



**Dirección Distribución de la Energía**

**ESTANDARIZACIÓN DE CALIBRES DE CONDUCTORES**

**01 de Mayo del 2017**

## Resumen

La estandarización de calibres de conductores de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz se realiza con el propósito de enlistar los cables que se utilizan en sus montajes de líneas de distribución considerando sus condiciones de operación en el área de cobertura, de construcción y mantenimiento.

Se parte de un estudio técnico para determinar las ampacidades de los conductores de aluminio desnudo AAC que se utilizan en el sistema de distribución aéreo de la CNFL. Se consideran los parámetros eléctricos y dimensionales de los conductores, así como los parámetros geográficos y de operación conforme a la zona donde se ubican los circuitos. Para el caso de los cables multiplex se determinan de acuerdo a las especificaciones técnicas, usos en acometidas y datos de fabricantes.

Los alambres de aluminio se establecen por su uso para atar en los diferentes montajes de la CNFL. Los alambres de cobre se presentan con sus características eléctricas y sus usos para aterrizamiento de las líneas de distribución y conexión de componentes. Los conductores de cobre desnudo se utilizan para la puesta a tierra de las líneas de distribución y equipos. Se señalan sus características eléctricas para cada calibre estandarizado.

Para el caso de los cables con aislamiento para redes compactas, se considera un estudio de compatibilidad realizado para determinar los calibres de los cables y remates. Además se compara su capacidad respecto a los calibres de conductores de aluminio desnudo.

Utilizando la información de las especificaciones técnicas, datos de fabricantes, y normas internacionales se determinan los calibres de los cables para sistemas de distribución subterránea y acorde al sistema actual de distribución de San José.

En el apartado 10 de este documento se muestra la lista de estos conductores estandarizados luego del estudio que se presenta a continuación.

# ÍNDICE GENERAL

<b>1.</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>8</b>
<b>2.</b>	<b>Conductores de aluminio AAC desnudo .....</b>	<b>10</b>
2.1.	Ampacidad de conductores .....	10
2.1.1.	Resistencia .....	11
2.1.2.	Efectos de la temperatura .....	11
2.1.3.	Coeficiente de temperatura de la resistencia .....	12
2.2.	Temperatura y corriente en conductores aéreos.....	12
2.2.1.	Temperatura del conductor en estado estable .....	12
2.2.2.	Pérdida de calor por convección forzada .....	13
2.2.3.	Convección natural .....	14
2.2.4.	Pérdida de calor irradiado.....	15
2.2.5.	Ganancia de calor del sol .....	16
2.3.	Cálculos de acuerdo a parámetros de la CNFL .....	18
2.3.1.	Cálculo de ampacidad a 75°C de operación .....	19
2.3.2.	Cálculo de ampacidad a 90°C de operación .....	21
2.4.	Uso de calibres en circuitos de la CNFL.....	22
<b>3.</b>	<b>Cables multiplex.....</b>	<b>23</b>
<b>4.</b>	<b>Alambres de aluminio .....</b>	<b>26</b>
<b>5.</b>	<b>Alambres de cobre .....</b>	<b>28</b>
<b>6.</b>	<b>Conductores de cobre desnudo.....</b>	<b>30</b>
<b>7.</b>	<b>Cables para redes compactas .....</b>	<b>31</b>
<b>8.</b>	<b>Cables para distribución subterránea.....</b>	<b>33</b>
8.1.	Distribución eléctrica subterránea de San José .....	33
8.2.	Cables para media tensión en distribución subterránea.....	34
8.3.	Canalizaciones .....	36
8.4.	Cables para baja tensión unipolares .....	37
8.5.	Cables para baja y media tensión trenzados .....	38
8.6.	Factores de corrección en media tensión .....	38
8.6.1.	Ejemplos .....	44
<b>9.</b>	<b>Otros calibres instalados en la CNFL.....</b>	<b>53</b>
<b>10.</b>	<b>Lista de conductores estandarizados.....</b>	<b>55</b>

<b>11. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>59</b>
<b>12. ANEXOS.....</b>	<b>60</b>
12.1. Cálculos de parámetros para la ampacidad en estado estable de conductores de aluminio estandarizados a 75°C .....	60
12.2. Cálculos de parámetros para la ampacidad en estado estable de conductores de aluminio estandarizados a 90°C .....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ejemplo de uso de alambre de aluminio para atar .....	27
Figura 2 Ejemplo de uso de alambre de cobre .....	29
Figura 3 Recorrido de circuitos subterráneos de transmisión .....	33
Figura 4 Distribución de tuberías en canalizaciones para cables unipolares .....	39
Figura 5 Distribución de tuberías en canalizaciones para cables trenzados .....	41
Figura 6 Caso 1 Circuito monofásico con cable unipolar en ducto .....	45
Figura 7 Caso 2 Circuito trifásico con cables unipolares .....	46
Figura 8 Caso 3 Dos circuitos trifásicos con cables unipolares .....	47
Figura 9 Caso 4 Cuatro circuitos trifásicos con cables unipolares .....	49
Figura 10 Caso 5 Circuito trifásico con cable trenzado en ducto .....	51
Figura 11 Caso 6 Un circuito trifásico con cables unipolares en paralelo	

52

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Conductores de aluminio desnudo estandarizados .....	10
Tabla 2 Coeficientes para nivel bajo y alto de contaminación .....	17
Tabla 3 Valor de la constante C en función de $\omega$ y $\chi$ .....	18
Tabla 4 Cálculo por convección natural.....	19
Tabla 5 Cálculo por convección forzada .....	20
Tabla 6 Cálculo de calor irradiado .....	20
Tabla 7 Cálculo de ganancia de calor del sol .....	21
Tabla 8 Corriente en estado estable a 75°C de operación .....	21
Tabla 9 Corriente en estado estable a 90°C de operación .....	21
Tabla 10 Comparación con valores teóricos a 75°C de operación .....	22
Tabla 11 Distancia de circuitos existentes en la CNFL.....	22
Tabla 12 Características de conductores estandarizados .....	24
Tabla 13 Ampacidades de cables multiplex .....	25
Tabla 14 Características de alambres de aluminio estandarizados.....	26
Tabla 15 Características de alambres de cobre estandarizados.....	28
Tabla 16 Características de conductores de cobre estandarizados.....	30
Tabla 17 Características de cables para redes compactas .....	31
Tabla 18 Equivalencias entre conductores para red compacta y aluminio desnudo.....	32
Tabla 19 Cables de cobre para media tensión estandarizados .....	35
Tabla 20 Cables de aluminio para media tensión estandarizados .....	35
Tabla 21 Dimensiones mínimas para una canalización.....	36
Tabla 22 Dimensiones mínimas para la tubería .....	36
Tabla 23 Cables subterráneos de cobre para baja tensión.....	37
Tabla 24 Cables subterráneos de aluminio para baja tensión.....	37
Tabla 25 Cables trenzados de cobre para acometidas.....	38
Tabla 26 Ampacidad máxima para cables unipolares en media tensión	40
Tabla 27 Ampacidad máxima para cables trenzados en media tensión	41
Tabla 28 Factor de corrección temperatura de terreno diferente a 20°C	41
Tabla 29 Factor de corrección nivel de profundidad diferente a 0,8 m .	42
Tabla 30 Factor de corrección resistividad térmica en cables unipolares diferente a 1,5 K·m/W .....	42
Tabla 31 Factor de corrección por resistividad térmica para tres conductores en un ducto diferente a 1,5 K·m/W .....	42
Tabla 32 Factor de corrección por cercanía de tuberías con cables con tres núcleos en tubería separada .....	43

Tabla 33 Factor de corrección por cercanía de tuberías con cables de circuitos trifásicos unipolares en tubería separada .....	44
Tabla 34 Caso 1 Circuito monofásico con cable unipolar en ducto .....	45
Tabla 35 Caso 2 Circuito trifásico con cables unipolares .....	46
Tabla 36 Caso 3 Dos circuitos trifásicos con cables unipolares.....	48
Tabla 37 Caso 4 Cuatro circuitos trifásicos con cables unipolares.....	49
Tabla 38 Caso 5 Circuito trifásico con cable trenzado en ducto .....	51
Tabla 39 Caso 6 Circuito trifásico con cables unipolares en paralelo ....	52
Tabla 40 Ampacidad de cables no estandarizados.....	53

# 1. Introducción

En el presente documento se establece la lista de calibres de conductores estandarizados por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) para mejorar el proceso de adquisición de accesorios, repuestos y herramientas. Además, en el Almacén de Materiales de la CNFL se tiene en el inventario una lista de conductores de cobre y aluminio, de la cual con el paso del tiempo, algunos calibres han quedado sin uso. Se pretende con este documento delimitar la variabilidad del inventario y realizar adquisiciones de solo los calibres de cables estandarizados.

Tomando en cuenta los circuitos existentes y la corriente trasegada de acuerdo a los datos históricos medidos en media y baja tensión, se realiza un estudio técnico de los conductores que normalmente se utilizan y se revisa si sus características eléctricas cumplen con lo requerido en la actualidad por la CNFL. Abarca los calibres utilizados en líneas aéreas desnudas, redes compactas, sistemas subterráneos, acometidas y puesta a tierra. Se clasifican de la siguiente forma:

- Conductores de aluminio AAC desnudo
- Cables de aluminio AAC multiplex con cubierta
- Alambres de aluminio desnudo y con cubierta
- Alambres de cobre desnudo
- Conductores de cobre desnudo
- Cables para redes compactas
- Cables para sistemas subterráneos

En el estudio se mencionan los calibres con sus respectivas características eléctricas y mecánicas: área transversal, diámetros, tensión a ser utilizada, ampacidad, resistencia máxima eléctrica, características termodinámicas, tipos de aislamiento así como factores geográficos, entre otras a considerar. Se indica además los usos actuales que les dan las diferentes áreas de trabajo de la CNFL. Las características eléctricas y mecánicas están de acuerdo a las especificaciones técnicas que posee la CNFL para la adquisición de estos conductores.

De acuerdo al Plan de Contingencias del Sistema de Distribución de la CNFL del 2015 realizado por el Centro de Control de Energía, se considera que para mantener una calidad de tensión similar al estado normal, se procura no sobrepasar 8 MW en circuitos de 13,8 kV y 25 MW en circuitos de 34,5 kV. Con



estos datos, se realiza el estudio de cálculos de ampacidad para corroborar los límites de operación actuales.

El cumplimiento de este estándar y de las especificaciones técnicas, permite la garantía de los conductores adquiridos y un orden en el inventario del Almacén de Materiales de la empresa. Además, permite igualmente delimitar los calibres utilizados por las empresas particulares autorizadas en construcciones en la red de la CNFL.

## 2. Conductores de aluminio AAC desnudo

El conductor de aluminio AAC (*All Aluminium Conductor*) es un conductor completo de aluminio 1350 de alto grado de resistencia a la corrosión y se utiliza en la CNFL en redes aéreas de distribución y transmisión en media tensión. Se utilizan 4 calibres de conductores AAC desnudo para media y baja tensión. Se presenta a continuación los calibres estandarizados en milímetros cuadrados, su equivalente calibre AWG y su nombre comercial:

- 33,62 mm<sup>2</sup> (2 AWG) Iris
- 85 mm<sup>2</sup> (3/0 AWG) Phlox
- 135 mm<sup>2</sup> (266 kcmil) Daisy
- 241,7 mm<sup>2</sup> (477 kcmil) Cosmos

### 2.1. Ampacidad de conductores

La ampacidad en un conductor eléctrico corresponde a la corriente máxima que puede transportar de una forma continua sin exceder su rango de temperatura, bajo las condiciones de uso de cada conductor. Con una temperatura ambiente de 25°C y respetando una temperatura máxima de 75°C en el conductor, para estos calibres se presenta las siguientes capacidades medidas en amperes (A). Además se presenta el diámetro y área transversal de cada uno. Los datos corresponden a los presentes en las especificaciones técnicas que se utilizan para la compra de materiales en la CNFL.

**Tabla 1 Conductores de aluminio desnudo estandarizados**

Calibre	Descripción	Ampacidad (A)	Diámetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )
33,62 mm <sup>2</sup> (2 AWG)	Cable de aluminio desnudo AAC Iris	185	7,42	33,68
85 mm <sup>2</sup> (3/0 AWG)	Cable de aluminio desnudo AAC Phlox	330	11,8	84,96
135 mm <sup>2</sup> (266 kcmil)	Cable de aluminio desnudo AAC Daisy	440	14,88	135,16
241,7 mm <sup>2</sup> (477 kcmil)	Cable de aluminio desnudo AAC Cosmos	639	20,12	241,54

### 2.1.1. Resistencia

La resistencia eléctrica, que es la oposición al flujo de carga a través de un material, se debe al tipo de material, su longitud, el área transversal y la temperatura del material. El cálculo de la resistencia en un conductor en corriente directa se expresa de la siguiente manera:

$$R_{DC} = \rho \frac{l}{A} \quad (1)$$

Siendo:

$\rho$ : factor de resistividad del aluminio (a 20°C es de  $2,82 \times 10^{-8} \Omega m$ ).

A: área transversal del conductor.

l: longitud del conductor.

### 2.1.2. Efectos de la temperatura

Como un conductor tiene un número alto de electrones libres, un aumento en la energía térmica aumentará el movimiento aleatorio de estas partículas y hará que se dificulte el flujo de electrones en cualquier dirección. Para un buen conductor, un aumento en la temperatura resultará en un aumento en el nivel de resistencia. Los conductores tienen un coeficiente térmico positivo. La resistencia aumenta casi linealmente con un incremento de temperatura. Para el caso del aluminio, se tiene una temperatura absoluta inferida de -236°C. Se tiene la siguiente relación en dos puntos:

$$\frac{236 + T_1}{R_1} = \frac{236 + T_2}{R_2} \quad (2)$$

Siendo:

$T_1$  y  $R_1$ : temperatura y resistencia en el punto 1.

$T_2$  y  $R_2$ : temperatura y resistencia en el punto 2.

### 2.1.3. Coeficiente de temperatura de la resistencia

El coeficiente de temperatura de la resistencia del aluminio a 20°C es de 0,00391 Ω/°C/Ω. Cuanto más alto sea el coeficiente de temperatura de la resistencia de un material, más sensible será el nivel de la resistencia a los cambios de temperatura. Se representa con la siguiente ecuación:

$$R_1 = R_{20}(1 + \alpha_{20}(T_1 - 20^\circ C)) \quad (3)$$

Como  $R_{20}$  es la resistencia del conductor a 20°C y  $(T_1 - 20^\circ C)$  es el cambio de temperatura a partir de 20°C, se puede escribir la ecuación como:

$$R = \rho \frac{l}{A} (1 + 0,00391 \times \Delta T) \quad (4)$$

## 2.2. Temperatura y corriente en conductores aéreos

La norma IEEE Std. 738 2006 *Standard for calculating the current – temperature relationship of bare overhead conductors* presenta un método para calcular la relación entre la temperatura y la corriente en conductores desnudos en líneas aéreas en estado estacionario (carga no varía en el tiempo). La temperatura en un conductor está en función de:

- Las propiedades del tipo de conductor
- Diámetro del conductor
- Condiciones de la superficie del conductor
- Condiciones del clima
- Corriente eléctrica máxima del conductor

### 2.2.1. Temperatura del conductor en estado estable

Se asume que el conductor se encuentra en equilibrio térmico; los parámetros que dependen del clima serán constantes. Se asume además la temperatura del conductor y se calculan las pérdidas de calor por convección y radiación ( $q_c$  y  $q_r$ ), aumento de calor solar ( $q_s$ ) y la resistencia del conductor.

$$q_c + q_r = q_s + I^2 R(T_c) \quad (5)$$

$$I = \sqrt{\frac{q_c + q_r - q_s}{R(T_c)}} \quad (6)$$

Donde las variables corresponden a:

$q_c$ : Tasa de pérdida de calor por convección por unidad de longitud (W/m).

$q_r$ : Tasa de pérdida de calor irradiado por unidad de longitud (W/m).

$q_s$ : Tasa de ganancia de calor del sol (W/m).

$I$ : Corriente eléctrica (A).

$R$ : Resistencia eléctrica (W/m).

$T_c$ : Temperatura del conductor ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Se parte de la ecuación de equilibrio térmico, donde la cantidad de calor emitido por el sistema es igual a la que se absorbe. Se asume como fuentes de refrigeración el viento y la radiación térmica del conductor hacia el medio. En el estado estable, la variación de la temperatura en el tiempo es cero.

$$q_c + q_r + mC_p \frac{dT_c}{dt} = q_s + I^2 R(T_c) \quad (7)$$

Donde:

$mC_p$ : Capacidad total de calor del conductor ( $\text{J}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ).

La capacidad de estado estable corresponde a la potencia a la cual se alcanza la temperatura máxima del conductor teniendo un flujo de potencia constante. Esta se denomina también capacidad de operación continua.

### 2.2.2. Pérdida de calor por convección forzada

La pérdida de calor presentada en un conductor de aluminio aéreo se presenta en la siguiente ecuación.

$$q_{c1} = \left[ 1,01 + 0,0372 \left( \frac{D\rho_f V_w}{\mu_f} \right)^{0,52} \right] k_f (T_c - T_a) \quad (8)$$

$$q_{c2} = 0,0119 \left( \frac{D\rho_f V_w}{\mu_f} \right)^{0,6} k_f (T_c - T_a) \quad (9)$$

Donde:

D: diámetro del conductor (mm).

$\rho_f$ : densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>).

$V_w$ : velocidad del viento (m/s).

$\mu_f$ : viscosidad dinámica del aire (Pa·s).

$k_f$ : conductividad térmica del aire a la temperatura  $T_{film}$  (W/m).

$T_c$ : temperatura del conductor (°C).

$T_a$ : temperatura ambiente (°C).

De las ecuaciones anteriores, la primera se aplica con velocidad de viento baja y la segunda con velocidad de viento alta. Se considera además, el factor de dirección del viento, donde  $\varphi$  es el ángulo entre la dirección del viento y el eje del conductor.

$$K_{angle} = 1,194 - \cos(\varphi) + 0,194 \cos(2\varphi) + 0,368 \sin(2\varphi) \quad (10)$$

### 2.2.3. Convección natural

Con velocidad del viento nulo, se produce una pérdida de calor por convección natural, donde la tasa de pérdida de calor por convección por unidad de longitud se expresa de la siguiente manera:

$$q_c = 0,0205 \rho_f^{0,5} D^{0,75} (T_c - T_a)^{1,25} \quad (11)$$

$$T_{film} = \frac{T_c + T_a}{2} \quad (12)$$

Donde:

$T_{film}$ : temperatura de la película de aire (°C).

La viscosidad, densidad y conductividad térmica del aire se calculan con las siguientes fórmulas:

$$\mu_f = \frac{1,458 \times 10^{-6} (T_{film} + 273)^{1,5}}{T_{film} + 383,4} \quad (13)$$

$$\rho_f = \frac{1,293 - 1,525 \times 10^{-4} H_e + 6,379 \times 10^{-9} H_e^2}{1 + 0,00367 T_{film}} \quad (14)$$

$$k_f = 2,424 \times 10^{-2} + 7,477 \times 10^{-5} T_{film} - 4,407 \times 10^{-9} T_{film}^2 \quad (15)$$

Donde:

$H_e$ : elevación del conductor sobre el nivel del mar.

#### 2.2.4. Pérdida de calor irradiado

La pérdida de calor irradiado se define como la capacidad que tiene el conductor de transferir calor al medio circundante a través de la emisión de ondas electromagnéticas asociadas con la temperatura que posee.

$$q_r = 0,0178 D \varepsilon \left[ \left( \frac{T_c + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_a + 273}{100} \right)^4 \right] \quad (16)$$

Donde:

$\varepsilon$ : coeficiente de emisividad.

### 2.2.5. Ganancia de calor del sol

La ganancia de calor del sol es el aporte térmico debido a la incidencia de los rayos solares.

$$q_s = \alpha Q_{se} \sin(\theta) A' \quad (17)$$

$$Q_{se} = K_{solar} Q_s \quad (18)$$

$$K_{solar} = 1 + 1,148 \times 10^{-4} H_e - 1,108 \times 10^{-8} H_e^2 \quad (19)$$

$$\theta = \cos^{-1}[\cos(H_c) \cos(Z_c - Z_l)] \quad (20)$$

Donde:

$\theta$ : ángulo efectivo de la incidencia de los rayos del sol ( $^\circ$ ).

$\alpha$ : coeficiente de absorción solar.

$Q_s$ : radiación solar total ( $W/m^2$ ).

$Q_{se}$ : radiación solar incidente total corregida por la altura en ( $W/m^2$ ).

$A'$ : área proyectada por el conductor ( $m^2/m$ ).

$Z_c$ : acimut solar ( $^\circ$ ).

$Z_l$ : acimut de la línea de distribución ( $^\circ$ ).

La radiación solar total  $Q_s$  se modela matemáticamente de acuerdo al estándar en función de la altitud del sol y el tipo de atmósfera. Además, se le aplica un factor de corrección por efecto de la altura sobre el nivel del mar.

$$Q_s = A + BH_c + CH_c^2 + DH_c^3 + EH_c^4 + FH_c^5 + GH_c^6 \quad (21)$$

Donde:

A, B, C, D, E y F: coeficientes del modelo matemático.



Para un nivel de contaminación bajo o medio se utilizan los valores de la segunda columna, mientras que para un nivel alto se utilizan los valores de la tercera columna de la siguiente tabla.

**Tabla 2 Coeficientes para nivel bajo y alto de contaminación**

Coeficiente	Valores de coeficientes para nivel bajo de contaminación	Valores de coeficientes para nivel alto de contaminación
A	-42,2391	53,1821
B	63,8044	14,2110
C	-1,922	0,66138
D	$3,46921 \times 10^{-2}$	$-3,1658 \times 10^{-2}$
E	$-3,61118 \times 10^{-4}$	$5,4654 \times 10^{-4}$
F	$1,94318 \times 10^{-6}$	$-4,3446 \times 10^{-6}$
G	$-4,07608 \times 10^{-9}$	$1,3236 \times 10^{-8}$

La altitud solar  $H_c$  y el acimut solar  $Z_c$  dependen de la latitud propia y zona geográfica donde se ubica la línea de distribución. Se presentan en las siguientes ecuaciones.

$$H_c = \sin^{-1}[\cos(lat) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(lat) \sin(\delta)] \quad (22)$$

$$\delta = 23,4583 \sin\left(360 \frac{284 + N}{365}\right) \quad (23)$$

$$Z_c = C + \tan^{-1}(\chi) \quad (24)$$

$$\omega = \cos^{-1}\left(\frac{-\tan(\delta)}{\tan(lat)}\right) \quad (25)$$

$$\chi = \frac{\sin(\omega)}{\sin(lat) \cos(\omega) - \cos(lat) \tan(\delta)} \quad (26)$$

Donde:

$H_c$ : altitud solar.

$\omega$ : ángulo de la hora local.

$\delta$ : declinación solar.

N: el día del año en el que se realiza el cálculo.

lat: latitud geográfica de la zona donde se encuentra el circuito.

$\chi$ : Variable asociada al acimut solar.

C: constante asociada con el acimut solar.

El valor de la constante C en función de  $\omega$  y  $\chi$  se obtiene de la Tabla 3.

**Tabla 3 Valor de la constante C en función de  $\omega$  y  $\chi$**

Ángulo horario $\omega$ (°)	C si $\chi \geq 0$	C si $\chi < 0$
$-180 \leq \omega < 0$	0	180
$0 \leq \omega \leq 180$	180	360

### 2.3. Cálculos de acuerdo a parámetros de la CNFL

Para el caso de los conductores aéreos de aluminio utilizados en la CNFL, se presenta a continuación el análisis del efecto de la temperatura en estos conductores utilizando el procedimiento de la norma anteriormente descrita. Se realiza los cálculos considerando una temperatura del conductor en operación de 75°C y también para el caso de una temperatura de 90°C. Como parámetros geográficos se consideran los siguientes valores:

- Se revisa el historial de temperatura ambiente presente en la mayoría de las zonas que cubre la CNFL, se considera una temperatura ambiente promedio de 25°C.
- Se considera igualmente la posición geográfica de la mayoría de las zonas cubiertas por la CNFL, se toma una elevación del conductor sobre el nivel del mar de 1160 m.
- Como promedio se toma una velocidad del viento de 20 km/h.

Con estos datos se obtiene el valor de  $T_{film}$  y las características del aire en esta condición:

- Viscosidad del aire  $\mu_f = 1,95287 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$
- Densidad del aire  $\rho_f = 0,950302985 \text{ kg/m}^3$
- Conductividad térmica del aire  $k_f = 0,027967483 \text{ W/m}$
- Temperatura de la película de aire  $T_{film} = 50^\circ\text{C}$

El estándar recomienda para el caso del coeficiente de emisividad un valor de  $\epsilon = 0,5$  al no conocerse el estado del conductor. En el caso de un conductor nuevo se toma el valor de  $\epsilon = 0,2$  y en el caso de conductores deteriorados por el tiempo de  $\epsilon = 0,9$ . Igualmente se recomienda un ángulo entre el viento y el eje del conductor de  $\varphi = 30^\circ$  para el día y  $\varphi = 20^\circ$  para la noche.

### 2.3.1. Cálculo de ampacidad a 75°C de operación

Para el cálculo de la pérdida de calor por convección natural, se obtiene de la ecuación (11) los siguientes resultados para los diferentes calibres de conductores estandarizados para una temperatura de 75°C de operación del conductor:

**Tabla 4 Cálculo por convección natural**

Pérdida de calor por convección natural $q_c \text{ (W/m)}$	2 AWG	3/0 AWG	266 kcmil	477 kcmil
	11,94539	16,91644	20,13027	25,24169

Asimismo, utilizando las ecuaciones (8) y (9) se obtiene el comportamiento en caso de poco y mucho viento para el cálculo de esta pérdida.

**Tabla 5 Cálculo por convección forzada**

	2 AWG	3/0 AWG	266 kcmil	477 kcmil
<b>Pérdida de calor por convección forzada (velocidad baja de viento) <math>q_{c1}</math> (W/m)</b>	74,29140	94,27338	106,22186	124,08605
<b>Pérdida de calor por convección forzada (velocidad alta de viento) <math>q_{c2}</math> (W/m)</b>	74,80737	98,81691	113,57005	136,10649

Para el cálculo de pérdida de calor irradiado que se muestra en la Tabla 6, se utiliza la ecuación (16) para la cual se requiere conocer los valores del diámetro de conductor en estudio, las temperaturas ambiente y de operación máxima del conductor y su coeficiente de emisidad el cual se considera un valor de 0,5 al no conocer el estado del conductor.

**Tabla 6 Cálculo de calor irradiado**

<b>Pérdida de calor irradiado <math>q_r</math> (W/m)</b>	2 AWG	3/0 AWG	266 kcmil	477 kcmil
	4,47740	7,12039	8,97893	12,14086

En el caso del cálculo de la ganancia de calor del sol que se indica en la Tabla 7, se debe de considerar varios parámetros de acuerdo al lugar donde se encuentra la línea de distribución. Como se busca hacer un estudio promedio de todos los circuitos de la red, se consideran valores aproximados del área que cubre la CNFL para el caso de la latitud y el día del año en estudio. La constante asociada con el acimut solar se toma del estándar de acuerdo al ángulo horario y la variable asociada al acimut solar. Para el coeficiente de absorción solar se toma un valor de 0,5 al no conocer el estado del conductor. Se utiliza el modelo matemático para el cálculo de radiación solar incidente total y así poder calcular la ganancia de calor del sol.

**Tabla 7 Cálculo de ganancia de calor del sol**

Ganancia de calor del sol $q_s$ (W/m)	2 AWG	3/0 AWG	266 kcmil	477 kcmil
	4,24074	6,74404	8,50435	11,49916

Al tener los valores de pérdida de calor por convección natural, calor irradiado y ganancia de calor del sol, se calcula la corriente en estado estable, como se muestra en la Tabla 8 de estos conductores de acuerdo a la ecuación (6).

**Tabla 8 Corriente en estado estable a 75°C de operación**

Corriente en estado estable (A)	2 AWG	3/0 AWG	266 kcmil	477 kcmil
	108,00	204,54	281,39	420,84

### 2.3.2. Cálculo de ampacidad a 90°C de operación

Siguiendo la misma secuencia en los cálculos, se realizan cambiando la temperatura de operación del conductor a 90°C obteniendo los siguientes valores de corriente en estado estable que se muestran en la Tabla 9.

**Tabla 9 Corriente en estado estable a 90°C de operación**

Corriente en estado estable (A)	2 AWG	3/0 AWG	266 kcmil	477 kcmil
	132,77	252,83	348,86	523,87

En la Tabla 10, se realiza una comparación de valores de corriente calculados con los teóricos presentados por los fabricantes de conductores de aluminio. Se muestra que los calculados son inferiores a los teóricos. Se debe tener presente que el valor teórico dado por el fabricante, considera una altitud a nivel del mar, sin sol y con poco viento. Las temperaturas ambiente y la del conductor son las mismas que la condición en estudio. Se puede observar que los valores calculados bajo las condiciones anteriormente descritas son menores a los valores teóricos de fabricante a una temperatura de operación de 75°C.

**Tabla 10 Comparación con valores teóricos a 75°C de operación**

<b>Corriente en estado estable (A)</b>	<b>2 AWG</b>	<b>3/0 AWG</b>	<b>266 kcmil</b>	<b>477 kcmil</b>
Corriente en estado estable a 75°C	108,00	204,54	281,39	420,84
Corriente en estado estable a 90°C	132,77	252,83	348,86	523,87
Corriente teórica (de fabricantes) a 75°C	185	330	440	639

## 2.4. Uso de calibres en circuitos de la CNFL

En la CNFL se utilizan los calibres en aluminio para sistemas aéreos en baja y media tensión, en circuitos trifásicos, bifásicos y monofásicos. La siguiente tabla muestra una cantidad aproximada en kilómetros de distancia de circuitos en estas tensiones que existen actualmente en toda el área donde la CNFL brinda sus servicios y el uso estandarizado de cada calibre. La cantidad de kilómetros instalado es considerable y se ha manejado en su mayoría estos calibres.

**Tabla 11 Distancia de circuitos existentes en la CNFL**

<b>Calibre</b>	<b>Media tensión</b>	<b>Baja tensión</b>	<b>Uso</b>
33,62 mm <sup>2</sup> (2 AWG)	250 km	120 km	Ramales trifásicos, bifásicos y monofásicos de media tensión de 34,5 kV y de 13,8 kV, distancias cortas y baja tensión.
85 mm <sup>2</sup> (3/0 AWG)	1800 km	2400 km	Ramales trifásicos, bifásicos y monofásicos en media tensión y circuitos de baja tensión
135 mm <sup>2</sup> (266 kcmil)	200 km	-	Circuito trifásico principal de 13,8 kV
241,7 mm <sup>2</sup> (477 kcmil)	400 km	-	Circuito trifásico principal de 34,5 kV

El uso de estos calibres tiene una trascendencia histórica de más de 30 años de la CNFL. La cantidad de kilómetros ya instalados con estos calibres involucraría un costo muy alto si se quisiera cambiar su calibre porque también implica un cambio de accesorios y herramientas tanto para la construcción como para el mantenimiento de las mismas. Por eso, se estandarizan respetando los límites operacionales que evitan problemas de regulación y bajo voltaje y de esta forma delimitando el uso de calibres.

### 3. Cables multiplex

Los cables multiplex de aluminio AAC son utilizados en la CNFL para distribución en baja tensión, acometidas de servicio aéreas para configuraciones monofásicas bifilares, bifásicas trifilares y trifásicas tetrafilares. Son multiconductores formados por tres o cuatro conductores. Los conductores utilizados como fases del circuito eléctrico están cubiertos por un polietileno, ya sea el reticulado o el termoplástico de alta o baja densidad. El mensajero o neutro es de aluminio desnudo AAC.

El polietileno reticulado XLPE (*cross linked polyethylene*) es un material termoestable. Los cambios de temperatura no modifican sus propiedades mecánicas por su proceso de reticulación. La reticulación es una reacción química por la que los polímeros se unen en cadenas tridimensionalmente formando una especie de red. En un cable con este tipo de aislamiento es resistente a los efectos del clima y a los rayos solares.

El polietileno termoplástico de alta y baja densidad, HDPE y LDPE respectivamente, tiene una alta resistencia dieléctrica y a los efectos del clima. Está conformado por varias unidades de etileno. El HDPE tiene como ventajas la alta resistencia química y alta resistencia a los rayos ultravioletas, entre otras. El LDPE es más flexible que el HDPE.

Los conductores estandarizados en la CNFL son los siguientes:

- Cable de aluminio tríplex Patella 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG)
- Cable de aluminio tríplex Oyster 21,1 mm<sup>2</sup> (4 AWG)
- Cable de aluminio tríplex Clam 33,62 mm<sup>2</sup> (2 AWG)
- Cable de aluminio tríplex Quahog 85 mm<sup>2</sup> (3/0 AWG)
- Cable de aluminio tríplex Ione 85 mm<sup>2</sup> (3/0 AWG)
- Cable de aluminio cuádruplex Mustang 33,62 mm<sup>2</sup> (2 AWG)

En la Tabla 12 se presentan las características dimensionales de estos calibres multiplex estandarizados.

**Tabla 12 Características de conductores estandarizados**

Calibre	Descripción	Diámetro de cada conductor sin aislamiento (mm)	Diámetro de cada conductor con aislamiento (mm)	Diámetro de neutro o mensajero (mm)
13,3 mm <sup>2</sup> (6 AWG)	Cable de aluminio tríplex Patella	4,67	6,87	4,67
21,1 mm <sup>2</sup> (4 AWG)	Cable de aluminio tríplex Oyster	5,89	8,09	5,89
33,62 mm <sup>2</sup> (2 AWG)	Cable de aluminio tríplex Clam	7,42	9,62	7,42
85 mm <sup>2</sup> (3/0 AWG)	Cable de aluminio tríplex Quahog	11,79	14,79	11,79
85 mm <sup>2</sup> (3/0 AWG)	Cable de aluminio tríplex Ione	11,94	15,74	11,79
33,62 mm <sup>2</sup> (2 AWG)	Cable de aluminio cuádruplex Mustang	7,42	9,62	7,42

La Tabla 12 presenta los diámetros aproximados de estos conductores presentados en las especificaciones técnicas de la CNFL. La diferencia entre el cable tríplex Quahog y el Ione es la cantidad de hilos que tiene cada uno en los conductores de fase. El tríplex Quahog está conformado por 7 hilos de aluminio mientras que el tríplex Ione tiene 19 hilos en ellos con neutro de 7 hilos.

Con una temperatura ambiente de 40°C y respetando una temperatura máxima de 75°C en el conductor, para estos calibres se presenta en la Tabla 13 las capacidades en amperes (A).



**Tabla 13 Ampacidades de cables multiplex**

<b>Calibre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ampacidad (A)</b>
13,3 mm <sup>2</sup> (6 AWG)	Cable de aluminio tríplex Patella	59
21,1 mm <sup>2</sup> (4 AWG)	Cable de aluminio tríplex Oyster	78
33,62 mm <sup>2</sup> (2 AWG)	Cable de aluminio tríplex Clam	106
85 mm <sup>2</sup> (3/0 AWG)	Cable de aluminio tríplex Quahog	242
85 mm <sup>2</sup> (3/0 AWG)	Cable de aluminio tríplex Ione	242
33,62 mm <sup>2</sup> (2 AWG)	Cable de aluminio cuádruplex Mustang	106

Comparando los cables multiplex con los conductores desnudos de aluminio AAC, los de aluminio desnudo posee una ampacidad mayor que los multiplex. El AAC al estar a la intemperie y desnudo, permite que las condiciones del clima, como el viento, ayude a disminuir su temperatura. En cambio, cuando se tiene un conductor AAC con aislamiento, este lo protege pero su capacidad de flujo de corriente es menor al estar cubierto.

## 4. Alambres de aluminio

En la CNFL se utilizan ciertos calibres de alambres de aluminio desnudo o con aislamiento HDPE o LDPE. El alambre es de aluminio 1350. Estos son utilizados para atar en los diferentes montajes realizados por el personal de la CNFL. Los alambres de aluminio estandarizados son los siguientes y en la Tabla 14 se muestran sus características dimensionales.

- Alambre de aluminio con aislamiento 5,26 mm<sup>2</sup> (10 AWG)
- Alambre de aluminio desnudo 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG)
- Alambre de aluminio desnudo 21,15 mm<sup>2</sup> (4 AWG)

**Tabla 14 Características de alambres de aluminio estandarizados**

Calibre	Descripción	Diámetro (mm)	Espesor del aislamiento (mm)
5,26 mm <sup>2</sup> (10 AWG)	Alambre de aluminio con aislamiento	2,588	1,14
13,3 mm <sup>2</sup> (6 AWG)	Alambre de aluminio desnudo	4,115	-
21,15 mm <sup>2</sup> (4 AWG)	Alambre de aluminio desnudo	5,189	-

El uso del alambre con aislamiento 5,26 mm<sup>2</sup> (10 AWG) se presenta en trabajos donde se labora con línea energizada; que se requiera una rápida intervención sin desconectar el circuito. También se utiliza para atar los conductores en una conexión de un servicio a un distanciador o como soporte de la acometida en la llegada a una conduleta. Para todos estos casos se utiliza alambre con aislamiento para evitar cualquier posible contacto con alguna fase. En redes compactas se utiliza para atar alambre con aislamiento para proteger la cubierta del conductor. Se utiliza en las áreas de averías, mantenimiento y construcción.

El alambre de aluminio desnudo igualmente se utiliza para atar pero construcciones de líneas o intervenciones en donde se puede desconectar el circuito a manipular. El calibre del alambre de aluminio dependerá del ángulo formado por la línea en el poste y del calibre del conductor que se requiere atar.

la figura 1 muestra un ejemplo en donde se utiliza alambre de aluminio para atar en un montaje de paso primario monofásico.

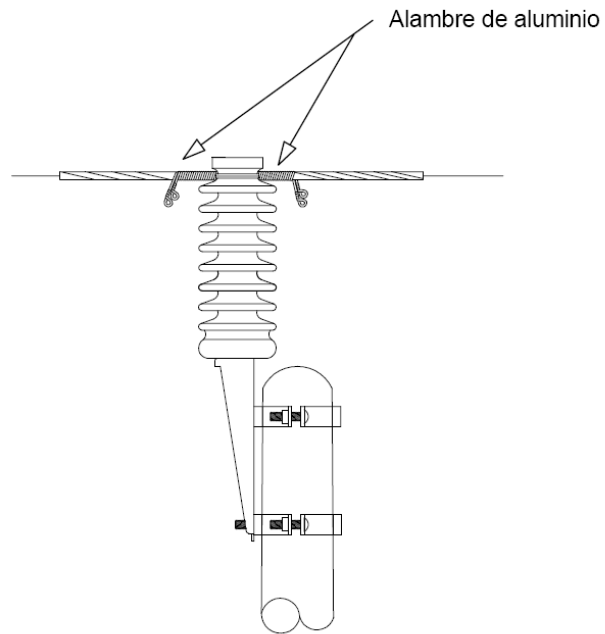


Figura 1 Ejemplo de uso de alambre de aluminio para atar

## 5. Alambres de cobre

Los alambres de cobre utilizados por la CNFL son de cobre electrolítico de alta pureza, aleación C11040 ETP (*electrolytic tough pitch*). Los alambres de cobre estandarizados se presentan a continuación y en la Tabla 15 se indica el dato de ampacidad en una condición de temperatura de operación de 75°C a una temperatura ambiente de 25°C.

- Alambre de cobre desnudo 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG)
- Alambre de cobre desnudo 21,15 mm<sup>2</sup> (4 AWG)
- Alambre de cobre con aislamiento TPR 21,15 mm<sup>2</sup> (4 AWG)

**Tabla 15 Características de alambres de cobre estandarizados**

Calibre	Descripción	Diámetro (mm)	Espesor del aislamiento (mm)	Ampacidad (A)
13,3 mm <sup>2</sup> (6 AWG)	Alambre de cobre desnudo	4,11	–	100
21,15 mm <sup>2</sup> (4 AWG)	Alambre de cobre desnudo	5,9	–	131
21,15 mm <sup>2</sup> (4 AWG)	Alambre de cobre con aislamiento TPR	5,9	1,6	106

Estos alambres son utilizados para aterrizar los transformadores, para la puesta a tierra de las líneas de distribución y bajantes de conos de alivio y para alambrar módulos de pararrayos. Se utiliza en las áreas de alumbrado, averías, mantenimiento y construcción. Para el caso de redes compactas, se utiliza el alambre de cobre con aislamiento TPR (*thermoplastic rubbers*).

En la Figura 2 se muestra un ejemplo en el que se utiliza el alambre de cobre en la conexión de un pararrayos en una línea de distribución donde se realiza una conexión entre el estribo de compresión y el pararrayos.

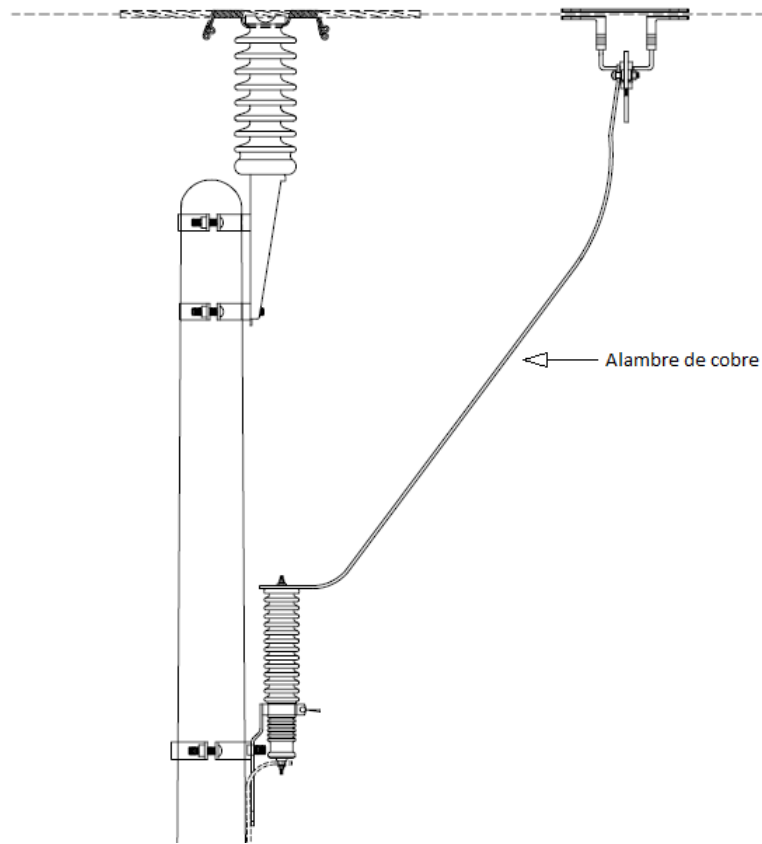


Figura 2 Ejemplo de uso de alambre de cobre

## 6. Conductores de cobre desnudo

Los conductores de cobre desnudo utilizados en la CNFL, son de cobre electrolítico de alta pureza, aleación C11040 ETP. Los estandarizados son los que se presentan a continuación. El dato de ampacidad se presenta en la Tabla 16 en una condición de temperatura de operación de 75°C y a una temperatura ambiente de 25°C.

- Cable de cobre desnudo 13,3 mm<sup>2</sup> (6 AWG)
- Cable de cobre desnudo 21,1 mm<sup>2</sup> (4 AWG)
- Cable de cobre desnudo 53,5 mm<sup>2</sup> (1/0 AWG)
- Cable de cobre desnudo 67,4 mm<sup>2</sup> (2/0 AWG)

**Tabla 16 Características de conductores de cobre estandarizados**

Calibre	Descripción	Diámetro (mm)	Ampacidad (A)
13,3 mm <sup>2</sup> (6 AWG)	Cable de cobre desnudo	4,67	130
21,1 mm <sup>2</sup> (4 AWG)	Cable de cobre desnudo	5,89	168
53,5 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	Cable de cobre desnudo	9,47	305
67,4 mm <sup>2</sup> (2/0 AWG)	Cable de cobre desnudo	10,64	357

Estos conductores son utilizados en la CNFL para la puesta a tierra de las diferentes líneas de distribución y de equipos por las áreas de averías, mantenimiento y construcción.

## 7. Cables para redes compactas

Para la estandarización de cables con protegidos para redes compactas, se realizó un estudio de compatibilidad entre conductores y remates que se utilizan en estas líneas de distribución. Las redes compactas brindan una mejor confiabilidad y continuidad en el servicio brindado. Se busca seguir implementando este sistema principalmente donde haya zonas con mucha vegetación que dificulte las podas y el mantenimiento. También es favorable para la fauna. Actualmente la CNFL posee una línea compacta monofásica ubicada en la Finca Los Lotes del distrito de Dulce Nombre de la Unión de Cartago y una red compacta trifásica en la Planta Hidroeléctrica Balsa Inferior.

De acuerdo al estudio de compatibilidad, se estandarizan los siguientes calibres dependiendo la tensión de operación. Además se hace una comparación de capacidad de trasiego de corriente respecto a los calibres de conductores de aluminio desnudo AAC utilizados en la mayoría de circuitos. Igualmente, su capacidad está abajo del límite operacional requerido por la CNFL.

- Cable de aluminio de aislamiento para 15 kV, 95 mm<sup>2</sup>
- Cable de aluminio de aislamiento para 15 kV, 150 mm<sup>2</sup>
- Cable de aluminio de aislamiento para 35 kV, 95 mm<sup>2</sup>
- Cable de aluminio de aislamiento para 35 kV, 240 mm<sup>2</sup>

**Tabla 17 Características de cables para redes compactas**

Calibre	Descripción	Diámetro total (rango en mm)	Ampacidad mínima (A) (70°C T <sub>c</sub> / 30°C T <sub>a</sub> )	Ampacidad mínima (A) (90°C T <sub>c</sub> / 30°C T <sub>a</sub> )
95 mm <sup>2</sup>	Cable de aluminio para red compacta de 15 kV	17,55 - 18,55	315	382
150 mm <sup>2</sup>	Cable de aluminio para red compacta de 15 kV	21,20 - 22,50	415	504
95 mm <sup>2</sup>	Cable de aluminio para red compacta de 35 kV	27,20 - 28,90	299	364
240 mm <sup>2</sup>	Cable de aluminio para red compacta de 35 kV	34,90 - 37,00	533	651

En el estudio de compatibilidad se presenta la siguiente comparación entre estos conductores para redes compactas y los conductores de aluminio AAC desnudo.

**Tabla 18 Equivalencias entre conductores para red compacta y aluminio desnudo**

<b>Cable de red compacta</b>	<b>Equivalente de conductor de aluminio AAC desnudo</b>
Cable de aluminio para red compacta de 15 kV, 95 mm <sup>2</sup>	Cable de aluminio desnudo AAC Phlox 85 mm <sup>2</sup> (3/0 AWG)
Cable de aluminio para red compacta de 15 kV, 150 mm <sup>2</sup>	Cable de aluminio desnudo AAC Daisy 135 mm <sup>2</sup> (266 kcmil)
Cable de aluminio para red compacta de 35 kV, 95 mm <sup>2</sup>	Cable de aluminio desnudo AAC Phlox 85 mm <sup>2</sup> (3/0 AWG)
Cable de aluminio para red compacta de 35 kV, 240 mm <sup>2</sup>	Cable de aluminio desnudo AAC Cosmos 241,7 mm <sup>2</sup> (477 kcmil)



## 8. Cables para distribución subterránea

### 8.1. Distribución eléctrica subterránea de San José

El sistema de distribución subterránea de la CNFL en San José, es alimentado por tres subestaciones: Subestación Guadalupe, Subestación Los Ángeles y Subestación Uruca. La parte de transmisión a 138 kV fue canalizada en los diferentes trayectos obteniendo las siguientes distancias de líneas:

- Colima – Uruca: 0,6 km
- Sabanilla – Guadalupe: 2,5 km
- Alajuelita – Los Ángeles: 4,5 km

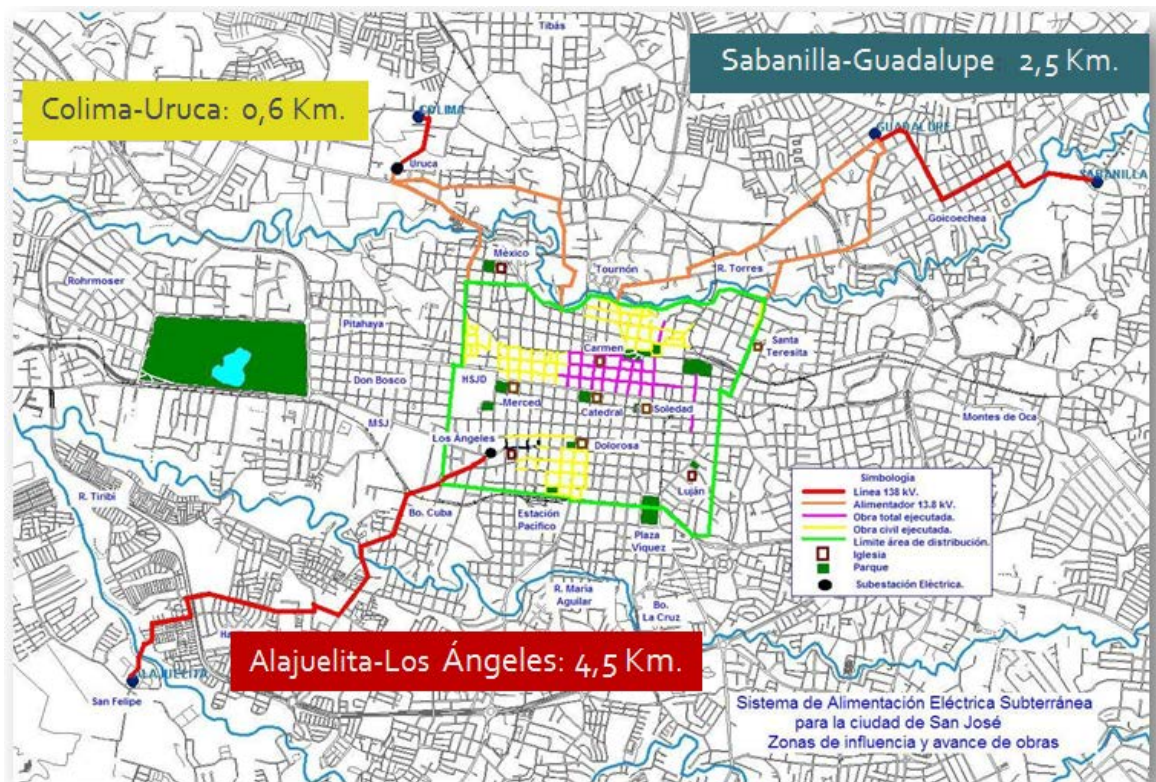


Figura 3 Recorrido de circuitos subterráneos de transmisión

Fuente: *Presentación Red de Distribución Subterránea San José, Ing. Felipe Soto Leandro*

En el diseño de este sistema de distribución subterránea de San José, se recopilaron los máximos históricos eléctricos medidos en baja y media tensión de los clientes existentes. De esta forma se calcula la corriente que requiere cada circuito y así se obtiene el calibre de los conductores para las diferentes acometidas. Se consideran además las cargas adicionales de alumbrado público, mamparas publicitarias, teléfonos públicos y semáforos. Al tener el estimado de cargas, se procede a designar la carga de los transformadores de los Centros de Transformación para Distribución Pública General (DPG). Se considera la configuración estrella – delta para estos tres transformadores monofásicos.

## **8.2. Cables para media tensión en distribución subterránea**

En el capítulo 5 del Manual para Redes de Distribución Eléctrica Subterránea 13,8; 24,9 y 34,5 kV del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, se hace mención a las especificaciones de los conductores para media tensión que se deben de utilizar en un sistema subterráneo, ya sean de cobre o aluminio. Estos conductores unipolares deben tener un alto bloqueo contra la penetración de humedad con un aislamiento EPR para estas tensiones, la pantalla metálica debe ser de hilos de cobre con protección contra la penetración radial de humedad y debe tener una cubierta exterior de polietileno color negro de alta densidad.

Para el caso del conductor de cobre, este debe ser recocido sin estañar, redondo comprimido o compacto y debe cumplir con el estándar ASTM B 3 *Standard specification for soft or annealed copper wire*. En la CNFL, los conductores estandarizados para media tensión en cobre son los siguientes:

**Tabla 19 Cables de cobre para media tensión estandarizados**

Calibre	Descripción
253 mm <sup>2</sup> (500 MCM)	Cable de potencia 35 kV unipolar, aislamiento 133% EPR
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	Cable de potencia 35 kV unipolar, aislamiento 133% EPR
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	Cable de potencia 15 kV unipolar, aislamiento 100% EPR
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	Cable de potencia 35 kV unipolar, aislamiento 100% EPR

El cable calibre 500 MCM se utiliza aún en ciertas salidas subterráneas de las subestaciones. En donde se han realizado cambio de conductores, ahora se utiliza dos cables de 350 MCM en paralelo por fase a cambio. Al tener la CNFL, salidas de subestaciones aún con este calibre, se mantiene en el inventario en caso de alguna avería. Los cables 250 MCM para 15 kV se utilizan para la distribución del sistema en 13,8 kV. El calibre 1/0 AWG para 35 kV se utiliza en transiciones aéreo – subterráneo.

Para el caso de los conductores de aluminio, como se indica en el manual, estos deben ser redondos compactos, con una conductividad del 61%, aluminio 1350 y que cumpla con el estándar ASTM B 231 *Standard specification for concentric – lay – stranded aluminium 1350 conductors*. Los calibres estandarizados en dicho manual para tensiones de 15 y 35 kV son los siguientes:

**Tabla 20 Cables de aluminio para media tensión estandarizados**

Calibre	Descripción
400 mm <sup>2</sup> (750 MCM)	Cable de potencia unipolar, aislamiento 133% EPR
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	Cable de potencia unipolar, aislamiento 133% EPR
95 mm <sup>2</sup> (3/0 AWG)	Cable de potencia unipolar, aislamiento 100% EPR
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	Cable de potencia unipolar, aislamiento 100% EPR

Para la elección del calibre del conductor, se debe conocer la corriente máxima permanente que el cable debe soportar, la corriente máxima en cortocircuito

durante un tiempo determinado y su caída de tensión. Como parte del criterio se considera que el terreno tendrá una temperatura de 40°C. En caso de presentarse una temperatura diferente, se debe de hacer una corrección de acuerdo a los datos del fabricante debido al tipo de aislamiento que tenga el conductor. La capacidad del conductor dependerá de cómo se instale:

- en zanjas en soportería o canasta
- directamente enterrado
- enterrado en tubería

Para el caso de la CNFL, se normalizó el uso canalizaciones utilizando tubería para los cables de acuerdo al manual.

### 8.3. Canalizaciones

El manual para redes subterráneas, en el capítulo 3, indica las dimensiones mínimas para las canalizaciones de acuerdo a la tensión de los circuitos. En el siguiente cuadro se muestra el ancho mínimo y la profundidad mínima medida al centro del conductor superior:

**Tabla 21 Dimensiones mínimas para una canalización**

Tipo de canalización	Ancho (cm)	Profundidad (cm)
Media tensión	60	110
Distribución pública en baja tensión	30	70
Acometidas en baja tensión	30	60

Los diámetros mínimos de tuberías a utilizar en distribución subterránea de acuerdo al manual son los que se presentan en la Tabla 22 y deben ser de PVC, SDR 41. Su diámetro será de acuerdo a la tensión del circuito.

**Tabla 22 Dimensiones mínimas para la tubería**

Tipo	Diámetro mínimo de tubería (mm)
Media tensión 35 kV	100
Media tensión 15 kV	75
Distribución pública en baja tensión	75
Acometidas y alumbrado en baja tensión	50

#### 8.4. Cables para baja tensión unipolares

Los cables de baja tensión utilizados en la CNFL en el sistema de distribución son unipolares, de cobre recocido. Estos son utilizados para las conexiones de instalaciones industriales, comerciales y residenciales en forma subterránea en los Centros de Transformación para Distribución Pública General (DGP). Su aislamiento es de XLPE. Los estandarizados por la CNFL y por el manual de distribución subterránea son los siguientes:

**Tabla 23 Cables subterráneos de cobre para baja tensión**

Calibre	Descripción
150 mm <sup>2</sup> (300 MCM)	Cable de potencia 1 kV unipolar, aislamiento XLPE
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	Cable de potencia 1 kV unipolar, aislamiento XLPE
70 mm <sup>2</sup>	Cable de potencia 1 kV unipolar, aislamiento XLPE
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	Cable de potencia 1 kV unipolar, aislamiento XLPE
35 mm <sup>2</sup> (2 AWG)	Cable de potencia 1 kV unipolar, aislamiento XLPE

Para el caso de conductores de aluminio, deben ser de aleación serie AA 8000. En este caso, los calibres en aluminio estandarizados son los siguientes:

**Tabla 24 Cables subterráneos de aluminio para baja tensión**

Calibre	Descripción
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	Cable de potencia 1 kV unipolar, aislamiento XLPE
95 mm <sup>2</sup> (3/0 AWG)	Cable de potencia 1 kV unipolar, aislamiento XLPE
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	Cable de potencia 1 kV unipolar, aislamiento XLPE

## 8.5. Cables para baja y media tensión trenzados

Para las acometidas en media y baja tensión se utilizan los cables de cobre para líneas subterráneas trenzados con aislamiento EPR o PVC de acuerdo a la tensión requerida. Los estandarizados por la CNFL son los siguientes:

**Tabla 25 Cables trenzados de cobre para acometidas**

Calibre	Descripción
3x50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	Cable trenzado 15 kV, aislamiento EPR
3x50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	Cable trenzado 1 kV, aislamiento PVC
3x35 mm <sup>2</sup> (2 AWG)	Cable trenzado 1 kV, aislamiento PVC
3x10 mm <sup>2</sup>	Cable trenzado 1 kV, aislamiento PVC

El cable calibre 3x10 mm<sup>2</sup> se utiliza para la alimentación eléctrica del alumbrado, mamparas publicitarias, semáforos y teléfonos públicos que se encuentran dentro del área de distribución eléctrica subterránea.

## 8.6. Factores de corrección en media tensión

Cuando las condiciones de instalación son diferentes a los estándares de los conductores, se considera factores de corrección para el cálculo de ampacidad. Los factores están de acuerdo a la norma IEC 60502-2 *Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ( $U_m=1,2$  kV) up to 30 kV ( $U_m=36$  kV)*. Se debe realizar correcciones de acuerdo

a como se encuentren los conductores enterrados: directamente enterrados o en tubería enterrada y su posición. Además se considera la resistividad térmica del terreno y si en una misma canalización hay agrupamiento de cables. Todos estos detalles de instalación se requieren para un adecuado cálculo de ampacidad en los circuitos.

Los catálogos de fabricantes indican en sus datos los factores de corrección. Entre ellos varían las condiciones estándares que presentan. Por eso los valores de factores de corrección pueden variar entre fabricantes y la norma 60502-2.

De acuerdo a la norma, a una temperatura del terreno de  $20^{\circ}\text{C}$ , con una temperatura de operación de  $90^{\circ}\text{C}$  y en posición horizontal en ductos por separado como se muestra en la Figura 4, la máxima corriente admisible en estos conductores unipolares de cobre y aluminio en una condición enterrada en tubería a 80 cm de profundidad es la que se presenta en la Tabla 26. Se considera también una resistividad térmica del terreno de  $1,5 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$  y que su aislamiento es de EPR. Se asume que las propiedades del terreno son uniformes. Estas condiciones son los estándares de la norma 60502-2.

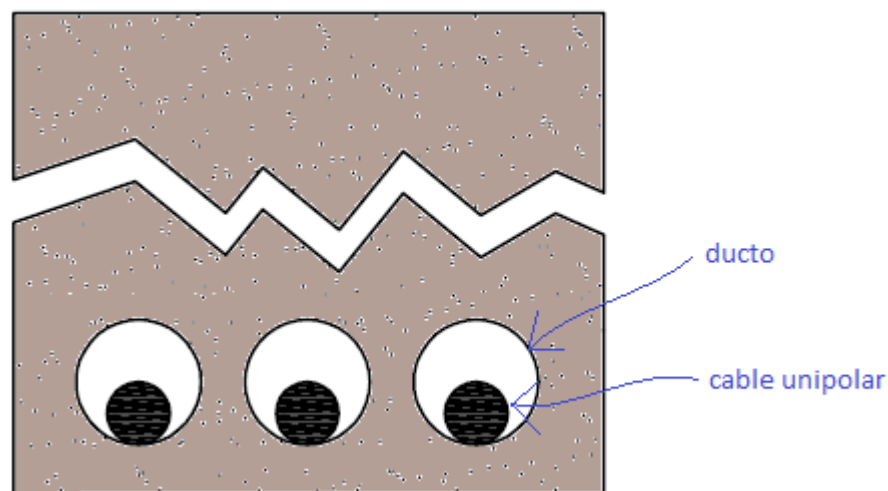


Figura 4 Distribución de tuberías en canalizaciones para cables unipolares

**Tabla 26 Ampacidad máxima para cables unipolares en media tensión**

<b>Calibre</b>	<b>Máxima corriente admisible en cables de cobre (A)</b>	<b>Máxima corriente admisible en cables de aluminio (A)</b>
400 mm <sup>2</sup> (750 MCM)	588	462
240 mm <sup>2</sup>	454	354
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	390	303
150 mm <sup>2</sup> (300 MCM)	344	267
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	306	238
95 mm <sup>2</sup> (3/0 AWG)	269	208
70 mm <sup>2</sup>	224	174
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	183	142

Igualmente a una temperatura del terreno de 20°C, a una temperatura de operación de 90°C, la máxima corriente admisible en cables trenzados de cobre y aluminio en una condición enterrada en tubería a 80 cm de profundidad es la que se presenta en la Tabla 27. Se considera también una resistividad térmica del terreno de 1,5 K·m/W. Se asume que las propiedades del terreno son uniformes.



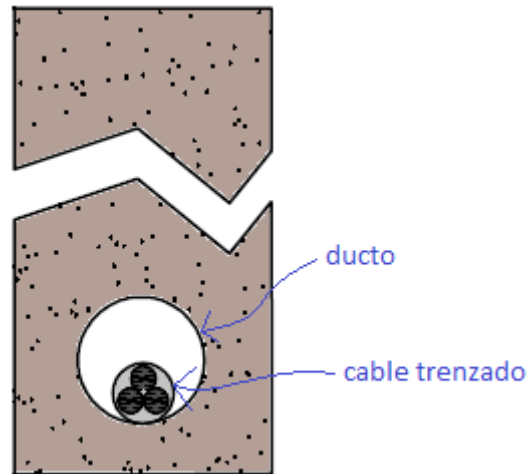


Figura 5 Distribución de tuberías en canalizaciones para cables trenzados

**Tabla 27 Ampacidad máxima para cables trenzados en media tensión**

Calibre	Máxima corriente admisible en cables de cobre (A)	Máxima corriente admisible en cables de aluminio (A)
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	155	120

En las siguientes tablas se muestran los factores de corrección que se les debe de aplicar a los cables de acuerdo a la temperatura del terreno, nivel de profundidad, resistividad térmica del terreno en cables unipolares y cables de tres núcleos en una misma tubería. Además se presenta los factores de corrección de acuerdo a la distancia de colocación de los tubos. Los valores están de acuerdo a la norma IEC 60502-2 para la condición de cables enterrados en tuberías.

**Tabla 28 Factor de corrección temperatura de terreno diferente a 20°C**

Temperatura de operación (°C)	Temperatura de terreno (°C)							
	10	15	25	30	35	40	45	50
90	1,07	1,04	0,96	0,93	0,89	0,85	0,80	0,76

**Tabla 29 Factor de corrección nivel de profundidad diferente a 0,8 m**

Nivel de profundidad (m)	Cable unipolar		Tres conductores en un ducto
	Calibre de conductor (mm <sup>2</sup> )		
	≤ 185 mm <sup>2</sup>	> 185 mm <sup>2</sup>	
0,5	1,04	1,05	1,03
0,6	1,02	1,03	1,02
1	0,98	0,97	0,99
1,25	0,96	0,95	0,97
1,5	0,95	0,93	0,96
1,75	0,94	0,92	0,95
2	0,93	0,91	0,94

**Tabla 30 Factor de corrección resistividad térmica en cables unipolares diferente a 1,5 K·m/W**

Calibre de cable (mm <sup>2</sup> )	Resistividad térmica del terreno (K·m/W)						
	0,7	0,8	0,9	1	2	2,5	3
400 mm <sup>2</sup>	1,25	1,21	1,17	1,14	0,90	0,83	0,77
185 mm <sup>2</sup>	1,24	1,20	1,17	1,13	0,91	0,83	0,78
150 mm <sup>2</sup>	1,24	1,20	1,16	1,13	0,91	0,83	0,78
120 mm <sup>2</sup>	1,23	1,20	1,16	1,13	0,91	0,84	0,78
95 mm <sup>2</sup>	1,23	1,19	1,16	1,13	0,91	0,84	0,78
70 mm <sup>2</sup>	1,22	1,19	1,15	1,12	0,91	0,84	0,78
50 mm <sup>2</sup>	1,21	1,18	1,15	1,12	0,91	0,84	0,78
35 mm <sup>2</sup>	1,21	1,18	1,15	1,12	0,91	0,84	0,79

**Tabla 31 Factor de corrección por resistividad térmica para tres conductores en un ducto diferente a 1,5 K·m/W**

Calibre de cable (mm <sup>2</sup> )	Resistividad térmica del terreno (K·m/W)						
	0,7	0,8	0,9	1	2	2,5	3
400 mm <sup>2</sup>	1,17	1,14	1,12	1,10	0,92	0,86	0,81
185 mm <sup>2</sup>	1,16	1,14	1,11	1,09	0,93	0,87	0,83

150 mm <sup>2</sup>	1,16	1,13	1,11	1,09	0,93	0,88	0,83
120 mm <sup>2</sup>	1,15	1,13	1,11	1,09	0,93	0,88	0,83
95 mm <sup>2</sup>	1,15	1,13	1,11	1,09	0,94	0,88	0,83
70 mm <sup>2</sup>	1,15	1,13	1,11	1,09	0,94	0,88	0,83
50 mm <sup>2</sup>	1,14	1,12	1,10	1,08	0,94	0,88	0,84
35 mm <sup>2</sup>	1,14	1,12	1,10	1,08	0,94	0,88	0,84

**Tabla 32 Factor de corrección por cercanía de tuberías con cables con tres núcleos en tubería separada**

Número de cables en grupos	Espacio entre centros de tuberías (mm)				
	En contacto	200	400	600	800
2	0,85	0,88	0,92	0,94	0,95
3	0,75	0,80	0,85	0,88	0,91
4	0,69	0,75	0,82	0,86	0,89
5	0,65	0,72	0,79	0,84	0,87
6	0,62	0,69	0,77	0,83	0,87
7	0,59	0,67	0,76	0,82	0,86
8	0,57	0,65	0,75	0,81	-
9	0,55	0,64	0,74	0,80	-
10	0,54	0,63	0,73	-	-

**Tabla 33 Factor de corrección por cercanía de tuberías con cables de circuitos trifásicos unipolares en tubería separada**

Número de cables en grupos	Espacio entre centros de tuberías (mm)				
	En contacto	200	400	600	800
2	0,78	0,85	0,89	0,91	0,93
3	0,66	0,75	0,81	0,85	0,88
4	0,59	0,70	0,77	0,82	0,86
5	0,55	0,66	0,74	0,80	0,84
6	0,51	0,64	0,72	0,78	0,83
7	0,48	0,61	0,71	0,77	0,82
8	0,46	0,60	0,70	0,76	-
9	0,44	0,58	0,69	0,76	-
10	0,43	0,57	0,68	-	-

Para efectos de diseño, se toman los datos presentados en las Tabla 26 y Tabla 27 de acuerdo al tipo de cable a utilizar. Luego se consideran los detalles de instalación y condiciones del terreno para aplicar los factores de corrección anteriormente mencionados que correspondan.

Cuando se presentan circuitos con cables en paralelo por fase, se aplica un factor de corrección no superior a 0,9 para compensar el posible desequilibrio entre los cables de una misma fase. Se debe considerar además, el factor de corrección por agrupamiento.

Para el diseño final, se debe considerar otros detalles eléctricos como la caída de tensión por circuitos de larga longitud y calentamiento en cortocircuito. Generalmente estos datos también se indican en la información técnica del fabricante acorde al tipo de cable y sus propiedades eléctricas.

### **8.6.1. Ejemplos**

En este apartado se analizan 6 casos de acuerdo a los factores de corrección que se deben considerar por su condición para visualizar los comportamientos respecto a la ampacidad de acuerdo a su instalación. Se parte de que la temperatura del terreno es de 40°C y la resistividad térmica del terreno es la

estándar de la norma IEC 60502-2. Para cada caso se consideran ciertos calibres para analizar. Estos casos corresponden a media tensión de acuerdo a la norma.

Para el caso 1, se tiene que la fila de ductos se encuentra a una profundidad de 0,9 m bajo la superficie del terreno. Corresponde a un circuito monofásico en media tensión con un ducto de reserva. La canalización tiene una profundidad de 1,1 m. En la siguiente tabla se muestran las correcciones debido a temperatura de terreno diferente a 20°C, profundidad diferente a 0,8 m con los valores de ampacidad presentados en la Tabla 26 de acuerdo a la norma.

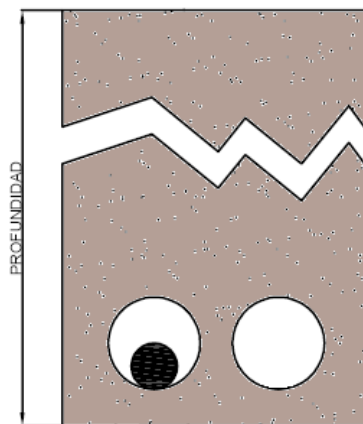


Figura 6 Caso 1 Circuito monofásico con cable unipolar en ducto

**Tabla 34 Caso 1 Circuito monofásico con cable unipolar en ducto**

Calibre	Máxima corriente admisible en cables de cobre (A)	Máxima corriente admisible en cables de aluminio (A)
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	306	238
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	183	142
<b>Factor de corrección por temperatura de terreno a 40°C</b>		
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	260,1	202,3
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	155,55	120,7
<b>Factor de corrección por profundidad de 0,9 m</b>		
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	286,11	222,53
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	171,11	132,77

Se observa que por ejemplo para el cable 120 mm<sup>2</sup> (250 MCM) se reduce aproximadamente en un 7% su capacidad por esta condición de instalación debido a la temperatura del terreno y su profundidad.

Para el caso 2, se tiene que la fila de ductos se encuentra a una profundidad de 0,9 m bajo la superficie del terreno. Corresponde a un circuito trifásico en media tensión con cables unipolares con ducto de reserva. La canalización tiene una profundidad de 1,1 m. En la siguiente tabla se muestran las correcciones debido a temperatura de terreno diferente a 20°C, profundidad diferente a 0,8 m con los valores de ampacidad presentados en la Tabla 26 de acuerdo a la norma.

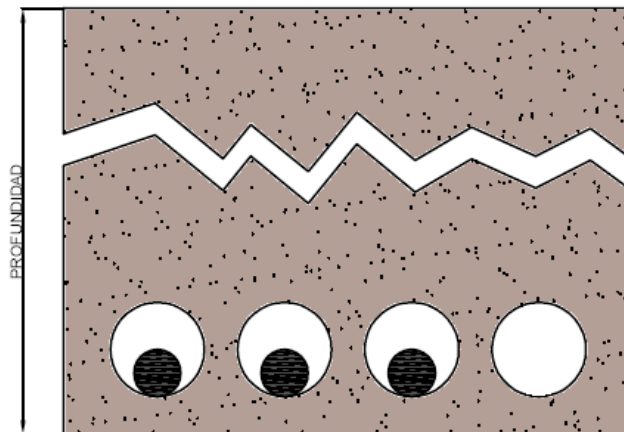


Figura 7 Caso 2 Circuito trifásico con cables unipolares

**Tabla 35 Caso 2 Circuito trifásico con cables unipolares**

Calibre	Máxima corriente admisible en cables de cobre (A)	Máxima corriente admisible en cables de aluminio (A)
240 mm <sup>2</sup>	454	354
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	390	303
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	306	238
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	183	142
<b>Factor de corrección por temperatura de terreno a 40°C</b>		
240 mm <sup>2</sup>	385,9	300,9
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	331,5	257,55
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	260,1	202,3
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	155,55	120,7
<b>Factor de corrección por profundidad de 0,9 m</b>		
240 mm <sup>2</sup>	382,04	297,89
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	328,19	254,97
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	257,50	200,28

50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	153,99	119,49
------------------------------	--------	--------

Se observa que por ejemplo para el cable 185 mm<sup>2</sup> (350 MCM) se reduce aproximadamente en un 16% su capacidad por esta condición de instalación debido a la temperatura del terreno y su profundidad.

Para el caso 3, se tienen dos filas de ductos. El primero se encuentra a una profundidad de 0,9 m bajo la superficie del terreno y el segundo a 1,1 m. Se parte de que cada tubo se encuentra separado a una distancia de 10 cm del tubo que se encuentra a la par o sobre o bajo él. Corresponde a dos circuitos trifásicos en media tensión con cables unipolares con ductos de reserva. En la siguiente tabla se muestran las correcciones debido a temperatura de terreno diferente a 20°C, profundidad diferente a 0,8 m con los valores de ampacidad presentados en la Tabla 26 de acuerdo a la norma.

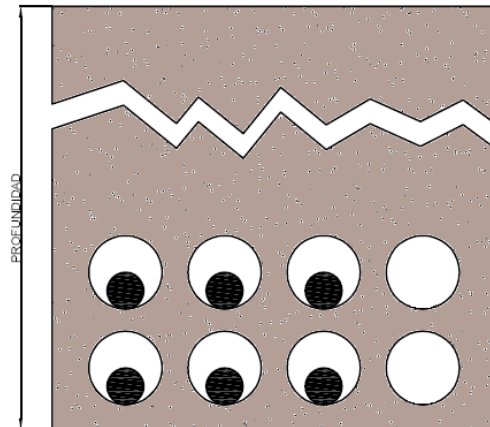


Figura 8 Caso 3 Dos circuitos trifásicos con cables unipolares

**Tabla 36 Caso 3 Dos circuitos trifásicos con cables unipolares**

<b>Calibre</b>	<b>Máxima corriente admisible en cables de cobre (A)</b>	<b>Máxima corriente admisible en cables de aluminio (A)</b>
240 mm <sup>2</sup>	454	354
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	390	303
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	306	238
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	183	142
<b>Factor de corrección por temperatura de terreno a 40°C</b>		
240 mm <sup>2</sup>	385,9	300,9
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	331,5	257,55
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	260,1	202,3
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	155,55	120,7
<b>Factor de corrección por profundidad de 0,9 m (primera fila de ductos superior)</b>		
240 mm <sup>2</sup>	382,04	297,89
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	328,19	254,97
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	257,50	200,28
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	153,99	119,49
<b>Factor de corrección por profundidad de 1,1 m (segunda fila de ductos inferior)</b>		
240 mm <sup>2</sup>	374,32	291,87
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	321,56	249,82
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	252,30	196,23
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	150,88	117,08
<b>Factor de corrección por agrupamiento (primera fila de ductos superior)</b>		
240 mm <sup>2</sup>	324,73	253,21
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	278,96	216,73
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	218,87	170,24
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	130,90	101,57
<b>Factor de corrección por agrupamiento (segunda fila de ductos inferior)</b>		
240 mm <sup>2</sup>	318,17	248,09
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	273,32	212,35
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	214,45	166,80
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	128,25	99,52

Se observa que por ejemplo para el cable 185 mm<sup>2</sup> (350 MCM) se reduce aproximadamente en un 30% su capacidad en una segunda fila inferior por esta condición de instalación debido a la temperatura del terreno, su profundidad y por estar con otro grupo de cables.



Para el caso 4, se tienen tres filas de ductos. El primero se encuentra a una profundidad de 0,7 m bajo la superficie del terreno, el segundo a 0,9 m y el tercero a 1,1. Se parte de que cada tubo se encuentra separado a una distancia de 10 cm del tubo que se encuentra a la par o sobre o bajo él. Corresponde a cuatro circuitos trifásicos verticales en media tensión con cables unipolares. En la siguiente tabla se muestran las correcciones debido a temperatura de terreno diferente a 20°C, profundidad diferente a 0,8 m con los valores de ampacidad presentados en la Tabla 26 de acuerdo a la norma y al agrupamiento de circuitos.

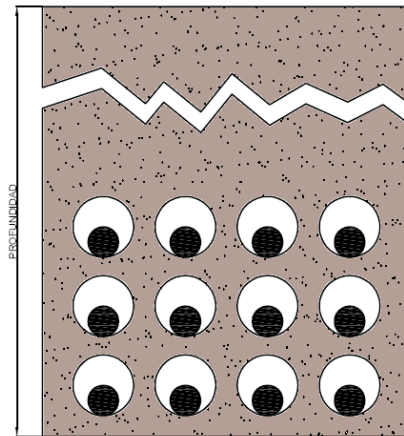


Figura 9 Caso 4 Cuatro circuitos trifásicos con cables unipolares

**Tabla 37 Caso 4 Cuatro circuitos trifásicos con cables unipolares**

Calibre	Máxima corriente admisible en cables de cobre (A)	Máxima corriente admisible en cables de aluminio (A)
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	390	303
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	306	238
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	183	142
<b>Factor de corrección por temperatura de terreno a 40°C</b>		
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	331,5	257,55
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	260,1	202,3
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	155,55	120,7
<b>Factor de corrección por profundidad de 0,7 m (primera fila de ductos superior)</b>		
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	364,65	283,31
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	286,11	222,53
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	171,11	132,77
<b>Factor de corrección por profundidad de 0,9 m (segunda fila de ductos inferior)</b>		

185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	328,19	254,97
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	257,50	200,28
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	153,99	119,49
<b>Factor de corrección por profundidad de 1,1 m (tercera fila de ductos inferior)</b>		
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	321,56	249,82
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	252,30	196,23
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	150,88	117,08
<b>Factor de corrección por agrupamiento (primera fila de ductos superior)</b>		
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	237,02	184,15
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	185,97	144,64
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	111,22	86,30
<b>Factor de corrección por agrupamiento (segunda fila de ductos inferior)</b>		
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	213,32	165,73
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	167,37	130,18
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	100,10	77,67
<b>Factor de corrección por agrupamiento (tercera fila de ductos inferior)</b>		
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	209,01	162,39
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	163,99	127,55
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	98,07	76,10

Se observa que por ejemplo para el cable 185 mm<sup>2</sup> (350 MCM) se reduce aproximadamente en un 46% su capacidad en una tercera fila inferior por esta condición de instalación debido a la temperatura del terreno, su profundidad y por estar con otro grupo de cables.

Para el caso 5, se tiene un circuito trifásico con cable trenzado en ducto. Se encuentra a una profundidad de 0,9 m bajo la superficie del terreno. Corresponde a un circuito trifásico en media tensión con cable trenzado. En la siguiente tabla se muestran las correcciones debido a temperatura de terreno diferente a 20°C, profundidad diferente a 0,8 m con los valores de ampacidad presentados en la Tabla 27 de acuerdo a la norma.

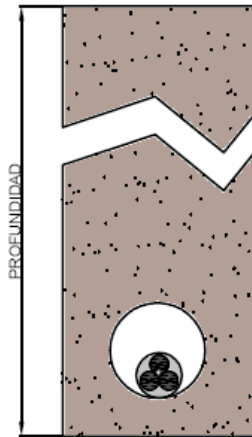


Figura 10 Caso 5 Circuito trifásico con cable trenzado en ducto

**Tabla 38 Caso 5 Circuito trifásico con cable trenzado en ducto**

Calibre	Máxima corriente admisible en cables de cobre (A)	Máxima corriente admisible en cables de aluminio (A)
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	328	257
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	259	201
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	155	120
<b>Factor de corrección por temperatura de terreno a 40°C</b>		
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	278,8	218,45
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	220,15	170,85
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	131,75	102
<b>Factor de corrección por profundidad de 0,9 m</b>		
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	276,01	216,27
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	217,95	169,14
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	130,43	100,98

Se observa que por ejemplo para el cable trenzado 185 mm<sup>2</sup> (350 MCM) se reduce aproximadamente en un 16% su capacidad por esta condición de instalación debido a la temperatura del terreno y su profundidad.

Para el caso 6, se tiene un circuito trifásico con dos cables por fase unipolares en paralelo en ducto. Se encuentra a una profundidad de 0,9 m bajo la superficie del terreno. Corresponde a un circuito trifásico en media tensión. En la siguiente tabla se muestran las correcciones debido a temperatura de terreno diferente a 20°C, profundidad diferente a 0,8 m con los valores de ampacidad presentados en la Tabla 26 de acuerdo a la norma.

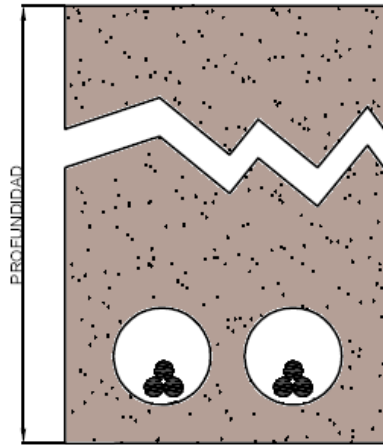


Figura 11 Caso 6 Un circuito trifásico con cables unipolares en paralelo

**Tabla 39 Caso 6 Circuito trifásico con cables unipolares en paralelo**

Calibre	Máxima corriente admisible en cables de cobre (A)	Máxima corriente admisible en cables de aluminio (A)
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	390	303
<b>Factor de corrección por temperatura de terreno a 40°C</b>		
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	331,5	257,55
<b>Factor de corrección por profundidad de 0,9 m</b>		
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	328,19	254,97
<b>Factor de corrección por cables en paralelo</b>		
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	295,37	229,48

Se observa que por ejemplo para un circuito de dos cables en paralelo por fase 185 mm<sup>2</sup> (350 MCM) se reduce aproximadamente en un 24% su capacidad por esta condición de instalación debido a la temperatura del terreno y su profundidad.

## 9. Otros calibres instalados en la CNFL

En la CNFL, existen circuitos con conductores de calibre diferente a los enlistados anteriormente. Aunque no se consideran como parte de la estandarización de calibres para algunos casos, considerando la extensión instalada en la actualidad, se mantiene inventario de accesorios para esos calibres para atención de averías. En la siguiente tabla se muestra las ampacidades de cada tipo de calibre en una condición de temperatura ambiente de 25°C y una temperatura de operación de 75°C. Se presenta el tipo de conductor de aluminio, calibre en mm<sup>2</sup> y su nombre comercial.

**Tabla 40 Ampacidad de cables no estandarizados**

Calibre	Descripción	Ampacidad (A)
53,51 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	Conductor de aluminio desnudo AAC Poppy	245
171 mm <sup>2</sup> (336,4 MCM)	Conductor de aluminio desnudo AAC Tulip	515
99,23 mm <sup>2</sup> (3/0 AWG)	Conductor de aluminio desnudo ACSR Pigeon	315
171 mm <sup>2</sup> (336,4 MCM)	Conductor de aluminio desnudo ACSR Linnet	530
375 mm <sup>2</sup> (636 MCM)	Conductor de aluminio desnudo ACSR Grosbeak	790
99,16 mm <sup>2</sup> (195,7 MCM)	Conductor de aluminio desnudo AAAC Amherst	340
200 mm <sup>2</sup> (394,5 MCM)	Conductor de aluminio desnudo AAAC Canton	530
283 mm <sup>2</sup> (559,5 MCM)	Conductor de aluminio desnudo AAAC Darien	660
12,66 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	Cable de aluminio tríplex Cenía	260
85,03 mm <sup>2</sup>	Cable de aluminio con aislamiento para 15 kV para redes compactas	270
300 MCM	Cable de potencia de cobre 35 kV unipolar, aislamiento 133% EPR	344
2/0 AWG	Cable de potencia de aluminio 35 kV unipolar, aislamiento 133% EPR	224

El conductor de aluminio desnudo ACSR Grosbeak 375 mm<sup>2</sup> (636 MCM) se encuentra en la salida de la Planta Hidroeléctrica Daniel Gutiérrez. El conductor de aluminio desnudo AAAC Darien 283 mm<sup>2</sup> (559,5 MCM) se encuentra en la salida de la Planta Hidroeléctrica El Encanto.

El conductor de aluminio desnudo AAAC Canton 200 mm<sup>2</sup> (394,5 MCM) se encuentra en los circuitos construidos por la Empresa de Servicios Públicos de Heredia.

El cable de potencia de aluminio para 35 kV unipolar con aislamiento 133% EPR 2/0 AWG se encuentra instalado para acoplar los transformadores de cada aerogenerador hacia la subestación de la Planta Eólica Valle Central. El cable de potencia de cobre 35 kV unipolar, aislamiento 133% EPR 300 MCM se encuentra salidas de subestaciones como Alajuelita, Colima y Sabanilla.

## 10. Lista de conductores estandarizados

### Conductores de aluminio AAC desnudo:

Calibre	Descripción
33,62 mm <sup>2</sup> (2 AWG)	Cable de aluminio desnudo AAC Iris
85 mm <sup>2</sup> (3/0 AWG)	Cable de aluminio desnudo AAC Phlox
135 mm <sup>2</sup> (266 kcmil)	Cable de aluminio desnudo AAC Daisy
241,7 mm <sup>2</sup> (477 kcmil)	Cable de aluminio desnudo AAC Cosmos

### Cables de aluminio AAC multiplex con aislamiento:

Calibre	Descripción
13,3 mm <sup>2</sup> (6 AWG)	Cable de aluminio tríplex Patella
21,1 mm <sup>2</sup> (4 AWG)	Cable de aluminio tríplex Oyster
33,62 mm <sup>2</sup> (2 AWG)	Cable de aluminio tríplex Clam
85 mm <sup>2</sup> (3/0 AWG)	Cable de aluminio tríplex Quahog
85 mm <sup>2</sup> (3/0 AWG)	Cable de aluminio tríplex Ione
33,62 mm <sup>2</sup> (2 AWG)	Cable de aluminio cuádruplex Mustang

### Alambres de aluminio desnudo y con aislamiento:

Calibre	Descripción
5,26 mm <sup>2</sup> (10 AWG)	Alambre de aluminio con aislamiento
13,3 mm <sup>2</sup> (6 AWG)	Alambre de aluminio desnudo
21,15 mm <sup>2</sup> (4 AWG)	Alambre de aluminio desnudo

**Alambres de cobre desnudo:**

<b>Calibre</b>	<b>Descripción</b>
13,3 mm <sup>2</sup> (6 AWG)	Alambre de cobre desnudo
21,15 mm <sup>2</sup> (4 AWG)	Alambre de cobre desnudo
21,15 mm <sup>2</sup> (4 AWG)	Alambre de cobre con aislamiento TPR

**Conductores de cobre desnudo:**

<b>Calibre</b>	<b>Descripción</b>
13,3 mm <sup>2</sup> (6 AWG)	Cable de cobre desnudo
21,1 mm <sup>2</sup> (4 AWG)	Cable de cobre desnudo
53,5 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	Cable de cobre desnudo
67,4 mm <sup>2</sup> (2/0 AWG)	Cable de cobre desnudo

**Cables para redes compactas:**

<b>Calibre</b>	<b>Descripción</b>
95 mm <sup>2</sup>	Cable de aluminio para red compacta de 15 kV
150 mm <sup>2</sup>	Cable de aluminio para red compacta de 15 kV
95 mm <sup>2</sup>	Cable de aluminio para red compacta de 35 kV
240 mm <sup>2</sup>	Cable de aluminio para red compacta de 35 kV



### **Cables para sistemas subterráneos para media tensión:**

<b>Calibre</b>	<b>Descripción</b>
253 mm <sup>2</sup> (500 MCM)	Cable de potencia 35 kV unipolar, aislamiento 133% EPR
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	Cable de potencia 35 kV unipolar, aislamiento 133% EPR
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	Cable de potencia 15 kV unipolar, aislamiento 100% EPR
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	Cable de potencia 35 kV unipolar, aislamiento 100% EPR

<b>Calibre</b>	<b>Descripción</b>
400 mm <sup>2</sup> (750 MCM)	Cable de potencia unipolar, aislamiento 133% EPR
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	Cable de potencia unipolar, aislamiento 133% EPR
95 mm <sup>2</sup> (3/0 AWG)	Cable de potencia unipolar, aislamiento 100% EPR
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	Cable de potencia unipolar, aislamiento 100% EPR

### **Cables para sistemas subterráneos para baja tensión:**

<b>Calibre</b>	<b>Descripción</b>
150 mm <sup>2</sup> (300 MCM)	Cable de potencia 1 kV unipolar, aislamiento XLPE
120 mm <sup>2</sup> (250 MCM)	Cable de potencia 1 kV unipolar, aislamiento XLPE
70 mm <sup>2</sup>	Cable de potencia 1 kV unipolar, aislamiento XLPE
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	Cable de potencia 1 kV unipolar, aislamiento XLPE
35 mm <sup>2</sup> (2 AWG)	Cable de potencia 1 kV unipolar, aislamiento XLPE

<b>Calibre</b>	<b>Descripción</b>
185 mm <sup>2</sup> (350 MCM)	Cable de potencia 1 kV unipolar, aislamiento XLPE
95 mm <sup>2</sup> (3/0 AWG)	Cable de potencia 1 kV unipolar, aislamiento XLPE
50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	Cable de potencia 1 kV unipolar, aislamiento XLPE

**Cables para sistemas subterráneos para baja y media tensión trenzados:**

<b>Calibre</b>	<b>Descripción</b>
3x50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	Cable trenzado 15 kV, aislamiento EPR
3x50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG)	Cable trenzado 1 kV, aislamiento PVC
3x35 mm <sup>2</sup> (2 AWG)	Cable trenzado 1 kV, aislamiento PVC
3x10 mm <sup>2</sup>	Cable trenzado 1 kV, aislamiento PVC

## 11. BIBLIOGRAFÍA

1. IEEE Std. 738. **Standard for calculating the current – temperature relationship of bare overhead conductors**, 2006.
2. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. **Manual para Redes de Distribución Eléctrica Subterránea 13,8; 24,9 y 34,5 kV**, 2015.
3. ASTM B 3. **Standard specification for soft or annealed copper wire**, 2001.
4. ASTM B 231. **Standard specification for concentric – lay – stranded aluminium 1350 conductors**, 2011.
5. IEC 60502. **Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ( $U_m=1,2$  kV) up to 30 kV ( $U_m=36$  kV)**, 2002.
6. ASTM B 399. **Standard specification for concentric – lay – stranded aluminium – alloy 6201 – T81 conductors**, 2004.
7. Compañía Nacional de Fuerza y Luz, Centro de Control de Energía. **Plan de Contingencias Sistema de Distribución CNFL**, 2015.
8. CEI IEC 60287-2-1 **Thermal resistance – Calculation of thermal resistance**, 2006.
9. Compañía Nacional de Fuerza y Luz. Departamento de Planificación y Diseño. **Manual de montajes**, 2005.
10. Compañía Nacional de Fuerza y Luz. Área de Planificación del Sistema de Distribución. **Especificaciones técnicas**.
11. Soto Leandro, F., **Distribución eléctrica subterránea red subterránea San José**, presentación CNFL, 2015.
12. VIAKON. **Catálogo de conductores**, 2012.
13. PHELPS DODGE. **Catálogo general de conductores**, 2003.
14. PRYSMIAN. **Cables y accesorios para baja tensión**, 2011.
15. PRYSMIAN. **Cables y accesorios para media tensión**, 2009.
16. INTECO. PN INTE 20-03-16-10. **Cables cubiertos con material polimérico para redes aéreas compactas de distribución en tensiones de 13,8 kV a 34,5 kV**, primera edición, 2009.

## 12. ANEXOS

### 12.1. Cálculos de parámetros para la ampacidad en estado estable de conductores de aluminio estandarizados a 75°C

Parámetro del conductor			2 AWG	3/0 AWG	266 kcmil	477 kcmil
Diámetro conductor	D	mm	7,42	11,8	14,88	20,12
Área transversal del conductor	A	mm <sup>2</sup>	33,68	84,96	135,16	241,54
Área proyectada por el conductor	A'	m <sup>2</sup> /m	0,00742	0,0118	0,01488	0,02012
Temperatura del conductor	T <sub>c</sub>	°C	75	75	75	75
Resistencia eléctrica del conductor a T <sub>c</sub>	R(T <sub>c</sub> )	Ω/m	0,001044403	0,000413337	0,000260231	0,000146147
Coefficiente de emisidad	ε		0,5	0,5	0,5	0,5
Parámetros geográficos			2 AWG	3/0 AWG	266 kcmil	477 kcmil
Temperatura ambiente	T <sub>a</sub>	°C	25	25	25	25
Elevación del conductor sobre el nivel del mar	H <sub>e</sub>	m	1160	1160	1160	1160
Viscosidad del aire	μ <sub>f</sub>	Pa-s	1,95287E-05	1,95287E-05	1,95287E-05	1,95287E-05
Densidad del aire	ρ <sub>f</sub>	kg/m <sup>3</sup>	0,950302985	0,950302985	0,950302985	0,950302985
Conductividad térmica del aire	k <sub>f</sub>	W/m	0,027967483	0,027967483	0,027967483	0,027967483
Velocidad del viento	V <sub>w</sub>	m/s	5,56	5,56	5,56	5,56
Ángulo entre el viento y el eje del conductor	φ	°	30	30	30	30
Factor de dirección del viento	k <sub>angle</sub>		0,743671945	0,743671945	0,743671945	0,743671945
Parámetros generales y de operación			2 AWG	3/0 AWG	266 kcmil	477 kcmil
Temperatura de la película de aire	T <sub>film</sub>	°C	50	50	50	50
Convección natural			2 AWG	3/0 AWG	266 kcmil	477 kcmil
Pérdida de calor por convección natural	q <sub>c</sub>	W/m	11,94539024	16,91643789	20,13027054	25,24168806

Convección forzada			2 AWG	3/0 AWG	266 kcmil	477 kcmil
Pérdida de calor por convección forzada (velocidad baja de viento)	$q_{c1}$	W/m	74,29140178	94,27337895	106,2218578	124,0860474
Pérdida de calor por convección forzada (velocidad alta de viento)	$q_{c2}$	W/m	74,80737136	98,81690688	113,5700482	136,1064909
Calor irradiado			2 AWG	3/0 AWG	266 kcmil	477 kcmil
Pérdida de calor irradiada	$q_r$	W/m	4,477395155	7,120385826	8,978927211	12,14086126
Calor del sol			2 AWG	3/0 AWG	266 kcmil	477 kcmil
Día del año	N		57	57	57	57
Declinación solar	$\delta$	°	-9,418225697	-9,418225697	-9,418225697	-9,418225697
Grados de latitud	lat	°	9,5	9,5	9,5	9,5
Ángulo de la hora local	$\omega$	°	7,591801001	7,591801001	7,591801001	7,591801001
Altitud solar	$H_c$	°	69,62820724	69,62820724	69,62820724	69,62820724
Variable asociada al acimut solar	$\chi$		0,403770907	0,403770907	0,403770907	0,403770907
Constante asociada con el acimut solar	C	°	180	180	180	180
Acimut solar	$Z_c$	°	201,987423	201,987423	201,987423	201,987423
Coefficiente de absorción solar	$\alpha$		0,5	0,5	0,5	0,5
Coeficientes del modelo matemático que dependen del tipo de atmósfera presente en la zona	A		-42,2391	-42,2391	-42,2391	-42,2391
	B		63,8044	63,8044	63,8044	63,8044
	C		-1,922	-1,922	-1,922	-1,922
	D		0,0346921	0,0346921	0,0346921	0,0346921
	E		-0,000361118	-0,000361118	-0,000361118	-0,000361118
	F		1,94318E-06	1,94318E-06	1,94318E-06	1,94318E-06
	G		-4,06608E-09	-4,06608E-09	-4,06608E-09	-4,06608E-09
Radiación solar incidente total	$Q_s$	W/m <sup>2</sup>	1022,175939	1022,175939	1022,175939	1022,175939
Factor de altitud solar	$K_{solar}$		1,118258752	1,118258752	1,118258752	1,118258752
Radiación solar total corregida por la altura	$Q_{se}$	W/m <sup>2</sup>	1143,05719	1143,05719	1143,05719	1143,05719
Ángulo efectivo de la incidencia de los rayos del sol	$\theta$	°	90	90	90	90
Ganancia de calor del sol	$q_s$	W/m	4,240742176	6,744037423	8,504345496	11,49915533
Ampacidad en estado estable			2 AWG	3/0 AWG	266 kcmil	477 kcmil
Corriente en estado estable	I	A	108,00	204,54	281,39	420,84

## 12.2. Cálculos de parámetros para la ampacidad en estado estable de conductores de aluminio estandarizados a 90°C

Parámetro del conductor			2 AWG	3/0 AWG	266 kcmil	477 kcmil
Diámetro conductor	D	mm	7,42	11,8	14,88	20,12
Área transversal del conductor	A	mm <sup>2</sup>	33,68	84,96	135,16	241,54
Área proyectada por el conductor	A'	m <sup>2</sup> /m	0,00742	0,0118	0,01488	0,02012
Temperatura del conductor	T <sub>c</sub>	°C	90	90	90	90
Resistencia eléctrica del conductor a T <sub>c</sub>	R(T <sub>c</sub> )	Ω/m	0,001044403	0,000413337	0,000260231	0,000146147
Coeficiente de emisidad	ε		0,5	0,5	0,5	0,5
Convección forzada			2 AWG	3/0 AWG	266 kcmil	477 kcmil
Temperatura ambiente	T <sub>a</sub>	°C	25	25	25	25
Elevación del conductor sobre el nivel del mar	H <sub>e</sub>	m	1160	1160	1160	1160
Viscosidad del aire	μ <sub>f</sub>	Pa-s	1,98689E-05	1,98689E-05	1,98689E-05	1,98689E-05
Densidad del aire	ρ <sub>f</sub>	kg/m <sup>3</sup>	0,928703852	0,928703852	0,928703852	0,928703852
Conductividad térmica del aire	k <sub>f</sub>	W/m	0,028524704	0,028524704	0,028524704	0,028524704
Velocidad del viento	V <sub>w</sub>	m/s	5,56	5,56	5,56	5,56
Ángulo entre el viento y el eje del conductor	φ	°	30	30	30	30
Factor de dirección del viento	k <sub>angle</sub>		0,743671945	0,743671945	0,743671945	0,743671945
Parámetros generales y de operación			2 AWG	3/0 AWG	266 kcmil	477 kcmil
Temperatura de la película de aire	T <sub>film</sub>	°C	57,5	57,5	57,5	57,5
Convección natural			2 AWG	3/0 AWG	266 kcmil	477 kcmil
Pérdida de calor por convección natural	q <sub>c</sub>	W/m	16,39219491	23,21377046	27,62398813	34,63818781

Convección forzada			2 AWG	3/0 AWG	266 kcmil	477 kcmil
Pérdida de calor por convección forzada (velocidad baja de viento)	$q_{c1}$	W/m	96,49088817	122,4360458	137,9502846	161,1456476
Pérdida de calor por convección forzada (velocidad alta de viento)	$q_{c2}$	W/m	96,81959989	127,8939924	146,988277	176,156116
Calor irradiado			2 AWG	3/0 AWG	266 kcmil	477 kcmil
Pérdida de calor irradiada	$q_r$	W/m	6,258367733	9,952660276	12,5504733	16,97012922
Calor del sol			2 AWG	3/0 AWG	266 kcmil	477 kcmil
Día del año	N		57	57	57	57
Declinación solar	$\delta$	°	-9,418225697	-9,418225697	-9,418225697	-9,418225697
Grados de latitud	lat	°	9,5	9,5	9,5	9,5
Ángulo de la hora local	$\omega$	°	7,591801001	7,591801001	7,591801001	7,591801001
Altitud solar	$H_c$	°	69,62820724	69,62820724	69,62820724	69,62820724
Variable asociada al acimut solar	$\chi$		0,403770907	0,403770907	0,403770907	0,403770907
Constante asociada con el acimut solar	C	°	180	180	180	180
Acimut solar	$Z_c$	°	201,987423	201,987423	201,987423	201,987423
Coefficiente de absorción solar	$\alpha$		0,5	0,5	0,5	0,5
Coeficientes del modelo matemático que dependen del tipo de atmósfera presente en la zona	A		-42,2391	-42,2391	-42,2391	-42,2391
	B		63,8044	63,8044	63,8044	63,8044
	C		-1,922	-1,922	-1,922	-1,922
	D		0,0346921	0,0346921	0,0346921	0,0346921
	E		-0,000361118	-0,000361118	-0,000361118	-0,000361118
	F		1,94318E-06	1,94318E-06	1,94318E-06	1,94318E-06
	G		-4,06608E-09	-4,06608E-09	-4,06608E-09	-4,06608E-09
Radiación solar incidente total	$Q_s$	W/m <sup>2</sup>	1022,175939	1022,175939	1022,175939	1022,175939
Factor de altitud solar	$K_{solar}$		1,118258752	1,118258752	1,118258752	1,118258752
Radiación solar total corregida por la altura	$Q_{se}$	W/m <sup>2</sup>	1143,05719	1143,05719	1143,05719	1143,05719
Ángulo efectivo de la incidencia de los rayos del sol	$\theta$	°	90	90	90	90
Ganancia de calor del sol	$q_s$	W/m	4,240742176	6,744037423	8,504345496	11,49915533
Ampacidad en estado estable			2 AWG	3/0 AWG	266 kcmil	477 kcmil
Corriente en estado estable	I	A	132,77	252,83	348,86	523,87

## BITÁCORA DE CAMBIOS REALIZADOS

N° Revisión	Fecha de emisión	Aprobado por:	Firma:
0	30/05/2017		María Victoria Ávalos Dittel