



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

## Tabla de Contenido

	<i>Pág.</i>
1 OBJETO.....	7
2 ALCANCE .....	7
3 NORMATIVIDAD DE REFERENCIA .....	8
4 DEFINICIONES.....	9
5 TENSIONES NORMALIZADAS POR NIVEL .....	10
5.1 TENSIÓN NORMALIZADA PARA NIVEL 1.....	10
5.2 TENSIÓN NORMALIZADA PARA NIVEL 2.....	11
5.3 TENSIÓN NORMALIZADA PARA NIVEL 3.....	11
6 TIPO DE CONDUCTORES .....	11
6.1 CONDUCTORES DE ALUMINIO .....	11
6.1.1 Conductor de Aluminio AAC-ASTM-B231/B231M.....	11
6.1.2 Conductor de Aleación de Aluminio AAAC-ASTM-B 399.....	12
6.1.3 Conductor de Aluminio con Refuerzo de Acero ACSR-ASTM-B 232 .....	12
6.1.4 Conductor Concéntrico Antifraude para Acometidas Individuales .....	12
6.2 CONDUCTORES DE COBRE.....	13
6.3 TIPOS DE AISLAMIENTO EN CONDUCTORES .....	13
6.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y ELÉCTRICAS DE LOS CONDUCTORES .....	14
7 CALIBRES NORMALIZADOS PARA USO EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE EMCALI.....	15
7.1 CONDUCTORES PARA REDES AÉREAS.....	15
7.1.1 Nivel de Tensión 1 .....	15
7.1.2 Nivel de Tensión 2 y Nivel de Tensión 3 .....	17
7.2 CONDUCTORES PARA REDES SUBTERRÁNEAS.....	18
7.2.1 Nivel de Tensión 1 .....	18
7.2.2 Nivel de Tensión 2 y Nivel de Tensión 3 .....	19
7.3 CONDUCTORES PARA ACOMETIDAS.....	20
7.3.1 Acometidas Aéreas.....	20
7.3.1.1 Nivel de Tensión 1.....	20



# NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN

## CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

7.3.1.2	Nivel de Tensión 2 y Nivel de Tensión 3.....	21
7.3.2	Acometidas Redes Subterráneas.....	22
7.4	TRANSICIÓN AÉREA - SUBTERRÁNEA.....	24
7.4.1	Bajantes y Puentes.....	24
7.4.2	Nivel de Tensión 1.....	24
7.4.3	Nivel de Tensión 2 y Nivel de Tensión 3.....	25
8	CRITERIOS DE SELECCIÓN DE CONDUCTORES.....	26
8.1	CRITERIOS DE PLANEAMIENTO DE CIRCUITOS. SELECCIÓN DE LOS CONDUCTORES POR POTENCIA A TRANSMITIR-TOPOLGIA.....	26
8.2	CÁLCULO DE LAS CARGAS.....	27
8.3	POTENCIA POR UNIDAD DE CARGA.....	28
8.4	SELECCIÓN POR CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN.....	29
8.5	CONFIRMACIÓN POR EL CRITERIO DE CORTOCIRCUITO.....	30
8.6	PÉRDIDAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN - PÉRDIDAS MÁXIMAS DE POTENCIA.....	32
8.6.1	Metodología de Cálculo.....	32
8.6.1.1	Pérdidas en Energía.....	32
8.6.1.2	Pérdidas en Potencia.....	33
8.6.2	Límites de Pérdida de Potencia.....	34
8.7	CONFIRMACIÓN POR EL CRITERIO DE REGULACIÓN.....	35
8.7.1	Criterio de Regulación para Redes de Distribución.....	35
8.7.2	Cálculo de Regulación por el Criterio de Momento Eléctrico.....	36
8.8	SELECCIÓN DE ACOMETIDAS EN BAJA TENSIÓN.....	37
9	CONDICIONES DE INSTALACIÓN DE LOS CONDUCTORES.....	39
9.1	RADIO DE CURVATURA DE UN CONDUCTOR.....	39
9.2	TENSIÓN DE HALADO.....	40
9.3	CONEXIONES ENTRE CONDUCTORES.....	42
9.3.1	Empalmes.....	42
9.3.2	Puentes.....	42
9.4	SELECCIÓN DE DUCTOS.....	42
9.5	PROTECCIÓN DE LOS CIRCUITOS EN BAJA TENSIÓN.....	43
9.6	TABLAS PARA EL CÁLCULO DE REGULACIÓN.....	43



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

10	ANEXO No.1 CARACTERÍSTICAS DE CONDUCTORES .....	44
10.1	CONDUCTORES PARA REDES AÉREAS .....	45
10.1.1	Nivel de Tensión 1 .....	45
10.1.2	Nivel de Tensión 2 y Nivel de Tensión 3 .....	45
10.2	CONDUCTORES PARA REDES SUBTERRÁNEAS .....	46
10.2.1	Nivel de Tensión 1 .....	46
10.2.2	Nivel de Tensión 2 y Nivel de Tensión 3 .....	47
10.3	CONDUCTORES PARA ACOMETIDAS .....	49
11	ANEXO No.2 TABLAS DE CALCULO DE CONDUCTORES NORMALIZADOS .....	50
11.1	CONDUCTORES PARA REDES AÉREAS .....	51
11.1.1	Nivel de Tensión 1 .....	51
11.1.2	Nivel de Tensión 2 y Nivel de Tensión 3 .....	52
11.2	CONDUCTORES PARA REDES SUBTERRÁNEAS .....	52
11.2.1	Nivel de Tensión 1 .....	52
11.2.2	Nivel de Tensión 2 y Nivel de Tensión 3 .....	53
12	ANEXO No.3 METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA SECCIÓN ECONÓMICA DE CONDUCTORES .....	54
13	ANEXO No.4 CONSTANTES DE REGULACIÓN .....	59
13.1	CONDUCTORES PARA REDES AÉREAS .....	60
13.1.1	Nivel de Tensión 1 .....	60
13.1.2	Nivel de Tensión 2 y Nivel de Tensión 3 .....	61
13.2	CONDUCTORES PARA REDES SUBTERRÁNEAS .....	62
13.2.1	Nivel de Tensión 1 .....	62
13.2.2	Nivel de Tensión 2 y Nivel de Tensión 3 .....	64
14	ANEXO No.5 RADIOS DE CURVATURA DE CONDUCTORES .....	66



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

### Lista de Tablas

*Pág.*

Tabla 1. Normatividad de referencia .....	8
Tabla 2. Tipos de conductores eléctricos según su tipo de aislante y condiciones de uso .....	13
Tabla 3. Calibres normalizados para red pre-ensamblada .....	17
Tabla 4. Calibres normalizados para red semiaislada .....	18
Tabla 5. Calibres normalizados para red subterránea en baja tensión .....	19
Tabla 6. Calibres normalizados para red subterránea en media tensión .....	19
Tabla 7. Calibres normalizados para acometidas aéreas en baja tensión .....	21
Tabla 8. Calibres normalizados para acometidas aéreas en media tensión .....	22
Tabla 9. Calibres normalizados para acometidas subterráneas en media tensión .....	23
Tabla 10. Cargas básicas de diseño para vivienda unifamiliar .....	29
Tabla 11. Constante de soportabilidad al cortocircuito en conductores aislados sin pantalla .....	31
Tabla 12. Constantes de temperatura para cortocircuito en conductores con pantalla .....	31
Tabla 13. Factores de ajuste para pérdidas de potencia .....	34
Tabla 14. Valores de pérdidas técnicas máximas permitidas .....	34
Tabla 15. Límites de caída de tensión en porcentaje .....	35
Tabla 16. Equivalencias de calibre, diámetro y área .....	37
Tabla 17. Equivalencias entre cables de Cobre y Aluminio a 75°C .....	38
Tabla 18. Tipo de acometida según la carga instalada .....	38
Tabla 19. Porcentaje de la sección transversal en tubos conduit y tuberías, para el llenado de conductores .....	42
Tabla 20. Parámetros eléctricos de conductores para red pre-ensamblada .....	45
Tabla 21. Parámetros eléctricos de conductores para red semiaislada para 15 kV .....	45
Tabla 22. Parámetros eléctricos de conductores para red semiaislada para 35 kV .....	45
Tabla 23. Parámetros eléctricos de conductores para cables de baja tensión de Aluminio .....	46
Tabla 24. Parámetros eléctricos de conductores para cables de baja tensión de Cobre .....	47
Tabla 25. Parámetros eléctricos de conductores de Al XLPE para redes a 15 y 35 kV .....	47
Tabla 26. Parámetros eléctricos de conductores de Cu XLPE para redes a 15 kV .....	48
Tabla 27. Parámetros eléctricos de conductores de Cu XLPE para redes a 35 kV .....	48



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

Tabla 28. Parámetros eléctricos de conductores de acometida 600 V.....	49
Tabla 29. Impedancia de conductores de acometida.....	49
Tabla 30. Selección de conductores en redes aéreas pre-ensambladas en baja tensión.....	51
Tabla 31. Selección de conductores en redes aéreas semiaisladas en media tensión.....	52
Tabla 32. Selección de conductores en redes subterráneas en baja tensión.....	52
Tabla 33. Selección de conductores en redes subterráneas en media tensión.....	53
Tabla 34. Factores de corrección por temperatura para resistencia.....	58
Tabla 35. Constantes para cálculos de regulación de tensión red pre-ensamblada .....	60
Tabla 36. Constantes para cálculos de regulación de tensión red semiaislada 15 kV y 35 kV .....	61
Tabla 37. Constantes para cálculos de regulación de tensión conductores para cables de baja tensión de Aluminio .....	62
Tabla 38. Constantes para cálculos de regulación de tensión conductores para cables de baja tensión de Cobre .....	63
Tabla 39. Constantes para cálculos de regulación de tensión en redes de distribución subterránea en Aluminio en media tensión .....	64
Tabla 40. Constantes para cálculos de regulación de tensión en redes de distribución subterránea en Cobre en media tensión .....	65
Tabla 41. Constantes para cálculos de regulación de tensión en acometidas de baja tensión en Aluminio.....	65
Tabla 42. Radios mínimos de curvatura para conductores monopolares de Al aislados para 15 kV - Aislamiento 100% .....	67
Tabla 43. Radios mínimos de curvatura para conductores monopolares de Al aislados para 35 kV - Aislamiento 100% .....	67
Tabla 44. Radios de curvatura de los conductores monopolares de Cu aislados para 15 kV - Aislamiento 100% .....	68
Tabla 45. Radios mínimos de curvatura para conductores monopolares de Cu aislados para 35 kV - Aislamiento 100% .....	68



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

### Lista de Figuras

	<i>Pág.</i>
Figura 1. Conductores preensamblados .....	16
Figura 2. Modelo de crecimiento de carga tipo rampa .....	27
Figura 3. Radios de curvatura .....	39



## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

### 1 OBJETO

El Establecimiento Público Empresas Municipales de Cali, **EMCALI E.I.C.E. E.S.P.**, tiene el propósito de garantizar la más alta calidad de sus servicios a todos sus clientes, para lo cual establece las presentes Normas Técnicas sistematizando, normalizando y unificando materiales de los conductores, criterios de cálculo para un diseño óptimo, así como métodos constructivos para el correcto manejo y aplicación de la energía eléctrica en su Sistema de Distribución Local.

### 2 ALCANCE

Estas Normas Técnicas de conductores se aplican al sistema de distribución Nivel de Tensión III (34.500 V), Nivel de Tensión II (13.200 V) y Nivel de Tensión I (208/120 V y 240/120 V), en el municipio de Santiago de Cali y sus áreas de influencia en los municipios de Yumbo y Puerto Tejada.

Todos los conductores instalados en las redes de distribución del área de jurisdicción de **EMCALI** deben cumplir con lo estipulado en las secciones correspondientes a conductores de la NTC 2050 y con los artículos indicativos de Alambres y Cables para Uso Eléctrico del RETIE vigentes.

Su aplicación es de carácter obligatorio para el diseño, la revisión, validación y aprobación de proyectos por parte de los Ingenieros de **EMCALI** y para las firmas Contratistas de obras eléctricas, lo cual será de conveniencia en la planeación de nuevas instalaciones, en la renovación de las que están siendo utilizadas y/o en la conexión de nuevos equipos al Sistema de Distribución Local - SDL.

El alcance de aplicación de esta norma es para aquellos conductores que, por formar parte de redes de uso general, pasarán a ser activos de **EMCALI**. Las redes y los conductores que formen parte de los activos de conexión<sup>1</sup> de un usuario o cliente que estén comprendidos entre el punto de conexión y la frontera comercial incluyendo el elemento de medición, deberán cumplir con esta norma así no sean ni se vayan a convertir en activos de **EMCALI**. Adicionalmente estarán sujetos a verificación y aprobación por parte de las entidades de Inspección RETIE, formando parte de la certificación de uso final de la instalación. Consecuentemente con lo anterior, los proyectos de urbanizaciones que se presenten por particulares a través de firmas de consultoría para su revisión y aprobación deberán cumplir en un todo con estas normas.

Los conductores que forman parte de la instalación de uso final de un particular no están sujetos a cumplimiento de esta norma, toda vez que son de la jurisdicción del proceso de inspección RETIE, pero por su carácter eminentemente técnico y por estar armonizada con el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, se recomienda su adopción y utilización a las firmas de consultoría y de construcción de obras eléctricas.

<sup>1</sup> Activos de conexión: Son aquellos activos que son utilizados exclusivamente por un usuario final para conectarse a los Niveles de Tensión 3, 2 o 1 de un Sistema de Distribución Local - SDL.



## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

### 3 NORMATIVIDAD DE REFERENCIA

Todos los conductores a instalar en las redes de EMCALI estarán sujetos a los reglamentos, requisitos técnicos y procedimiento vigentes (o el que lo modifique o sustituya) contenidos en las siguientes normas y estándares que se citan en la Tabla 1.

Tabla 1. Normatividad de referencia

Ítem	Norma / Entidad	Descripción
1.	RETIE	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas
2.	NTC 2050	Código Eléctrico Colombiano
3.	ICONTEC 2186-1:2015	Cables con neutro concéntrico con tensión nominal entre 5 y 46 kV
4.	ICONTEC 2186-2:2015	Cables de potencia apantallados desde 5 hasta 46 kV para uso en transmisión y distribución de energía eléctrica.
5.	ASTM D1248	Standard Specification for Polyethylene Plastics Extrusion Materials for Wire and Cable
6.	ASTM D2132	Standard Test Method for Dust-and-Fog Tracking and Erosion Resistance of Electrical Insulating Materials
7.	ASTM-G-26	Practice for Operating Light-Exposure Apparatus (Xenon-Arc Type) With and Without Water for Exposure of Nonmetallic Materials
8.	ICEA - T- 32-645	Test Method for Establishing Volume Resistivity Compatibility of Water Blocking Components With Extruded Semiconducting Shield Materials
9.	UL-1072	Standard for Medium-Voltage Power Cables
10.	NTC 4334	Conductores de aluminio 1350 redondos cableado compacto (ASTM B400)
11.	NTC 308 (ASTM B231)	Conductores de Aluminio 1350 Cableado Concéntrico
12.	NTC 360 (ASTM B230)	Alambre de Aluminio 1350-H19 para Usos Eléctricos
13.	NTC 1743 (ASTM B233)	Alambrón de Aluminio 1350 para Usos Eléctricos
14.	NTC 309 (ASTM B232)	Conductores de Aluminio Cableado Concéntrico Reforzado con Núcleo de Acero Recubierto (ACSR)
15.	NTC 5909 (ASTM B401, 786)	Cables de potencia cubiertos (semiaislados) no apantallados de 15 000 voltios - 46 000 voltios, para uso en líneas aéreas de distribución de energía eléctrica
16.	NTC 2050	Código Eléctrico Colombiano.
17.	ASTM B 502	Standard Specification for Aluminum-Clad Steel Core Wire for Use in Overhead Electrical Aluminum Conductors
18.	NTC 461 (ASTM B498)	Alambres de Acero Recubiertos con Cinc, para la Fabricación de Cables de Aluminio Reforzados con Acero (ACSR)
19.	IEC 61089	Round wire concentric lay overhead electrical stranded conductors



## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

### 4 DEFINICIONES

Para la correcta comprensión de esta norma, se definen a continuación algunos términos utilizados en el contexto de esta norma y en este sentido deberán ser interpretados:

**AISLAMIENTO EN XLPE:** El polietileno reticulado es un polietileno termoplástico que se vulcaniza o reticula mediante el empleo de agentes químicos y/o físicos tales como presión, temperatura y vapor, reordenando de este modo las cadenas moleculares del polietileno termoplástico y obteniendo finalmente un polietileno con cadenas moleculares entrelazadas. Conserva las excelentes propiedades eléctricas que se evidencian en el polietileno termoplástico tales como: alta resistencia dieléctrica y de aislación, baja constante dieléctrica, bajo factor de pérdida y resistencia aumentada a la humedad.

El XLPE presenta características eléctricas y térmicas altamente mejoradas frente al PVC. Esto se debe a que es un material del tipo termoestable. Los materiales termoestables son aquellos que una vez reticulados, no cambiarán sus características sometidos a un aumento de temperatura y presión.

**CONDUCTIVIDAD:** La conductividad eléctrica del Cobre puro fue adoptada por la Comisión Electrotécnica Internacional en 1913 como la referencia estándar para esta magnitud, estableciendo el International Annealed Copper Standard (Estándar Internacional del Cobre Recocido) o IACS. Según esta definición, la conductividad del Cobre recocido medida a 20 °C es igual a 58,0 MS/m<sup>2</sup>. A este valor es a lo que se llama 100 % IACS y la conductividad del resto de los materiales se expresa como un cierto porcentaje de IACS. La mayoría de los metales tienen valores de conductividad inferiores a 100 % IACS pero existen excepciones como la plata o los Cobres especiales de muy alta conductividad designados C-103 y C-110.3.

**CONDUCTOR:** Material cuya resistencia al paso de la electricidad es muy baja. Los mejores conductores eléctricos son metales no magnéticos como el Cobre, el Aluminio y sus aleaciones entre otros, los cuales se consideran como conductores ideales de electricidad para las instalaciones eléctricas en general.

**CONDUCTOR CUBIERTO O SEMIAISLADO:** Es el formado por un conductor eléctrico con pantalla semiconductora extruida sobre este y con aislamiento-cubierta de polietileno de cadena cruzada (XLP), termoestable de color negro, resistente a las descargas (carbonización) superficiales, abrasión e intemperie. La protección del cable deberá incluir un compuesto que impida la filtración de humedad hacia su interior. El cubrimiento y el cable terminado deben estar de acuerdo con la norma para cable tipo "tree wire", deben tener en cuenta los ensayos de las normas ASTM D: 2132, 257, 1693, 3389 y las recomendaciones de las normas UL-1072, NEMA WC-7 y WC-5, en su última edición y serán instalados de acuerdo con lo indicado en la Sección 310-6 del NEC. De acuerdo con los diseños de los fabricantes pueden emplearse otras normas internacionalmente reconocidas equivalentes o superiores a las aquí señaladas siempre y cuando se ajuste a lo solicitado en el presente documento normativo.

**CONDUCTOR PREENSAMBLADO:** Es aquel que está conformada por dos (2) o tres (3) conductores de Aluminio AAC aislados en XLPE individualmente para las fases y por un conductor neutro de



## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

Aluminio ACSR aislado o desnudo dispuestos en forma helicoidal. El conductor neutro se denomina portante o mensajero porque cumple además la función mecánica de sostener los conductores de fase.

**CONDUCTOR PRIMARIO TRIPOLAR AUTOSOPORTADO O CON MENSAJERO:** Es el formado por tres conductores eléctricos aislados en XLPE para los niveles de tensión 2 y 3 extruidos alrededor de un mensajero, conductor portante o neutro construido en aluminio cubierto en polietileno de cadena cruzada (XLP), termoestable de color negro, resistente a las descargas.

**RESISTENCIA ELÉCTRICA:** Se le denomina resistencia eléctrica a la oposición al flujo de corriente eléctrica a través de un conductor. La unidad de resistencia en el Sistema Internacional es el Ohmio, que se representa con la letra griega omega ( $\Omega$ ), en honor al físico alemán Georg Simon Ohm, quien descubrió el principio que ahora lleva su nombre. Para un conductor de tipo cable, la resistencia está dada por la siguiente fórmula:

$$R = \rho * \frac{L}{S}$$

Donde  $\rho$  es el coeficiente de proporcionalidad o la resistividad del material, L es la longitud del cable y S el área de la sección transversal del mismo. Su magnitud recíproca es la conductancia, medida en Siemens [S].

## 5 TENSIONES NORMALIZADAS POR NIVEL

Las tensiones normalizadas y declaradas en las redes de distribución de **EMCALI**, para cada uno de los niveles de tensión establecidos por la regulación vigente en Colombia, son las indicadas a continuación. Por efectos de regulación en las redes de distribución tanto primaria como secundaria, en todos los niveles de tensión se podrán tener valores de tensión de alimentación declarada ( $V_c$ ), comprendidos entre -10 % y + 5,83 % tal como lo indica la NTC 1340.<sup>2</sup> Los ajustes finales para lograr estos valores se deben realizar mediante la selección de la posición del cambiador de derivaciones de los transformadores de distribución en cada punto de ubicación de la red.

### 5.1 TENSIÓN NORMALIZADA PARA NIVEL 1

En el Nivel de Tensión 1 las redes 3Ø - 4 hilos deberán tener como tensión nominal medida entre fases en bornes del transformador, con carga no inferior al 80% de su capacidad nominal, una tensión de 120/208 V.

En el Nivel de Tensión 1 las redes 2Ø - 3 hilos deberán tener como tensión nominal medida entre fases en bornes del transformador, con carga no inferior al 80% de su capacidad nominal una tensión de 120/240 V.

<sup>2</sup> Referenciada en la CREG 070-1998.



## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

### 5.2 TENSIÓN NORMALIZADA PARA NIVEL 2

En el Nivel de Tensión 2 las redes deberán tener como tensión nominal, medida entre fases, en el punto de conexión a la red 13.200 V.

### 5.3 TENSIÓN NORMALIZADA PARA NIVEL 3

En el Nivel de Tensión 3 las redes deberán tener como tensión nominal, medida entre fases, en el punto de conexión a la red 34.500 V.

## 6 TIPO DE CONDUCTORES

Desde el punto de vista del material conductor, comercialmente se tienen conductores de Cobre y conductores de Aluminio.

**EMCALI** adopta como criterio general el uso de conductores de Aluminio para la construcción de las redes de uso general tanto aéreas como subterráneas, en todos los niveles de tensión en el área de su jurisdicción.

Los conductores preensamblados para redes aéreas del Nivel de Tensión 1 serán de Aluminio del tipo AAC para las fases y ACSR para el neutro. El tipo de aislamiento de las fases en todos los casos será del tipo XLPE. Las redes particulares subterráneas en nivel 1 podrán construirse en Aluminio o Cobre siempre y cuando cumplan con esta norma y presenten los debidos certificados de conformidad con el RETIE. Para ello se incluyen en esta norma los parámetros eléctricos de cálculo que se deben aplicar.

Para los Niveles de Tensión 2 y 3, la red será semiaislada y todos los conductores serán de Aluminio del tipo ACSR. El tipo de aislamiento en todos los casos será del tipo XLPE. Para la red semiaislada deberán ser triple capa y tener sello contra humedad.

### 6.1 CONDUCTORES DE ALUMINIO

Los conductores de Aluminio para redes aéreas conforman las siguientes familias: AAC (All Aluminium Conductor o conductor de Aluminio), AAAC (All Aluminium Alloy Conductor o conductor de aleación de Aluminio) y ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced, conductor de Aluminio con refuerzo de acero).

#### 6.1.1 Conductor de Aluminio AAC–ASTM-B231/B231M

Los conductores de Aluminio AAC son conductores trenzados de Aluminio refinado con una pureza de metal mínima del 99,7 %. Se utilizan principalmente en zonas urbanas en las redes de distribución secundaria. Se pueden utilizar en zonas costeras gracias a su alto grado de resistencia a la corrosión.



## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

### 6.1.2 Conductor de Aleación de Aluminio AAAC-ASTM-B 399

Los conductores de Aluminio AAAC se utilizan como cables conductores desnudos o cubiertos en los circuitos aéreos que requieren una mayor resistencia mecánica que los AAC y una mejor resistencia a la corrosión que los ACSR. Las características de “flecha/tracción o hundimiento” y la relación resistencia-peso del cable conductor AAAC son mejores que las de los cables AAC y ACSR.

### 6.1.3 Conductor de Aluminio con Refuerzo de Acero ACSR-ASTM-B 232

Alambres de aluminio 1350-H19 cableados concéntricamente, alrededor de un núcleo de acero recubierto con zinc. El recubrimiento de zinc del núcleo normalmente es clase A (ACSR/GA) y clase C (ACSR/GC). El núcleo puede ser un alambre de acero o un torón, conformado por 7 o 19 alambres cableados en forma concéntrica.

Los conductores ACSR con mayor resistencia se utilizan habitualmente para instalaciones en las que existen tramos extralargos. Frente a una resistencia determinada se puede fabricar el conductor ACSR con distintas resistencias a la tracción, de manera que una alta resistencia a la tracción combinada con sus propiedades ligeras permitiría cubrir distancias más largas con menos soportes. Debido al diámetro mayor del conductor ACSR se puede obtener un límite de descarga luminosa mucho mayor, lo que resulta ventajoso en líneas suspendidas de alta y muy alta tensión.

### 6.1.4 Conductor Concéntrico Antifraude para Acometidas Individuales

Los cables de aluminio concéntricos deberán cumplir con las normas ASTM B800 (NTC 5535), ASTM B801, UL 1581 NTC 3203) y UL 854 (NTC 4564).

Los conductores de fase dispondrán de una capa aislante de XLPE, con una temperatura de trabajo de hasta 90°C. Sobre los hilos que conforman el neutro se dispondrá de una capa aislante de PVC retardante a la llama, resistente al calor, los rayos solares, la humedad y la abrasión.

Los conductores concéntricos de aluminio estarán formados por alambres de aluminio serie 8000 clase B, la composición química deberá estar de acuerdo con la norma ASTM B800 en el inciso 4.

La composición química de los conductores de aluminio concéntricos será conforme con el ítem 4 de la norma ASTM B800 y estarán formados por alambres de aluminio Clase B de la serie 8000. La relación de las sucesivas capas de los alambres se ajustará a lo establecido en el apartado 6 de la norma ASTM B801.

El conductor concéntrico contará con un recubrimiento de XLPE clase 43 según la norma UL 1581. El color del recubrimiento del aislamiento de las fases deberá estar de acuerdo con el Artículo 11.4 del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), o el que lo modifique o sustituya.



## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

Las características dimensionales de los conductores de Aluminio se ajustarán a lo establecido en el apartado 7 de la Norma ASTM B801.

### 6.2 CONDUCTORES DE COBRE

Si bien los conductores de Cobre tienen mejor comportamiento eléctrico y mecánico, comparado con el Aluminio, su alto costo, su peso específico y la alta proclividad al robo hacen que este tipo de conductor no se recomiende para el uso de redes de uso general en ninguno de los niveles de tensión. No obstante, las acometidas individuales y las redes particulares para el Nivel de Tensión 1 podrán seguir diseñándose y construyendo con conductores de Cobre.

### 6.3 TIPOS DE AISLAMIENTO EN CONDUCTORES

Los tipos de aislamiento y las aplicaciones previstas o usos permitidos de los conductores en baja tensión los define la NTC 2050 en la Sección 310 la cual se resume en Tabla 310-13 primera actualización o en la Tabla 310.104 (A) de la segunda actualización de las cuales se ha extraído los que esta norma da como aceptados para usos en las redes de su jurisdicción. Ver Tabla 2

Para redes preensambladas solo se admitirá el XLPE con triple capa.

Para redes subterráneas se aceptarán con aislamiento THHW/THWN-2, XHHW-2, RHW-2/USE-2 o UF, tanto para conductores de Cobre como en Aluminio.

Para media tensión a nivel de 15 kV y de 34,5 kV se aceptarán el XLPE y el EPR.

Tabla 2. Tipos de conductores eléctricos según su tipo de aislante y condiciones de uso

Tipo de Aislante	Norma	Temperatura Máxima (°C)	Material Aislante	Cubierta Protectora	Utilización
THHW/THWN-2	NTC 1332	90	Termoplástico, resistente al calor y a la humedad, retardador de la flama	Ninguna	Locales secos y húmedos
RHW-2	NTC 3277 NTC 4564	90	Hule resistente al calor y a la humedad	Resistente a la humedad, retardadora de la flama	Locales secos y húmedos
XHHW-2	NTC 3277 NTC 4564	75	Polietileno vulcanizado, retardador de la flama	Ninguna	Locales húmedos
		90		Ninguna	Locales secos
UF	NTC 4564	75	Resistente al calor y a la humedad	Integral al aislamiento	Para uso subterráneo, en ducto o directamente enterrado
Triplex URD	ICEA S 81-570	90	Resistente al calor y a la humedad	Ninguna	Para uso en distribución subterránea, en ducto o directamente enterrado



## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

Tipo de Aislante	Norma	Temperatura Máxima (°C)	Material Aislante	Cubierta Protectora	Utilización
Cuádruplex URD	ICEA S 81-570	90	Resistente al calor y a la humedad	Ninguna	Para uso en distribución subterránea, en ducto o directamente enterrado
USE	NTC 4564	75	Resistente al calor y a la humedad	No metálica, resistente a la humedad	Acometidas subterráneas como alimentador o circuitos derivados subterráneos
XLPE	NTC 2186, ICEA S-93-639	90	Resistente al calor y a la humedad	Resistente a la humedad, retardadora de la flama	Cables semiaislados y acometidas subterráneas como alimentador o circuitos derivados subterráneos

Letras de designación del aislamiento:

**R:** Aislamiento Termofijo (reticulado) o Caucho (EPR).

**T:** Aislamiento termoplástico.

**X:** Aislamiento en Polietileno Reticulado.

**H:** Resistente al calor hasta 75 °C.

**HH:** Resistente al calor hasta 90 °C.

**W:** Resistente a la humedad.

**UF:** Para uso subterráneo.

**N:** Cubierta de nylon.

**-2:** Para operación a 90°C, condiciones húmedas o mojadas, sin que cambie su capacidad de conducción.

### 6.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y ELÉCTRICAS DE LOS CONDUCTORES

Las características físicas principales de un conductor son su área, diámetro, espesor y tipo de aislamiento, diámetro total o su sección de área total. Estas características se pueden obtener de los catálogos de los fabricantes los cuales se basan en las Tablas 5 y 5A del Capítulo 9 de la NTC 2050.

De estas características físicas se derivan sus principales características eléctricas tales como resistencia  $R_{DC}$  a 20°C<sup>3</sup>, capacidad de corriente y resistencia al cortocircuito. Con estos parámetros se puede definir el nivel de tensión máxima de alimentación y calcular sus valores de resistencia  $R_{AC}$  a 75°C. Son la base también para la estimación de su comportamiento en el sistema instalado tales como pérdidas en potencia y energía y la cantidad de conductores posibles de alojar en una canalización

<sup>3</sup> Tomada como base para especificar el valor de la resistencia eléctrica de cualquier conductor eléctrico.



## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

específica. También se puede calcular la Impedancia en función de la configuración en el espacio la cual define la DMG<sup>4</sup> y el tipo de canalización en el cual se piensa instalar.

Para conductores con trenzado clase B instalados en canalizaciones tipo tubo hasta 600 V, 60 Hz y resistencia referida a 75°C en sistemas de tres conductores transportando corriente se tienen valores de resistencia, reactancia e impedancia a factor de potencia = 0,85 los indicados en la Tabla 9 del Capítulo 9 de la NTC 2050.

Para otros factores de potencia se debe calcular la impedancia teniendo en cuenta que esta se comporta de conformidad con la siguiente ecuación.

$$Z = R \cos \phi + X \sin \phi$$

Donde,

- Z Impedancia
- R Resistencia en corriente alterna referida a 75°C.
- X Reactancia inductiva en función del tipo de canalización.
- $\phi$  Angulo del factor de potencia.

Las características físicas y eléctricas de los diferentes conductores a utilizar en las redes de propiedad de **EMCALI** y las que por su instalación puedan convertirse en redes de uso general se presentan en las Tablas del Anexo No.1 de esta norma.

Estas tablas deberán ser tomadas como guía para los cálculos de conductores en redes particulares.

## 7 CALIBRES NORMALIZADOS PARA USO EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE EMCALI

### 7.1 CONDUCTORES PARA REDES AÉREAS

Las redes de distribución se apoyarán sobre postes de concreto, metal, fibra de vidrio, u otros materiales desarrollados para este uso, mediante elementos de soporte y fijación adecuados para cada estructura de soporte, colocando templetos o retenidas en aquellas estructuras o conjuntos donde las condiciones mecánicas así lo requieran.

#### 7.1.1 Nivel de Tensión 1

Las redes aéreas del Nivel de Tensión 1 deben ser pre-ensambladas, con conductores, tríplex o cuádruplex de Aluminio, tipo AAC (All Aluminium Conductor), cableados concéntricos clase B, con

<sup>4</sup> DMG Distancia media geométrica la cual permite calcular la reactancia mutua entre conductores.

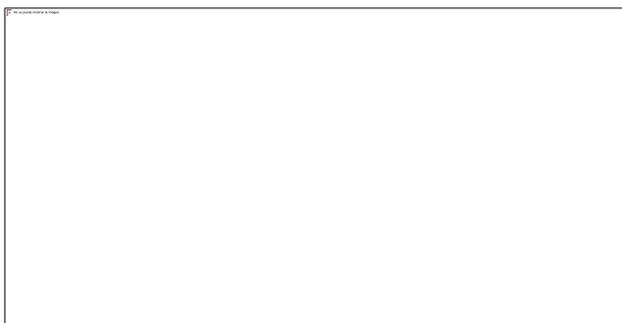


NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

7 hilos de Aluminio duro (estirado en frío) para las fases. El conductor neutro el cual sirve como portante o mensajero, debe ser del tipo ACSR (Aluminium Cable Steel Reinforced) compuesto por 6 alambres de Aluminio y uno de acero, con conductividad mínima del 61% a 20°C. Las fases y el mensajero o conductor neutro deben estar aisladas en polietileno reticulado para 90° C.



*Figura 1. Conductores preensamblados*

Para redes pre-ensambladas las uniones entre conductores se realizarán mediante conectores de perforación aislados. En las estructuras o conjuntos terminales cada conductor de fase se rematará mediante un conector de perforación aislado, tal como se muestra en la Norma de Red Pre-ensamblada.

Los conductores de los circuitos ramales correspondientes a un transformador deberán ser continuos entre los extremos terminales de cada ramal. Por lo tanto, no se permitirán empalmes en la red secundaria. Como regla general las redes aéreas en el Nivel de Tensión 1, deben ser 3Ø - 4 hilos en configuración TNC con neutro aterrizado en el transformador, a menos que **EMCALI** en el documento donde se establecen los datos básicos o factibilidad del servicio, indique que puedan ser 2Ø - 3 hilos. En todos los casos debe haber una coincidencia entre el número de fases del transformador que alimenta la red y el número de conductores de fase de la red asociada con este. Los extremos de los cables en finalizaciones de circuito y los puntos de empalme con conectores convencionales se deben cubrir con tapones adecuados para tal fin o con cinta auto fundente y una capa de cinta aislante, para protegerlos contra contactos accidentales y entrada de humedad al cable.

Los calibres normalizados para redes aéreas asociadas con distribución secundaria están en función de las potencias de los transformadores a los cuales se conectan, de la topología de la red <sup>5</sup>, del cumplimiento de los demás criterios que se deben tener para seleccionar un conductor de conformidad con RETIE y del reconocimiento máximo de pérdidas establecido por la CREG.

Los calibres calculados por estos criterios se establecen en la Tabla 3.

<sup>5</sup> Toda vez que esta exige de una ampacidad mínima



## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

*Tabla 3. Calibres normalizados para red pre-ensamblada*

### 7.1.2 Nivel de Tensión 2 y Nivel de Tensión 3

Los conductores para las fases del Nivel de Tensión 2 y Nivel de Tensión 3 deben ser semiaislados en polietileno reticulado para 90° C con una pantalla semiconductor sobre el conductor, una cubierta de polietileno reticulado (XLPE) termoestable y una capa semiconductor sobre la cubierta (triple capa). Deben estar construidos en Aluminio ACSR con conductividad mínima del 61% a 20°C, compuestos por de 6 hilos de Aluminio y 1 de acero hasta el 3/0 AWG, 20 hilos de Aluminio y 1 de acero para el 4/0 AWG por 18 hilos de Aluminio y 1 de acero para los calibres 266,8 kcmil y el 336,4 kcmil. El conductor portante, mensajero o neutro para Nivel de Tensión 2 y Nivel de Tensión 3 debe ser de Aluminio ACSR compuestos de 6 hilos de Aluminio y 1 de acero hasta el 4/0 AWG tal como se indica en la Norma de Red Semiaislada de **EMCALI**. El mensajero o neutro no requiere estar aislado.

Las redes primarias deberán ser trifásicas con neutro y podrán tener las siguientes configuraciones:

- Compacta con conductor semiaislado.
- Compacta con conductor aislado.
- Convencional horizontal a nivel, simétrica, asimétrica o en H con conductor semiaislado o aislado.

Todas las redes urbanas y rurales proyectadas en los Niveles de Tensión 2 y 3 serán en configuración compacta con conductores semiaislados, (cubiertos) o aislados. Eventualmente se permitirá diseñar una red aérea convencional en configuración plana simétrica, plana asimétrica o triangular, pero con conductores de fase semiaislados soportados en aisladores tipo line post para el nivel de tensión adecuado. En este caso se deberá instalar al nivel inferior del angular que soporta las crucetas, el conductor neutro semiaislado, el cual también se deberá instalar sobre aisladores. Allí donde las condiciones de instalación debido a distancias de seguridad o por arborización densa, no permitan la configuración compacta se deberá proyectar cable aislado en XLPE tríplex autosoportado o con mensajero para uso aéreo.

Como la configuración de red compacta con conductores semiaislados obliga la instalación de un conductor mensajero el cual puede y debe hacer las veces de neutro del tendido primario, las nuevas redes de Niveles de Tensión 2 y 3 deben ser 3Ø - 4 hilos como regla general a menos que **EMCALI**,



## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

en el documento donde se establecen los datos básicos o factibilidad del servicio, indique que sean 2Ø - 3 hilos.

Los calibres normalizados para redes aéreas de distribución primaria están en función de los criterios establecidos por la norma de Arquitectura de red, del cumplimiento de los demás criterios que se deben tener para seleccionar un conductor de conformidad con RETIE y del reconocimiento máximo de pérdidas establecido por la CREG.

Los calibres calculados por estos criterios se establecen en la Tabla 4.

*Tabla 4. Calibres normalizados para red semiaislada*

CALIBRES ÓPTIMOS RED SEMIAISLADA		
TENSIÓN	CALIBRE FASES	CALIBRE MENSAJERO-NEUTRO
NIVEL 2 Y 3	1/0 AWG (53,50 mm <sup>2</sup> )	2 AWG (33,62 mm <sup>2</sup> )
NIVEL 2 Y 3	4/0 AWG (107,21 mm <sup>2</sup> )	1/0 AWG (53,50 mm <sup>2</sup> )
NIVEL 2 Y 3	266,8 AWG (157,59 mm <sup>2</sup> )	4/0 AWG (107,21 mm <sup>2</sup> )
NIVEL 2 Y 3	477 AWG (241,70 mm <sup>2</sup> )	4/0 AWG (107,21 mm <sup>2</sup> )

## 7.2 CONDUCTORES PARA REDES SUBTERRÁNEAS

Los conductores para las redes subterráneas primarias deberán ser en Aluminio AAC (B) aislados en XLPE con pantalla de Cobre del tipo cinta o fleje y el nivel de asilamiento al 100%.

Los conductores para las redes subterráneas secundarias podrán ser de Cobre suave recocido o de Aluminio serie 8000, cableado concéntrico clase B y aislado para 60 °C, 75 °C, o 90°C, pero teniendo en consideración el límite térmico del menor equipo conectado a la red, de acuerdo con la Sección 110-14c de la NTC 2050, segunda actualización. El tipo de aislamiento será el UF, USE, RHH/RHW-2, o el THHN/THWN-2 de acuerdo con el tipo de instalación.

### 7.2.1 Nivel de Tensión 1

Los calibres normalizados para redes aéreas de distribución secundaria subterránea están en función de las potencias de los transformadores a los cuales se conectan, de la topología de la red <sup>6</sup>, del cumplimiento de los demás criterios que se deben tener para seleccionar un conductor de conformidad con RETIE y del reconocimiento máximo de pérdidas establecido por la CREG.

Los calibres calculados por estos criterios se establecen en la Tabla 5.

<sup>6</sup> Toda vez que esta exige de una ampacidad mínima

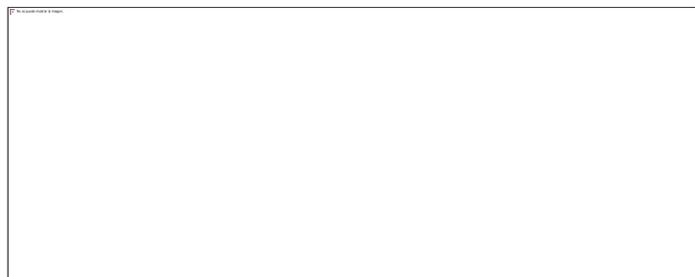


NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

Tabla 5. Calibres normalizados para red subterránea en baja tensión



Las redes deben ser trifásicas, 120/208 V, con tres conductores independientes para alumbrado público, dos para las fases y el hilo de tierra, que irán por tubería también independiente.

En todos los casos, los conductores de fase y neutro para los sistemas trifásicos se calcularán y especificarán de acuerdo con los lineamientos del RETIE artículo 20.6.3.2 literal q.

Los conductores aislados deben indicar su designación, sección nominal en AWG y mm<sup>2</sup> además del nombre del fabricante. Esta marca estará indicada en la cubierta exterior del conductor como lo indica el RETIE.

### 7.2.2 Nivel de Tensión 2 y Nivel de Tensión 3

Los conductores deberán ser monopares de Aluminio aislado 100% en polietileno reticulado (90°C) para 15 kV, en el caso de las redes a 13,2 kV y para 35 kV en el caso de las redes a 34,5 kV. Igualmente se podrá utilizar el conductor tripolar autosoportado o con mensajero XLPE utilizado para redes aéreas.

Los calibres normalizados para redes subterráneas de distribución primaria están en función de los criterios establecidos por la norma de Arquitectura de red, del cumplimiento de los demás criterios que se deben tener para seleccionar un conductor de conformidad con RETIE y del reconocimiento máximo de pérdidas establecido por la CREG.

Los calibres calculados por estos criterios se establecen en la Tabla 6.

Tabla 6. Calibres normalizados para red subterránea en media tensión

CALIBRES ÓPTIMOS RED SUBTERRÁNEA MT	
TENSIÓN	CALIBRE FASES
NIVEL 2 Y 3	1/0 AWG (53,50 mm <sup>2</sup> )
NIVEL 2 Y 3	4/0 AWG (107,21 mm <sup>2</sup> )
NIVEL 2 Y 3	500 kcmil (253,35 mm <sup>2</sup> )
NIVEL 2 Y 3	750 kcmil (380,02 mm <sup>2</sup> )



## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

Los circuitos primarios deberán ser trifásicos con o sin neutro. Y solo para tramos largos se exigirá el hilo neutro o de tierra.

### 7.3 CONDUCTORES PARA ACOMETIDAS

Se denomina acometida secundaria la que se deriva de la Red de Distribución de baja tensión o desde los bornes secundarios de un transformador de distribución para alimentar un predio con una cuenta individual o múltiple.

Se denomina acometida primaria la que se deriva de la red de distribución de media tensión a 13,2 kV o 34,5 kV para alimentar una subestación<sup>7</sup> de un predio.

#### 7.3.1 Acometidas Aéreas

##### 7.3.1.1 Nivel de Tensión 1

Las acometidas desde redes aéreas en baja tensión serán aéreas, en conductor de Aluminio cableado concéntrico del tipo antifraude, continua y sin empalmes entre la caja de derivación o desde la red de distribución y el medidor alojado en la caja correspondiente según el Capítulo 4 Instalación y Medida de la Norma de Diseño de Redes de Media y Baja Tensión. El cliente individual podrá suministrar el conductor de acometida en cobre.

Los calibres normalizados para acometidas aéreas de distribución secundaria aéreas están en función del tipo de servicio y de la carga básica asignada <sup>8</sup>, del cumplimiento de los demás criterios que se deben tener para seleccionar un conductor de conformidad con RETIE y del reconocimiento máximo de pérdidas establecido por la CREG.

Para la selección de la acometida se debe efectuar el siguiente procedimiento:

- Identificar el tipo de instalación (residencial, comercial, industrial).
- Cálculo de la carga instalada de la instalación (ver Capítulo 2 de la NTC 2050).
- Cálculo de la carga demandada de la instalación. (ver Capítulo 2 de la NTC 2050).
- Especificar el tipo de acometida (monofásica, trifilar, bifásica o trifásica).
- Selección del calibre de la acometida de acuerdo con la longitud y la carga, teniendo en cuenta cumplir las exigencias de regulación de tensión.
- Selección del ducto para la acometida.

<sup>7</sup> Es una instalación destinada a establecer los niveles de tensión adecuados para la transmisión y distribución de la energía eléctrica. Su equipo principal es el transformador.

<sup>8</sup> Toda vez que esta exige de una ampacidad mínima



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

Se admite máximo una caída de tensión del 2% en la acometida.

Los calibres calculados por estos criterios se establecen en la Tabla 7.

*Tabla 7. Calibres normalizados para acometidas aéreas en baja tensión.*

Las acometidas de baja tensión podrán ser aéreas para cargas instaladas a conectarse con calibres iguales o menores al 2 AWG.

### 7.3.1.2 Nivel de Tensión 2 y Nivel de Tensión 3

Las acometidas, desde redes aéreas en media tensión podrán ser aéreas, en conductor de Aluminio semiaislado o aislado. Todo predio que posea más de un transformador particular deberá instalar todos los transformadores dentro del predio y alimentarlos desde una acometida en media tensión.

Si un predio requiere más de una acometida en media tensión cada una de ellas debe llegar a un mismo sitio de la edificación y por medio de un equipo de maniobra automático seleccionar la alimentación alterna o normal, sin permitir que accidentalmente se interconecten ambos circuitos primarios, el equipo de maniobra debe tener por lo tanto enclavamiento mecánico y previamente deben haberse faseado los circuitos para evitar el cambio de secuencia de fases en el lado de la carga.

Para nuevos proyectos, en ningún caso se permitirán empalmes en conductores de media tensión.

Los calibres normalizados para acometidas de distribución primaria aéreas están en función del tipo de servicio y de la carga básica asignada <sup>9</sup>, del cumplimiento de los demás criterios que se deben tener para seleccionar un conductor de conformidad con RETIE y del reconocimiento máximo de pérdidas establecido por la CREG.

Los calibres calculados por estos criterios se establecen en la Tabla 8.

<sup>9</sup> Toda vez que esta exige de una ampacidad mínima



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

Tabla 8. Calibres normalizados para acometidas aéreas en media tensión

Las acometidas aéreas se construirán de acuerdo con la Norma de Red Semiaislada, en la que se presentan apoyos, conjuntos y retenidas en media tensión, las cuales deben ser trifásicas.

Toda acometida aérea en media tensión deberá poseer, en el punto de conexión a la red en media tensión, una protección de sobrecorriente consistente en un juego de cortacircuitos con fusibles para cargas iguales o menores a 200 A, para cargas mayores a 200 A en los datos básicos se especificará el uso de seccionadores con fusibles o reconectador con indicadores de falla en cada una de las fases, dependiendo de la carga a alimentar. En todos los casos en que sea necesario instalar reconectores, **EMCALI** entregará las condiciones de ajuste del mismo garantizando con ello que el diseñador y el constructor puedan realizar la necesaria coordinación entre estas protecciones.

Las protecciones deberán conectarse a la red mediante conductores que puedan soportar la carga que se va a alimentar, del mismo material de la red con conectores bimetálicos de compresión (2 por conductor).

### 7.3.2 Acometidas Redes Subterráneas

Los calibres normalizados para acometidas subterráneas de distribución primaria están en función del tipo de servicio y de la carga básica asignada<sup>10</sup>, del cumplimiento de los demás criterios que se deben tener para seleccionar un conductor de conformidad con RETIE y del reconocimiento máximo de pérdidas establecido por la CREG.

En el caso de acometidas subterráneas deberá ser en conductor monopolar Aluminio aislado 100% en polietileno reticulado (90°C) para 15 kV en el caso de acometidas a 13,2 kV, y para 35 kV en el caso de acometidas a 34,5 kV.

Los calibres calculados por estos criterios se establecen en la Tabla 9, el calibre 2 AWG aplica exclusivamente para conductor en cobre; para 34.5 kV el calibre mínimo es 1/0 AWG.

<sup>10</sup> Toda vez que esta exige de una ampacidad mínima

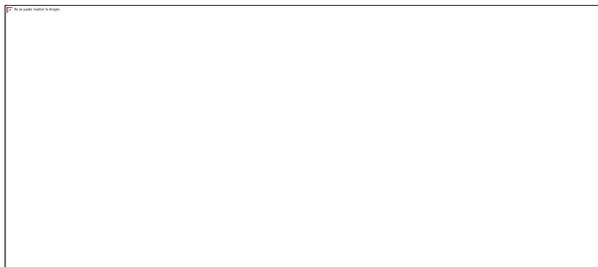


NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

*Tabla 9. Calibres normalizados para acometidas subterráneas en media tensión*



Toda acometida subterránea, en el poste del punto de conexión, deberá conducirse a través de un ducto metálico galvanizado fijado al poste de mediante cintas y hebillas de acero inoxidable. En el tramo subterráneo el ducto debe ser de PVC. Al pie del poste deberá construirse, como mínimo, una cámara de inspección u otra cámara de mayor tamaño dependiendo de la longitud y calibre de la acometida.

Los alimentadores y las acometidas subterráneas, que se construirán de acuerdo con lo indicado en el Capítulo 7, Cámaras y Canalización de la Norma de Diseño de Media y Baja Tensión, deben ser trifásicas.

Toda acometida subterránea en media tensión deberá poseer, en el punto de conexión a la red en media tensión aérea, una protección de sobrecorriente y una protección de sobretensión, consistente en un dispositivo descargador de sobretensión, que se instalará en el poste de arranque aguas abajo de la protección contra sobrecorriente. Este apoyo o poste, en consecuencia, debe tener un solo tipo de conjunto básico existente, para poder realizar el arranque desde un conjunto terminal que se localizará en un segundo nivel. Sobre este conjunto deben localizarse la protección contra sobrecorriente y el dispositivo descargador de sobretensión. Tal como se indica en las normas de construcción, sobre una cruceta localizada debajo deberán instalarse los respectivos terminales premoldeados.

La conexión de los descargadores de sobretensiones a los bornes de los equipos a proteger se realizará de acuerdo con el RETIE, como indica Figura 20.2 mediante el conductor que arroje el cálculo indicado en el Artículo 15.3.2 y en el material que le permitan las Notas 1, 2 y 3 de la Tabla 15.3, pero en ningún caso se especificarán en un conductor de calibre inferior al # 4 AWG en Cu o # 2 AWG en Aluminio. Esta conexión se hará utilizando los terminales de los equipos.

Las pantallas del cable monopolar deberán cortocircuitarse en los dos extremos de la acometida, pero deben estar conectadas al sistema de puesta a tierra, solo en uno de los extremos, preferiblemente en el lado de llegada de la acometida al sistema principal de puesta a tierra de la instalación, tal como lo indica el Capítulo 11, Sistema de Puesta a Tierra de la Norma de Diseño de Media y Baja Tensión.



## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

### 7.4 TRANSICIÓN AÉREA - SUBTERRÁNEA

Las acometidas y redes de distribución aéreas en baja tensión y en media tensión requieren en algunos casos como en el cruce de vías o continuidad de la red en puentes peatonales, de transiciones aérea-subterránea o aérea-subterránea-aérea. Esto implica la necesidad de hacer puentes verticales o bajantes los cuales deben garantizar las mismas condiciones de la conducción, regulación, pérdidas y cortocircuito de la red que los alimenta.

#### 7.4.1 Bajantes y Puentes

Los bajantes para conexión de acometidas subterráneas o transformadores y alimentadores de pases subterráneos se dimensionan en función de la carga, pero en todos los casos se deberán construir como mínimo en conductor de Cu # 4 DD semiaislado. La conexión a la red de la cual se deriva y en la continuación de la misma se hará como se indica en la Norma de Construcción al igual que la conexión a los equipos de seccionamiento y protección contra sobretensiones y sobreintensidades, de las acometidas subterráneas y/o de los transformadores.

#### 7.4.2 Nivel de Tensión 1

Las transiciones aérea - subterránea en baja tensión para acometidas subterráneas y redes aéreas se deberán construir con cables aislados <sup>11</sup> del calibre calculado apropiado para garantizar como mínimo la ampacidad de la carga o del circuito aéreo que se va a conectar<sup>12</sup>.

El ducto metálico llegará como mínimo al pie de cada poste, tal como se indica en las normas de construcción. Posteriormente los conductores, en el tramo subterráneo, se llevarán en, al menos un ducto PVC<sup>13</sup>, hasta una cámara de baja tensión (BT), hasta el punto de entrega y/o del punto de medición de la carga a conectar.

En todos los casos los ductos metálicos y las curvas a instalar para la transición aérea - subterránea deben llegar a ras de piso a un ducto y una curva PVC las cuales deben quedar embebidos en concreto con una pendiente no inferior al 2% de forma tal que se garantice que el tubo metálico quede protegido contra corrosión y de la curva a una cámara de baja tensión (BT) al pie de cada poste. Se podrá utilizar tubería plástica resistente la radiación ultravioleta y a los impactos, certificada para estos usos.

<sup>11</sup> Los aislamientos permitidos para redes subterráneas en aluminio y cobre son el USE, UF, RHHW-2.

<sup>12</sup> Se debe tener en cuenta que los conductores al alojarse en ducto se deben afectar por el factor de temperatura y agrupamiento indicados en las Tabla 310-16 y la Nota 8 Factores de ajuste de la NTC 2050 primera actualización o 310.15 (B) (16) y 310.15 (B)(3)(a) de la segunda actualización.

<sup>13</sup> Preferiblemente dos ductos dejando al menos uno de reserva con los debidos sellos en cada extremo.



## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

### 7.4.3 Nivel de Tensión 2 y Nivel de Tensión 3

Las transiciones aérea - subterránea para acometidas en media tensión se deberán construir con cables aislados en XLPE o EPR del calibre apropiado para garantizar la ampacidad de la carga a conectar, en todos los casos se deberán instalar DPS en ambos extremos según lo estipulado en el artículo 20.14.2 del RETIE.

Para circuitos alimentadores o ramales primarios se deberán construir con cables aislados en XLPE del calibre apropiado para garantizar como mínimo la ampacidad del circuito aéreo que se va a continuar. En todos los casos se deberá garantizar que se cumpla con los criterios de ampacidad, regulación, cortocircuito y pérdidas. Eventualmente se podrán utilizar para los pases subterráneos los conductores tripolares con mensajero o neutro el tipo XLP-TR.

El tramo aéreo-subterráneo se realizará mediante conductor monopolar de Cobre o Aluminio aislado 100% en polietileno reticulado (90°C) para 15 kV, en redes de 13,2 kV y para 35 kV, en redes de 34,5 kV, a través de ductos metálicos galvanizados, fijados al apoyo o poste mediante cintas y hebillas de acero inoxidable y PCV en el tramo subterráneo como se indica en la Norma de Construcción.

Se deberá aterrizar la pantalla en uno o los dos extremos tal como se indica en la Norma de Puesta Tierra.

Los ductos metálicos llegarán, como mínimo, a una cámara de inspección (I) para calibres 2 AWG (33,62 mm<sup>2</sup>) y 1/0 AWG (53,50 mm<sup>2</sup>) o cámara de tiro para calibres mayores, al pie de cada poste, tal como se indica en la Norma de Construcción. Posteriormente los conductores, en el tramo subterráneo, se llevarán en un ducto PVC, hasta el poste, donde la red continuará siendo aérea.

Para el caso de bajantes, el ducto metálico necesario en cada extremo del pase subterráneo llegará como mínimo, a una cámara de inspección (I) al pie de cada poste, tal como se indica en la Norma de Construcción. Posteriormente los conductores, en el tramo subterráneo, se llevarán en, al menos un ducto PVC<sup>14</sup>, hasta otra caja de inspección u otra cámara de las indicadas en la Norma de Construcción, dependiendo de la configuración de la red.

En todos los casos los ductos metálicos y las curvas a instalar para la transición aérea - subterránea deben llegar a ras de piso a un ducto y una curva PVC las cuales deben quedar embebidos en concreto con una pendiente no inferior al 2% de forma tal que se garantice que el tubo metálico quede protegido contra corrosión y de la curva a una cámara de baja tensión (BT) o a una cámara de inspección (I) al pie de cada poste. Se podrá utilizar tubería plástica resistente la radiación ultravioleta y a los impactos, certificada para estos usos.

Los conductores monopolares se seleccionarán de acuerdo con la carga que se va a alimentar.

<sup>14</sup> O los necesarios de acuerdo con el calibre del circuito ramal y las necesarias reservas que se indiquen por Planeación de Energía en la Factibilidad o Datos Básicos. Los ductos utilizados y no utilizados deben sellarse en los dos extremos.



## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

Las uniones entre los conductores subterráneos en Cobre o Aluminio y los conductores aéreos se realizarán mediante terminales premoldeados tipo exterior para cada uno de los niveles de tensión correspondientes.

En cada poste donde se efectúe la transición se instalará un juego de descargadores de sobretensiones, aguas abajo de la protección contra sobrecorriente necesaria en el punto de conexión.

Los terminales premoldeados de la acometida subterránea o los pases subterráneos se conectarán directamente a los cortacircuitos o dispositivo de protección, o de maniobra o mediante puentes verticales o bajantes en cable de Cobre o Aluminio del calibre apropiado para garantizar la ampacidad de la carga a conectar.

### 8 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE CONDUCTORES

De conformidad con RETIE todo conductor se debe seleccionar por el criterio de capacidad de conducción en amperios aplicándole el factor de cargabilidad y/o de seguridad donde sea necesario y de soportabilidad al cortocircuito, una vez se cumplan estas dos condiciones inherentes al conductor se deberá verificar por regulación y se deberá comprobar por el criterio de pérdidas mínimas.

#### 8.1 CRITERIOS DE PLANEAMIENTO DE CIRCUITOS. SELECCIÓN DE LOS CONDUCTORES POR POTENCIA A TRANSMITIR-TOPOLGIA.

Para las redes secundarias asociadas con transformadores de distribución, se debe seleccionar una topología tal que permita localizarlo preferiblemente en el centro de carga de forma tal que los ramales sean lo más simétricos que se pueda y que permitan garantizar la regulación óptima y las menores pérdidas con el menor calibre. (Ver Capítulo 5, Transformadores de la Norma de Diseño Media y Baja Tensión y la Norma de Arquitectura de Red). Por ello los conductores deben tener la capacidad suficiente para permitir esta condición.

Para seleccionar el calibre adecuado de los conductores en las redes primarias tanto aéreas como subterráneas en la etapa de diseño, debe tenerse en cuenta el criterio de suplencia con otro circuito fijado en la Norma de Arquitectura de Red y los criterios de ubicación de cámaras subterráneas y de las canalizaciones, así como los criterios establecidos en el POT de cada ciudad, para la intervención en el espacio público. Como regla general las redes de distribución primaria serán de tipo radial, pero con la posibilidad de realizar transferencias de carga mediante equipos de flexibilidad instalados en las fronteras de los circuitos ramales en media tensión. Por ello los conductores deben tener la capacidad suficiente para permitir esta condición. **EMCALI** fijará estas condiciones en el documento de factibilidad del servicio teniendo en cuenta el Anexo No.2, donde se muestran los criterios que se deben tener en consideración para la selección de los conductores en las redes de distribución en media tensión. En ella se ha considerado el criterio de planeamiento que recomienda diseñar un circuito para atender carga eléctrica en suplencia del 100%.



Tal como se tiene actualmente en la red existente, los conductores neutros de los circuitos correspondientes a cada transformador se interconectarán entre sí, mediante puentes realizados en el mismo calibre del mayor de ellos.

Para seleccionar el calibre de los conductores en las redes de distribución aéreas, se tendrá como criterio rector la ampacidad del conductor, el criterio de regulación, la capacidad de soporte de las condiciones de cortocircuito y el criterio económico de pérdidas de potencia de conformidad con los parámetros fijados por la CREG como reconocimiento de pérdidas técnicas máxima reconocidas. Para ello se seguirá el siguiente procedimiento:

## 8.2 CÁLCULO DE LAS CARGAS

Para los circuitos secundarios se debe tener en cuenta el crecimiento de la carga, por lo tanto, una vez definida la carga por unidad de consumo (usuario residencial, comercial, industrial, oficial), se debe incrementar dicha carga instalada de acuerdo con el modelo de carga tipo rampa. Este modelo considera que la carga en un alimentador parte de un valor inicial y llega a su máximo en  $n$  años y de ahí en adelante se mantiene constante hasta el año final del periodo de vida útil.

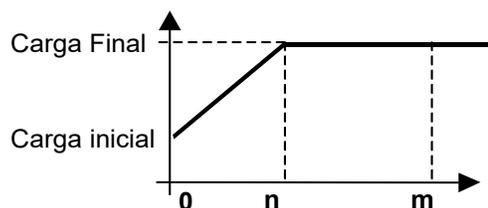


Figura 2. Modelo de crecimiento de carga tipo rampa

El cálculo de la carga está dado mediante la siguiente expresión matemática:

$$kVA_n = kVA_0 * (1 + r)^{2n}$$

Donde:

- kVA<sub>n</sub> Carga al final del período.
- kVA<sub>0</sub> Carga inicial.
- r Tasa de crecimiento anual de la demanda = 1%.
- n Período = 10 años.

El cálculo de la demanda máxima por tramo está dado mediante la siguiente expresión matemática:

$$D_{MAX} = (kVA_{US} * \# Usuarios * F_D) + kVA_L * \# Locales * F_D + CE + C_{AP}$$

Donde:



## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

$D_{MAX}$	Demanda máxima.
$F_D$	Factor de demanda (ver Tabla 220-11 NTC 2050).
$kVA_{Us}$	Carga instalada por usuario. (Ver Capítulo 2 - NTC 2050).
$kVA_L$	Carga instalada por local (Ver Capítulo 2 - NTC 2050).
CE	Cargas especiales.
$C_{AP}$	Cargas de alumbrado público.

Los circuitos primarios deben ser proyectados y definidos por **EMCALI**. Por ser redes de uso general, las extensiones primarias que se conectarán a los circuitos existentes deberán ser incorporadas a las existentes definiendo calibres, elementos de protección y equipos de flexibilidad, lo cual deberá quedar claro en la factibilidad del servicio.

### 8.3 POTENCIA POR UNIDAD DE CARGA

Para la adecuada selección de un conductor se debe tener como punto de partida la carga que se va a alimentar, por ello es de suma importancia determinar la carga en cada tramo de la red en función del tipo de carga y del número de unidades de carga alimentadas por tramo.

Para el caso de cargas netamente residenciales se podrán aplicar los parámetros establecidos en la NTC 2050 segunda actualización en la Sección 220, especialmente lo establecido en las Tablas 220-12 Cargas de iluminación general por tipo de ocupación<sup>15</sup>, Tabla 220-42 Factores de demanda de cargas de iluminación, Tabla 220-44 Factores de demanda para cargas de tomacorrientes en edificaciones que no sean vivienda y la Tabla 220-84 Cálculo opcional de los factores de demanda de unidades multifamiliares con tres o más viviendas.<sup>16</sup>

En la Tabla 10 se presentan las cargas básicas para vivienda de conformidad con lo estipulado en la NTC 2050 y el RETIE.

<sup>15</sup> Se debe tener en cuenta que no se debe aforar la carga tal como se indica en el parágrafo 2 de la Sección 220-3.

<sup>16</sup> Igualmente, es válido aplicar los criterios del prestador de servicio según lo estipulado en la Sección 220-37.

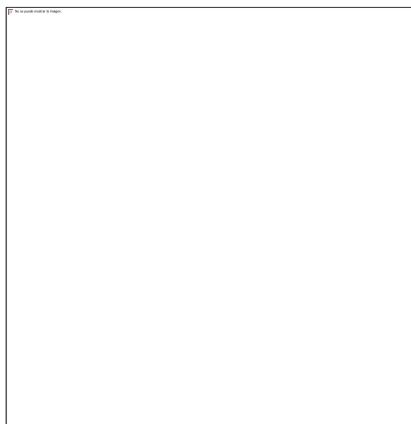


## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

*Tabla 10. Cargas básicas de diseño para vivienda unifamiliar*



La otra forma de estimar la carga es por el criterio de carga demanda por tramo, aplicando los factores de diversidad establecidos en el Capítulo 5, Transformadores de la Norma de Diseño Media y Baja Tensión. Para ello se calculará la corriente demandada por tramo de conformidad con el número de unidades de carga totales conectadas en el tramo<sup>17</sup>, aplicándole a la carga básica asignada por unidad de carga, el factor de demanda o de diversidad asignado en el Capítulo 5, Transformadores de la Norma de Diseño Media y Baja Tensión, acumulando las cargas conectadas hasta el tramo final en todas las direcciones en que se tiendan conductores. Los conductores de cada ramal<sup>18</sup> deberán poder soportar al menos el 80% de la corriente nominal del transformador. El conductor del calibre que cumpla por corriente se seleccionará para cada tramo. Una vez se tenga el acumulado de todos los tramos se deberá verificar el ramal para que cumpla con el criterio de cargabilidad y se procede a verificarlo por los criterios de regulación, soportabilidad al cortocircuito y económico de pérdidas. Si alguna de estas condiciones no se cumple, debe repetirse el proceso de cálculo con el calibre del conductor inmediatamente superior. Si no fuere posible aumentar el calibre, debe rediseñarse de nuevo el circuito, partiéndolo de forma tal que se cumplan los cuatro criterios para validación de idoneidad del conductor.

### **8.4 SELECCIÓN POR CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN**

Las capacidades en corriente asignadas a los conductores se deben consultar en las tablas de la NTC 2050 identificadas con las referencias 310-16 a 310-19 para conductores instalados en redes desde 0 a 2000 V y en las Tablas 310-67 a 310-86 para conductores instalados en redes desde 2001 V hasta 35000 V. Igualmente se puede verificar la capacidad de conducción de los conductores, en las Tablas de cálculo de regulación para cada tipo de conductor y para cada nivel de tensión de esta norma.

<sup>17</sup> Tramo de red es el correspondiente al comprendido entre apoyos. A las cargas residenciales se sumarán las cargas diferentes a estas aplicándoles los factores indicados en la NTC 2050 y las cargas de alumbrado público se tomarán plenas como carga nominal.

<sup>18</sup> Un ramal es la secuencia de tramos en una dirección determinada hasta la frontera con otro ramal de otro transformador.



## 8.5 CONFIRMACIÓN POR EL CRITERIO DE CORTOCIRCUITO

Una vez se haya comprobado la capacidad de conducción nominal del conductor deberá verificarse por el criterio de soportabilidad al cortocircuito.

En necesario precisar que el criterio de cortocircuito es un criterio térmico que permite calcular la temperatura máxima que puede soportar el material del que está fabricado el conductor y el límite de soportabilidad del aislamiento. Si el conductor no tiene aislamiento el cable, el límite de capacidad de corto se fija sobre la base de temperatura máxima del material del conductor, por ello los fabricantes indican en sus catálogos los límites de capacidad de cortocircuito para conductores desnudos.

Para los conductores cubiertos o aislados es necesario, bajo condiciones de cortocircuito, dar al conductor una sección suficiente para que la temperatura alcanzada por este, en un intervalo de tiempo que corresponde al de operación del dispositivo contra sobreintensidades, no supere el valor de temperatura máxima admisible por el aislamiento.

El criterio básico para determinar la soportabilidad de un conductor a la corriente de cortocircuito está en función del tipo de material, de la temperatura máxima admisible por el aislamiento y por el tiempo de duración de la falla.

La capacidad de corriente de cortocircuito del conductor de fase es un parámetro que se debe tener presente en la selección particular del cable para Media Tensión para una instalación determinada. Para cables de uso en media tensión, si se conoce su calibre, para calcular la máxima corriente de corto que debe soportar el conductor se recomienda utilizar la expresión siguiente:

$$I_{cc} = A * K * \sqrt{\frac{\log \frac{(T_2 - \lambda)}{(T_1 - \lambda)}}{t}}$$

Donde,

- $I_{cc}$  Máxima capacidad de corriente de cortocircuito. [A]
- A Área del conductor. [mm<sup>2</sup>]
- K Constante del material.
- $\lambda$  Temperatura de resistencia cero.
- $T_1$  Temperatura de operación del conductor.
- $T_2$  Temperatura máxima permisible en el conductor en estado de falla. 250 °C para XLPE y de 150°C para PVC o PE según ICEA.
- t Tiempo de duración de la falla en segundos.

Los valores de k y de  $\lambda$ , según el tipo de conductor y aislamiento de los cables, son los que se indican en la Tabla 11.



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

Tabla 11. Constante de soportabilidad al cortocircuito en conductores aislados sin pantalla

Material	K	$\lambda$ [°C]
Cobre	0,0297	234,5
Aluminio	0,0125	228

Para conductores que tengan pantalla, se debe tener presente que por estas pueden circular corrientes de falla debido al contacto de la línea con ellas o por las mismas corrientes de secuencia cero que en los eventos de fallas asimétricas circulan por las pantallas aterrizadas en los dos extremos o en varios puntos. Para estos casos es el blindaje del aislamiento o la chaqueta quien limita la temperatura máxima que puede alcanzar la pantalla en estado de falla. Generalmente se toman como 85°C y 200°C los valores de T1 y T2 respectivamente.

Si se necesita especificar la pantalla para las condiciones de cortocircuito conocidas se puede utilizar la expresión siguiente:

$$A_p = C_p I \sqrt{t}$$

Donde,

- $A_p$  Área efectiva de la sección transversal de la pantalla en kcmil. Este valor se calcula tomando el área de la pantalla en mm<sup>2</sup> y dividiéndolo por 0,5067
- $I$  Corriente de cortocircuito, en miles de Amperios (kA)
- $t$  Duración del cortocircuito, en segundos = Número de ciclos/60.
- $C_p$  Constante que depende del tipo de material empleado en la pantalla metálica y en la cubierta del cable indicadas en la Tabla 12.

Tabla 12. Constantes de temperatura para cortocircuito en conductores con pantalla

Temperatura de la Pantalla en Condiciones Normales de Operación Medida en °C									
Tipo de cubierta	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Termoplástica PVC o PE	14,04	14,35	14,68	15,03	15,40	15,79	16,20	16,65	17,12
XLPE o CPE	10,58	10,71	10,84	10,98	11,12	11,27	11,41	11,57	11,72

Igualmente se puede verificar la soportabilidad al cortocircuito de los conductores, en las Tablas de cálculo de regulación para cada tipo de conductor y para cada nivel de tensión de esta norma.



## 8.6 PÉRDIDAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN - PÉRDIDAS MÁXIMAS DE POTENCIA

En toda instalación eléctrica se producen pérdidas por potencia y pérdidas por energía. Las primeras pueden calcularse mediante expresiones matemáticas bastante simplificadas ya que es complejo involucrar todos los parámetros que contribuyen y la forma en que cada uno lo hace. Las pérdidas en energía se tazan haciendo la diferencia entre la energía comprada y la facturada, teniendo en cuenta que en esta diferencia están las pérdidas técnicas y las no técnicas sin que sea fácil discriminarlas y cuantificarlas de manera individual si no se tiene un valor aproximado de las pérdidas técnicas.

En esta norma presentamos una metodología para el cálculo de las pérdidas de potencia en las redes de distribución estimada, toda vez que como se indica más adelante, el cálculo se debe hacer conociendo el ciclo de carga real en cada caso.

Las pérdidas físicas en las redes de distribución se producen en los conductores de los circuitos primarios y secundarios y en los devanados y núcleos de los transformadores de distribución. Cuando un conductor se pone en servicio y comienza a transportar energía, éste se calienta a causa de las pérdidas que se originan en sus diferentes componentes, como el cobre o el aluminio, el aislamiento y las pantallas metálicas. Las pérdidas en el aislamiento no son significativas y se pueden despreciar. En el caso de cables multiconductores con pantalla común, generalmente las corrientes inducidas son pequeñas, ya que la pantalla o cubierta circunda a todos los conductores, y los efectos inductivos de la corriente en un conductor son neutralizados casi por completo por los efectos de las corrientes en los demás conductores. Sin embargo, para conductores de secciones mayores a 500 kcmil y corrientes elevadas, la neutralización no es completa y existen pérdidas apreciables en la pantalla.

En el caso de conductores y devanados de transformadores, las pérdidas son proporcionales al cuadrado de la corriente por lo que, para calcular las pérdidas de energía en un período de tiempo dado, es necesario multiplicar las pérdidas de potencia calculadas para la corriente pico del circuito o transformador por el número de horas del período y por el factor de pérdidas, que es la relación entre el valor medio y el valor pico de la curva cuadrática de la corriente.

### 8.6.1 Metodología de Cálculo

#### 8.6.1.1 Pérdidas en Energía

Las pérdidas en los conductores asociados con las redes de distribución primaria y secundaria están en función del cuadrado de la corriente que circula por ellos. Como esta depende de los ciclos de carga no es fácil determinar o calcular un valor exacto de las pérdidas por efecto Joule en los conductores.

Con el objetivo de cuantificar las pérdidas en un periodo de tiempo, se evalúan las pérdidas en unidades de energía, en este caso [kW-h] tomando como base la ecuación básica de pérdidas en un conductor mediante la siguiente expresión:



## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

$$P_c = W_c L N H F_p \frac{kWh}{año}$$

Donde,

- $P_c$  Pérdidas en los conductores.
- $W_c$  Pérdidas calculadas por conductor debidas al efecto Joule en kW/km =  $I^2 \cdot R_{ac}$
- $L$  Longitud del circuito en km
- $N$  Número de cables del sistema.
- $H$  Tiempo de uso en horas efectivas durante un año. Horas/Año.
- $F_p$  Factor de pérdidas.

Si se conoce la curva de carga del circuito que se está analizando, se puede calcular la curva cuadrática y a partir de ella, calcular el factor de pérdidas. Por lo general, no se conoce la curva de carga de los distintos circuitos primarios y secundarios que es necesario analizar en el diseño de redes de distribución, aunque usualmente se tiene un estimativo razonable del factor de carga de la demanda correspondiente. Es posible estimar el factor de pérdidas a partir del factor de carga, mediante fórmulas empíricas cuyos parámetros deben ser, en lo posible, derivados para el sistema en estudio a partir de las curvas de carga obtenidas por muestreo. En caso en que no se tengan estas medidas se puede utilizar la expresión<sup>19</sup>.

$$F_p = 0,3 F_c + 0,7 F_c^2$$

Donde,

$$F_c = \frac{I_{promedio}}{I_{máxima}}$$

Se debe tener mucho cuidado, sin embargo, en el uso indiscriminado de esta fórmula, pues la forma de la curva de carga puede cambiar considerablemente de un sistema a otro y también dentro de un mismo sistema, dependiendo del nivel de consumo y uso que den a la energía eléctrica los usuarios de un determinado sector residencial, comercial o industrial.

### 8.6.1.2 Pérdidas en Potencia

Las pérdidas asociadas con cargas concentradas, en un sistema trifásico se pueden calcular aplicando la siguiente expresión:

$$\% \text{ Pérdidas} = \frac{100 r}{V_L^2 \cos \phi} M$$

<sup>19</sup> Manual para la instalación de cables de energía de media tensión. José Dolores Suarez Fernández.



# NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

Donde:

- M Momento eléctrico en kVA\*m.
- r Resistencia por unidad de longitud en Ohm/km.
- $\emptyset$  Ángulo del factor de potencia de la carga.
- VL Tensión de línea en voltios.

Para otros sistemas diferentes al trifásico se debe multiplicar la anterior expresión de pérdidas de potencia por los factores de corrección de la Tabla 13.

Tabla 13. Factores de ajuste para pérdidas de potencia

Factores de Corrección			
Tipo de Sistema	Tipo de Red		
	1 $\emptyset$ -3H FN	2 $\emptyset$ -2H FF	2 $\emptyset$ -3H FF
Monofásico	3	2	2

## 8.6.2 Límites de Pérdida de Potencia

De acuerdo con el tipo de instalación las pérdidas técnicas máximas permitidas son las indicadas a continuación en la Tabla 14:

Tabla 14. Valores de pérdidas técnicas máximas permitidas<sup>20</sup>

Componente	Pérdidas de Potencia
Redes Distribución Media Tensión	1%
Redes de Baja Tensión	2,35%
Transformadores	Ver Norma NTC 818-819 y 1954

Para **EMCALI** el criterio de conductor económico es que el cumple con los límites establecidos en la regulación indicados en la Tabla 15 de esta norma. Por ello se puede verificar el nivel de pérdidas de los conductores, en las Tablas de cálculo de calibre óptimo para cada tipo de conductor y para cada nivel de tensión del Anexo No.2.

<sup>20</sup> Documento 2020-06-10-UTP-PÉRDIDAS TÉCNICAS NIVEL TENSIÓN 1 y 2020-06-10-IEB -PÉRDIDAS TÉCNICAS NIVEL TENSIÓN 2.



## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

### 8.7 CONFIRMACIÓN POR EL CRITERIO DE REGULACIÓN

#### 8.7.1 Criterio de Regulación para Redes de Distribución

Para comprobación por el criterio de regulación, se debe calcular la caída de tensión en cada nodo del circuito secundario de cada transformador de potencia o de distribución, de la siguiente manera:

$$\% Reg = \sum_{i=1}^n D_{MAX} * L_i * K_i$$

Donde:

% Reg Porcentaje de regulación.

$D_{MAX}$  Demanda máxima.

$K_i$  Constante que depende del tipo de sistema, del factor de potencia de la carga y del conductor, en 1/kVA x m. Ver Tablas del Anexo No.4.

$L_i$  Longitud del tramo  $i$ , en metros.

$i$  Número indicativo de la secuencia de tramos hasta un terminal secundario.

$n$  Número de tramos hasta un terminal secundario.

La caída total en el alimentador o ramal será el acumulado de todos los tramos<sup>21</sup> correspondientes a este.

La comprobación por el criterio de caída de tensión conocido como criterios de regulación se debe realizar teniendo en consideración los límites para cada alimentador o ramal conectado, establecidos en la siguiente tabla.

Tabla 15. Límites de caída de tensión en porcentaje

Nivel de Tensión	Área	Límites de Regulación de Tensión
Circuitos de baja tensión trifásicas o trifilares	Zona urbana	≤ 3,0 %
	Zona Rural	≤ 3,0 %
	Alumbrado público	≤ 3,0 %
	Acometidas	≤ 2,0 %
Circuitos de media tensión	Para expansión de redes derivadas de un circuito alimentador principal	Menor o igual al 1 % a partir del barraje de la subestación de distribución
	Para acometidas de uso exclusivo	Menor o igual al 0,03% a partir del punto de conexión

<sup>21</sup> Cada tramo es el correspondiente entre apoyos de la red sea primaria o secundaria. Se deberá tener especial cuidado en los tramos en los que haya puentes de derivación.



### 8.7.2 Cálculo de Regulación por el Criterio de Momento Eléctrico

Otra forma de calcular la regulación de tensión en un sistema eléctrico es mediante la siguiente expresión:

$$CV\% = F_a * \frac{Z_c}{V_L^2} * M$$

Donde:

CV% Porcentaje de caída de tensión.

$$F_a = K_p * K_z$$

$F_a$  Factor de ajuste, producto de  $K_p$  que depende del sistema de conexión de la carga (1Ø, 2Ø, 3Ø) y de  $K_z$  del tipo de sistema al cual se conecta.

$$K_p = 1000 * \frac{1}{V_L^2}$$

$K_z$  = factor de relación de las impedancias.

Estos factores de corrección o ajuste se indican en las tablas del Anexo No.4, para cada caso.

$M$  Momento eléctrico, expresado en kVA-metro.

$V_L$  Tensión línea-línea del sistema.

$Z_c$  Impedancia del conductor

$$Z_c = R \cos \phi + X_L \sin \phi$$

Donde,

$Z$  Impedancia del conductor.

$R$  Resistencia AC del conductor a 75°C expresada en Ohm/metro.

$X_L$  Reactancia inductiva del conductor en Ohm/metro.

$\phi$  Angulo del factor de potencia de la carga.

De conformidad con lo anterior se puede verificar la caída de tensión en los conductores tanto en voltios como en porcentaje de la tensión nominal, en las Tablas de cálculo de calibre óptimo para cada tipo de conductor y para cada nivel de tensión del Anexo No.2.



## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

### 8.8 SELECCIÓN DE ACOMETIDAS EN BAJA TENSIÓN

La selección del calibre de la acometida deberá realizarse de conformidad con la Sección 220 de la norma NTC 2050 vigente, de acuerdo con su longitud y la carga a servir, garantizando que su regulación de tensión se encuentre dentro del parámetro de la Tabla 15. Si la acometida es aérea o subterránea, se seleccionarán ductos, bajantes, canalizaciones y cajas de inspección según el caso.

Se deberá especificar la clase de servicio (residencial, comercial, industrial o rural), calcular la carga instalada de conformidad con el Capítulo 2 de la NTC 2050 vigente, aplicando los factores de demanda pertinentes, especificar el tipo de servicio entre monofásico, trifilar o trifásico.

En aquellos edificios que requieran cuatro o más servicios de energía, se alimentará con una sola acometida hasta el interruptor principal en el tablero general. Los conductores de la acometida deberán ser continuos y del mismo calibre desde el punto de conexión a la red o al transformador alimentador hasta el totalizador principal y estar identificadas en sus extremos mediante marquillas indelebles. Los conductores de acometida de una edificación no deben pasar a través del interior de otro edificio o construcción. En la caja o tablero de medidores se reservará en su extremo una longitud en conductores no menor de 60 cm que permita una fácil conexión del equipo de medida.

Teniendo en cuenta que en la mayoría de las tablas de referencia que presentan los criterios para la selección apropiada de las acometidas, los calibres están expresados en AWG o kcmil a continuación, como referencia la Tabla 16 presenta las equivalencias entre calibres, áreas y diámetros.

Tabla 16. Equivalencias de calibre, diámetro y área

Calibre	Diámetro en mm	Área en mm <sup>2</sup>	Calibre	Diámetro en mm	Área en mm <sup>2</sup>
12 AWG	2,05	3,31	300 kcmil	13,91	152,01
10 AWG	2,59	5,26	350 kcmil	15,03	177,35
8 AWG	3,26	8,36	400 kcmil	16,06	202,68
6 AWG	4,11	13,3	500 kcmil	17,96	253,35
4 AWG	5,19	21,1	600 kcmil	19,67	304,02
3 AWG	5,82	26,7	700 kcmil	21,25	354,69
2 AWG	6,54	33,6	750 kcmil	22,00	380,03
1 AWG	7,35	42,4	800 kcmil	22,72	405,37
1/0 AWG	8,25	53,5	900 kcmil	24,10	456,04
2/0 AWG	9,26	67,4	1.000 kcmil	25,40	506,71
3/0 AWG	10,40	85,0	1.250 kcmil	28,40	633,38
4/0 AWG	11,70	107,0	1.500 kcmil	31,11	760,06
250 kcmil	12,70	126,68	1.750 kcmil	33,60	886,74



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

La Tabla 17, muestra las equivalencias entre cables de Cobre y Aluminio según la norma NTC 2050 vigente.

Tabla 17. Equivalencias entre cables de Cobre y Aluminio a 75°C

Calibre (Cu)	Calibre (Al)	Calibre (Cu)	Calibre (Al)	Calibre (Cu)	Calibre (Al)
12 AWG	10 AWG	1/0 AWG	3/0 AWG	500 kcmil	750 kcmil
10 AWG	8 AWG	2/0 AWG	4/0 AWG	600 kcmil	900 kcmil
8 AWG	6 AWG	3/0 AWG	250 kcmil	700 kcmil	1.250 kcmil
6 AWG	4 AWG	4/0 AWG	350 kcmil	750 kcmil	1.250 kcmil
4 AWG	2 AWG	250 kcmil	400 kcmil	800 kcmil	1.500 kcmil
3 AWG	1 AWG	300 kcmil	500 kcmil	900 kcmil	1.500 kcmil
2 AWG	1/0 AWG	350 kcmil	500 kcmil	1.000 kcmil	1.750 kcmil
1 AWG	2/0 AWG	400 kcmil	600 kcmil		

Para la Tabla 18, los datos en VA corresponden a cargas instaladas y deben ser calculadas como se indica en el Capítulo 2 de la NTC 2050 vigente.

Tabla 18. Tipo de acometida según la carga instalada

Carga (VA), C	Tipo de Acometida
$C \leq 10.000$	Bifilar o Trifilar (con medidor de 15 - 60 A)
$10.000 < C \leq 20.000$	Trifilar (con medidor de 80 a 100 A, según carga)
$20.000 < C$	Trifásica
$20.000 < C$	Trifilar (solo para sector rural donde no existan redes trifásicas)

El conductor neutro debe ser del mismo calibre del conductor de fase, o dimensionarse de conformidad con lo estipulado en el Numeral 15.1 del RETIE versión 2013.

Toda acometida aérea llegará, sin empalmes ni derivaciones a la caja del medidor o al tablero de medidores, mediante un ducto galvanizado con capacete, (ver Normas de Construcción y Capítulo 2 de la NTC 2050). Para las acometidas subterráneas deben considerarse para su tendido y dimensionamiento, además de los criterios anteriormente expuestos, las cajas de registro necesarias, los niveles mínimos de enterramiento de la tubería, la señalización de seguridad y las medidas de protección de los ductos, de conformidad con lo indicado en las normas de construcción correspondientes.



## 9 CONDICIONES DE INSTALACIÓN DE LOS CONDUCTORES

Las condiciones de instalación de los conductores determinan en buena medida su cargabilidad y del cumplimiento de los radios de curvatura depende la durabilidad del aislamiento. La instalación al aire libre permite una mayor cargabilidad de los mismos, frente a instalaciones en ductos circulares, bandejas, canaletas, etc.

Las condiciones de instalación también determinan el tipo de aislamiento adecuado, toda vez que hay aislamientos especiales para uso a la intemperie en cuanto cumplen con la condición de ser resistentes a la luz solar, así como existen aislamientos adecuados para uso en enterramiento directo o en canalizaciones, en razón a que son resistentes a la humedad a los agentes químicos propios del terreno. Igualmente se debe tener en consideración no solamente el tipo de aislamiento si no la condición de instalación, toda vez que los hay adecuados para uso en bandejas y para lugares de alta concentración de personas, etc. Lo anteriormente enunciado está determinado en la en la Tabla 310-13 de la NTC 2050 vigente.

Se debe verificar y es responsabilidad del diseñador, en todos los casos, si el tipo de aislamiento es el adecuado para el uso y la forma de instalación para la cual se está proponiendo.

### 9.1 RADIO DE CURVATURA DE UN CONDUCTOR

Es el máximo doblado que se le puede dar a un cable garantizando que las propiedades eléctricas y mecánicas de sus componentes no se alteren, es decir sin producir daños en el cable. Los cambios de dirección a 90° deberán hacerse mediante curvas o de giros en las cajas de registro que garanticen el radio de curvatura mínimo indicado en las Tabla 42 a Tabla 45 de esta norma. Nunca deben hacerse ángulos de 90° para instalar cables eléctricos.

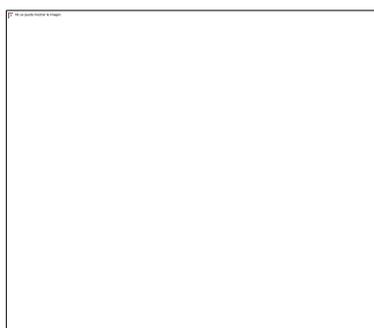


Figura 3. Radios de curvatura

La norma NTC 2050, en su Capítulo 3 expresa que para cables de más de 600V nominales el radio de curvatura debe ser:

**300-34. Radio de curvatura de los conductores.** Durante la instalación o después, los conductores no se deben doblar a un radio inferior a 8 veces el diámetro total del conductor sin el forro o 12 veces el diámetro del



## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

*conductor forrado o recubierto de plomo. En cables multiconductores o sencillos multiplexados, cuyas fases estén blindadas individualmente, el radio mínimo de curvatura debe ser el mayor de los siguientes: 12 veces el diámetro de cada conductor blindado o 7 veces el diámetro total.*

Para los cables con cubierta metálica de cinta entrelazada o en un tubo liso o corrugado los radios de curvatura se deben calcular así:

**334-11. Radio de curvatura.** *Todas las curvas deben hacerse de manera que el cable no sufra daños y el radio de curvatura del borde interior de cualquier curva no debe ser inferior a lo siguiente:*

**a) Cubierta lisa.**

- 1) *Diez veces el diámetro exterior de la cubierta metálica, cuando el cable no tenga más de 20 mm de diámetro exterior.*
- 2) *Doce veces el diámetro exterior de la cubierta metálica cuando el cable tenga más de 20 mm de diámetro exterior pero no más de 40 mm.*
- 3) *Quince veces el diámetro exterior de la cubierta metálica, cuando el cable tenga más de 40mm de diámetro exterior.*

**b) Armadura trenzada (grafada) o cubierta corrugada.** *Siete veces el diámetro exterior de la cubierta metálica.*

**c) Conductores blindados.** *La mayor de estas dos magnitudes: doce veces el diámetro total de uno de los conductores o siete veces el diámetro total del cable multiconductor.*

Para más información consultar el estándar IEEE 1185, ICEA S-75-381, ICEA S 95-659, ICEA S93-639, ICEA S94-649.

De conformidad con lo anterior los radios mínimos de curvatura calculados para conductores monopares aislados para 15 kV y 35 kV y para aislamientos del 100% y del 133% se estipulan en las siguientes tablas.

En el Anexo No.4 se incluyen los radios de curvatura no solo de los conductores normalizados sino de otros calibres como guía para cálculos de conductores en redes particulares que no son de uso general.

## 9.2 TENSIÓN DE HALADO

Es importante tener presente que para el proceso de instalación de los cables para media tensión existe una fuerza máxima con la cual pueden ser halados sin producir esfuerzos peligrosos en el conductor que lo pueden deformar (alargamiento y desprendimiento del conductor del aislamiento o desplazamiento de pantalla y/o de los elementos de la cubierta) y sin comprometer el desempeño del cable en la instalación.

Se puede halar un cable para media tensión mediante un perno de tracción colocado en el conductor del cable. Para ello es necesario tener presente que el esfuerzo máximo para el halado que puede



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

experimentar el conductor de Cobre o de Aluminio es de 7,0 y 5,3 kg /mm<sup>2</sup> respectivamente, por lo tanto, la tensión o fuerza máxima de halado se calcula con la siguiente fórmula:

$$T_{max} = A * \sigma$$

Donde,

- A Sección de área del conductor en mm<sup>2</sup>.  
 $\sigma$  Es el esfuerzo máximo que puede soportar el material del conductor sin cambiar sus propiedades físicas.

Para el Cobre es de 7 kg/ mm<sup>2</sup> y para el Aluminio es de 5,3 kg/ mm<sup>2</sup>.

También se puede halar el cable para media tensión por medio de mallas de acero o ganchos de tiro que se aferran a la cubierta exterior del cable. Se recomienda que para estos casos la tensión máxima en kg no exceda de 0,7 de la sección transversal del material de la cubierta en mm<sup>2</sup> y en ningún caso deberá ser superior a 450 kg. Para el cálculo de la tensión máxima de halado deben también considerarse aspectos como la longitud del ducto, el peso del cable, el ángulo de la curvatura, el radio de la curvatura y las tensiones a la entrada y a la salida de la curva.

El otro parámetro a tener en cuenta es la presión lateral que se produce en las curvas durante el halado del conductor ya que la presión lateral excesiva puede causar fisuras o aplastamientos en el cable, haciendo que este parámetro sea restrictivo en el proceso de instalación. La presión lateral en un conductor depende tanto del radio de curvatura del ducto como de la tensión a la cual está sometido el conductor. Como su nombre lo indica, la presión lateral es un esfuerzo de carácter transversal que experimenta el conductor debido a la componente normal de la tensión del mismo. La presión lateral es directamente proporcional a la tensión del conductor, pero inversamente proporcional al radio de curvatura del ducto. La siguiente ecuación resume la forma de cálculo de la presión lateral:

$$P_{max} = \frac{T}{R}$$

Donde,

- T Tensión de halado en kg.  
R Radio de curvatura en metros.

La máxima presión lateral que se recomienda para cables para media tensión es de 744 kg/m.



## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

COND 2020

VERSIÓN: 1

### 9.3 CONEXIONES ENTRE CONDUCTORES

#### 9.3.1 Empalmes

La unión entre conductores de una misma fase, comúnmente denominado empalme, deberá garantizar la continuidad eléctrica y la rigidez mecánica necesaria para evitar calentamientos en el conductor y sin afectar la tensión de halado del mismo y/o la tensión de rotura del mismo.

En el caso de red semiaislada se deberá tender en tramos continuos de conductor. Solo se permitirán empalmes cerca a los apoyos. Todo conductor en cada remate de red se deberá sellar para evitar que le entre la humedad y en cada empalme se deberá restablecer el aislamiento mediante cintas dieléctricas, tal como lo indique el fabricante.

#### 9.3.2 Puentes

La conexión de equipos, la construcción de puentes horizontales en dobles terminales y verticales en cruces deberán garantizar la suficiente rigidez mecánica, la continuidad eléctrica y ofrecer la facilidad de conexión y desconexión de los mismos. Se deberán ejecutar de conformidad con la Norma de Construcción.

### 9.4 SELECCIÓN DE DUCTOS

El diámetro de los ductos de las acometidas, redes subterráneas y las transiciones aérea-subterránea, aérea-subterránea-aérea se seleccionará de acuerdo con el criterio establecido en la Tabla 1 del capítulo 9 la NTC 2050 segunda actualización y con las secciones indicadas en la Tabla C1 del apéndice C de la NTC 2050, la cual está en función del tipo de aislamiento del conductor, teniendo en cuenta que el ducto correspondiente al bajante (a la vista), debe ser conduit metálico galvanizado tipo IMC y el correspondiente al tramo subterráneo debe ser conduit no metálico, PVC.

*Tabla 19. Porcentaje de la sección transversal en tubos conduit y tuberías, para el llenado de conductores*

Número de Conductores	1	2	Más de 2
Todos los tipos de Conductores	53%	31%	40%

No se admite tubería plástica adosada a postes de soporte de redes de distribución de uso general, salvo que esté certificada para este uso.



## 9.5 PROTECCIÓN DE LOS CIRCUITOS EN BAJA TENSIÓN

Cada circuito en baja tensión deberá estar protegidos por un circuit breaker ubicado en un tablero o compartimento independiente<sup>22</sup>. En ningún caso este compartimento o gabinete debe obstruir la válvula de drenaje del aceite para las subestaciones tipo pedestal.

## 9.6 TABLAS PARA EL CÁLCULO DE REGULACIÓN

Las redes de distribución aéreas y subterráneas para Nivel de Tensión 1, 2 y 3 se deben calcular teniendo en cuenta la capacidad ampérica, la regulación, la soportabilidad al cortocircuito y el criterio económico de pérdidas en el conductor.

En el Anexo No.4 se presentan las tablas de constantes de regulación para conductores de Aluminio para la red aérea y subterránea de baja tensión y área y subterránea en media tensión con factor de potencia de 0,9, dentro de cuyos valores ya están considerados los factores de corrección correspondientes al tipo de sistema y el nivel de tensión.

---

<sup>22</sup> En ningún caso se deben alojar interruptores en el compartimento de baja tensión de las subestaciones padmounted.



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

CD 2020

VERSIÓN: 1

## 10 ANEXO No.1 CARACTERÍSTICAS DE CONDUCTORES



# NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN

## CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

CD 2020

VERSIÓN: 1

Las características más relevantes de los conductores para las redes en los Niveles de Tensión 1, 2 y 3 se presentan a continuación.

### 10.1 CONDUCTORES PARA REDES AÉREAS

#### 10.1.1 Nivel de Tensión 1

*Tabla 20. Parámetros eléctricos de conductores para red pre-ensamblada*

IMPEDANCIA DE CONDUCTORES DE ALUMINIO RED PRE-ENSAMBLADA												
Resistencia Eléctrica de c.a. y Reactancia Inductiva para Cables de Aluminio Tipo Múltiple para 600V a 60 Hz - Instalación Aérea Autosoportada												
Calibre AWG	Cos Ø	Resistencia a Corriente Alterna R (Ohm/km)		Reactancia Inductiva X <sub>L</sub> (Ohm/km)		Z <sub>ef</sub> = R*Cos Ø + X <sub>L</sub> *Sen Ø					Pérdidas en Potencia en kW/metro a I <sub>nom</sub>	
		75 °C	90 °C	Triplex	Cuádruplex	Triplex 2Ø-3H		Corriente Nominal	Cuádruplex 3Ø - 4H			Corriente Nominal
						75 °C	90 °C		75 °C	90 °C		
2	0.9	1.0480	1.1000	0.0980	0.1120	0.9863	1.0331	135	0.9925	1.0390	135	0.020
1/0	0.9	0.6590	0.6920	0.0950	0.1090	0.6349	0.6646	184	0.6411	0.6710	184	0.023
4/0	0.9	0.3290	0.3460	0.0900	0.1030	0.3357	0.3510	288	0.3414	0.3570	288	0.029

#### 10.1.2 Nivel de Tensión 2 y Nivel de Tensión 3

*Tabla 21. Parámetros eléctricos de conductores para red semiaislada para 15 kV*

Resistencia Eléctrica de c.a. y Reactancia Inductiva para Cables semiaislados para 15 kV, 60 Hz y 75°C													
Calibre AWG/kcmil	Area en mm <sup>2</sup>	Diametro en mm	Código	Resistencia a Corriente Alterna R (Ohm/km)	Reactancia Inductiva X <sub>L</sub> (Ohm/km)			Z <sub>ef</sub> = R*Cos Ø + X <sub>L</sub> *Sen Ø			Capacidad de Corriente Amperios	I <sub>cc</sub> Máxima Admisible en kA	Pérdidas kW / metro lineal de red 3Ø a I <sub>nominal</sub>
					Red con Espaciador	Configuración Triangular	Configuración Plana	Red con Espaciador	Configuración Triangular	Configuración Plana			
2	33.74	17.60	Ames	1.095	0.039	0.435	0.447	1.0025	1.1769	1.1822	184.0	4.80	0.13
1/0	53.68	19.70	Azusa	0.717	0.033	0.417	0.430	0.6597	0.8288	0.8345	241.0	7.64	0.06
4/0	107.60	23.80	Alliance	0.396	0.026	0.391	0.404	0.3677	0.5284	0.5342	355.0	15.32	0.02
266.8	135.10	25.80	Butte	0.255	0.023	0.364	0.377	0.2394	0.3897	0.3954	458.0	19.23	0.01
336.4	170.30	27.80	Canton	0.202	0.020	0.355	0.368	0.1905	0.3380	0.3437	530.0	24.24	0.01

*Tabla 22. Parámetros eléctricos de conductores para red semiaislada para 35 kV*

Resistencia Eléctrica de c.a. y Reactancia Inductiva para Cables semiaislados para 35 kV, 60 Hz y 75°C													
Calibre AWG/kcmil	Area en mm <sup>2</sup>	Diametro en mm	Código	Resistencia a Corriente Alterna R (Ohm/km)	Reactancia Inductiva X <sub>L</sub> (Ohm/km)			Z <sub>ef</sub> = R*Cos Ø + X <sub>L</sub> *Sen Ø			Capacidad de Corriente Amperios	I <sub>cc</sub> Máxima Admisible en kA	Pérdidas kW / metro lineal de red 3Ø a I <sub>nominal</sub>
					Red con Espaciador	Configuración Triangular	Configuración Plana	Red con Espaciador	Configuración Triangular	Configuración Plana			
1/0	53.68	19.70	Azusa	0.717	0.052	0.417	0.430	0.6682	0.8288	0.8345	241.0	7.64	0.06
4/0	107.60	23.80	Alliance	0.396	0.045	0.391	0.404	0.3762	0.5284	0.5342	355.0	15.32	0.02
266.8	135.10	25.80	Butte	0.255	0.042	0.364	0.377	0.2480	0.3897	0.3954	458.0	19.23	0.01
336.4	170.30	27.80	Canton	0.202	0.039	0.355	0.368	0.1990	0.3380	0.3437	530.0	24.24	0.01



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

CD 2020

VERSIÓN: 1

## 10.2 CONDUCTORES PARA REDES SUBTERRÁNEAS

### 10.2.1 Nivel de Tensión 1

Tabla 23. Parámetros eléctricos de conductores para cables de baja tensión de Aluminio

IMPEDANCIA CONDUCTORES DE ALUMINIO UNIPOLARES EN TUBO HASTA 600 VOLTIOS							
Resistencia Eléctrica c.a. y Reactancia Inductiva para Cables de Aluminio, Instalación Trifásica para 600 V a 60 Hz y 75 °C. Tres Conductores Sencillos en Tubo Conduit							
Calibre AWG/kcmil	Resistencia a Corriente Alterna R (Ohm/km)		Reactancia Inductiva $X_L$ (Ohm/km)		$Z_{ef} = R \cdot \cos \theta + X_L \cdot \sin \theta$		Ampacidad a 75°C y $T_a < 30^\circ\text{C}$
	Conduit de PVC	Conduit de Acero	Conduit de Aluminio o PVC	Conduit de Acero	Conduit de Aluminio o PVC	Conduit de Acero	
12	10.4987	10.4987	0.1772	0.2231	9.5268	9.5470	20
10	6.5617	6.5617	0.1640	0.2067	5.9777	5.9965	30
8	4.2651	4.2651	0.1706	0.2133	3.9137	3.9324	40
6	2.6575	2.6575	0.1673	0.2100	2.4654	2.4842	50
4	1.6732	1.6732	0.1575	0.1969	1.5752	1.5925	65
2	1.0499	1.0499	0.1476	0.1870	1.0099	1.0272	90
1/0	0.6562	0.6562	0.1444	0.1804	0.6541	0.6700	120
2/0	0.5249	0.5249	0.1411	0.1772	0.5345	0.5504	135
3/0	0.4265	0.4265	0.1378	0.1706	0.4445	0.4589	155
4/0	0.3281	0.3281	0.1345	0.1673	0.3545	0.3689	180
250	0.2789	0.2822	0.1345	0.1706	0.3102	0.3290	205
300	0.2330	0.2360	0.1350	0.1670	0.2691	0.2859	230
350	0.2001	0.2067	0.1312	0.1640	0.2378	0.2582	250
500	0.1411	0.1476	0.1280	0.1575	0.1833	0.2021	310



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

CD 2020

VERSIÓN: 1

Tabla 24. Parámetros eléctricos de conductores para cables de baja tensión de Cobre

IMPEDANCIA CONDUCTORES DE COBRE UNIPOLARES EN TUBO HASTA 600 VOLTIOS							
Resistencia Eléctrica c.a. y Reactancia Inductiva para Cables de Cobre, Instalación Trifásica para 600 V a 60 Hz y 75 °C. Tres Conductores Sencillos en Tubo Conduit							
Calibre AWG/kcmil	Resistencia a Corriente Alternativa R (Ohm/km)		Reactancia Inductiva $X_L$ (Ohm/km)		$Z_{ef} = R \cdot \cos \phi + X_L \cdot \sin \phi$		Ampacidad a 75°C y $T_a < 30^\circ C$
	Conduit de PVC	Conduit de Acero	Conduit de Aluminio o PVC	Conduit de Acero	Conduit de Aluminio o PVC	Conduit de Acero	
12	6.560	6.560	0.177	0.223	5.9819	6.0021	25
10	3.940	3.940	0.164	0.207	3.6182	3.6371	35
8	2.560	2.560	0.171	0.213	2.3792	2.3977	50
6	1.610	1.610	0.167	0.197	1.5225	1.5357	65
4	1.020	1.020	0.157	0.187	0.9871	1.0003	85
2	0.623	0.656	0.148	0.180	0.6258	0.6696	115
1/0	0.394	0.394	0.144	0.177	0.4180	0.4325	150
2/0	0.328	0.328	0.141	0.177	0.3572	0.3731	175
3/0	0.253	0.259	0.138	0.171	0.2884	0.3083	200
4/0	0.203	0.207	0.135	0.167	0.2421	0.2598	230
250	0.171	0.177	0.135	0.171	0.2133	0.2345	255
300	0.144	0.148	0.135	0.167	0.1890	0.2067	285
350	0.125	0.128	0.131	0.164	0.1701	0.1874	310
500	0.089	0.095	0.128	0.157	0.1364	0.1546	380

### 10.2.2 Nivel de Tensión 2 y Nivel de Tensión 3

Tabla 25. Parámetros eléctricos de conductores de Al XLPE para redes a 15 y 35 kV

Resistencia Eléctrica c.a. y Reactancia Inductiva para Cables de Media Tensión de Aluminio a 60 Hz y 90°C. Tres Conductores Dispuestos en Forma Triangular Equidistante									
Calibre AWG/kcmil	Área en mm <sup>2</sup>	Resistencia a Corriente Alternativa R (Ohm/km)	Reactancia Inductiva $X_L$ (Ohm/km)	Resistencia a Corriente Alternativa R (Ohm/km)	Reactancia Inductiva $X_L$ (Ohm/km)	$Z_{ef} = R \cdot \cos \phi + X_L \cdot \sin \phi$	$Z_{ef} = R \cdot \cos \phi + X_L \cdot \sin \phi$	Corriente Nominal en Amperios	$I_{cc}$ Máxima Admisible en kA
			15 kV, 100%		35 kV, 100%	15 kV, 100%	35 kV, 100%		
2	33.74	1.118	0.1680			1.0804		120	3.18
1/0	53.68	0.703	0.1530	0.703	0.176	0.6998	0.7100	155	5.06
2/0	67.66	0.558	0.1470	0.558	0.170	0.5666	0.5767	175	6.38
3/0	85.30	0.443	0.1420	0.443	0.163	0.4607	0.4700	200	8.04
4/0	107.60	0.351	0.1370	0.351	0.157	0.3762	0.3850	230	10.14
250	127.10	0.297	0.1320	0.297	0.152	0.3256	0.3344	250	11.98
350	177.90	0.213	0.1250	0.213	0.144	0.2463	0.2547	305	16.77
500	254.20	0.149	0.1190	0.149	0.139	0.1866	0.1954	370	23.96
750	381.30	0.101		0.100	0.130	0.0909	0.1481	470	35.93



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

CD 2020

VERSIÓN: 1

Tabla 26. Parámetros eléctricos de conductores de Cu XLPE para redes a 15 kV

Resistencia Eléctrica c.a. y Reactancia Inductiva para Cables de Media Tensión 15 kV de Cobre a 60 Hz y 90°C. Tres Conductores Dispuestos en Forma Triangular Equidistante						Corriente Nominal en Amperios	Máxima Corriente de Cortocircuito
Calibre AWG/kcmil	Área en mm <sup>2</sup>	Resistencia a Corriente Alterna R (Ohm/km)	Reactancia Inductiva X <sub>L</sub>	Reactancia Capacitiva X <sub>C</sub>	Z <sub>ef</sub> = R*Cos Ø + X <sub>L</sub> *Sen Ø		
			15 kV, 100%	15 kV, 100%	15 kV, 100%		
2	33.62	0.6804	0.1680	15.889	0.6863	155	4.79
1/0	53.50	0.4278	0.1530	13.792	0.4523	200	7.62
2/0	67.44	0.3396	0.1470	12.766	0.3703	230	9.60
3/0	85.03	0.2694	0.1420	11.786	0.3049	260	12.11
4/0	107.21	0.2139	0.1370	10.857	0.2528	295	15.26
250	126.67	0.1812	0.1320	10.145	0.2212	325	18.03
350	177.34	0.1300	0.1250	8.942	0.1720	390	25.25
500	253.35	0.0916	0.1190	7.784	0.1348	465	36.07

Tabla 27. Parámetros eléctricos de conductores de Cu XLPE para redes a 35 kV

Resistencia Eléctrica c.a. y Reactancia Inductiva para Cables de Media Tensión 35 kV de Cobre a 60 Hz y 90°C. Tres Conductores Dispuestos en Forma Triangular Equidistante						Corriente Nominal en Amperios	Máxima Corriente de Cortocircuito
Calibre AWG/kcmil	Área en mm <sup>2</sup>	Resistencia a Corriente Alterna R (Ohm/km)	Reactancia Inductiva X <sub>L</sub>	Reactancia Capacitiva X <sub>C</sub>	Z <sub>ef</sub> = R*Cos Ø + X <sub>L</sub> *Sen Ø		
			35 kV, 100%	35 kV, 100%	35 kV, 100%		
1/0	53.50	0.4278	0.1760	21.870	0.4625	200	7.62
2/0	67.44	0.3396	0.1700	20.481	0.3804	230	9.60
3/0	85.03	0.2694	0.1630	19.131	0.3142	260	12.11
4/0	107.21	0.2139	0.1570	17.828	0.2616	295	15.26
250	126.67	0.1812	0.1520	16.813	0.2300	325	18.03
350	177.34	0.1300	0.1440	15.063	0.1804	390	25.25
500	253.35	0.0916	0.1390	13.332	0.1436	465	36.07
750	380.00	0.0622	0.1300	11.472	0.1132	585	54.10



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

CD 2020

VERSIÓN: 1

### 10.3 CONDUCTORES PARA ACOMETIDAS

Tabla 28. Parámetros eléctricos de conductores de acometida 600 V

Ítem	Tipo de Conductor	Descripción	Conductor de Fase			Aislamiento		Neutro Concéntrico	Características eléctricas		
			Calibre AWG	Área del conductor de fase mm <sup>2</sup>	Diámetro en mm	Espesor Mínimo Promedio en mm	Diámetro Aproximado en mm		Resistencia Eléctrica c.a. a 45°C Fase	Reactancia Inductiva (X <sub>L</sub> ) en Ω/km	Corriente de Fase en Amperios en ducto
1		ARE AA8000 90° 1x6+6 AWG 600V XLPE/PVC-SR	6	13.30	1.56	1.14	11.29	6	2.9110	0.05620	52
		ARE AA8000 90° 1x4+4 AWG 600V XLPE/PVC-SR	4	21.14	1.96	1.14	13.02	4	1.8020	0.06250	71
2		ARE AA8000 2x6+6 AWG 600V XLPE/PVC-SR	6	13.30	1.56	1.14	18,2x11,3	6	1.4520	0.10630	52
		ARE AA8000 2x4+6 AWG 600V XLPE/PVC-SR	4	21.14	1.96	1.14	21,6x13,5	6	0.9130	0.10110	71
3		ARE AA8000 90° 3x6+8 AWG 600V XLPE/PVC-IZQ	6	13.30	1.56	1.14	18.95	8	1.4500	0.10445	69
		ARE AA8000 3x4+6 AWG 600V XLPE/PVC-SR	4	21.15	1.96	1.14	23.28	6	0.9130	0.09935	91

Tabla 29. Impedancia de conductores de acometida

Resistencia Eléctrica c.a. y Reactancia Inductiva para Cables de Aluminio 600 V, a 60 Hz y 45°C. Conductores Sencillos en Tubo Conduit			
Calibre AWG/kcmil	Resistencia a Corriente Alterna R (Ohm/km)	Reactancia Inductiva X <sub>L</sub> (Ohm/km)	Z <sub>ef</sub> = R * Cos Ø + X <sub>L</sub> * Sen Ø
AA 8000 90° 1x6+6 AWG	2.9110	0.0562	2.6446
AA 8000 90° 1x4+4 AWG	1.8020	0.0625	1.6493
AA 8000 2x6+6 AWG	1.4520	0.1063	1.3536
AA 8000 2x4+6 AWG	0.9130	0.1011	0.8662
AA 8000 3x6+8 AWG	1.4500	0.1044	1.3510
AA 8000 3x4+6 AWG	0.9130	0.0994	0.8654



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

CD 2020

VERSIÓN: 1

**11 ANEXO No.2 TABLAS DE CALCULO DE CONDUCTORES  
NORMALIZADOS**



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

CD 2020

VERSIÓN: 1

A continuación se presentan los cálculos de los calibres óptimos para las redes en los Niveles de Tensión 1, 2 y 3, considerando el criterio de suplencia con otro circuito fijado en la Norma de Arquitectura de Red, el nivel de pérdidas de los conductores y los límites establecidos en la regulación de tensión.

## 11.1 CONDUCTORES PARA REDES AÉREAS

### 11.1.1 Nivel de Tensión 1

Tabla 30. Selección de conductores en redes aéreas pre-ensambladas en baja tensión

CALIBRES ÓPTIMOS POR RAMAL POR TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN CON RED PRE-ENSAMBLADA																					
CARGA INICIAL DE DISEÑO						80%	CARGA MÁXIMA DE DISEÑO			100%	CARGA MÁXIMA EN SUPLENCIA			125%	REGULACIÓN DE TENSIÓN EN SUPLENCIA					PÉRDIDAS EN POTENCIA [kW]	
Potencia Máxima del Ramal [kVA]	Tensión de Red [kV]	Corriente Nominal [A]	kVA de Diseño	Cantidad Ramales Iguales a Utilizar	Corriente por Ramal [A]	Calibre Calculado y/o Propuesto	kVA de Diseño	Cantidad de Ramales Iguales a Utilizar	Corriente por Ramal [A]	Calibre Calculado y/o Propuesto	kVA de Diseño	Cantidad de Ramales Iguales a Utilizar	Corriente por Ramal [A]	Calibre Calculado y/o Propuesto	Corriente Nominal del Conductor	Vanos por 0,03 km	Impedancia del Conductor Seleccionado	Caída de Tensión [V]	Caída de Tensión < 1%	Total de Pérdidas en kW en Suplencia	Total de Pérdidas en % en Suplencia < 1,15%
25	0.240	104.17	20.00	1	83.33	2 AWG	25.0	1	104.17	2 AWG	31.25	1	130.21	2 AWG	135	0.3	1.0331	0.0699	2.91%	5.60	1.15%
37.5	0.240	156.25	30.00	1	125	2 AWG	37.5	1	156.25	1/0 AWG	46.875	1	195.31	4/0 AWG	288	0.3	0.3510	0.0356	1.48%	3.96	0.54%
50	0.240	208.33	40.00	1	166.67	1/0 AWG	50.0	1	208.33	4/0 AWG	62.5	1	260.42	4/0 AWG	288	0.3	0.3510	0.0475	1.98%	7.04	0.72%
45	0.220	118.09	36.00	1	94.48	2 AWG	45.0	1	118.09	2 AWG	56.25	1	147.62	1/0 AWG	184	0.3	0.6710	0.0515	2.34%	4.52	0.89%
75	0.208	208.18	60.00	1	166.54	1/0 AWG	75.0	1	208.18	4/0 AWG	93.75	1	260.22	4/0 AWG	288	0.3	0.3570	0.0483	2.32%	7.03	0.83%
112.5	0.208	312.27	90.00	1	249.82	4/0 AWG	112.5	1	312.27	4/0 AWG	140.625	2	195.17	4/0 AWG	288	0.3	0.3570	0.0362	1.74%	3.95	0.62%
150	0.208	416.36	120.00	1	333.09	4/0 AWG	150.0	1	416.36	4/0 AWG	187.5	2	260.22	4/0 AWG	288	0.3	0.3570	0.0483	2.32%	7.03	0.83%



## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

CD 2020

VERSIÓN: 1

### 11.1.2 Nivel de Tensión 2 y Nivel de Tensión 3

*Tabla 31. Selección de conductores en redes aéreas semiaisladas en media tensión*

CÁLCULO DE CALIBRES ÓPTIMOS EN REDES MEDIA TENSIÓN AÉREA EN CONDUCTOR CUBIERTO RED SEMIAISLADA																					
CARGA INICIAL DE DISEÑO						80%	CARGA MÁXIMA DE DISEÑO			100%	CARGA MÁXIMA EN SUPLENCIA			200%	REGULACIÓN DE TENSIÓN EN SUPLENCIA					PÉRDIDAS EN POTENCIA [kW]	
Potencia Máxima del Ramal [MVA]	Tensión de Red [kV]	Corriente Nominal [A]	MVA de Diseño	Cantidad Ramales Iguales a Utilizar	Corriente por Ramal [A]	Calibre Calculado y/o Propuesto	MVA de Diseño	Cantidad de Ramales Iguales a Utilizar	Corriente por Ramal [A]	Calibre Calculado y/o Propuesto	MVA de Diseño	Cantidad de Ramales Iguales a Utilizar	Corriente por Ramal [A]	Calibre Calculado y/o Propuesto	Corriente Nominal del Conductor	Longitud del Circuito [km]	Impedancia del Conductor Seleccionado	Caída de Tensión [V]	Caída de Tensión < 1%	Total de Pérdidas en kW en Suplencia	Total de Pérdidas en % en Suplencia < 1,15%
3.5	13.2	153.09	2.8	1	212.12	1/0 AWG	3.5	1	153.09	2 AWG	7	1	306.17	4/0 AWG	355	4.65	0.5342	1.3173	0.9980%	172.61	0.27%
	34.5	58.57	2.8	1	81.16	2 AWG	3.5	1	58.57	2 AWG	7	1	117.14	2 AWG	184	14.3	1.1822	3.43	0.9942%	198.18	0.31%

## 11.2 CONDUCTORES PARA REDES SUBTERRÁNEAS

### 11.2.1 Nivel de Tensión 1

*Tabla 32. Selección de conductores en redes subterráneas en baja tensión*

CALIBRES ÓPTIMOS EN CONDUCTOR DE Cu POR RAMAL POR TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN CON RED SUBTERRÁNEA																							
CARGA INICIAL DE DISEÑO									50%	CARGA MÁXIMA DE DISEÑO						100%	CARGA MÁXIMA EN SUPLENCIA						125%
Potencia del Transformador [kVA]	Tensión de Red [kV]	Corriente Nominal [A]	kVA	Cantidad Ramales Iguales a Utilizar	Número de Hilos/Fase	Corriente por Ramal [A]	Factor de Agrupamiento	Corriente de Cálculo/ Conductor	Calibre Calculado y/o Propuesto	kVA de Diseño	Cantidad Ramales Iguales a Utilizar	Número de Hilos/Fase	Corriente por Ramal [A]	Factor de Agrupamiento	Corriente de Cálculo/ Conductor	Calibre Calculado y/o Propuesto	MVA de Diseño	Cantidad Ramales Iguales a Utilizar	Número de Hilos/Fase	Corriente por Ramal [A]	Factor de Agrupamiento	Corriente de Cálculo/ Conductor	Calibre Calculado y/o Propuesto
300	0.208	1442.31	150.00	4	1	104.09	1	104.10	1/0 AWG	300.00	4	1	208.18	1	208.20	350 kcmil	375	4	1	260.22	1	260.20	500 kcmil
500	0.208	2403.85	250.00	4	1	173.48	1	173.50	4/0 AWG	500.00	4	1	346.97	1	347.00	500 kcmil	625	6	1	289.14	1	289.10	500 kcmil
750	0.208	3605.77	375.00	4	1	260.22	1	260.20	500 kcmil	750.00	5	1	416.36	1	416.40	500 kcmil	937.5	9	1	289.14	1	289.10	500 kcmil
1000	0.208	2775.72	500.00	4	1	346.97	1	347.00	500 kcmil	1000.00	6	1	462.62	1	462.60	500 kcmil	1250	12	1	289.14	1	289.10	500 kcmil
1500	0.208	4163.58	750.00	5	1	416.36	1	416.40	500 kcmil	1500.00	9	1	462.62	1	462.60	500 kcmil	1875	18	1	289.14	1	289.10	500 kcmil
2000	0.208	5551.44	1000.00	7	1	396.53	1	396.50	500 kcmil	2000.00	12	1	462.62	1	462.60	500 kcmil	2500	20	2	173.48	0.8	216.90	350 kcmil



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

CD 2020

VERSIÓN: 1

11.2.2 Nivel de Tensión 2 y Nivel de Tensión 3

Tabla 33. Selección de conductores en redes subterráneas en media tensión

CÁLCULO DE CALIBRES ÓPTIMOS EN REDES MEDIA TENSIÓN SUBTERRÁNEA CONDUCTORES AI XLPE																					
CARGA INICIAL DE DISEÑO						80%	CARGA MÁXIMA DE DISEÑO			100%	CARGA MÁXIMA EN SUPLENCIA			200%	REGULACIÓN DE TENSIÓN EN SUPLENCIA					PÉRDIDAS EN POTENCIA [kW]	
Potencia Máxima del Ramal [MVA]	Tensión de Red [kV]	Corriente Nominal [A]	MVA de Diseño	Cantidad Ramales Iguales a Utilizar	Corriente por Ramal [A]	Calibre Calculado y/o Propuesto	MVA de Diseño	Cantidad de Ramales Iguales a Utilizar	Corriente por Ramal [A]	Calibre Calculado y/o Propuesto	MVA de Diseño	Cantidad de Ramales Iguales a Utilizar	Corriente por Ramal [A]	Calibre Calculado y/o Propuesto	Corriente Nominal del Conductor	Longitud del Circuito [km]	Impedancia del Conductor Seleccionado	Caida de Tensión [V]	Caida de Tensión < 1%	Total de Pérdidas en kW en Suplencia	Total de Pérdidas en % en Suplencia < 1,15%
3.5	13.2	153.09	2.8	1	122.47	1/0 AWG	3.5	1	153.09	1/0 AWG	7	1	306.17	500 kcmil	465	12.8	0.1866	1.2666	0.960%	109.91	0.17%
	34.5	58.57	2.8	1	46.86	1/0 AWG	3.5	1	58.57	1/0 AWG	7	1	117.14	1/0 AWG	200	23.9	0.7100	3.4429	0.998%	140.3	0.22%



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

CD 2020

VERSIÓN: 1

## **12 ANEXO No.3 METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA SECCIÓN ECONÓMICA DE CONDUCTORES**



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

CD 2020

VERSIÓN: 1

La sección económica se obtiene mediante la siguiente expresión.

$$S_e = I * \sqrt{\frac{\rho n H P F_p A (1x10^{-3})}{G}}$$

Donde,

- $S_e$  Sección económica del conductor en mm<sup>2</sup>.  
 $I$  Corriente nominal en amperios.  
 $\rho$  Resistividad del material del conductor a la temperatura de operación en Ohm-mm<sup>2</sup>/km.  
 $n$  Número de cables activos del sistema.  
 $H$  Número de horas de operación en un año con un máximo de 8760 Horas/año.  
 $F_p$  Factor de pérdidas  
 $P$  Precios de la energía en \$/kW-h.  
 $A$  Factor de interés anual.  
 $G$  Pendiente de la recta precios vs área.  
 $L$  Longitud del circuito.

Es importante hacer notar que la sección económica es independiente de la longitud del circuito y se obtiene en forma aproximada, ya que, por las siguientes razones, se incurre en un error despreciable:

- No se considera el incremento en la resistencia del conductor por el efecto de la corriente alterna.
- No se consideran las pérdidas en pantallas y aislamiento.
- Los precios de los cables se describen gráficamente mediante una recta.
- La sección económica resulta por lo general de mayor área que la requerida por la corriente nominal y se supone que la temperatura del conductor estará por abajo de la máxima de operación.
- No se considera la inflación.

$$A = \frac{(1 + i)^n - 1}{i (1 + i)^n}$$

Donde,

- $i$  Tasa de interés sin considerar inflación.  
 $n$  Número de períodos a evaluar.



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

CD 2020

VERSIÓN: 1

El valor de la resistividad por unidad de masa para el Cobre suave, que ha normalizado la IACS a 20 °C y 100% de conductividad es 0,15828  $\Omega$  gr/m<sup>2</sup>. Para su aplicación práctica, la resistividad suele darse en diferentes unidades usadas en los cálculos de ingeniería, las cuales son:

1,7241  $\mu\Omega$ -cm.

0,67879  $\mu\Omega$ -pulgada.

10,371  $\Omega$ -cmil/pie.

17,241  $\Omega$ -mm<sup>2</sup>/km.

Los valores para el Aluminio grado EC (Aluminio 1350 para usos eléctricos, de acuerdo a ASTM) con 61% de conductividad a 20°C, según IACS, son:

2,828  $\mu\Omega$ -cm.

1,1128  $\mu\Omega$ -pulgada.

17,002  $\Omega$ -cmil/pie.

28,000  $\Omega$ -mm<sup>2</sup>/km.

La norma UNE 20003 (IEC 28) (*Cobre-tipo recocido e industrial, para aplicaciones eléctricas*) recoge los siguientes valores:

### 1. Conductores de Cobre

Pto. 4,11: Resistividad del Cobre-tipo recocido a 20°C:

$\rho_{Cu20} = 1/58 \Omega \cdot mm^2/m$  (en lugar del popular valor 1/56  $\Omega \cdot mm^2/m$ ).

Pto. 4,14: Coeficiente de variación con la temperatura de la resistencia a 20 °C:

$\alpha_{Cu} = 0,00393 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

De conformidad con lo anterior la fórmula para el cálculo de la resistividad de un conductor de Cobre a cualquier temperatura T quedaría:

$$\rho_{CuT} = \rho_{Cu20} \cdot (1 + \alpha_{Cu} \cdot (T - 20)) \rightarrow \rho_{CuT} = 1/58 \times (1 + 0,00393 \times (T - 20))$$

Por tanto, el valor de la conductividad de los conductores de Cobre a 20 °C, cuyo valor es el inverso de la resistividad, es  $\gamma_{Cu20} = 58 \text{ m}/(\Omega \cdot mm^2)$  y no 56  $\text{ m}/(\Omega \cdot mm^2)$  valor que se corresponde con una temperatura de 29,1 °C.



## NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

CD 2020

VERSIÓN: 1

### 2. Conductores de Aluminio

Análogamente podemos proceder con los conductores de Aluminio. En este caso es la norma UNE 21096 (IEC 121) (Alambres de Aluminio industrial recocido, para conductores eléctricos) la que contempla los valores de las propiedades físicas.

Pto. 2.1: Resistividad no superior a  $0,0280 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$  a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Y por tanto conductividad no inferior a  $\gamma_{\text{Al}20} = 1/0,028 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2) = 35,71 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$ . Valor más exacto que el frecuentemente utilizado  $35 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$  que se corresponde con una temperatura de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Pto. 4.2: Coeficiente de resistencia  $\alpha \text{ Al} = 0,00407$ .

La expresión que nos proporciona la resistividad para conductores de Aluminio en base a los valores oficiales quedaría como sigue:

$$\rho_{\text{AlT}} = 0,028 \times (1 + 0,00407 \times (T-20))$$

Donde T es la temperatura del conductor valor que, recordemos una vez más, se obtiene con la siguiente fórmula:

$$T = T_0 + (T_{\text{máx}} - T_0) (I / I_{\text{máx}})^2$$

Donde,

- T Temperatura real estimada en el conductor.
- $T_0$  Temperatura ambiente (del conductor sin carga).
- $T_{\text{máx}}$  Temperatura máxima admisible para el conductor según su aislamiento.
- I Intensidad que circula por el conductor.
- $I_{\text{máx}}$  Intensidad máxima admisible para el conductor en las condiciones de la instalación.

Por último, debemos resaltar que lo realmente relevante en el momento de calcular caídas de tensión o pérdidas térmicas en las líneas es no acomodarse a los valores de conductividad a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  ya que en general llevan aparejados grandes errores por partir de una suposición falsa.

Por ejemplo, un cable en una bandeja se entiende que parte de una temperatura ambiental de referencia estándar de  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  y se va a calentar por efecto Joule al ser atravesado por una corriente eléctrica, es evidente que la temperatura del conductor va a estar muy alejada de los  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  y por ello en ausencia de cálculos más precisos lo adecuado es utilizar los valores de máxima temperatura en el conductor más importante que partir de 56 o 58 como valor inicial de conductividad para el Cobre.



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

CD 2020

VERSIÓN: 1

Tabla 34. Factores de corrección por temperatura para resistencia

Temperatura de Corrección de Resistencia por Temperatura en el Conductor		
Temperatura °C	Factor	
	Cu	Al
20	1.0000	1.0000
25	1.0916	1.0202
30	1.0393	1.0393
40	1.0786	1.0806
50	1.1179	1.1210
60	1.1572	1.1613
70	1.1965	1.2016
75	1.2161	1.2218
80	1.2358	1.2417
85	1.2554	1.2621
90	1.2750	1.2823
95	1.2947	1.3024
100	1.3143	1.3226
105	1.3340	1.3427
110	1.3536	1.3629
130	1.4322	1.4435
150	1.5108	1.5242
160	1.5501	1.5645
200	1.7073	1.7258
250	1.9073	1.9274



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

CD 2020

VERSIÓN: 1

## 13 ANEXO No.4 CONSTANTES DE REGULACIÓN



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

CD 2020

VERSIÓN: 1

Las constantes de regulación consideran entre otros parámetros, el calibre del conductor, el tipo de sistema, el factor de potencia del sistema, la longitud del conductor y la impedancia efectiva del conductor.

### 13.1 CONDUCTORES PARA REDES AÉREAS

#### 13.1.1 Nivel de Tensión 1

1. Constantes de regulación para la Red Pre-ensamblada a 220 V y factor de potencia de 0,9.

Tabla 35. Constantes para cálculos de regulación de tensión red pre-ensamblada

CONSTANTES DE REGULACIÓN - MOMENTO ELÉCTRICO					
Red Pre-ensamblada - Cos Ø=0,9					
Calibre AWG o kcmil (mm <sup>2</sup> )	Valor de K de Regulación $\%CV = K * kVA\text{-metro} * 100 / 1000$				
	Sistema Fuente 3Ø-3H / 4H			Sistema Fuente 2Ø-2H / 3H	
	3Ø /3-4H VLL	2Ø/2-3H VLL	1Ø/2-3H VLN	2Ø/2-3H VLL	1Ø/2-3H VLN
2 (33,62)	0.0215	0.0430	0.1288	0.0428	0.1707
1/0 (53,50)	0.0139	0.0278	0.0832	0.0275	0.1098
4/0 (107,21)	0.0074	0.0148	0.0443	0.0145	0.0580



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

CD 2020

VERSIÓN: 1

### 13.1.2 Nivel de Tensión 2 y Nivel de Tensión 3

2. Constantes de regulación para para conductores de la red semiaislada a 15 kV y 35 kV y factor de potencia de 0,9.

Tabla 36. Constantes para cálculos de regulación de tensión red semiaislada 15 kV y 35 kV

CABLE AAAC.							
Calibre AWG/kcmil	Valor de K de Regulación $\%CV = K * kVA\text{-metro} * 100 / 1000$						
	Redes 13,2 kV				Redes 34,5 kV		
	Sistema Fuente 3Ø-3H			Sistema Fuente 1Ø-2H	Sistema Fuente 3Ø-3H 100%		
	Red con Espaciador	Configuración Triangular	Configuración Plana	Configuración Plana	Red con Espaciador	Configuración Triangular	Configuración Plana
	3Ø /3H	3Ø /3H	2Ø /2H	1Ø /2H	3Ø /3H	3Ø /3H	2Ø /2H
2	0.00575	0.00675	0.01357	0.04071			
1/0	0.00379	0.00476	0.00958	0.02874	0.02301	0.02854	0.02874
4/0	0.00211	0.00303	0.00613	0.01840	0.01296	0.01820	0.01839
266.8	0.00137	0.00224	0.00454	0.01362	0.00854	0.01342	0.01362
334.6	0.00109	0.00194	0.00395	0.01184	0.00685	0.01164	0.01184



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

CD 2020

VERSIÓN: 1

## 13.2 CONDUCTORES PARA REDES SUBTERRÁNEAS

### 13.2.1 Nivel de Tensión 1

3. Constantes de regulación para Cables de Aluminio a 220 V y factor de potencia de 0,9.

Tabla 37. Constantes para cálculos de regulación de tensión conductores para cables de baja tensión de Aluminio

CONSTANTES DE REGULACIÓN - MOMENTO ELÉCTRICO					
Calibre (AWG o kcmil)	Valor de K de Regulación $\%CV = K * kVA\text{-metro} * 100 / 1000$				
	Sistema Fuente 3Ø-3H / 4H			Sistema Fuente 2Ø-2H / 3H	
	3Ø /3-4H VLL	2Ø/2-3H VLL	1Ø/2-3H VLN	2Ø/2-3H VLL	1Ø/2-3H VLN
12	0.1972	0.3944	1.1813	0.3315	1.3223
10	0.1237	0.2475	0.7412	0.2080	0.8297
8	0.0810	0.1620	0.4853	0.1362	0.5432
6	0.0510	0.1021	0.3057	0.0858	0.3422
4	0.0326	0.0652	0.1953	0.0548	0.2186
2	0.0209	0.0418	0.1252	0.0351	0.1402
1/0	0.0135	0.0271	0.0811	0.0228	0.0908
2/0	0.0111	0.0221	0.0663	0.0186	0.0742
3/0	0.0092	0.0184	0.0551	0.0155	0.0617
4/0	0.0073	0.0147	0.0440	0.0123	0.0492
250	0.0064	0.0128	0.0385	0.0108	0.0431
350	0.0056	0.0111	0.0334	0.0094	0.0374
500	0.0049	0.0098	0.0295	0.0083	0.0330



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

CD 2020

VERSIÓN: 1

4. Constantes de regulación para Cables de Cobre a 208 V y factor de potencia de 0,9.

Tabla 38. Constantes para cálculos de regulación de tensión conductores para cables de baja tensión de Cobre

CONSTANTES DE REGULACIÓN CABLES DE Cu 600 Voltios					
Calibre (AWG o kcmil)	Valor de K de Regulación $\%CV = K * kVA\text{-metro} * 100 / 1000$				
	Sistema Fuente 3Ø-3H / 4H			Sistema Fuente 2Ø-2H / 3H	
	3Ø /3-4H VLL	2Ø/2-3H VLL	1Ø/2-3H VLN	2Ø/2-3H VLL	1Ø/2-3H VLN
12	0.1382	0.2764	0.8291	0.0826	0.3314
10	0.0836	0.1672	0.5015	0.0499	0.2004
8	0.0550	0.1099	0.3298	0.0328	0.1318
6	0.0352	0.0703	0.2110	0.0210	0.0843
4	0.0228	0.0456	0.1368	0.0136	0.0547
2	0.0145	0.0289	0.0867	0.0086	0.0347
1/0	0.0097	0.0193	0.0579	0.0058	0.0232
2/0	0.0083	0.0165	0.0495	0.0049	0.0198
3/0	0.0067	0.0133	0.0400	0.0040	0.0160
4/0	0.0056	0.0112	0.0336	0.0033	0.0134
250	0.0049	0.0099	0.0296	0.0029	0.0118
350	0.0044	0.0087	0.0262	0.0026	0.0105
500	0.0039	0.0079	0.0236	0.0023	0.0094



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

CD 2020

VERSIÓN: 1

### 13.2.2 Nivel de Tensión 2 y Nivel de Tensión 3

5. Constantes de regulación tanto para conductores de Aluminio como para conductores de Cobre para la red subterránea de media tensión y factor de potencia de 0,9.

Tabla 39. Constantes para cálculos de regulación de tensión en redes de distribución subterránea en Aluminio en media tensión

Cable XLPE Aluminio - Cos Ø=0,9				
Calibre (AWG o kcmil)	Valor de K de Regulación $\%CV = K * kVA\text{-metro} * 100/1000$			
	Sistema Fuente 3Ø-2H/3H 100%			Sistema Fuente 3Ø-3H 100%
	3Ø /3H 13200 V	2Ø /3H 13200 V	1Ø /2H 7621 V	3Ø /3H 34500 V
2	0.00620	0.01240	0.00545	
1/0	0.00402	0.00803	0.00353	0.00060
2/0	0.00325	0.00650	0.00286	0.00048
3/0	0.00264	0.00529	0.00232	0.00040
4/0	0.00216	0.00432	0.00190	0.00032
250	0.00187	0.00374	0.00164	0.00028
350	0.00141	0.00283	0.00124	0.00021
500	0.00107	0.00214	0.00094	0.00016
750	0.00052	0.00104	0.00046	0.00012



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

CD 2020

VERSIÓN: 1

Tabla 40. Constantes para cálculos de regulación de tensión en redes de distribución subterránea en Cobre en media tensión

CABLE XLPE COBRE 100%. COSØ=0.9			
Calibre (AWG o kcmil)	Valor de K de Regulación %CV = K * kVA-metro*100/1000		
	Sistema Fuente 3Ø-2H/3H 100%		Sistema Fuente 3Ø-3H 34,5 kV
	3Ø /3H 13200 V	2Ø /3H 13200 V	3Ø /3H 34500 V 100%
2	0.003939	0.007877	
1/0	0.002596	0.005191	0.000389
2/0	0.002125	0.004250	0.000320
3/0	0.001750	0.003500	0.000264
4/0	0.001451	0.002902	0.000220
250	0.001269	0.002539	0.000193
350	0.000987	0.001974	0.000152
500	0.000774	0.001547	0.000121
750			0.000095

6. Constantes de regulación para para acometidas de baja tensión en Aluminio y factor de potencia de 0,9.

Tabla 41. Constantes para cálculos de regulación de tensión en acometidas de baja tensión en Aluminio

CONSTANTES DE REGULACIÓN - MOMENTO ELÉCTRICO					
Calibre	Valor de K de Regulación				
	Sistema Fuente 3Ø-3H / 4H			Sistema Fuente 2Ø-3H	
	3Ø /3-4H VLL	2Ø/2-3H VLL	1Ø/2-3H VLN	2Ø/2-3H VLL	1Ø/2-3H VLN
AA 8000 90° 1x6+6 AWG			0.366764		0.367303
AA 8000 90° 1x4+4 AWG			0.228732		0.229068
AA 8000 2x6+6 AWG		0.062574		0.047000	
AA 8000 2x4+6 AWG		0.040043		0.030076	
AA 8000 3x6+8 AWG	0.031227				
AA 8000 3x4+6 AWG	0.020003				



NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES

CD 2020

VERSIÓN: 1

## 14 ANEXO No.5 RADIOS DE CURVATURA DE CONDUCTORES



**NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES**

CD 2020

VERSIÓN: 1

A continuación se presentan los radios mínimos de curvatura para cables de media tensión bajo los cuales deben instalarse los conductores sin dañar su aislamiento.

*Tabla 42. Radios mínimos de curvatura para conductores monopolares de Al aislados para 15 kV - Aislamiento 100%*

<b>Radios de Curvatura para Conductores de Aluminio Pantalla Cinta de Cu 15 kV al 100%</b>					
<b>Calibre / Sección Transversal AWG-kcmil / mm<sup>2</sup></b>		<b>Diámetro del Conductor en mm</b>	<b>Espesor Nominal del Aislamiento en mm</b>	<b>Diámetro Total Exterior en mm</b>	<b>Radio Mínimo de Curvatura en mm</b>
2	33.62	6.81	4.45	22.10	265.20
1/0	53.50	8.55	4.45	23.90	286.80
2/0	67.44	9.57	4.45	24.90	298.80
3/0	85.02	10.80	4.45	26.10	313.20
4/0	107.21	12.10	4.45	27.40	328.80
250 kcmil	126.67	13.20	4.45	28.70	344.40
350 kcmil	177.34	15.70	4.45	31.70	380.40
500 kcmil	253.35	18.70	4.45	34.70	416.40
750 kcmil	380.02	23.10	4.45	39.30	471.60
1000 kcmil	506.70	26.90	4.45	44.80	672.00

*Tabla 43. Radios mínimos de curvatura para conductores monopolares de Al aislados para 35 kV - Aislamiento 100%*

<b>Radios de Curvatura para Conductores de Aluminio Pantalla Cinta de Cu 35 kV al 100%</b>					
<b>Calibre / Sección Transversal AWG-kcmil / mm<sup>2</sup></b>		<b>Diámetro del Conductor en mm</b>	<b>Espesor Nominal del Aislamiento en mm</b>	<b>Diámetro Total Exterior en mm</b>	<b>Radio Mínimo de Curvatura en mm</b>
1/0	53.50	8.56	8.76	33.00	396.00
2/0	67.44	9.57	8.76	34.00	408.00
3/0	85.02	10.80	8.76	35.20	422.40
4/0	107.21	12.10	8.76	36.50	438.00
250 kcmil	126.67	13.20	8.76	37.80	453.60
350 kcmil	177.34	15.70	8.76	40.30	604.50
500 kcmil	253.35	18.70	8.76	45.00	675.00
750 kcmil	380.02	23.10	8.76	50.10	751.50
1000 kcmil	506.70	26.90	8.76	53.90	808.50



**NORMAS DE DISEÑO DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN  
CAPÍTULO 2 CONDUCTORES**

CD 2020

VERSIÓN: 1

*Tabla 44. Radios de curvatura de los conductores monopares de Cu aislados para 15 kV - Aislamiento 100%*

<b>Radios de Curvatura para Conductores de Cu Pantalla Cinta de Cu 15 kV al 100%</b>					
<b>Calibre / Sección Transversal AWG-kcmil / mm<sup>2</sup></b>		<b>Diámetro del Conductor en mm</b>	<b>Espesor Nominal del Aislamiento en mm</b>	<b>Diámetro Total Exterior en mm</b>	<b>Radio Mínimo de Curvatura en mm</b>
2	33.62	6.81	4.45	22.00	264.00
1/0	53.50	8.55	4.45	23.70	284.40
2/0	67.44	9.57	4.45	24.80	297.60
3/0	85.02	10.80	4.45	26.00	312.00
4/0	107.21	12.10	4.45	27.30	327.60
250 kcmil	126.67	13.20	4.45	28.60	343.20
350 kcmil	177.34	15.70	4.45	31.60	379.20
500 kcmil	253.35	18.70	4.45	34.60	415.20
750 kcmil	380.02	23.10	4.45	39.20	470.40
1000 kcmil	506.70	26.90	4.45	44.70	670.50

*Tabla 45. Radios mínimos de curvatura para conductores monopares de Cu aislados para 35 kV - Aislamiento 100%*

<b>Radios de Curvatura para Conductores de Cu Pantalla Cinta de Cu 35 kV al 100%</b>					
<b>Calibre / Sección Transversal AWG-kcmil / mm<sup>2</sup></b>		<b>Diámetro del Conductor en mm</b>	<b>Espesor Nominal del Aislamiento en mm</b>	<b>Diámetro Total Exterior en mm</b>	<b>Radio Mínimo de Curvatura en mm</b>
1/0	53.50	8.55	8.38	32.80	393.60
2/0	67.44	9.57	8.38	33.90	406.80
3/0	85.02	10.80	8.38	35.10	421.20
4/0	107.21	12.10	8.38	36.40	436.80
250 kcmil	126.67	13.20	8.38	37.70	452.40
350 kcmil	177.34	15.70	8.38	40.20	603.00
500 kcmil	253.35	18.70	8.38	44.90	673.50
750 kcmil	380.02	23.10	8.38	50.00	750.00
1000 kcmil	506.70	26.90	8.38	53.80	807.00