctrico. El porcentaje de caída de tensión está dado por:

$$\% \Delta V = K_v * P * L$$

Siendo:

K_v : Constante de Regulación
 P : Potencia a transportar (kW)
 L : Longitud de la línea (km)

De igual manera se seleccionará aquel conductor cuya caída de tensión sea menor o igual a los siguientes límites:

- Urbana: 3% de la tensión nominal desde el transformador de distribución hasta el punto de conexión de la acometida.
- Rural: 5% de la tensión nominal desde el transformador de distribución hasta el punto de conexión de la acometida.

3.1.2 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA TRANSFORMADOR EN REDES DE DISTRIBUCIÓN

El cálculo del transformador para un proyecto de redes de distribución se realiza convencionalmente mediante el uso de las curvas de factores de diversidad o de demanda máxima diversificada y considera la incidencia de otras cargas como la de alumbrado público y servicios comunes.

Se utiliza como referencia lo prescrito en la Norma NTC 2050, Artículos, 220-37, 220-10, 220-11, 220-16, 220-18 y 220-19 así como la Tabla A.3.2, Factores de diversidad del Anexo al Capítulo III.

Consideraciones previas:

- i. Ubicar el transformador bajo diseño en el centro de carga de los usuarios a servir.
- ii. Aplicar las Tablas de Factor de diversidad normalizadas por la Compañía para el estrato socioeconómico en que se encuentre el proyecto.
- iii. Adicionar las cargas de servicios comunes y las cargas especiales que estén incluidas, como locales comerciales y zonas de cesión.
- iv. No considerar como carga eléctrica la calefacción de agua y la cocción, en razón a que han sido reemplazadas por el gas domiciliario.
- v. La tasa de crecimiento de la demanda debe ser suministrada por la compañía.
- vi. El cálculo de la carga correspondiente a los servicios comunes se evaluará teniendo en cuenta los siguientes factores de demanda.

Factor de demanda	Cargas para considerar
1	Ascensores, bombas eyectoras, alumbrado general que no tenga control individual y puntos fijos
0.5	Equipos de presión, otros alumbrados como salón comunal, parqueaderos

Tabla 4 Factores de demanda para cargas en servicios comunes

Los pasos para seguir son:

- I. La capacidad del transformador se puede calcular con base en la expresión

$$S_{transf} = S_{usu\ res} + S_{areas\ comunes\ res} + S_{alum\ publ}$$

S_{transf}	: Carga de diseño del transformador (VA)
$S_{usu\ res}$: Carga demandada usuarios sector residencial (VA)
$S_{Areas\ comunes}$: Carga áreas comunes Sector residencial (VA)
$S_{alumb\ publ}$: Carga demanda alumbrado público (VA)

- II. Determinar la carga instalada: Tabla 220-3 b) alumbrado general (incluye tomas de uso general), (Sección 220-16) cargas para pequeños electrodomésticos (incluye lavandería y planchado), y (220-17) artefactos, (220-18) secadoras, (220-19) estufas eléctricas.
- III. Hacer uso de los factores de demanda: anexar Tabla 220-11 (alumbrado), Tabla 220-18 y Tabla 220-19. Se deben aplicar a la carga instalada conforme a los criterios referidos.
- IV. Del paso anterior se determina la Demanda Máxima para un (1) usuario residencial.

Las Tablas de Factores de Diversidad según Estrato Socioeconómico aparecen en el Anexo técnico al Capítulo III. Tabla A.3.2.

- V. La demanda máxima para un (1) usuario se multiplica por el número de usuarios (n) y se divide entre el Factor de Diversidad para este número de usuarios. En concordancia con la expresión:

$$DMD_{n\ Usuarios} = \frac{Demanda\ Máxima_{1Usuario} \times (n_{Usuarios})}{f\ diversidad_{n\ usuarios}}$$

- VI. El valor obtenido es la Demanda Máxima Diversificada para el número de usuarios calculados.
- VII. Este valor se proyecta a ocho (8) años, a una Tasa de Crecimiento de la Demanda, definida por la Compañía (por ejemplo 3% anual), y se obtiene la componente de carga por usuarios del transformador.

$$DMD_{Año\ n} = DMD_{Año\ 0} \times \left(1 + \frac{r}{100}\right)^n$$

- VIII. Al valor calculado en el paso anterior se le suman las cargas por áreas comunes y alumbrado público. Con este valor se selecciona entre las capacidades normalizadas por la compañía, teniendo como criterio “no superar el 20% de sobrecarga”. El tema sobre la cargabilidad de los transformadores puede ser consultado en la Norma ICONTEC GTC 50, citada en el numeral 1.8.4 del Capítulo I, de la presente Norma. Adicional a este criterio se debe tener en cuenta el criterio definido en la resolución CREG 015 de 2018

4 CRITERIOS BÁSICOS MECÁNICOS

En esta sección se consideran algunos de los criterios generales, para el dimensionamiento mecánico de los conductores aéreos. Se pretende que la información contenida en las normas sea una guía, y se deja al diseñador la responsabilidad de aplicar los criterios que las buenas prácticas y la experiencia en ingeniería aporten a la solución de problemas particulares. En las normas técnicas asociadas se encuentran en forma más detallada los criterios del cálculo mecánico de las líneas.

El cálculo mecánico deberá hacerse teniendo en cuenta la acción de las cargas y sobrecargas sobre los conductores, su combinación, y las condiciones que se describen en los apartados siguientes.

Se considerarán las cargas permanentes horizontales y verticales (como los debidos al peso propio de los conductores, aisladores, herrajes), las presiones debidas al viento, y los desequilibrios por esfuerzos longitudinales en apoyos en alineación, en ángulo y retención o anclaje. Igualmente se considerarán los esfuerzos longitudinales unilaterales debidos a la rotura de conductores.

4.1 CÁLCULO MECÁNICO DE CONDUCTORES

Se consideran los siguientes esfuerzos:

4.1.1 ESFUERZOS EN CONDUCTORES AÉREOS

- Peso Propio (P_c)
- Esfuerzos debidos al Viento (P_v)

4.1.2 CÁLCULO DE FLECHAS Y TENSIONES

El cálculo mecánico de esfuerzos de estos conductores se hace considerando parámetros como módulo de elasticidad y coeficiente de dilatación correspondientes a la proporción en que se encuentran cada uno de los materiales.

Es necesario tener en cuenta igualmente, tanto en conductores como en cables de guarda, que éstos se encuentran bajo la influencia de variaciones de temperatura ambiente y la acción del viento o sobrecargas, pero que en toda condición se deben cumplir ciertas limitantes como tensión máxima admisible, flechas (verticales o inclinadas y distancias de seguridad).

Todas las posibles modificaciones en las condiciones de funcionamiento mecánico de las redes se pueden prever mediante la “ecuación de cambio de condiciones” o “ecuación de cambio de estado”.

4.2 CALCULO MECÁNICO DE APOYOS

Los apoyos de redes aéreas están sujetos a la combinación de diferentes esfuerzos que se resumen en los siguientes:

4.2.1 ESFUERZOS VERTICALES

Estos son debido al peso propio de los apoyos, conductores y cables de guarda, crucetas, aisladores, herrajes, carga viva y otros elementos, equipos y empuje vertical de templete.

4.2.2 ESFUERZOS DEBIDOS AL VIENTO

Se originan por la presión del viento en la dirección normal a los conductores y a la presión sobre el apoyo, las crucetas, aisladores, conductores y cable de guarda.

Los esfuerzos en los conductores se calcularán para el vano de viento que se supone igual a la suma de las mitades de los vanos contiguos al apoyo.

4.2.3 ESFUERZOS DEBIDOS A TENSIONES DESEQUILIBRADAS

Se originan en el empuje desequilibrado de conductores y cables de guarda.

5 MATERIALES NORMALIZADOS

5.1 NORMA DE MATERIALES

La norma de materiales se definió como una herramienta que consolide las especificaciones técnicas de los equipos y materiales de uso normal en las redes de CELSIA. Esto permite unificar desde las compras hasta el uso final de estos elementos.

5.2 ORGANIZACIÓN DE LA NORMA DE MATERIALES

La organización de la norma comprende dos grandes grupos de materiales. El primero son los materiales normalizados que son comunes a los métodos tradicionales de construcción de redes de distribución, como son los cables de aluminio, aisladores, las crucetas, abrazaderas y herrajes en general. El segundo grupo, corresponde a los materiales y equipos que son específicos para red semiaislada y red subterránea.

5.2.1 GRUPO DE MATERIALES COMUNES

1. Transformadores
2. Postes
3. Conductores
4. Equipos de protección
5. Aisladores y aislantes
6. Equipos de maniobra y seccionamiento
7. Conectores
8. Herrajes
9. Cajas de derivación

5.2.2 GRUPO DE MATERIALES ESPECÍFICOS

Red semiaislada

1. Aisladores compuestos tipo pin
2. Cable Alumoweld
3. Conductores semiaislados
4. Espaciadores y brazos antibalanceo
5. Herrajes para red semiaislada
6. Amarras preformadas Zeta y Omega
7. Retenciones preformadas para cable semiaislado

Red subterránea

1. Transformador pad mounted trifásico E-S
2. Transformador pad mounted trifásico radial
3. Transformador pad mounted monofásico
4. Transformador ocasionalmente sumergible
5. Cable aislado BT subterráneo
6. Conductor aislado M T
7. Centro de seccionamiento pad mounted
8. Centro de seccionamiento ocasionalmente sumergible
9. Conectores enchufables aislados para MT subterránea
10. Conectores enchufables aislados con protección interna para MT subterránea
11. Detectores de falla LSMT
12. Terminales contráctiles en frío LSMT
13. Empalmes contráctiles en frío LSMT
14. Barrajes preformados en BT

6 FACTORES DE DEMANDA

Las ecuaciones y valores del factor de demanda diversificada (factores de simultaneidad) para el sector residencial se muestran en las Tablas 5 y 6.

Los factores de demanda diversificada se calcularon usando datos históricos de participación en la demanda de potencia de los usuarios en la hora de demanda máxima y realizando un ajuste de esta información estadística a una curva exponencial mediante una regresión no lineal. En la Tabla 5 se presentan las ecuaciones determinadas para cada estrato. En la Tabla 6 se presentan los factores de demanda diversificada o factores de simultaneidad para los estratos indicados.

SECTOR	FACTOR DE DEMANDA DIVERSIFICADA (factor simultaneidad) (N=número de usuarios)
ESTRATO 1	$F_{\text{demanda diversificada}} = \{0,515231 + 1,08701 * \text{EXP}(-0,994378 * N)\}$
ESTRATOS 2 Y 3	$F_{\text{demanda diversificada}} = \{0,567439 + 2,03265 * \exp(-0,785529 * N)\}$
ESTRATO 4	$F_{\text{demanda diversificada}} = \{0,600699 + 1,45707 * \exp(-0,515656 * N)\}$
ESTRATOS 5 Y 6	$F_{\text{demanda diversificada}} = \{0,804257 + 1,21228 * \exp(-0,335977 * N)\}$

Tabla 5 Ecuaciones curvas factor demanda diversificada por estrato

No. USUARIOS	ESTRATO 1	ESTRATOS 2 Y 3	ESTRATO 4	ESTRATOS 5 Y 6
	FACTOR DE DEMANDA DIVERSIFICADA (factor de simultaneidad)			
1	0,9174	1,4941	1,4707	1,6706
2	0,6640	0,9899	1,1202	1,4234
3	0,5703	0,7600	0,9109	1,2467
4	0,5356	0,6552	0,7859	1,1204
5	0,5228	0,6075	0,7113	1,0302
6	0,5180	0,5857	0,6667	0,9657
7	0,5163	0,5758	0,6401	0,9197
8	0,5156	0,5712	0,6242	0,8867
9	0,5154	0,5692	0,6148	0,8632
10	0,5153	0,5682	0,6091	0,8464
20	0,5152	0,5674	0,6007	0,8057
30	0,5152	0,5674	0,6007	0,8043
40	0,5152	0,5674	0,6007	0,8043
50	0,5152	0,5674	0,6007	0,8043
100	0,5152	0,5674	0,6007	0,8043

Tabla 6 Valores del factor de demanda diversificada por estrato

8. CONEXION A TIERRA DE CABLES SUBTERRÁNEOS APANTALLADOS

No existe un método estándar para la puesta a tierra de pantallas de cables aislados de media y alta tensión, sin embargo, se indican algunas recomendaciones a continuación:

- En subestaciones cuyo diseño implica detallar conexiones con cables aislados en media tensión, no es una práctica común realizar cálculos para determinar las tensiones inducidas en las pantallas de los conductores, ya que generalmente las distancias de los circuitos son muy cortas (menores a 2 km) y generalmente no se excede el valor de 200 V en el extremo aislado. Una práctica común en estos casos es poner a tierra los conductores en ambos extremos del circuito (Single-Point Bonding), aunque es común también ver sistemas donde se ponen a tierra las pantallas en sólo un extremo del circuito, para evitar las corrientes circulantes por el conductor de continuidad de tierra para no limitar la capacidad de transporte del conductor de potencia.
- Para circuitos de media tensión que superen una longitud de 2 km, es recomendable en estos casos realizar la validación de las tensiones inducidas en las pantallas, con el fin de determinar la necesidad de emplear una puesta a tierra de las pantallas mediante el uso de Limitadores de tensión en la pantalla - SVL's, para limitar la tensión en el extremo de los conductores.

- El uso del Cable de continuidad de tierra GCC es de común aplicación en sistemas Single-Point Bonding, ya que permite retornar de forma adecuada las corrientes de falla hacia la fuente. Este cable se deberá especificar en función de la tensión inducida en el extremo receptor del circuito y de la máxima corriente de falla monofásica en el sistema.
- En sistemas de alta tensión, así como circuitos de media tensión de gran longitud (mayor a 5 Km), es más común utilizar el método Cross Bonding para la puesta a tierra de las pantallas, con el fin de reducir las tensiones inducidas en el extremo receptor del circuito. Este método implica seccionar el circuito en tres partes iguales, en cada parte se debe realizar la transposición de las pantallas y, de ser necesario, se puede realizar la transposición de los conductores de potencia, lo cual reducirá de mejor manera las tensiones inducidas. En la práctica, es más común ver este método únicamente con la transposición de las pantallas de los conductores, debido al peso y radio de giro de los conductores de potencia.
- Para realizar una selección del método de puesta a tierra óptimo a utilizar, teniendo en cuenta la adecuada relación costo-beneficio de un proyecto, y en especial para líneas de alta tensión o circuitos de media tensión de gran longitud, se recomienda realizar simulaciones de tensiones transitorias y en estado estable mediante el uso del software ATP, con el fin de calcular de forma más precisa las tensiones inducidas en los extremos de las conexiones, así como simular fallas a tierra en diferentes puntos y así validar el comportamiento del sistema. Es importante para estos análisis contar con la información real del sistema a modelar, ya que de esto depende la confiabilidad de los resultados a obtener.

9. ENERGÍAS ALTERNATIVAS Y COMPROMISO AMBIENTAL

9.1 FUENTES NO CONVENCIONALES

A nivel global se busca reemplazar los combustibles fósiles por las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCR) lo que las convierte en un elemento importante de la matriz energética de los países. Colombia no es la excepción y ha generado una regulación que estimula el montaje de los sistemas basados en las FNCR.

9.2 POLÍTICAS AMBIENTALES DE CELSIA

La política ambiental de CELSIA está basada en cinco ejes:

- Política Ambiental
- Política de cambio climático y gestión de emisiones
- Política de biodiversidad
- Política de agua
- Política de gestión integral de residuos

9.2.1 POLÍTICA AMBIENTAL

CELSIA reconoce la importancia de la conservación ambiental y el uso racional de los recursos naturales, impulsando el uso de energías bajas en carbono, diversificando su oferta de productos y servicios para el mejoramiento de la calidad de vida de las personas.

Con esta política la compañía establece los lineamientos de actuación para colaboradores y el marco de referencia para los demás grupos de interés en materia ambiental, comprometiéndose con:

- Aplicar los principios de iniciativas, convenios, acuerdos en los que participa la organización.
- Implementar buenas prácticas y proyectos de conservación ambiental.
- Considerar la variable ambiental en la toma de decisiones de nuevas inversiones y en la operación de los activos.

Esta política ambiental comprende las siguientes sub-políticas:

9.2.2 CAMBIO CLIMÁTICO Y GESTIÓN DE EMISIONES

CELSIA se compromete con la mitigación y adaptación al cambio climático a través de las siguientes acciones:

- Brindar un portafolio de productos y servicios bajos en carbono.
- Mejorar la eficiencia operacional de los activos con el propósito de gestionar y controlar el ruido y otras emisiones atmosféricas.
- Medir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de las operaciones e implementar las medidas necesarias para disminuir la intensidad y/o compensar las emisiones.
- Incorporar en los análisis de viabilidad de nuevas inversiones y proyectos, las variables de cambio climático y gestión de emisiones

9.2.3 BIODIVERSIDAD:

CELSIA se compromete con la conservación, conocimiento y el uso sostenible de la biodiversidad por medio de las siguientes acciones:

- Apoyar investigaciones relacionadas con la conservación de especies amenazadas o en peligro de extinción.
- Divulgar el conocimiento en espacios de carácter científico, medios de comunicación y otros grupos de interés.

9.2.4 GESTIÓN DEL AGUA

Para CELSIA el agua es un insumo fundamental en sus procesos, por lo cual se compromete a:

- Conservar las cuencas hídricas en las áreas de influencia.
- Hacer un uso eficiente del agua y evaluar el riesgo hídrico en las zonas de operación y nuevos proyectos.
- Medir la huella hídrica en todas las operaciones e implementar las medidas necesarias para disminuir su intensidad.
- Impulsar proyectos de mejoramiento del suministro de agua para diferentes usos en la cadena de valor.

9.2.5 GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS

Para utilizar los recursos de la manera más eficiente posible, promover el consumo responsable y la gestión integral de los residuos sólidos, CELSIA se compromete con:

- Implementar estrategias para incrementar el aprovechamiento, reutilización y reciclaje de residuos.
- Apoyar iniciativas de investigación y desarrollo de tecnologías para la eliminación de PCB's.

En la ejecución de su política ambiental, CELSIA promueve la energía solar a todo nivel, desde el nivel residencial hasta los grandes proyectos, que se han desarrollado a nivel de distribución, instalando granjas solares de varios megavatios de potencia en diferentes regiones del país.

9.3 AUTO GENERACION A PEQUEÑA ESCALA

En lo relacionado con la regulación vigente, se delegó al Consejo Nacional de Operación (CNO), la reglamentación de los sistemas de protección, control y medida para los sistemas denominados Auto Generación a Pequeña Escala (AGPE), en los acuerdos emitidos se definen con precisión, los sistemas de protección y medida de acuerdo con la magnitud de potencia, como se resume a continuación:

Medición de energía: De acuerdo con la Resolución CREG 038 de 2014 CÓDIGO DE MEDIDA

Protecciones: Según Acuerdo 1322 de junio 30 de 2020 "Requisitos de Protecciones para la conexión de Sistemas de Generación en el SIN"

La Resolución CREG 030 de 2018, define los requerimientos para la conexión de los generadores de acuerdo con su capacidad instalada, según los siguientes rangos:

- I. Conexión al STR o SDL del Autogenerador de Pequeña Escala (AGPE) con potencia instalada menor o igual a 0,1 MW y Generación Distribuida (GD).
- II. Conexión al STR o SDL del AGPE con potencia instalada mayor a 0,1 MW y menor o igual a 1 MW.
- III. Conexión al STR o SDL del Autogenerador a Gran Escala (AGGE) con potencia instalada mayor a 1 MW y menor o igual a 5 MW.

Para más información, consultar ANEXO AGPE.

9.4 NORMAS TECNICAS AMIGABLES AMBIENTALMENTE

Se definen para la aplicación de la presente norma los siguientes lineamientos ambientales:

9.4.1 REDES SEMIAISLADAS COMPACTAS Y ABIERTAS

En todas las situaciones donde sea factible, las expansiones de redes de media tensión se deben diseñar y construir aplicando estas configuraciones las cuales garantizan una menor afectación al medio ambiente en tanto que no se requiere el mantenimiento constante de podas de vegetación en las inmediaciones de las redes eléctricas y además evita en gran medida el riesgo de electrocución para la avifauna.

9.4.2 USO DE POSTES Y RETENIDAS

Se define igualmente como prioritario el uso de postes autosoportados para evitar la necesidad de instalar las retenidas.

Se debe hacer uso prioritario de postes de alturas entre 16 y 24 m en aquellos casos en los cuales se deba respetar la existencia de vegetación de mediano porte y con lo cual se minimiza también la necesidad de realizar podas con alta frecuencia.

10. PROTECCIONES BÁSICAS DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN

En el capítulo 13 del MANUAL RED AÉREA DE MT, se desarrolla el tema de protecciones para redes de distribución, comenzando con la filosofía de las protecciones y su incidencia en la calidad del servicio.

10.1 PROTECCIONES DE SOBRECORRIENTE

Se inicia con la protección por medio de fusibles, tanto para transformadores como para ramales de línea con el análisis de la coordinación fusible – fusible; la coordinación del reconectador con los diferentes elementos de protección, es así como se analiza la coordinación reconectador – fusible tanto del lado de fuente como del lado de carga; la coordinación reconectador – seccionalizador – fusible.

En cuanto a la protección de transformadores y condensadores, se hacen los análisis y recomendaciones, suministrando las tablas de fusibles recomendados de acuerdo con la potencia y tensión del equipo.

10.2 PROTECCIONES CONTRA SOBRETENSIÓN

Las protecciones contra las sobretensiones se deben aplicar en todos equipos de distribución, transformadores, condensadores, reconectadores, y reguladores. Apoyados en la teoría respectiva, se hacen las recomendaciones de los Dispositivos de Protección contra Sobretensiones (DPS), de acuerdo con la tensión de trabajo del equipo a proteger. En el caso de los transformadores de distribución se tuvo en cuenta la protección DPS por el lado de baja tensión.

11. INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

La metodología para la elaboración de planos relacionados con el sistema de distribución de CELSIA está definida en el documento GUÍA PARA LA PRESENTACIÓN DE PLANOS, en ella se establecen las escalas, las convenciones y se indicarán en el plano las coordenadas UTM de los vértices de la línea también se indicará la dirección del Norte Magnético terrestre.

En general para la captura de información topográfica, cartográfica y/o fotogramétrica se aplicará la normativa aplicable; generalmente IGAC, ICONTEC ó FIG sin perjuicio de poder requerir un procedimiento específico según las metodologías y/o tecnologías de captura y sensores disponibles para la observación e Inspección de los diferentes escenarios de interés de la compañía y disponer de reportes con un alto nivel de precisión posicional (X,Y,Z,T).

Se considera de uso obligatorio la generación de información planta perfil para los estudios de redes den terreno no plano.

En general los estudios topográficos deben ser ejecutados por personal Idóneo con licencia COPNIA o de alguna de las asociaciones de profesionales autorizadas por la legislación colombiana para emitir dichas licencias

12. USO DE INFRAESTRUCTURA

Con el incremento de operadores de telecomunicaciones, se generó la demanda de uso de los postes para el montaje de cables de fibra óptica, instalación de equipos de señales para este servicio, tanto en la red aérea como en la subterránea; por este motivo CELSIA, desarrolló una norma para compartir la infraestructura de redes de energía con las redes de comunicaciones. En el documento mencionado, se reglamenta el uso seguro, siguiendo las distancias de seguridad exigidas por el RETIE.

En el documento ANEXO C1 NORMAS TÉCNICAS Y ADMINISTRATIVAS PARA LA INSTALACIÓN DE REDES DE TELECOMUNICACIONES EN LA INFRAESTRUCTURA DE DISTRIBUCIÓN ELECTRICA DE CELSIA, se encuentran los requisitos para la instalación de sistemas de telecomunicaciones compartiendo redes eléctricas.

13. CARTILLA DE SEGURIDAD Y REQUISITOS DE RETIE

En todas las normas de redes de CELSIA, sean de tipo aéreo, subterráneo, en media o baja tensión se tuvo en cuenta el RETIE, principalmente el artículo 13 sobre distancias de seguridad; igualmente en las especificaciones técnicas se tiene presente este reglamento exigiendo la certificación de producto para los elementos que así lo requieran.

Con relación a la seguridad personal, en el MANUAL DE REDES SEMIAISLADAS de MT, se tiene en cuenta la responsabilidad de cumplir con las reglas de oro y la obligatoriedad de dotar el personal con equipo adecuado para cada labor y que sea competente para el trabajo en las redes de distribución.

También en el diseño de redes de distribución y subestaciones de MT y BT se debe cumplir con los siguientes estudios y cálculos exigidos por RETIE:

ITEM	ASPECTO DE DISEÑO
a	Cuadro de cargas iniciales y futuras
b	Coordinación de aislamiento
c	Análisis de cortocircuito y falla a tierra
d	Análisis de nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos
e	Análisis de riesgo de origen eléctrico y medidas para mitigarlo
f	Análisis de nivel de tensión requerido
g	Cálculo de campos eléctricos
h	Cálculo de la capacidad de los transformadores
i	Cálculo de sistema de puesta a tierra
j	Selección de conductores
k	Verificación de conductores
l	Cálculo mecánico de estructuras
m	Cálculo y coordinación de protecciones
n	Cálculo de canalizaciones
o	Análisis de pérdidas de energía
p	Cálculos de regulación
q	Clasificación de áreas
r	Elaboración de diagramas unifilares
s	Elaboración de planos y esquemas eléctricos
t	Especificaciones técnicas de equipos y de construcción
u	Cumplimiento de distancias de seguridad
v	Desviaciones a norma NTC 2050
w	Otros estudios que se requieran

14. BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE) / STRUCTURAL ENGINEERING INSTITUTE (SEI)
– MERP No. 91: Design of Guyed Electrical Transmission Structures – 1997.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE) / PRECAST-PRESTRESSED CONCRETE
INSTITUTE (PCI) – W1814-JR412: Guide for the Design of Prestressed Concrete Poles – 1997.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE) / STRUCTURAL ENGINEERING INSTITUTE (SEI)
– MOP No. 111: Reliability-Based Design of Utility Pole Structures – 2006.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE) / STRUCTURAL ENGINEERING INSTITUTE (SEI)
– MOP No. 74 3rd Ed.: Guidelines for Electrical Transmission Structural Loading – 2010.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SISMICA (AIS) – Reglamento Colombiano de
Construcción Sismo Resistente (NSR-10) – 2010.

CONSEIL INTERNATIONAL DES GRANDES RÉSEAUX ELECTRIQUES (CIGRÉ) – WG 22.06
Technical Brochure 178: Probabilistic Design of Overhead Transmission Lines – 2001.

CONSEIL INTERNATIONAL DES GRANDES RÉSEAUX ELECTRIQUES (CIGRÉ) – TF B2.11.04
Technical Brochure 273: Overhead Conductor Safe Design Tension with respect to Aeolian
Vibrations – 2005.

ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE (EPRI) – Transmission Line Reference Book: Wind-
Induced Conductor Motion (The Orange Book) 2nd Ed. - 2008.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS (ICONTEC) - NTC 3524: Electrotecnia.
Herrajes y accesorios para redes y líneas aéreas de distribución de energía eléctrica - Guía
para la selección y localización de amortiguadores tipo Stockbridge – 1993.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC) – Technical Report IEC TR 61774 1st
Ed.: Overhead Lines - Meteorological data for assessing climatic loads – 1997.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC) – International Standard IEC 60826
3rd Ed.: Design Criteria of Overhead Transmission Lines – 2003.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC) – International Standard IEC 60815-
1: Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted
conditions– 1986.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA – REPUBLICA DE COLOMBIA (MINMINAS) Resolución No.
90708 de agosto 30 de 2013.

THE CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION (CSA) – CSA International A14-00: Concrete poles
– 2000.

THE INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, INC. (IEEE) Standard 142: Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems – 1991

THE INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, INC. (IEEE) Standard 738: Standard for Calculating the Current-Temperature of Bare Overhead Conductors – 2006.

METAL-OXIDE SURGE ARRESTERS IN HIGH-VOLTAGE POWER SYSTEMS FUNDAMENTALS. 3RD EDITION. Volker Hinrichsen SIEMENS. 2011

ELECTRICAL-DISTRIBUTION-SYSTEM-PROTECTION-COOPER-POWER-SYSTEMS. COOPER POWER SYSTEMS. 2005

PROTECCIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS. Samuel Ramírez Castaño. Universidad Nacional de Colombia Manizales. Primera edición. 2003.