
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

TRABAJO ESCRITO PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO
MECÁNICO ELECTRICISTA.

“PROPUESTA DE SOFTWARE PARA CÁLCULO DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS”



PRESENTAN:

CESAR HUMBERTO AVALOS ANGULO

EMILIO ISRAEL SEGURA HERNANDEZ

DIRIGE:

ING. MOISES MENDOZA LINARES

ABRIL DE 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE.

1.- OBJETIVO.	1
2.- INTRODUCCIÓN.	2
3.- MARCO CONCEPTUAL.	4
4.- CONCEPTOS FUNDAMENTALES.	8
5.- DESARROLLO.	21
6.- PRINCIPIOS BÁSICOS PARA SELECCIÓN DE CABLES.	29
7.- ANÁLISIS TÉCNICO.	30
8.- PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO.	31
9.- EJEMPLOS DE CÁLCULO.	49
10.- EJEMPLO GRUPO MODELO.	74
11.- CONCLUSIONES.	82
BIBLIOGRAFÍA.	84
APÉNDICE DE TABLAS.	85

Agradecimiento

En cada etapa que culminamos en nuestras vidas, existen varias personas que son determinantes en lograr nuestro objetivo con éxito, razón por la cual quiero agradecer primeramente a mis padres el apoyo que siempre me han dado, y su paciencia para culminar esta etapa antes de que cumpliera los 50..... ufffff!!!, ¡Poco faltó!

A mis hermanos, Hector, por ser una parte importante en el desarrollo de este trabajo, Laura y Alejandro, por su ayuda incondicional.

A mi esposa, Anel y a mis hijos, Cesar David y Diego "Taebo", que son los encargados de llenar mis días de alegría, y la razón de seguir adelante.

Con quien pase largas horas, en la elaboración del presente trabajo, en ocasiones cansadas y en otras también, pero siempre al final una amena plática, Emilio.

Igualmente, agradecer la participación y el apoyo técnico de José Luis Ramírez, representante de una empresa líder en la fabricación de conductores eléctricos.

Por último y no menos importante a una persona que siempre creyó en nosotros y nos depositó su total confianza, el Ing. Moises Mendoza, sin dejar de mencionar, por supuesto, a la UNAM, por la formación que nos brinda.

Cesar Humberto Avalos Angulo

Agradecimiento.

Para todas aquellas persona que, de alguna manera, han sido ejemplo a seguir a lo largo de mi vida personal y profesional. El orden no importa, puesto que todos han y tendrán siempre su lugar muy especial.

Haré mención de todos ellos pero antes debo hacer una mención especial a una persona que, no por ser muy joven, su influencia ha sido arrolladora en mi vida. Me refieron a mi hija Alondra, quien desde el primer momento represento una luz y, corrobore que cuando un hijo te toma de la mano es para siempre. Un agradecimiento muy especial a ella que siempre, desde que llego a nosotros, nos ha proporcionado una gran felicidad y no menos travesuras. Es mi fuente de inspiración para continuar con el proyecto de vida del cual ella es continuación. Gracias hija.

A mi esposa Verónica, que siempre me ha comprendido, apoyado y soportado, para ella todo mi agradecimiento y mi fervor por aguantarme todos estos años, Gracias Arduizu...

Para mis padres, Doña Ana y Don Leos, que siempre supieron guiarme y tenerme paciencia, a ellos que me mostraron el camino de la perseverancia. A Ustedes dos que sufrieron conmigo y por mí, que mis alegrías fueron las suyas. Por soportar mis travesuras de párvulo, mis arranques, mis intolerancias de pubertad, mis arrosos y mis excesos, por todo eso ¡ Gracias ¡.

No puedo olvidar a mis profesores que siempre tuvieron y tienen algo que enseñar, para todos ellos mi fuente de ejemplo y conocimiento, siempre los llevaré en mi corazón primero y en mi mente después. Para el Ingeniero Moisés Mendoza Linares a quien con nada le podré pagar todo su apoyo. A él muy en especial por ser un amigo de toda la vida, un ejemplo a seguir y el profesor que lo último que pierde es la esperanza. Para todos ellos, mi más ferviente respeto, reconocimiento y gratitud.

Para mis hermanos Leos, René y Gastos (por orden de aparición), amigos, cuates, compañeros de trabajo y toda la gente que, de alguna manera, contribuyó a lo largo y ancho de mi existencia.

Doy gracias a Dios que los puso a todos en mi camino.

Emilio Israel Segura Hernández.

El presente trabajo escrito para titulación lo concebimos como la conclusión de una serie de logros, en los que, a lo largo de años de dedicación y acumulación de un nivel de conocimientos, se plasma en un cúmulo de hojas lo que fué o, mejor dicho, lo que logro hacer el sistema educativo de cada uno de sus discípulos. *Nosotros.*

La experiencia adquirida en las aulas, poco tiene que ver con la intención de seguir uno u otro camino. La selección de una u otra profesión solo es la herramienta mínima necesaria para enfrentar los grandes retos a los que el profesionista se tiene que enfrentar en el diario trabajo. Incluso, esta preparación nos enseña algo que casi ningún libro de ingeniería y, que se refiere, al trato diario con semejantes, compañeros, colegas, colaboradores, jefes, subordinados, etc.

Gran parte de este aprendizaje lo tratamos de volcar en el presente trabajo cuya finalidad es poner los cimientos para hacer y enfrentar proyectos que en principio se podría pensar es de incumbencia de otras áreas de la ingeniería. Por lo anterior, el propósito central que el presente trabajo busca como:

1. OBJETIVO

Proporcionar una herramienta que facilite el cálculo y disminuya el tiempo empleado en el desarrollo de proyectos de instalaciones eléctricas, dando por resultado el calibre óptimo por capacidad de conducción de corriente, caída de tensión y corto circuito para instalaciones eléctricas, aéreas y subterráneas en baja y alta tensión.

Adicional a este cálculo, tomar las consideraciones de análisis económico del costo capitalizado, para obtener el conductor cuya sección transversal trabaje bajo las mejores condiciones operativas y de rentabilidad. Introducimos a este sistema de cálculo el concepto pocas veces tomado en cuenta y, que no por eso su importancia se debe despreciar, es el "Calibre Económico".

2. INTRODUCCIÓN

Debido a que existen diversidad de métodos para la obtención del calibre mínimo requerido, es necesario que estos esten avalados.

En nuestro país con el objeto de regular las instalaciones eléctricas, existe la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEDE-1999, que constituye la guía y la legislación a la que deberán apegarse los diseñadores, fabricantes, constructores y unidades de verificación en lo referente a proyectos, construcción, instalación y aprobación de las instalaciones de tipo eléctricas.

Debido a la dificultad para calcular los calibres mínimos necesarios por el método tradicional (método por fórmulas), que puede llevarse demasiado tiempo para el cálculo y que, como se ha mencionado es el más preciso, el análisis se facilita con un método sistemático y automático. Apoyados en el uso de las computadoras y un programa, el calculista podrá tener en cuestión de minutos el resultado para la determinación de un calibre; esto también es de mucha ayuda a todas aquellas personas que realizan ciertas labores en campo de consultoría y/o supervisión.

Por lo anterior, la finalidad que se busca es sentar la metodología, reuniendo la información total y necesaria apegada al marco legal que rige en torno a los proyectos de las instalaciones eléctricas para desarrollar la herramienta idónea que será un programa para computadora que deberá ser dinámico y explícito. Para el desarrollo del programa como tal, se busca participar conjuntamente con expertos en el área de la informática.

En este trabajo presentamos el análisis, procedimiento y memorias de cálculo para determinar la capacidad de conducción de corriente, porcentaje de caída de tensión y corto circuito; así como cálculo de calibre económico para conductores eléctricos en baja y alta tensión en estado estable.

Existe un apartado de suma importancia y que pocas veces es tomado en cuenta que es el "Calibre económico" que, en la actualidad, donde es de gran necesidad el mejor aprovechamiento de los recursos naturales y económicos no se le otorga la importancia debida, únicamente se selecciona un cable que cumpla con los mínimos requerimientos de instalación y sobre todo el menor costo de inversión inicial.

Este tema toma relevancia, por la razón de que al invertir en un calibre de mayor sección transversal, tendrá menores pérdidas por calor en el conductor y por consiguiente tendremos ahorro de energía, traducido en un considerable ahorro económico, situación que demostraremos mas adelante. Aún cuando el costo

inicial es mayor, a más tardar en un periodo de 5 años, comenzamos a tener grandes ahorros en un cable que tiene una vida útil mayor a 25 años, en condiciones normales de operación.

3. MARCO CONCEPTUAL Y LEGAL

Actualmente, existen varios métodos para cálculo de calibre mínimo, que van desde la opción mas sencilla que es recurrir al uso de calculadores de calibres, que son pequeñas tablas desarrolladas por los fabricantes, pero solo incluyen las instalaciones más comunes (fig. 3.a); utilización de tablas avaladas por la Norma Oficial Mexicana, a las cuales se aplican factores de corrección, igualmente para ciertos arreglos propuestos, que deberán cumplir con ciertas consideraciones de operación, hasta el cálculo por medio de fórmulas, siendo este último un método largo y laborioso pero que proporciona un resultado muy preciso.



Reverso



Figura 3.a Calculador de calibres para baja tensión, Condumex

Los dos primeros casos son limitativos a el cálculo de capacidad de conducción, por lo que será necesario recurrir a las formulas o gráficas sacadas de las mismas formulas (fig. 3.b) para obtener el calibre aproximado por corto circuito.

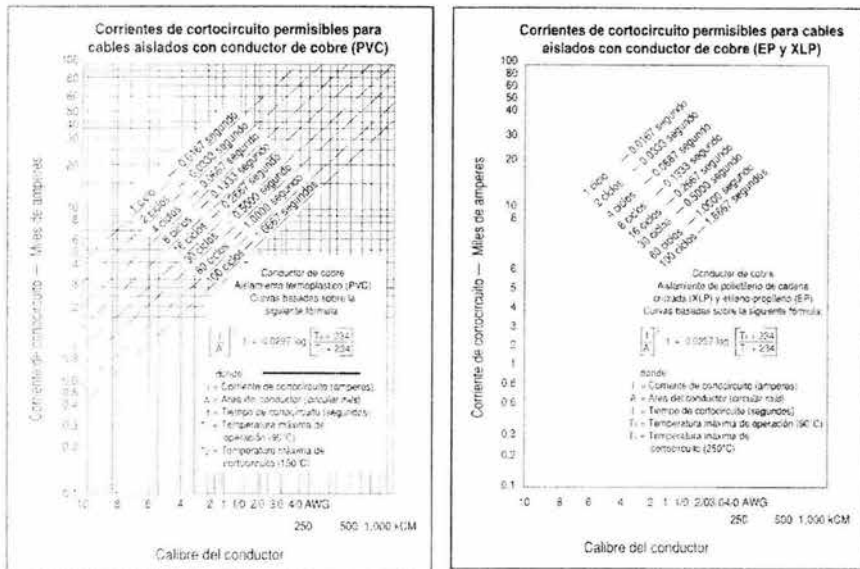


Figura 3.b, Gráfica de capacidad de corriente de corto circuito en conductores, Condumex

Para obtener un resultado apegado a la realidad lo mejor es utilizar los algoritmos propuestos por los organismos especializados y reconocidos en el ramo, aunque sea laborioso y sobre todo demandante en tiempo.

3.1 CONSIDERACIONES A LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMP

La Norma Oficial Mexicana, *Instalaciones destinadas al suministro y uso de energía eléctrica*, consta de una introducción y 14 capítulos subdivididos en dos partes. En la primera se establecen disposiciones técnicas que deben observarse en las instalaciones eléctricas; aplican de manera general para locales, equipos y condiciones especiales, sistemas de comunicación y alumbrado público, incluyendo un capítulo de tablas.

La segunda parte incluye las disposiciones técnicas que se deben aplicar en las instalaciones de subestaciones, líneas eléctricas de suministro público, transportes eléctricos, y otras líneas y de comunicación ubicadas en la vía pública; así como en instalaciones similares que sean propiedad de los usuarios, lo cual se ha establecido considerando, en principio, que la operación y mantenimiento de dichas líneas quedará en manos de personal calificado.

A continuación se presentan los artículos que forman la norma NOM-001-SEMP.

90- Introducción.

Primera parte.

Capítulo 1
Disposiciones Generales

Capítulo 2
Diseño y protección de las instalaciones eléctricas

Capítulo 3
Métodos de Instalación y materiales

Capítulo 4
Equipos de uso general

Capítulo 5
Ambientes especiales

Capítulo 6
Equipos especiales

Capítulo 7
Condiciones especiales

Capítulo 8
Sistemas de comunicación

Capítulo 9
Alumbrado público

Capítulo 10
Tablas

Segunda Parte.

Capítulo 21
Generalidades

Capítulo 22
Líneas aéreas

Capítulo 23
Líneas subterráneas

Capítulo 24
Subestaciones

4. CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y TERMINOLOGÍA

Esta sección está destinada para explicar de forma breve los términos que se emplean a lo largo del trabajo. Sin pretensión de ser un diccionario técnico. Bajo esta idea pasamos a:

4.1 TERMINOLOGÍA

Alta tensión: Todo aquel voltaje por arriba de los 2,000 volts

Baja tensión: Todo aquel voltaje igual o menor a los 2,000 volts

Calibre mínimo: Es la sección transversal de un conductor en cual nos permite el flujo de determinada cantidad de corriente y, por definición se puede obtener por diferentes criterios; por capacidad de conducción, caída de tensión y corto circuito.

Inductancia: Es la relación de la variación del flujo magnético con la variación de la corriente con respecto al tiempo. Cuando en un conductor eléctrico circula una corriente de magnitud variable en el tiempo, se crea un flujo magnético variable el cual se enlaza con los demás conductores del circuito, (por lo que también circulan corriente de naturaleza análoga)

Reactancia Inductiva: Se conoce como la oposición que la inductancia presenta al flujo de corriente alterna

Resistencia: Es la oposición al flujo de corriente que tienen los materiales

Tensión eléctrica: Es la mayor diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos cualesquiera de la instalación

Capacitancia: Es la capacidad de los circuitos eléctricos para almacenar una cierta cantidad de electrones. Entre dos conductores, se conoce como la relación de carga con respecto a la diferencia de potencial aplicado entre ellos.

Reactancia capacitiva: Es la oposición a la circulación del flujo de corriente. Cuando tenemos un capacitor conectado en un circuito, este permite la circulación de corriente debido a su capacidad para almacenar la corriente en una dirección

del flujo, después descarga la corriente y vuelve a almacenar la corriente alterna pero en dirección opuesta. Sin embargo el capacitor ofrece una cierta oposición al flujo de corriente

Impedancia: Se define como la suma de los efectos resistivos, inductivos y capacitivos; es decir:

$$Z = R + j(X_L - X_C)$$

Donde el operador j imprime un giro de 90 grados a la parte imaginaria o reactancia "X" siendo positivo o negativo según X_L sea mayor o menor que X_C

Capacidad de conducción de corriente: La corriente máxima que puede conducir un conductor en las condiciones de operación sin exceder su temperatura nominal.

Porcentaje de caída de tensión: La diferencia de voltaje suministrado y el voltaje real entregado a la carga.

Corto circuito: Se produce cuando ocurre una falla de aislamiento generando una alta corriente que fluye de la fuente de alimentación al punto en que el aislamiento se ha degradado, se puede considerar que el total de calor generado se absorbe por el conductor

Calibre económico: Es el calibre bajo el cual se tienen las mejores condiciones de rentabilidad. Considerando la inversión inicial y el ahorro obtenido por la optimización de la energía.

Tensión de jalado: Es la fuerza de tensión aplicable a un conductor antes de propiciarle un daño permanente a su estructura.

Efecto piel: Es el fenómeno que se genera debido a que la densidad de corriente es mayor en la superficie del conductor que en el centro. Debido al efecto de flujo magnético por corriente alterna, la fuerza contraelectromotriz inducida en los filamentos centrales de un cable, será mayor que la inducida en los filamentos superficiales.

Efecto proximidad: Cuando un conductor por el que fluye una corriente alterna se encuentra cercano a otro que transporta una corriente igual pero de sentido contrario crea una resta vectorial de densidad de flujo originando una

reducción en las inductancias de las caras próximas y un aumento en las diametralmente opuestas, dando por resultado una distribución no uniforme de la densidad de corriente y un aumento aparente de la resistencia efectiva.

Resistencia térmica total: Es la energía que se transforma en el cable en forma de calor, debido a la resistencia de los elementos que componen al conductor como son: el conductor, el aislamiento y las pantallas

Efecto Eddy y corrientes circulantes: Es el fenómeno de pérdida por generación de calor en las pantallas electrostáticas

Reactancia Mutua: Es la reactancia inductiva que existe entre los conductores y las pantallas, y se da cuando estas últimas, están aterrizadas en dos o más puntos.

Pantalla: Es la responsable de confinar en forma adecuada el campo eléctrico sobre la masa del aislamiento, atenuar los efectos por campos magnéticos y corrientes parásitas en la periferia del cable conductor; estas se clasifican primordialmente en pantallas semiconductoras y pantallas electrostáticas. Las primeras se encargan de enviar las líneas del campo magnético radialmente a la sección transversal del cable conductor y, por consiguiente, evitan concentraciones de esfuerzos eléctricos. La función de las segundas es la de aterizar el voltaje inducido y otro uso que se les da es que son empleadas como neutro.

4.2 CONCEPTOS FUNDAMENTALES

CAMPO MAGNÉTICO

El campo magnético es producido por cargas eléctricas en movimiento, llamadas corriente eléctrica; está es producida por el movimiento de electrones de carga negativa en materiales conductores.

Para nuestro estudio, que es el paso de corriente a través de un conductor eléctrico, el campo generado, según la regla de la mano derecha, es en forma de círculos que rodean el conductor.

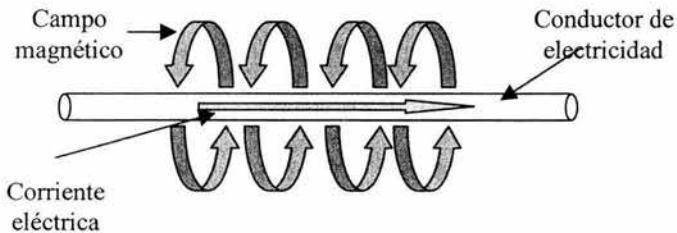


Figura 4.2.a,
Campo magnético generado alrededor de un cable que conduce corriente eléctrica

FLUJO MAGNÉTICO

Cuando un campo magnético, generado por una corriente eléctrica atraviesa una superficie, forma un flujo magnético el cual está definido como el producto del campo magnético perpendicular a la superficie por el área de la superficie que atraviesa. Ver fig. siguiente

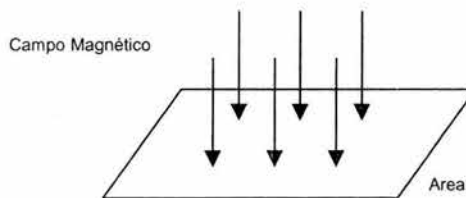


Figura 4.2.b, *Líneas de flujo magnético*

El flujo magnético está dado por la siguiente fórmula:

$$\phi = B \perp \cdot A$$

Donde: ϕ = flujo magnético, en weber (Wb)

B_{\perp} = campo magnético, perpendicular a la superficie, en tesla (T)

A = área de la superficie (mm^2)

Si el campo magnético perpendicular a la superficie no es constante en toda su área la fórmula anterior queda representada por una integral:

$$\phi = \int B_{\perp} \cdot dA \quad \dots(4.1)$$

donde: dA = diferencial de área (mm^2)

FUERZA ELECTROMOTRIZ INDUCIDA

Cuando el flujo magnético a través de una superficie varía con el tiempo, se induce en el perímetro de la superficie una fuerza electromotriz o tensión eléctrica. Ver figura 4.2.c

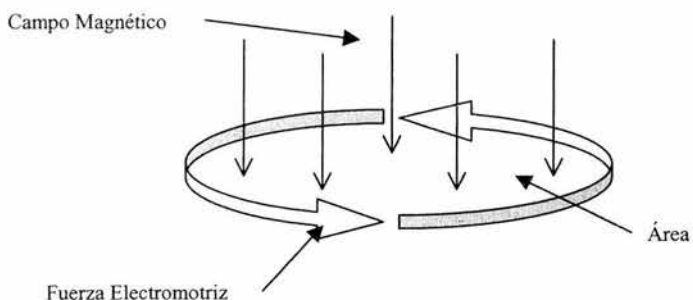


Figura 4.2.c,

Generación de fuerza electromotriz debido a la variación del campo magnético

La fuerza electromotriz generada es igual a la razón negativa de la variación del flujo magnético con respecto al tiempo. Esto se conoce como la ley de Faraday y se representa por la siguiente fórmula:

$$Fem = -\frac{d\phi}{dt} \quad \dots(4.2)$$

donde: Fem = Fuerza electromotriz generada (V)

$d\phi/dt$ = variación del flujo magnético con respecto al tiempo (Wb/s)

Si en el perímetro de la superficie en la cual se produce el flujo magnético, variable en el tiempo, existe una trayectoria conductora como por ejemplo un conductor eléctrico, se va a inducir una corriente eléctrica como se puede observar en la figura siguiente, figura 4.2.d

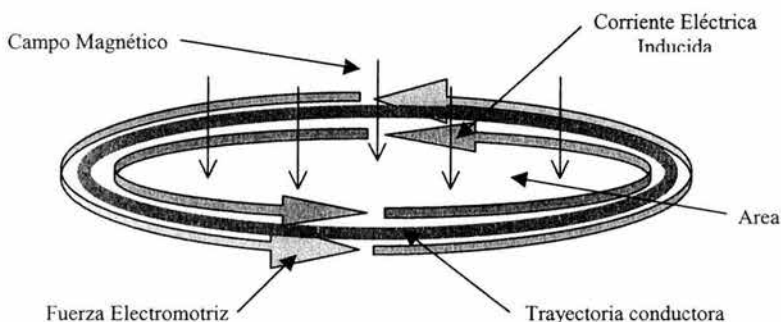


Figura 4.2.d
Corriente eléctrica inducida por la variación del flujo magnético

TENSIONES Y CORRIENTES INDUCIDAS EN LAS PANTALLAS ELECTROSTÁTICAS

Cuando tenemos dos conductores eléctricos y en uno de ellos transportamos corriente alterna; esta corriente produce un campo magnético que rodea al conductor.

Como las pantallas están separadas físicamente, existe un flujo magnético en la superficie que las une, este flujo magnético es variable con el tiempo, debido a que la corriente que lo produce es variable con el tiempo, por ser alterna, por lo cual induce una fuerza electromotriz en el circuito de las pantallas. Si las pantallas

están unidas en dos puntos, se va a formar un circuito conductor cerrado por lo que se va a inducir una corriente en ellas. Si las pantallas estuvieran unidas en un solo punto, el circuito conductor no es cerrado por lo que únicamente se va a inducir una tensión eléctrica en el extremo en el que no están unidas. Relacionando esto con la instalación del cable, si las pantallas están aterrizadas en dos o más puntos se va a inducir una corriente en ellas y, si están aterrizadas en un solo punto, se va a inducir un voltaje en el extremo no aterrizado entre ellas; y entre cada una de ellas y tierra.

La inducción de corriente o tensión en las pantallas tiene que ver con su unión y no con el aterrizaje, la relación con el aterrizaje es por que al aterrizar las pantallas, estas se unen entre sí.

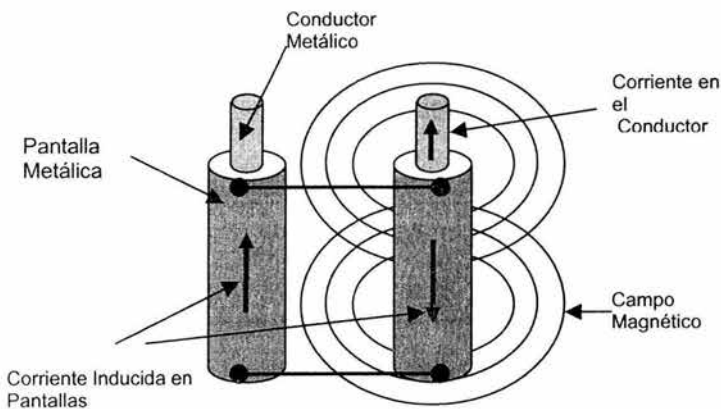


Figura 4.2.e

Inducción de corriente en pantallas metálicas unidas en dos puntos

IMPEDANCIA, RESISTENCIA Y REACTANCIA INDUCTIVA

Los circuitos de cables aislados generalmente son menores a 5,000 metros por lo que pueden considerarse como líneas cortas, es la razón por lo que se considera la resistencia del conductor y la reactancia inductiva X_L , despreciando la reactancia capacitiva X_C .

Los cables con la pantalla aterrizada en un solo punto, para efecto de cálculo de la impedancia, pueden ser considerados como cables sin pantalla, debido a que no existe circulación de corriente por las pantallas.

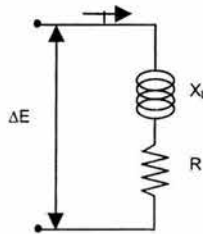


Figura 4.2.f

Circuito que representa un cable conductor y el efecto de la pantalla, X_L

$$\Delta E = (R^2 + X_L^2)^{1/2} \cdot I \quad \dots(4.3)$$

donde: ΔE = tensión en el conductor (V/km)

I = corriente en el conductor (A)

R = resistencia en el conductor en c.a. (Ω /km)

X_L = reactancia inductiva (Ω /km)

Para este caso la impedancia se calcula con la siguiente fórmula:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad \dots(4.4)$$

donde: Z = impedancia (Ω /km)

En los cables con las pantallas aterrizadas en dos o más puntos, debido a que existe circulación de corriente por las pantallas es necesario determinar una resistencia y una reactancia aparentes.

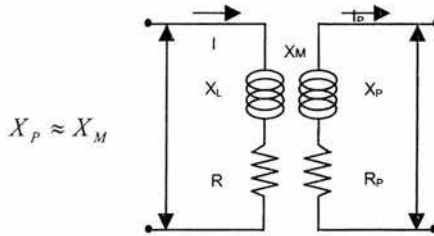


Figura 4.2.g

Diagrama de cables aterrizados en dos puntos

donde: X_P = reactancia inductiva de la pantalla (Ω/km)

X_M = reactancia mutua entre conductor y pantallas (Ω/km)

RESISTENCIA Y REACTANCIA APARENTES EN CONFIGURACIÓN TRIANGULAR EQUILATERA.

Debido a la simetría el caso de un circuito trifásico en configuración triangular es el más sencillo.

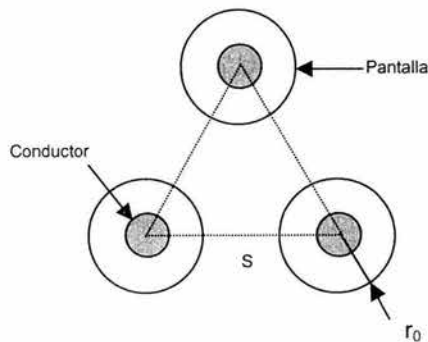


Figura 4.2.h

Circuito trifásico en configuración triangular

Para este caso la resistencia aparente se calcula según la siguiente fórmula:

$$R_A = R + \frac{X_M^2 \cdot R_P}{X_M^2 + R_P^2} \quad \dots\dots(4.5)$$

$$X_M = 2\pi \cdot f \cdot M \quad \dots\dots(4.6)$$

donde: R_A = Resistencia aparente en corriente alterna del conductor a la Top (Ω/km)

R = Resistencia en corriente alterna del conductor a la Top (Ω/km)

R_P = Resistencia de la pantalla a su Top (Ω/km)

X_M = reactancia mutua entre conductor y pantallas (Ω/km)

$$M = 2 \times 10^{-4} \cdot L_n \left(\frac{S}{r_0} \right) \quad \dots\dots(4.7)$$

donde: M = Inductancia mutua entre conductores y pantallas (henry/km)

S = Separación entre centros (mm)

r_0 = Radio medio de la pantalla metálica (mm)

En configuración equilátera la reactancia inductiva aparente se calcula con la siguiente fórmula:

$$X_{L,A} = X_L - \frac{X_M^3}{X_M^2 + R_P^2} \quad \dots\dots(4.8)$$

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L \quad \dots\dots(4.9)$$

donde: $X_{L,A}$ = Reactancia inductiva aparente (Ω/km)

X_L = Reactancia inductiva propia del conductor (Ω/km)

Como se puede apreciar en la ecuación (4.5) la resistencia de cables con las pantallas aterrizadas en dos puntos (R_A) es mayor que la de los cables con las pantallas aterrizadas en un solo punto (R). Opuesto a lo que sucede en el caso de la reactancia inductiva, como se puede apreciar en la ecuación (4.8), debido a que la reactancia inductiva de cables con las pantallas aterrizadas en 2 puntos (X_{LA}) tiene una componente negativa, por lo que es menor a la reactancia inductiva de cables con las pantallas aterrizadas en un solo punto o sin aterrizar (X_L).

Debido a que las reactancias inductivas son diferentes para los cables aterrizados en un solo punto y los cables aterrizados en 2 puntos, también las tensiones inducidas serán diferentes.

CORRIENTES Y TENSIONES INDUCIDAS EN CONFIGURACIÓN EQUILATERA

La corriente inducida en la pantalla metálica de cables de energía de circuitos trifásicos en configuración equilátera se calcula con la siguiente fórmula:

$$I_p = I \sqrt{\frac{X_M^2}{X_M^2 + R_p^2}} \quad \dots\dots(4.10)$$

donde: I_p = Corriente inducida en la pantalla (A)

I = Corriente en el conductor (A)

En función de las condiciones de la instalación, un cable puede transmitir cierta cantidad de corriente, lo que trae consigo una generación de calor por efecto Joule, que no deberá exceder la temperatura máxima de operación del cable.

Cuando circula corriente por las pantallas igualmente existe una generación de calor en las pantallas por efecto Joule ($I_p^2 R$). Esta generación de calor se suma a la ya generada por el conductor, por lo que se deberá de reducir el calor generado en el conductor (disminuir la capacidad de conducción) para no sobrepasar la temperatura máxima de operación del cable. Por lo tanto, la capacidad de conducción de corriente de cables con las pantallas aterrizadas en 2 o más puntos, será menor que la capacidad de conducción de cables con las pantallas aterrizadas en un solo punto o sin aterrizar.

En cables que tienen pantallas metálicas con un área transversal pequeña, esta reducción de capacidad de conducción de corriente puede ser prácticamente despreciable.

La tensión inducida en la pantalla metálica de cables de energía de circuitos trifásicos en configuración equilátera esta dada por:

$$E_p = X_M \cdot I \cdot L \quad \dots(4.11)$$

donde: E_p = Tensión inducida en la pantalla (V)

L = Longitud del cable (km)

Como se puede apreciar en nuestra ecuación anterior, el voltaje inducido depende directamente de la corriente del conductor, de la longitud del circuito y de la reactancia mutua, a mayor corriente, mayor tensión inducida, a mayor reactancia individual mutua (de acuerdo a la ecuación 4.7), mayor tensión inducida.

CONFIGURACIONES DIFERENTES A LA EQUILATERA

Para el caso de configuraciones diferentes a la vista, a continuación se presentan dos tablas para el cálculo de la Resistencia Aparente, Reactancia Aparente, Tensiones Inducidas y Corrientes Inducidas.

Tabla 4.2.1, Para calcular Resistencia y Reactancia aparente para otras configuraciones

	Resistencia Aparente	Reactancia Aparente
Fase A	$R + \frac{R_p}{4} \left[\frac{\sqrt{3}(\sqrt{3+P})}{(P^2+1)} + \frac{(1-\sqrt{3} \cdot Q)}{(Q^2+1)} \right]$	$X_L - X_M + \frac{R_p}{4} \left[\frac{\sqrt{3}(\sqrt{3P+1})}{(P^2+1)} + \frac{(Q+\sqrt{3})}{(Q^2+1)} \right]$
Fase B	$R + \frac{R_p}{(Q^2+1)}$	$X_L - X_M + \frac{R_p \cdot Q}{(Q^2+1)}$
Fase C	$R + \frac{R_p}{4} \left[\frac{\sqrt{3}(\sqrt{3-P})}{(P^2+1)} + \frac{(1+\sqrt{3} \cdot Q)}{(Q^2+1)} \right]$	$X_L - X_M + \frac{R_p}{4} \left[\frac{\sqrt{3}(\sqrt{3P+1})}{(P^2+1)} + \frac{(Q-\sqrt{3})}{(Q^2+1)} \right]$
Promedio	$R + R_p \left[\frac{P^2 + Q^2 + 2}{2(P^2+1)(Q^2+1)} \right]$	$X_L - X_M + R_p \left[\frac{Q(P^2+1) + P(Q^2+1)}{2(P^2+1)(Q^2+1)} \right]$

Donde P y Q son calculados de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 4.2.2, Cálculo de los factores P y Q en configuración diferente a la triangular y que son empleadas en las fórmulas de la tabla antes mencionada.

Configuración	Monofásica	Equilátera	Rectangular	Plana	Doble circuito	Doble circuito
$\frac{E_{p1}}{I} =$	X_M	X_M	$\frac{1}{2}\sqrt{3Y^2 + \left(X_M - \frac{a}{2}\right)}$		$\frac{1}{2}\sqrt{3Y^2 + \left(X_M - \frac{a}{2}\right)}$	$\frac{1}{2}\sqrt{3Y^2 + \left(X_M - \frac{a}{2}\right)}$
$\frac{E_{p2}}{I} =$	X_M	X_M	X_M	X_M	$X_M + \frac{a}{2}$	$X_M + \frac{a}{2}$
$\frac{E_{p3}}{I} =$		X_M	$\frac{1}{2}\sqrt{3Y^2 + \left(X_M - \frac{a}{2}\right)}$			

5. DESARROLLO

5.1 CONSIDERACIONES PARA EL CÁLCULO

CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN

Para el cálculo de capacidad de conducción, el procedimiento se realiza dependiendo del tipo de instalación ya sea subterránea, charolas o líneas aéreas.

Para Instalaciones Subterráneas (Ductos en banco de concreto, Ductos directamente enterrados y Cables directamente enterrados) se utilizó el análisis de Neher-McGrath¹, debido a que podemos tener una gran variedad de opciones y configuraciones que van desde arreglos de un circuito hasta 50 circuitos en configuraciones de 5 renglones y 10 columnas, situación que no está contemplada en la NOM.

- En el caso de instalaciones al aire (Charolas y Tuberías) el cálculo se basa tomando las capacidades de conducción de referencia de la norma y haciendo los ajustes necesarios por diferencia en temperatura ambiente y aplicando los factores de corrección debido a la distancia entre cables, acomodo y número de conductores en los casos que aplica, esto es debido a que no existe un algoritmo para el cálculo de capacidad en este tipo de instalaciones y los valores presentados fueron calculados en base a pruebas realizadas; cabe señalar que los valores obtenidos tienen factores de seguridad que prácticamente se puede decir que no caeran en falla.
- Para líneas aéreas, el método utilizado es el sugerido por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos IEEE de sus siglas en inglés (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

PORCENTAJE DE CAÍDA DE TENSIÓN

Normalmente en nuestras instalaciones se tiene un límite de pérdidas de voltaje, por lo que es necesario revisar que nuestro calibre cumpla con el máximo permitido. Si nuestro calibre seleccionado por capacidad de conducción no cumple con el porcentaje de caída permisible, nos vamos al inmediato superior; es decir, a uno de sección transversal mayor y así sucesivamente hasta encontrar uno que cumpla; el cual por supuesto, va a estar mas sobrado y por consiguiente trabajará más frío.

¹ The calculation of the temperature rise and load capability of cables systems.

CORTO CIRCUITO

Es de gran importancia considerar que nuestra instalación cumpla con las condiciones de corto circuito. En condiciones de corto circuito los elementos metálicos de un cable de energía, como conductor y pantalla, cuando están diseñados para tal fin, aumentan la temperatura rápidamente.

Si el área del conductor o de las pantallas no es la suficiente para soportar las condiciones de corto circuito, el intenso calor generado puede llegar a dañar el aislamiento y en ocasiones hacer cavidades entre pantalla y aislamiento.

Para determinar la corriente permisible en el conductor o en la pantalla, es necesario conocer el tiempo de respuesta del interruptor, es decir, el tiempo de duración de la falla. Comúnmente expresada en cantidad de ciclos.

Para este caso tenemos dos opciones, calcular la corriente de corto circuito que puede conducir nuestro calibre seleccionado, o calcular el calibre dependiendo de la capacidad interruptiva de corto circuito. Para nuestro primer caso, tomaremos como referencia el calibre seleccionado y calcularemos la capacidad de corto circuito para ese conductor; en el segundo caso se calcula el calibre necesario e igualmente se tomara el calibre de mayor sección transversal para calcular la capacidad máxima de conducción y la temperatura real.

De la misma forma podemos calcular el área de las pantallas para transportar una corriente de corto circuito.

CALIBRE ECONÓMICO

Debido al gran impulso que ha tenido últimamente el mejor aprovechamiento de los recursos naturales, además de la intensa búsqueda de obtener menores costos en instalación y operación, es necesario optimizar los recursos energéticos, incluyendo el sector eléctrico.

Los conductores eléctricos forman parte de las etapas de generación, transmisión, distribución y consumo. Y es en estos campos de aplicación en donde se han desarrollado los estudios para el ahorro de energía.

El calibre económico es aquel que además de cumplir técnicamente con todos los requisitos mencionados, representará un beneficio al obtener menores pérdidas por calor, efecto joule, etc. Dando como resultado un ahorro de energía y, por consiguiente, ahorro económico. Este cálculo se realiza partiendo del resultado del calibre técnico obtenido con anterioridad, considerando capacidad de conducción,

porcentaje de caída y corto circuito, y el comparativo se hará contra los calibres de mayor sección transversal, hasta encontrar el que cumpla con sus expectativas en tiempo de recuperación del capital inicial; situación en la que a partir de ese momento se tendrán ahorros de energía y, por consiguiente, un menor costo de operación.

Si bien es sabido que el costo de la inversión inicial es mayor, es necesario dedicar un poco de tiempo al análisis y planificación a futuro, luego entonces, podemos observar los grandes beneficios obtenidos a mediano plazo (5 años), de un cable que tiene una vida útil mayor a 25 años, redundando en un beneficio directo para el propietario del sistema eléctrico y por que no, para nuestro país.

El valor obtenido es derivado de una comparación del valor presente de alternativas con vidas útiles iguales.

CARACTERÍSTICAS DE LOS CONDUCTORES

En las instalaciones eléctricas el buen funcionamiento y su durabilidad, dependen de la correcta selección del conductor y del calibre óptimo, así como de una buena instalación (mano de obra calificada).

Por lo expuesto anteriormente, es necesario conocer las partes de un conductor eléctrico y las funciones de cada parte que lo componen.

PARTES DE UN CONDUCTOR

Las partes de un conductor son las que componen un cable desde el material conductor, hasta la cubierta exterior, como lo son:

1. Conductor eléctrico
2. Pantalla semiconductor del conductor
3. Aislamiento
4. Pantalla semiconductor del aislamiento
5. Pantalla electrostática
6. Cinta separadora
7. Cubierta exterior

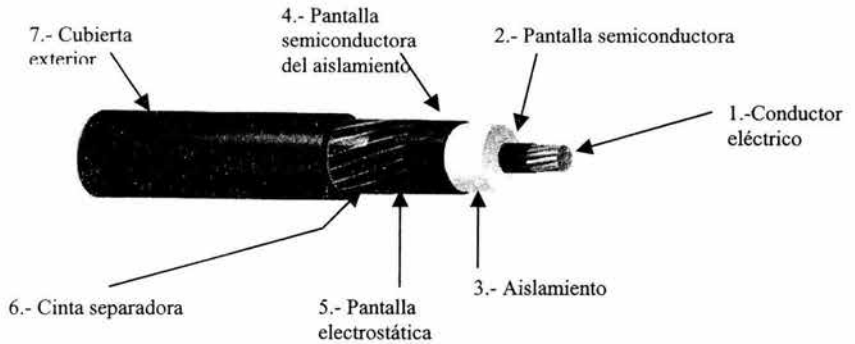


Figura 5.1.a
Imagen de la estructura de un cable

CONDUCTOR

Un conductor eléctrico es un material utilizado para el transporte de corrientes eléctricas, y generalmente deberá ser de un material con alta conductividad eléctrica.

El conductor consta de un alambre de cobre o aluminio (o aleaciones de otros materiales), o el trenzado de varios alambres que dan origen a un cable.

Los cables pueden ser normales, compactados o comprimidos.

Se le conoce como cables normales, a los que únicamente se conforman por la reunión o trenzado de varios alambres. Estos son los mas comunes.



Figura 5.1.b
Imagen de cable normal

PANTALLA SEMICONDUCTORA SOBRE EL CONDUCTOR

La pantalla semiconductor, como su nombre lo indica, está fabricada de un material semiconductor con el propósito de distribuir uniformemente el campo eléctrico en la superficie exterior del conductor, que se produce al aplicar un voltaje, este campo son líneas de flujo magnético perpendiculares al conductor, que de concentrarse en un solo punto, ocasionarían un esfuerzo eléctrico en el aislamiento.

Ver figura 5.1.a

AISLAMIENTO

La función del aislamiento es la de separar el conductor de cualquier superficie metálica para evitar un corto circuito, y además poder llevar varios conductores en una misma canalización.

Ver figura 5.1.a

PANTALLA SEMICONDUCTORA DEL AISLAMIENTO

Esta pantalla, al igual que la anterior, tiene como objetivo homogeneizar las líneas de flujo en toda el área para evitar concentraciones de flujo en un solo punto.

Figura 5.1.a

PANTALLA ELECTROSTÁTICA

La pantalla electrostática esta constituida por un elemento conductor que puede ser cintas de cobre aplicadas helicoidalmente o alambres aplicados helicoidalmente, con el fin de eliminar el voltaje inducido en la cubierta por efecto magnético y evitar gradientes de potenciales, peligrosos en la superficie que

pueden ocasionar lesiones serias e incluso hasta la muerte si se toca un cable de alta tensión y éste no está aterrizado en sus pantallas.

En ocasiones estas pantallas metálicas también son diseñadas para soportar una corriente de corto circuito o para ser usada como neutro. Ejemplo de esto lo encontramos en las acometidas eléctricas de instalaciones domésticas.

CUBIERTA EXTERIOR

Esta cubierta exterior es la encargada de la protección mecánica del cable, para evitar daños en la parte interna del cable y de que agentes externos penetren a la parte interna del cable. También es utilizada para identificar los conductores en voltaje y calibre.

5.2 CLASIFICACIÓN DE LOS CONDUCTORES

Los conductores eléctricos se pueden clasificar de diferentes formas:

- Por el voltaje de operación
- Por su aislamiento
- Por la construcción del cable / flexibilidad
- Por el material del conductor

CLASIFICACIÓN POR VOLTAJE

Dependiendo de la utilización, si es para línea de transmisión o de utilización, se clasifica por baja tensión de 0 a 2,000 V o alta tensión, para voltajes mayores a 2,000 V. Existe una clasificación alternativa que divide la clasificación de alta tensión en media tensión, de 2,001 V a 35,000 V y alta tensión a los voltajes mayores a 35,000 V.

CLASIFICACIÓN POR TIPO DE AISLAMIENTO

Los aislamientos pueden ser termoplásticos o termofijos, los primeros al calentarse a una temperatura mayor a la de diseño, tienden a modificar su estado original tomando la nueva forma que se le imprimió. Los termofijos con el calentamiento no se reblandecen si no que, se degradan. Estos últimos tienen la capacidad de soportar mayores temperaturas.

Es indispensable conocer el lugar en donde será instalado el conductor eléctrico, por que los aislamientos y/o cubiertas están diseñadas para trabajar bajo ciertas características de humedad, temperatura, ambientes corrosivos, etc.

Los materiales más utilizados para baja tensión son:

THHW-LS que es un PVC policloruro de vinilo, antífama que es resistente a la propagación de incendios además de que puede trabajar en ambientes húmedos.

THWN es un PVC con una cubierta exterior NYLON que le da resistencia a la humedad y lo hace propenso a trabajar en ambientes con presencia de gasolina, solventes ligeros, grasas y productos químicos.

RHW está fabricado con polietileno de cadena cruzada y tiene propiedades superiores al polietileno con las siguientes ventajas: Alta resistencia a la humedad y a una gran variedad de aceites y de agentes químicos; puede ser instalado en ambientes con alta y baja temperatura.

Para alta tensión, los materiales universalmente utilizados son el EPR (Etileno propileno rubber, máximo 69 kV) y el XLPE (denominación para el polietileno de cadena cruzada, máximo 550 kV) La utilización de uno o de otro aislamiento es indistinta, aunque el EPR proporciona mayor flexibilidad.

ESPESOR DE AISLAMIENTO

El espesor de aislamiento esta directamente relacionado con la tensión de operación del cable y en función del tipo de sistema eléctrico, que dependerá del tiempo de eliminación de la falla; 100% para máximo un minuto y 133% para máximo una hora.

CLASIFICACIÓN POR LA CONSTRUCCIÓN DEL CABLE

Principalmente se utilizan conductores de sección circular. La flexibilidad la determina el tipo de cableado, entre mayor sea el número de alambres por cable, mayor será la flexibilidad, esta flexibilidad es un parámetro crítico, como por ejemplo en los cordones uso rudo y cables para mina.

Para conductores aislados, el tipo de cableado que se utiliza es el concéntrico; es decir, que a partir de un alambre central se van haciendo capas alrededor de ese alambre.

Con el propósito de eliminar los intersticios (huecos entre los alambres) que en alto voltaje provocan un mayor calentamiento del conductor, estos se pasan por un dado final, que lo compacta: Cuando es pasado durante su proceso de formación por varios dados para compactarlo en cada capa, este se le conoce como comprimido, el cual elimina gran parte de esos intersticios, pero en su contra, hacemos un cable demasiado duro de doblar por lo compacto del mismo.

CLASIFICACIÓN POR EL MATERIAL DEL CONDUCTOR

Normalmente los conductores para instalaciones eléctricas se hacen de cobre y aluminio.

En circuitos electrónicos muy especializados se llega a utilizar el oro y la plata por ser los metales con mayor conductividad eléctrica; por supuesto, estos no pueden ser utilizados en una línea de transmisión por su escasez y su altísimo costo que representaría.

El éxito de la utilización del cobre, se basa en su conductividad y sus propiedades mecánicas, debido a su capacidad de conducción de corriente lo convierten en el más eficiente conductor eléctrico.

El aluminio en comparación al cobre tiene un menor peso y posee un 61% de la conductividad del cobre. Debido a la dificultad que se tiene para realizar empalmes o uniones su uso se restringe a las líneas de transmisión.

6. PRINCIPIOS BÁSICOS PARA LA SELECCIÓN ÓPTIMA DE UN CABLE

Para lograr una óptima selección es necesario definir claramente los requisitos principales que deberá cumplir el cable.

- Soportar el medio ambiente
- Resistencia a los esfuerzos de tensión
- Flexibilidad
- Dimensiones reducidas
- Poco peso
- Alta eficiencia en operación
- Capacidad para soportar cortos circuitos (alta tensión)
- Larga vida en servicio
- Costo inicial reducido o en su defecto, rápido retorno de inversión
- Seguridad en condiciones de incendio

6.1 VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LA SELECCIÓN DE UN CABLE

En el mercado no existe un cable ideal que cumpla para todas las aplicaciones por lo que es necesario definir cuales son las más importantes para elegir el que se adecúe mas, además también es necesario saber cuales son las variables importantes que interviene como:

- Tensión entre fases
- Carga
- Tipo de instalación
- Tipo de sistema eléctrico (determinar nivel de aislamiento)
- Longitud del circuito
- Temperatura del medio ambiente
- Caída de tensión admisible
- Capacidad de corto circuito
- Costo de la inversión (posible selección por calibre económico)

7. ANÁLISIS TÉCNICO

7.1 TRANSFERENCIA TÉRMICA

Calcula un valor de capacidad de conducción para un calibre, que sea capaz de transportar una carga de forma constante, en las condiciones de la instalación especificada, sin sobrepasar las limitaciones térmicas del aislamiento.

7.2 REGULACIÓN DE TENSIÓN

La sección del conductor será capaz de mantener la caída de tensión permisible a lo largo de una línea. El método de cálculo depende de la longitud de la línea.

7.3 CORTO CIRCUITO

Se obtiene un calibre, capaz de soportar las condiciones de corto circuito del sistema, que depende del tiempo de eliminación de la falla y de la corriente de corto circuito permisible.

7.4 ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico determina cual es la sección óptima, dependiendo de las pérdidas originadas por calor en el cable y de la inversión inicial; a mayor área, menores son las pérdidas por calor, pero mayor es el costo inicial, por lo que es necesario definir el tiempo de recuperación de nuestra inversión, teniendo en cuenta el costo que pagamos de mas por pérdida de energía en forma de calor. Análisis que en los últimos tiempos ha ido tomando mayor importancia.

8. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

En este capítulo desarrollaremos paso a paso los procedimientos para realizar los cálculos por capacidad de conducción.

8.1 CÁLCULO DE RESISTENCIA EN CORRIENTE ALTERNA R_{ca}

La resistencia en corriente alterna es un parámetro muy importante y necesario para conocer las pérdidas por efecto Joule, este parámetro será utilizado en el procedimiento para calcular la capacidad de conducción en instalaciones subterráneas y para el cálculo de calibre económico en instalaciones subterráneas e instalaciones en charolas y tuberías.

Primeramente necesitamos calcular la resistencia en corriente directa del conductor, en algunos casos los fabricantes proporcionan este dato a una cierta temperatura, en nuestro caso será calculada inicialmente a 20 °C debido a que es el dato de la resistividad térmica del material a esa temperatura.

8.1.1 Cálculo de resistencia en corriente directa R_{cd}

$$R_{cd} = \frac{\rho}{A} (1 + kc) (\Omega) \quad \dots(8.1)$$

donde: ρ = resistividad volumétrica ($\Omega \text{ mm}^2 / \text{km}$)
 A = área (mm^2)
 kc = constante de cableado

Los valores de resistividad volumétrica se muestran en la **“Tabla B6 Apéndice B”**

8.1.2 Resistencia en corriente directa a diferente temperatura.

Una vez realizado el cálculo de la resistencia en corriente directa, necesitamos llevarla a la temperatura de operación de nuestro conductor, para lo cual requerimos la utilización de un coeficiente de corrección por temperatura “ α ”.

$$R_{cd}(x^\circ\text{C}) = (R_{cd}(20^\circ\text{C}))(1 + \alpha(T_{op} + T_\rho)) (\Omega) \quad \dots(8.2)$$

donde: α = coeficiente de corrección por temperatura ($1/^\circ\text{C}$)

T_{op} = temperatura de operación del conductor ($^{\circ}C$)

8.1.2 Constante Alfa

La constante alfa es el inverso de la suma de la temperatura en la que la resistencia del material conductor es cero, mas la temperatura a la que está dado el valor de resistividad volumétrica.

$$\alpha = \frac{1}{T_o + T_p} \quad \dots(8.3)$$

donde: T_o = temperatura a la que la resistencia del material conductor es cero. ($^{\circ}C$)

T_p = temperatura a la que esta el valor de la resistividad volumétrica ($^{\circ}C$)

Una vez que ya tenemos la resistencia en corriente directa a la temperatura de operación del conductor, necesitamos llevar esa resistencia a corriente alterna, que es nuestro tipo de corriente de utilización; para lo cual es necesario calcular dos parámetros eléctricos "Efecto Piel " y "Efecto Proximidad" Y_s y Y_p respectivamente.

$$R_{ca} = R_{cd}(x^{\circ}C)(1 + Y_s + Y_p)(\Omega) \quad \dots(8.4)$$

8.1.3 Efecto piel

$$Y_s = \frac{X_s^4}{192 + 0.8X_s^4} \quad \dots(8.5)$$

$$X_s^4 = \left(\frac{8\pi f}{R_{cd}(x^{\circ}C)} ks \cdot 10^{-4} \right)^2 \quad \dots(8.6)$$

8.1.4 Efecto proximidad

$$Y_p = \frac{X_p^4}{192 + 0.8X_p^4} \left(\frac{Dt}{s} \right)^2 \left[0.312 \left(\frac{Dt}{s} \right)^2 + \frac{1.18}{\frac{X_p^4}{192 + 0.8X_p^4} + 0.27} \right] \quad \dots(8.7)$$

$$Xp^4 = \left(\frac{8\pi f}{Rcd(x^\circ C)} kp \cdot 10^{-4} \right)^2 \quad \dots(8.8)$$

donde: f = frecuencia (60 htz)
 ks = factor por efecto piel
 kp = factor por efecto proximidad

ks y kp dependen del tipo de construcción del cable, **"Tabla B7 Apéndice B"**

8.2 INSTALACIÓN AL AIRE (CHAROLAS Y TUBERIAS)

En la actualidad no existe algún algoritmo para el cálculo de capacidad de conducción en instalaciones de tipo aérea "charolas" y "tuberías" por lo cual los cálculos se hacen apegados a los valores de las tablas de la NOM, que fueron calculados por pruebas realizadas en campo, y únicamente se hacen las correcciones necesarias por temperatura y agrupamiento.

8.2.1 Cálculo de capacidad de conducción

El procedimiento para cálculo de capacidad, en instalaciones al aire es muy sencillo debido a que solamente se toma el valor de tablas dependiendo del tipo de cable, tipo de instalación y temperatura de operación y se corrige a la temperatura ambiente.

$$I_2 = I_1 \left(\frac{Top - Tamb}{Top - T_1} \right)^{1/2} \quad (\text{Amp.}) \quad \dots(8.9)$$

donde: Top = Temperatura máxima calculada de operación de nuestro conductor.

 Tamb = Temperatura ambiente de la instalación.

 T₁ = Temperatura a la que se considero la capacidad de conducción de las tablas.

 I₁ = Capacidad de conducción de tablas

 I₂ = Capacidad de conducción corregida a la temperatura de operación Top

8.3 INSTALACIÓN AL AIRE (LÍNEAS AÉREAS)

En el cálculo de capacidad de conducción en estado estable para líneas aéreas intervienen tres factores, además de la resistencia a la temperatura máxima de operación, que son las pérdidas por convección, pérdidas por radiación solar y ganancia por calor solar. Se tiene que considerar.

$$I = \left(\frac{q_c + q_r - q_s}{R(x^\circ C)} \right)^{1/2} \quad (\text{Amp.}) \quad \dots(8.10)$$

donde: q_c = Pérdidas por convección.

q_r = Pérdidas por radiación solar.

q_s = Ganancia por calor solar.

$R(x^\circ C)$ = Resistencia en c.a. del conductor a la temperatura de operación.

8.3.1 Pérdidas por Convección.

Debido a las condiciones naturales del medio ambiente donde operará nuestro conductor, estas ayudarán a disipar el calor del cable. Las cuales dependen directamente de la densidad del aire, velocidad del viento y la altura a nivel del mar.

Se considera por convección natural y por convección forzada, en la primera la velocidad del viento es igual a cero.

A mayores pérdidas por convección, tenemos que nuestro cable disipa mas calor y por consiguiente trabaja mas frío propiciando una mejora en la capacidad de conducción.

El instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE, de sus siglas en inglés), recomienda que para motivos del cálculo se tome solamente el valor más grande que se obtiene de las ecuaciones de convección natural y convección forzada.¹

8.3.1.1 Convección Natural

$$q_c = 0.283 \rho_f^{0.5} D^{0.75} (T_c - T_a)^{1.25} \quad (\text{W/ft}) \quad \dots(8.11)$$

¹ IEEE std 738-1993 Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors

donde: ρ_f = Densidad del aire (lb / ft³)
 D = Diámetro del conductor (in)
 T_c = Temperatura del conductor (°C)
 T_a = Temperatura ambiente (°C)

8.3.1.2 Convección Forzada

$$q_{c1} = \left[1.01 + 0.371 \cdot \left(\frac{D\rho_f V_w}{\mu_f} \right)^{0.52} \right] \cdot k_f \cdot (T_c - T_a) \text{ (W/ft)} \quad \dots(8.12)$$

$$q_{c2} = 0.1695 \left[\left(\frac{D\rho_f V_w}{\mu_f} \right)^{0.6} \right] \cdot k_f \cdot (T_c - T_a) \text{ (W/ft)} \quad \dots(8.13)$$

donde: V_w = Velocidad del viento (ft / h)
 μ_f = Viscosidad absoluta del aire (lb / ft h)
 k_f = Conductividad térmica del aire a la temperatura de superficie (W/ft)(°C)

8.3.2 Cálculo de la Temperatura de Superficie

La temperatura de superficie es el resultado del promedio de la temperatura máxima de operación y la temperatura ambiente.

$$T_f = \frac{T_c + T_a}{2} \quad \dots(8.14)$$

8.3.3 Pérdidas por Radiación de Calor

Las pérdidas por radiación de calor, es todo aquel calor disipado por el conductor .

$$q_r = 0.138D \cdot \varepsilon \left[\left(\frac{T_c + 273}{100} \right)^4 + \left(\frac{T_a + 273}{100} \right)^4 \right] \text{ (W/ft)} \quad \dots(8.15)$$

donde: ε = Factor de emisividad.

Se considera " $\varepsilon = 0.5$ " según la NOM (Sexta sección Art. 922-10)

8.3.4 Ganancia por Calor Solar

Es el calor que absorbe el conductor por radiación solar, el cual es más crítico cuando el azimut del sol es de 180°

$$q_s = \alpha \cdot Q_s \cdot \text{seno}(\theta) \cdot A' \text{ (W/ft)} \quad \dots(8.16)$$

donde: $\theta = \cos^{-1}[\cos(Hc) \cdot \cos(Zc - Z_1)](^\circ)$

$$A' = D/12 \text{ (ft)} \quad \dots(8.17)$$

a su vez: $\alpha = 0.5$; coeficiente de absorción solar

Q_s = total de calor recibido por la superficie (W / ft^2), (**tabla B16 y B17, apénd. B**)

Hc = Altitud del sol ($^\circ$)

Zc = Azimut del sol ($^\circ$)

$Z_1 = 90^\circ$ por definición

Analizando las condiciones extremas, es cuando la radiación solar es mas intensa y ocurre cuando el ángulo de incidencia es de 180° con respecto al plano de la superficie terrestre.

Por lo tanto: $\cos(Zc-Z_1) = \cos(180^\circ-90^\circ) = \cos(90^\circ) = 0$

Considerando lo anterior tenemos: $\theta = \cos^{-1}[0] = 90^\circ$

Obtenemos: $q_s = \alpha \cdot Q_s \cdot A' \text{ (W/ft)} \quad \dots(8.18)$

Revisando los datos de la tabla siguiente, podemos observar que nuestra ecuación se simplifica aún mas.

Se analiza la ubicación geográfica de México, comprendida entre los $14^\circ 32'$ y $32^\circ 43'$ de latitud norte.

Sustituyendo el valor crítico de $Q_s = 96.3 \text{ (W / ft}^2\text{)}$ se reduce a:

$$q_s = 96.3 \cdot \alpha \cdot Q_s \cdot A' \text{ (W/ft)} \quad \dots(8.19)$$

8.4 DUCTOS SUBTERRÁNEOS

8.4.1 Cálculo de capacidad de conducción

El cálculo de capacidad de conducción de corriente para cables aislados, consiste en determinar el valor máximo de corriente que puede circular por el conductor en operación normal, para ciertas condiciones de instalación, permitiendo a todos los elementos del cable trabajar dentro de sus rangos de diseño y está dado por la siguiente expresión:

$$I = \sqrt{\frac{T_{op} - (T_{amb} + \Delta T)}{R_{ca} \cdot R_t}} \times 1000 \text{ (A)} \quad \dots(8.20)$$

donde: T_{amb} = temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$)

R_t = Resistividad total del sistema (Ω / ft)

R_{ca} = Resistencia en corriente alterna del conductor (Ω / ft)

ΔT = Elevación de temperatura debida a las pérdidas dieléctricas ($^{\circ}\text{C}$)

8.4.2 Resistencia total, R_t

La resistencia total, es la que conforma todos los elementos por los que fluye el calor hacia la superficie, como lo son:

1. El aislamiento del cable
2. La cubierta del cable
3. El aire que rodea al cable dentro del ducto
4. El ducto
5. El concreto del banco de ductos
6. El terreno que rodea el banco de ductos

8.4.2.1 Resistencia total R_t para ductos en banco de concreto.

El caso de ductos en banco de concreto, es el caso en el que intervienen todos los elementos citados en el inciso 5.4.2 y está dado por:

$$R_t = R_a + Q_s(R_c + R_{ad} + R_d + R_b) \text{ (}\Omega / \text{ft)} \quad \dots(8.21)$$

donde: R_a = Resistencia térmica del aislamiento

Q_s = Calor generado por las pantallas electrostáticas

Rc = Resistencia térmica de la cubierta exterior
Rad= Resistencia térmica del aire al interior del ducto
Rd= Resistencia térmica del ducto
Rb= Resistencia térmica del banco de concreto

8.4.2.2 Resistencia total Rt para ductos directamente enterados

En el caso de ductos directamente enterrados, no tenemos la influencia del banco de concreto, por lo que no consideraremos ese término.

$$R_t = R_a + Q_s(R_c + R_{ad} + R_d + R_{b_2}) (\Omega / \text{ft}) \quad \dots(8.22)$$

Rb₂= Resistencia térmica del terreno (Ω / ft)

8.4.2.3 Resistencia total Rt para cables directamente enterados

Este es el caso más sencillo, debido a que solo influye el aislamiento, la cubierta exterior y el terreno.

$$R_t = R_a + Q_s(R_c + R_{b_2}) (\Omega / \text{ft}) \quad \dots(8.23)$$

Rb₂= Resistencia térmica del terreno (Ω / ft)

8.4.3 Resistencia del aislamiento, Ra

La resistencia del aislamiento es la oposición del aislamiento del conductor al flujo de calor generado en el cable.

$$R_a = 0.012 \rho_a \log \left(\frac{D_a}{D_d} \right) (\Omega / \text{ft}) \quad \dots(8.24)$$

Donde: ρ_a = Resistencia térmica del aislamiento ($^{\circ}\text{C}\text{-cm} / \text{W}$)
Da = Diámetro sobre el aislamiento (in)
Dd = Diámetro del conductor desnudo (in)

8.4.4 Resistencia de la cubierta exterior

La resistencia de la cubierta exterior es similar a la del aislamiento y es la oposición de la cubierta exterior, al flujo de calor generado en el cable y en la pantalla electrostática.

$$R_c = 0.012\rho_c \log\left(\frac{Dt}{Ds}\right) (\Omega / \text{ft}) \quad \dots(8.25)$$

Donde: ρ_c = Resistencia térmica de la cubierta exterior ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm} / \text{W}$)

Dt = Diámetro total (in)

Ds = Diámetro interno de la cubierta exterior (in)

8.4.5 Resistencia del aire entre el conductor y el ducto, R_{ad}

Es la oposición a la disipación de calor, debido al aislamiento generado por el aire que se encuentra entre el conductor y el ducto.

$$R_{ad} = \frac{n \cdot A}{1 + (B + C \cdot Tm)Ds} (\Omega / \text{ft}) \quad \dots(8.26)$$

Donde: n = número de conductores en el ducto

A , B y C son constantes térmicas del ducto

Ds = Diámetro circunscrito de los cables en el ducto (in)

8.4.6 Resistencia del ducto, R_d

La resistencia en el ducto es la oposición a la disipación de calor debido al material del ducto.

$$R_d = 0.012\rho_d \log\left(\frac{D_{ext}}{D_{int}}\right) (\Omega / \text{ft}) \quad \dots(8.27)$$

Donde: ρ_d = Resistencia térmica del ducto ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm} / \text{W}$)

D_{ext} = Diámetro exterior del ducto. (in)

D_{int} = Diámetro interior del ducto. (in)

8.4.7 Pérdidas por efecto de la pantalla Q_s

Debido a que la pantalla electrostática al estar aterrizada va a ser una fuente generadora de calor, este calor va a afectar a todos los elementos del cable que estan después de ella, y está dada por la siguiente expresión:

$$Q_s = 1 + \frac{Y_s}{1 + Y_c} \quad \dots(8.28)$$

donde: Y_c = suma de las perdidas por efecto piel y efecto proximidad

Y_s = suma de las pérdidas por corrientes de Eddy y por corrientes Circulantes

8.4.8 Pérdidas por corrientes por efecto Eddy

$$Y_{se} = \left(\frac{396}{R_{ptc} \cdot R_{cd}} \right) \left(\frac{D_p}{2S_x} \right)^2 \left(1 + \frac{5}{12} \left(\frac{D_p}{2S_x} \right)^2 \right) \quad \dots(8.29)$$

R_{ptc} = Resistencia de los conductores de la pantalla a temp. de op. ($\mu\Omega/\text{ft}$)

D_p = Diámetro de la pantalla electrostática (in)

S_x = Distancia axial entre conductores (in)

8.4.9 Resistencia de la pantalla electrostática

La resistencia de la pantalla electrostática es la oposición a la circulación de la corriente y se calcula igual que la resistencia del conductor:

$$R_{ptc} = \frac{1.05\rho}{n_s \cdot d_s^2} \left(\frac{T_o + (T_{op} - 5)}{T_o + T_p} \right) (\mu\Omega / \text{ft}) \quad \dots(8.30)$$

R_{ptc} = Resistencia de la pantalla electrostática a temperatura corregida ($\mu\Omega / \text{ft}$)

n_s = Número de los conductores en la pantalla

d_s = Diámetro de los conductores en la pantalla (ft)

ρ = resistividad volumétrica (cmil Ω / ft)

8.4.10 Pérdidas por corrientes circulantes

$$Y_{sc} = \left(\frac{X_m^2}{R_{ptc} \cdot R_{cd}} \right) \quad \dots(8.31)$$

8.4.11 Reactancia mutua X_m

$$X_m = 0.882 \cdot f \cdot \log \left(\frac{2Sx}{Dp} \right) (\mu\Omega / \text{ft}) \quad \dots(8.32)$$

8.4.12 Pérdidas por efecto Eddy y corrientes circulantes

$$Y_s = Y_{se} + Y_{sc} \quad \dots(8.33)$$

8.4.13 Resistencia en el banco de ductos / tierra

$$R_b = 0.012 \cdot \rho_b \cdot n \left[\log \frac{8.3}{D_{ext}} + \log \left(\frac{4L_p}{8.3} \cdot F \right) \right] + 0.012(\rho_t - \rho_b)n \cdot N \cdot G_b \quad (\Omega / \text{ft}) \quad \dots(8.34)$$

Donde: ρ_b = Resistividad del banco ($^{\circ}\text{C}\text{-cm} / \text{W}$)

ρ_t = Resistividad del terreno ($^{\circ}\text{C}\text{-cm} / \text{W}$)

n = número de conductores en el ducto

N = número de ductos o grupos en el sistema

L_p = Profundidad al ducto de referencia (in)

G_b = Factor geométrico para un banco de ductos

$$G_b = \log \left(\frac{L_c}{r_b} + \sqrt{\left(\frac{L_c}{r_b} \right)^2 - 1} \right) \quad \dots(8.35)$$

Donde: L_c = Distancia al centro del ducto (in)

r_b = factor del banco de ductos

$$\log r_b = 0.5 \frac{Xb}{Yb} \left(\frac{4}{\pi} - \frac{Xb}{Yb} \right) \cdot \log \left(1 + \frac{Yb^2}{Xb^2} \right) + \log \left(\frac{Xb}{2} \right) \quad \dots(8.36)$$

Donde: Xb = Distancia horizontal entre centros de ductos (in)
 Yb = Distancia vertical entre centros de ductos (in)

8.4.13 Resistencia del terreno

$$Rb_2 = 0.012 \cdot \rho_t \cdot n \left[\log \frac{8.3}{D_{ext}} + \log \left(\frac{4Lp}{8.3} \cdot F \right) \right] \quad (\Omega / ft) \quad \dots(8.37)$$

Donde: ρ_t = Resistividad del terreno ($^{\circ}\text{C}\text{-cm} / \text{W}$)
 n = número de conductores en el ducto
 N = número de ductos o grupos en el sistema
 Lp = Profundidad al ducto de referencia (in)

8.4.14 Cálculo de factor F por el método de imagenes

$$F = \sum_{j=0-m}^{i=0-n} \frac{D_{ij}d_{mn}}{D_{ij}D_{mn}} \quad \dots(8.38)$$

Donde: Dij = Referencia del ducto de referencia en coordenadas cartesianas (in)
 Dijdmn = Distancia del ducto de referencia a cada ducto imagen (in)
 DijDmn = Distancia del ducto de referencia a cada ducto del banco (in)

8.5 TEMPERATURA DE OPERACIÓN DEL CONDUCTOR

Cuando calculamos la capacidad de conducción de nuestro cable tenemos que adaptarnos al calibre inmediato superior, por lo que un dato importante es conocer la temperatura real a la que trabajará nuestro conductor; como el cable que estamos escogiendo puede conducir mas amperes, por lo tanto si nuestra capacidad esta por debajo de la máxima, nuestro conductor trabajara más frio.

$$Top_2 = (Top - Tamb) \left(\frac{I}{I_2} \right)^2 + Tamb \text{ (}^\circ\text{C)} \quad \dots(8.39)$$

donde: Top= Temperatura de máxima de operación de nuestro conductor. ($^\circ\text{C}$)
Tamb= Temperatura ambiente de la instalación. ($^\circ\text{C}$)
I= Capacidad real de conducción. (A)
I₂= Capacidad de conducción máxima del conductor. (A)
Top₂= Temperatura de operación real. ($^\circ\text{C}$)

8.6 PORCIENTO DE CAÍDA DE TENSIÓN

En la correcta selección de un conductor es necesario considerar la caída de tensión máxima permisible, por lo que nuestro calibre seleccionado por capacidad puede ser insuficiente para cumplir por caída de tensión, que en ocasiones puede llegar a ser arriba de un calibre mayor.

El porciento de caída de tensión esta definida como las pérdidas de voltaje por efecto joule entre el voltaje nominal, y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$e\% = \frac{I \cdot \log(Rca \cdot \cos\phi + X_L \cdot \text{sen}\phi)}{V_0} \cdot 100 \text{ (%) } \quad \dots(8.40)$$

Donde: $\cos\phi$ = factor de potencia
V₀ = Voltaje al neutro (V)

8.6.1 Reactancia inductiva X_L

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L \text{ (}\Omega\text{/km)} \quad \dots(8.41)$$

Donde: f = Frecuencia (hz)
L = Inductancia (H/km)

8.6.2 Inductancia L

$$L = 2 \times 10^{-4} \ln \left(\frac{DMG}{RMG} \right) \text{ (H/km)} \quad \dots(8.42)$$

8.6.3 Distancia media geométrica

La distancia media geométrica es la relación que existe en distancia, en un arreglo de varias fases.

$$DMG = \sqrt[3]{d_{ab} \cdot d_{bc} \cdot d_{ca}} \quad \dots(8.43)$$

Donde: dnm = distancia entre fases

8.6.4 Radio medio geométrico RMG

El radio medio geométrico es un valor determinado dependiendo del número de alambres por conductor y puede ser diferente para un mismo calibre.

$$RMG = \left(\frac{Dd}{2} \right)^k \quad \dots(8.44)$$

Donde: Dd = Diámetro del conductor desnudo

k = factor por cableado (número de alambres del cable)

*** Los valores de "k" están dados en tabla B15, apéndice B"**

8.7 CORTO CIRCUITO

Otro punto muy importante a considerar es que nuestro conductor tenga una sección capaz de soportar las condiciones de corto circuito del sistema, en el sitio de instalación del cable. Para efectuar este cálculo se requiere contar con los valores de intensidad y duración del corto circuito.

El conductor obtenido puede variar al seleccionado por capacidad de conducción y por caída de tensión, por lo que se seleccionara el de mayor sección transversal.

8.7.1 Cálculo de Corriente de Corto Circuito

En este apartado presentaremos la expresión para el calculo de corriente de c.c. que puede soportar nuestro calibre ya seleccionado previamente, ya sea por capacidad de conducción ó caída de tensión.

$$\frac{I_{cc}^2}{A^2} \cdot t = k_{cc} \cdot \log\left(\frac{T_{max_{cc}} + T_0}{T_{op} + T_0}\right) \quad (\text{kA}) \quad \dots(8.45)$$

- Donde: A = Área de la sección transversal (cmil)
- t = Tiempo de duración de la falla (ciclos/s)
- k_{cc} = Constante del material de c.c.
- T_{max_{cc}} = Temperatura máxima que soporta el aislamiento en c.c.
- T_{op} = Temperatura de operación del conductor (°C)
- T₀ = temperatura a la que la resistencia del material conductor es cero. (°C)

8.7.2 Cálculo del Calibre en base a la Corriente de Corto Circuito conocida

En base a la selección de las protecciones en nuestro sistema, ya tenemos definida una corriente de corto circuito máxima conocida, por lo que a partir de la expresión vista anteriormente, despejaremos "A" para calcular el área mínima necesaria para que nuestro sistema soporte la corriente de c.c. propuesta.

$$A = \sqrt{I_{cc} \left[\frac{t}{k_{cc} \cdot \log\left(\frac{T_{max_{cc}} + T_0}{T_{op} + T_0}\right)} \right]} \quad (\text{cmils}) \quad \dots(8.46)$$

Según el área obtenida únicamente nos tendremos que adaptar al calibre comercial, inmediato superior.

8.8 CORTO CIRCUITO EN LAS PANTALLAS

Las pantallas electrostáticas pueden ser diseñadas para conducir la corriente de corto circuito.

El procedimiento de cálculo es similar al visto con anterioridad.

8.8.1 Cálculo de Corriente de Corto Circuito

$$\frac{I_{cc_p}^2}{A_p^2} t = k_{cc} \cdot \log\left(\frac{T_{\max_{cc}} + T_0}{T_{op_p} + T_0}\right) \quad (\text{cmils}) \quad \dots(8.47)$$

Donde: A_p = Area de la sección transversal (cmil)

t = Tiempo de duración de la falla (ciclos/s)

k_{cc} = Constante del material de c.c.

$T_{\max_{cc}}$ = Temperatura máxima que soporta el aislamiento en c.c.

T_{op_p} = Temperatura de operación del conductor (°C)

T_0 = temperatura a la que la resistencia del material conductor es cero. (°C)

Según la experiencia la temperatura de operación en las pantallas es menor dependiendo del voltaje de operación, y está dada por los valores mostrados en la siguiente tabla:

VOLTAJE DE OPERACIÓN (kV)	ΔT_P (°C)
5 – 25	5
35 – 46	10
69	15

Temperatura de operación en las pantallas

8.9 CALIBRE ECONÓMICO

8.9.1 Pérdidas totales por calor

$$W_t = W_c + W_a + W_p \quad \dots(8.48)$$

8.9.2 Pérdidas en el conductor

$$W_c = I^2 R_{ca} \cdot 10^{-3} (L \cdot n \cdot H \cdot F_p) \quad \dots(8.49)$$

Donde: L = Longitud del tramo
n = Número de conductores
H = Horas al año en uso
Fp = Factor de pérdidas
Fc = Factor de carga

$$F_p = 0.3(F_c) + 0.7(F_c)^2 \quad \dots(8.50)$$

8.9.3 Pérdidas en el aislamiento

$$W_a = 2\pi \cdot f \cdot c \cdot (V_o)^2 \tan \delta \cdot 10^{-3} ((L \cdot n \cdot H) \quad \dots(8.51)$$

$$c = \frac{0.0241 \cdot SIC \cdot 10^{-6}}{\log \frac{D_a}{D_d}} \quad \dots(8.52)$$

Donde: $\tan \delta$ y SIC son constantes del aislamiento
Da = Diámetro sobre aislamiento
Dd = Diámetro del conductor desnudo

8.9.4 Pérdidas en la pantalla

$$W_p = I_p^2 R_p \cdot 10^{-3} (L \cdot n \cdot H \cdot F_p) \quad \dots(8.53)$$

Donde: Ip = Corriente circulante por la pantalla
Rp = Resistencia a la corriente eléctrica de la pantalla

Para obtener la corriente "Ip" es necesario calcular primero la resistencia en la pantalla "Rp" y la reactancia mutua "Xm"

$$R_p = \frac{1.05 \cdot \rho_{Cu}}{(n_a \cdot A_a) \cdot (1 + \alpha(T_{op} - 5 - T_{amb}))} \quad (\Omega/\text{km}) \quad \dots(8.54)$$

Para cables monofásicos o en disposición trébol la corriente que circula por la pantalla se calcula con la siguiente expresión:

$$I_p = I \sqrt{\frac{X_m^2}{X_m^2 + R_p^2}} \quad (\text{A}^2) \quad \dots(8.55)$$

Donde X_m^2 es la reactancia mutua y se calcula de la siguiente manera:

$$X_m = 2\pi \cdot f \cdot \ln\left(\frac{S}{r_0}\right) \cdot 2 \times 10^{-4} \quad (\Omega/\text{km}) \quad \dots(8.56)$$

*PARA CALCULAR "Ip" y "Xm" PARA CONFIGURACIONES DIFERENTES A LA EQUILÁTERA, ver **tabla B18 apéndice B**.

8.9.5 Costo de las pérdidas en el conductor

$$W_p = Wt \cdot cs \quad \dots(8.57)$$

Donde: cs = costo del suministro eléctrico

8.9.6 Valor real presente a "n" años

$$VP = CC + W_p(1+i) \left(\frac{1}{i-f} \right) - \left(\frac{1}{i-f} \right) \cdot \left(\frac{1+f}{1+i} \right)^n \quad \dots(8.58)$$

Donde: VP = Costo real a "n" años a valor presente

CC = Costo del conductor

Wp = Costo por pérdidas al año

i = inflación estimada por año

f = inflación estimada al año

CAPÍTULO 9**9.1 EJEMPLO DE CÁLCULO**

Esta sección estará destinada a la realización de algunos ejemplos en donde se aplicarán las formulas vistas en el capítulo anterior y la utilización de las tablas; para los diferentes tipos de instalaciones.

9.1 CÁLCULO DE CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN PARA INSTALACIÓN EN CHAROLAS Y TUBERIAS

Ejm. 1: Se desea conocer el calibre necesario en cobre para conectar en baja tensión, un centro de carga y su transformador de 150 kVA, 13,200 - 440/254 V. Los cables se instalaran en charola tipo escalera, en una sola capa trifásica a una temperatura ambiente de 35 °C. La temperatura de operación del conductor es de 75 °C.

Primero es necesario determinar el equivalente de kVA a Amperes

Para un arreglo trifásico

$$I = \frac{kVA \cdot 1000}{V_0 \cdot \sqrt{3}} \quad (\text{A})$$

$$\text{Sustituyendo } I = \frac{150 \cdot 1000}{440 \cdot \sqrt{3}} \quad (\text{A}) = 196.82 \text{ (A)} \cong 197 \text{ (A)}$$

Corregimos por temperatura

$$f_{ct} = \left(\frac{T_{op} - T_{amb}}{T_{op} - T_1} \right)^{1/2} = \left(\frac{75 - 35}{75 - 30} \right)^{1/2} = 0.9428$$

* Para fines prácticos ver el factor ya calculado en la **tabla B1 del Apéndice B**. Utilizar el valor inmediato superior.

Con este factor corregimos por temperatura nuestro valor de capacidad de conducción requerido, sin olvidarnos de igualmente corregir en caso de que los conductores se instalen juntos, según valores de las **tablas B2 a la B5**. Apéndice C.

$$I_2 = I_1 \cdot f_{ct} \cdot f_a \quad (\text{A})$$

Sustituyendo los valores obtenemos que el calibre seleccionado, en principio, es 1/0 AWG por la tabla 310-17; sin embargo al corregir por temperatura la corriente es menor, por lo que es necesario seleccionar un calibre mayor hasta que cumpla con la capacidad de conducción requerida.

De tabla 310-17 del apéndice A en la columna para una temperatura de operación de 75°C para calibre 4/0 AWG; tenemos: $I_1=360$ (A)

De la **tabla B2 apéndice B** para instalación en charolas de cables en baja tensión para un arreglo juntos tenemos $f_a=.65$

Por lo tanto, sustituyendo:

$$I_2 = 360 \cdot 0.9428 \cdot 0.65 = 220.6 \text{ (A)} > \text{ a } I \text{ calculada } I=197 \text{ (A)}$$

En caso de que la instalación respetara la separación entre cables de un diámetro, el calibre seleccionado sería un 1 AWG

De tablas para calibre 1/0 AWG a 75 °C tenemos: $I_1=230$ (A)

Por lo tanto, sustituyendo:

$$I_2 = 230 \cdot 0.9428 = 216.8 \text{ (A)} > \text{ a } I \text{ calculada } I=197 \text{ (A)}$$

9.2 TEMPERATURA REAL DE OPERACIÓN DEL CONDUCTOR

Calcular la temperatura real del conductor del ejemplo anterior, para el caso en que se instalan los cables con la separación de norma de una vez el diámetro.

Debido a que nuestra capacidad de conducción requerida "I" es menor a la capacidad de conducción del cable a las condiciones de la instalación "I₂", requerimos saber a que temperatura estará trabajando nuestro conductor.

Del ejemplo anterior tenemos que requerimos de 197 (A) para conectar nuestro centro de carga y transformador; y nuestro cable calibre 1/0 AWG puede conducir hasta 216.8 (A), por lo que nuestro cable estará trabajando a una menor temperatura de operación.

$$Top_2 = (Top - Tamb) \left(\frac{I}{I_2} \right)^2 + Tamb \text{ (°C)}$$

donde: $T_{op} = 75$ (°C)
 $T_{amb} = 35$ (°C)
 $I = 197$ (A)
 $I_2 = 216.8$ (A)

Sustituyendo, tenemos que:

$$T_{op_2} = (75 - 35) \left(\frac{197}{216.8} \right)^2 + 35 = 68.01 \text{ (°C)}$$

9.3 CÁLCULO DE RESISTENCIA EN CORRIENTE ALTERNA

Calcular la resistencia en corriente alterna para un conductor monopolar de cobre 5 kV tipo EPR 100% N.A. a una temperatura de operación de 90 (°C)

9.3.1 Cálculo de resistencia en corriente directa R_{cd}

$$R_{cd} = \frac{\rho}{A} (1 + kc) (\Omega)$$

de tabla B6 apéndice B para cobre suave $\rho = 17.241$ ($\Omega \text{ mm}^2 / \text{km}$)
de tablas del fabricante A = 53.48 (mm^2), **Apéndice C, datos de fabricantes**
 $kc^1 =$ constante de cableado = 1.02

$$R_{cd} = \frac{17.241}{53.48} (1 + 1.02) = 0.3288 (\Omega)$$

9.3.2 Constante Alfa

$$\alpha = \frac{1}{T_o + T_p}$$

de tabla B6 apéndice B bis para el cobre $T_o = 234.5$ (°C)
 $T_p = 20$ (°C)

¹ Dato que se obtiene de "The Calculation of the Temperature Rise and Load Capability of Cable Systems", esto se debe al trenzado que se le dá al cable en su fabricación.

$$\alpha = \frac{1}{234.5 + 20} = 3.9293 \times 10^{-3}$$

9.3.3 Resistencia en corriente directa a diferente temperatura.

$$Rcd(x^{\circ}C) = (Rcd(20^{\circ}C))(1 + \alpha(Top + T_{\rho})) \quad (\Omega)$$

Sustituyendo los valores, considerando Top = 90 (°C)

$$Rcd(90^{\circ}C) = (0.3288)(1 + 3.9293 \times 10^{-3}(90 + 234.5)) = 0.4193 \quad (\Omega)$$

9.3.4 Resistencia en corriente alterna

$$Rca = Rcd(x^{\circ}C)(1 + Ys + Yp) \quad (\Omega)$$

9.3.5 Efecto piel

de **tabla B6 apéndice B**, para conductor compacto de cobre ks = 1

$$Xs^4 = \left(\frac{8\pi f}{Rcd(90^{\circ}C)} ks \cdot 10^{-4} \right)^2 = \left(\frac{8\pi(60)}{0.4193} (1) \cdot 10^{-4} \right)^2 = 0.1294$$

$$Ys = \frac{Xs^4}{192 + 0.8Xs^4} = \frac{(0.1294)}{192 + 0.8(0.1294)} = 6.7336 \times 10^{-4}$$

9.3.6 Efecto proximidad

de **B6 apéndice B** para conductor compacto de cobre kp = 0.6

Dt = 24.3 mm

S = 24.3 mm (S = Dt para un arreglo trébol)

$$Xp^4 = \left(\frac{8\pi f}{Rcd(90^{\circ}C)} kp \cdot 10^{-4} \right)^2 = \left(\frac{8\pi(60)}{0.4193} (0.6) \cdot 10^{-4} \right)^2 = 0.04657$$

$$Y_p = \frac{X_p^4}{192 + 0.8X_p^4} \left(\frac{Dt}{s} \right)^2 \left[0.312 \left(\frac{Dt}{s} \right)^2 + \frac{1.18}{\frac{X_p^4}{192 + 0.8X_p^4} + 0.27} \right]$$

$$Y_p = \frac{0.04657}{192 + 0.8(0.04657)} \left(\frac{24.3}{24.3} \right)^2 \left[0.312 \left(\frac{24.3}{24.3} \right)^2 + \frac{1.18}{\frac{0.04657}{192 + 0.8(0.04657)} + 0.27} \right] = 1.1345 \times 10^{-3}$$

9.3.7 Cálculo de resistencia en corriente alterna

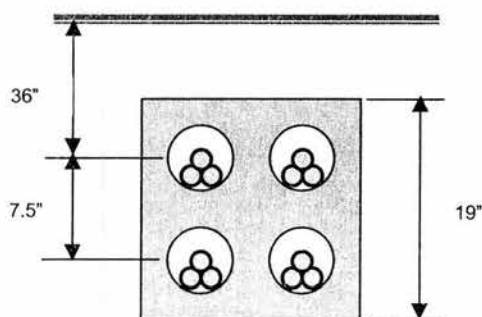
$$R_{ca} = R_{cd}(90^\circ C)(1 + Y_s + Y_p) (\Omega)$$

Sustituyendo los valores obtenidos:

$$R_{ca} = 0.4193 \cdot (1 + 6.7336 \times 10^{-4} + 1.1345 \times 10^{-3}) = 0.42 (\Omega)$$

9.4 CÁLCULO DE CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN EN DUCTOS SUBTERRÁNEOS

Se requiere encontrar la capacidad de conducción de un arreglo en trébol trifásico constituido de tres cable por fase de cobre cal. 1/0 AWG, tres conductores por ducto no metálico de 3" de diámetro en un banco de concreto, como se muestra en la figura. El conductor será de tipo EPR 100% N.A. y operara a 4,160 V a una Top de 90 °C. Asumimos una $T_{amb} = 20^{\circ}\text{C}$ y una resistividad del terreno de 90°C-cm/W .



9.4.1 Buscar de catálogo del fabricante y de tablas las dimensiones del conductor y del ducto, así como profundidad y dimensiones del banco de concreto.

Diámetro del conductor desnudo: 9.2 mm = 0.3622 in
 Diámetro sobre aislamiento: 15.4 mm = 0.6063 in
 Diámetro de la semiconductora: 17.4 mm = 0.68504 in
 Diámetro de la pantalla electrostática: 18.04 mm = 0.71034 in
 Diámetro total: 24.3 mm = 0.95669 in
 Área nominal de la sección transversal: 53.48 mm²
 Diámetro del ducto interior: 3.07 in, **Tabla B-11, apéndice B.**
 Diámetro del ducto exterior: 3.5 in
 Profundidad al primer ducto: 36 in
 Profundidad al centro del ducto: 39.75 in
 Ancho del ducto: 19 in
 Alto del ducto: 19 in
 Distancia entre ductos: 7.5 in

9.4.2 Cálculo de capacidad de conducción

$$I = \sqrt{\frac{T_{op} - (T_{amb} + \Delta T)}{R_{ca} \cdot R_t}} \times 1000 \text{ (A)}$$

donde: T_{amb} = temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$)
 R_t = Resistividad total del sistema (Ω / ft)
 R_{ca} = Resistencia en corriente alterna del conductor (Ω / ft)
 ΔT = Elevación de temperatura debida a las pérdidas dieléctricas ($^{\circ}\text{C}$)

9.4.3 Resistencia total R_t

$$R_t = R_a + Q_s(R_c + R_{ad} + R_d + R_b) \text{ (}\Omega / \text{ft)}$$

donde: R_a = Resistencia térmica del aislamiento
 Q_s = Calor generado por las pantallas electrostáticas
 R_c = Resistencia térmica de la cubierta exterior
 R_{ad} = Resistencia térmica del aire al interior del ducto
 R_d = Resistencia térmica del ducto
 R_b = Resistencia térmica del banco de concreto

9.4.4 Resistencia del aislamiento R_a

$$R_a = 0.012 \rho_a \log\left(\frac{D_a}{D_d}\right) \text{ (}\Omega / \text{ft)}$$

de tabla B8 apéndice B para EPR la resistencia térmica del aislamiento
 $\rho_a = 500 \text{ (}^{\circ}\text{C-cm/W)}$
 D_a = Diámetro sobre el aislamiento + espesor de semiconductora (in)
 D_d = Diámetro del conductor desnudo (in)

$$R_a = 0.012(500) \log\left(\frac{17.4}{9.2}\right) = 1.66 \text{ (}\Omega / \text{ft)}$$

9.4.5 Resistencia de la cubierta exterior

$$R_c = 0.012 \rho_c \log\left(\frac{Dt}{Ds}\right) (\Omega / ft)$$

de **tabla B9 apéndice B** para el PVC $\rho_c = 600$ ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm} / \text{W}$)

Dt = Diámetro total (in)

Ds = Diámetro interno de la cubierta exterior (in)

$$R_c = 0.012(600) \log\left(\frac{24.3}{20.24}\right) = 1.71 (\Omega / ft)$$

9.4.6 Resistencia del aire entre el conductor y el ducto, Rad

$$R_{ad} = \frac{n \cdot A}{1 + (B + C \cdot Tm)Ds} (\Omega / ft)$$

de tabla B10 apéndice B obtenemos las constantes térmicas para un ducto no-metálico

A=17, B=2.3 y C=0.024

n = 3

de tabla B11 apéndice B obtenemos las dimensiones de un ducto para 3 (in)

Ds = 2.15 x Dt = 2.15 x 0.9567 (in)

Según el criterio de ocupación mostrado en la siguiente tabla, para 3 conductores del cal. 1/0 AWG, se necesita un ducto de 3 (in)

No. CABLES POR DUCTO	CRITERIO DE OCUPACIÓN (%)
1	0.53
2	0.31
3	0.4

Tabla 9.1, **Criterio de Ocupación**
NOM-001-SEDE-1999.

de **tabla B12 apéndice B** $T_m = 52$ (°C)

$$R_{ad} = \frac{3 \cdot 17}{1 + (2.3 + 0.024 \cdot 52) 2.06} = 6.15 \text{ } (\Omega / \text{ft})$$

9.4.7 Resistencia del ducto, R_d

$$R_d = 0.012 \rho_d \log \left(\frac{D_{ext}}{D_{int}} \right) (\Omega / \text{ft})$$

de **tabla B13 apéndice B** obtenemos la resistencia térmica ρ_d para PVC.

$\rho_d = 500$ (°C-cm / W)

D_{ext} = Diámetro exterior del ducto. (in)

de **Tabla B11 apéndice B**

D_{int} = Diámetro interior del ducto. (in)

$$R_d = 0.012(500) \log \left(\frac{3.5}{3.07} \right) = 1.02 \text{ } (\Omega / \text{ft})$$

9.4.8 Pérdidas por efecto de la pantalla Q_s

$$Q_s = 1 + \frac{Y_s}{1 + Y_c}$$

donde: Y_c = suma de las pérdidas por efecto piel y efecto proximidad calculadas anteriormente.

Y_s = suma de las pérdidas por corrientes de Eddy y por corrientes Circulantes

9.4.9 Resistencia de la pantalla electrostática

$$R_{ptc} = \frac{1.05 \rho}{n_s \cdot d_s^2} \left(\frac{T_o + (T_{op} - 5)}{T_o + T_\rho} \right) (\mu\Omega / \text{ft})$$

n_s y d_s son valores obtenidos del catálogo del fabricante: **Apéndice C**

$n_s = 10$; $d_s = 0.0253$ (ft)

de **tabla B6 apéndice B** obtenemos ρ para el cobre $\rho = 10.371$ (cmil Ω / ft)

$$R_{ptc} = \frac{1.05(10.371)}{(10) \cdot (.0253)^2} \left(\frac{234.5 + (90 - 5)}{T_o + 20} \right) = 2,135.89 (\mu\Omega / \text{ft})$$

El valor que se le resta a la temperatura de operación del conductor varía dependiendo del espesor del aislamiento, que depende del voltaje de operación, según se muestra en la siguiente tabla.

VOLTAJE DE OPERACIÓN (kV)	DE ΔT_p (°C)
5 – 25	5
35 – 46	10
69	15

Tabla 9.2. Variación de la Temperatura de Operación en las Pantallas.
The calculation of the Temperature Rise and Load Capability of Cable Systems

9.4.10 Pérdidas por corrientes por efecto Eddy

$$Y_{se} = \left(\frac{396}{R_{ptc} \cdot R_{cd}} \right) \left(\frac{D_p}{2S_x} \right)^2 \left(1 + \frac{5}{12} \left(\frac{D_p}{2S_x} \right)^2 \right)$$

Rcd = Resistencia en c.d. obtenida con anterioridad en ($\mu\Omega / \text{ft}$); Rcd = 127.8 ($\mu\Omega / \text{ft}$)

Dp = Diámetro de la pantalla electrostática = 0.71034 (in)  **Apéndice C**

Sx = Distancia axial entre conductores = Dt = 0.9567 (in)

$$Y_{se} = \left(\frac{396}{2135.89 \cdot 127.8} \right) \left(\frac{0.71034}{2(0.9567)} \right)^2 \left(1 + \frac{5}{12} \left(\frac{0.71034}{2(0.9567)} \right)^2 \right) = 2.11 \times 10^{-4}$$

9.4.11 Reactancia mutua Xm

$$X_m = 0.882 \cdot f \cdot \log \left(\frac{2S_x}{D_p} \right) (\mu\Omega / \text{ft})$$

Sustituyendo los valores obtenidos con anterioridad:

$$X_m = 0.882 \cdot (60) \cdot \log\left(\frac{2(0.9567)}{0.71034}\right) = 22.73 (\mu\Omega / \text{ft})$$

9.4.12 Pérdidas por corrientes circulantes

$$Y_{sc} = \left(\frac{X_m^2}{R_{ptc} \cdot R_{cd}} \right)$$

Sustituyendo los valores obtenidos con anterioridad:

$$Y_{sc} = \left(\frac{(22.73)^2}{2135.89 \cdot (127.8)} \right) = 1.89 \times 10^{-3}$$

9.4.13 Pérdidas por efecto Eddy y corrientes circulantes

$$Y_s = Y_{se} + Y_{sc} = 2.11 \times 10^{-4} + 1.89 \times 10^{-3} = 2.11 \times 10^{-3}$$

9.4.14 Resistencia en el banco de ductos / tierra

$$R_b = 0.012 \cdot \rho_b \cdot n \left[\log \frac{8.3}{D_{ext}} + \log \left(\frac{4L_p}{8.3} \cdot F \right) \right] + 0.012(\rho_t - \rho_b)n \cdot N \cdot G_b \quad (\Omega / \text{ft})$$

En la siguiente tabla se muestran los valores típicos para banco en instalaciones subterráneas.

TIPO DE BANCO	RESISTENCIA TERMICA
Concreto	60
Relleno térmico	80

Tabla 9.3, Valores Típicos para Bancos en Instalaciones Subterráneas

obtenemos para el concreto $\rho_b = 60$ ($^{\circ}\text{C}\text{-cm} / \text{W}$)

$\rho_t = 90$ ($^{\circ}\text{C}\text{-cm} / \text{W}$)

$$n = 3$$

$$N = 3$$

Lp = Profundidad al ducto de referencia (in)

Gb = Factor geométrico para un banco de ductos

Haciendo un análisis previo obtenemos que el ducto más caliente es el superior izquierdo, por lo que:

$$F_{1,1} = \left(\frac{72 + 7.5}{7.5} \right) \cdot \left(\frac{\sqrt{(72)^2 + (7.5)^2}}{7.5} \right) = 102.3$$

$$Lp = 36 \text{ (in)}$$

$$\log r_b = 0.5 \frac{Xb}{Yb} \left(\frac{4}{\pi} - \frac{Xb}{Yb} \right) \cdot \log \left(1 + \frac{Yb^2}{Xb^2} \right) + \log \left(\frac{Xb}{2} \right)$$

Sustituyendo los valores de ancho y alto del ducto Xb y Yb respectivamente, obtenemos

$$\log r_b = 0.5 \frac{19}{19} \left(\frac{4}{\pi} - \frac{19}{19} \right) \cdot \log \left(1 + \frac{19^2}{19^2} \right) + \log \left(\frac{19}{2} \right) = 1.02$$

Por tanto:

$$r_b = 10.44$$

$$Gb = \log \left(\frac{Lc}{r_b} + \sqrt{\left(\frac{Lc}{r_b} \right)^2 - 1} \right)$$

Donde: Lc = Distancia al centro del ducto = 36 + 7.5/2 = 39.75 (in)

Sustituyendo los valores obtenidos:

$$Gb = \log \left(\frac{39.75}{10.44} + \sqrt{\left(\frac{39.75}{10.44} \right)^2 - 1} \right) = 0.8738$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación original:

$$Rb = 0.012 \cdot (60) \cdot (3) \left[\log \frac{8.3}{3.5} + \log \left(\frac{4(36)}{8.3} \cdot 102.3 \right) \right] + 0.012(90 - 60)(3) \cdot (3) \cdot 0.8738 \quad (\Omega / \text{ft})$$

$$Rb = 10.66 \quad (\Omega / \text{ft})$$

9.4.15 Resistencia total R_t

$$R_t = R_a + Q_s(R_c + R_{ad} + R_d + R_b) \quad (\Omega / \text{ft})$$

Sustituyendo:

$$R_t = 1.66 + 1.002(1.71 + 6.15 + 1.02 + 10.66) = 21.25 \quad (\Omega / \text{ft})$$

9.4.16 Ganancia de temperatura por la pantalla electrostática ΔT

$$R_t' = R_a / 2 + (R_c + R_{ad} + R_d + R_b) \quad (\Omega / \text{ft})$$

Sustituyendo:

$$R_t' = 1.66 / 2 + (1.71 + 6.15 + 1.02 + 10.66) = 20.37 \quad (\Omega / \text{ft})$$

9.4.17 Pérdidas en el aislamiento

$$W_a = 0.00276 \cdot V_0^2 \cdot SIC \cdot \tan \Delta \cdot \log \left(\frac{D_a}{D_d} \right) \quad \text{W/ft}$$

de la tabla B8 apéndice B para el EPR obtenemos SIC = 3 y $\tan \Delta = 0.02$

Sustituyendo:

$$W_a = 0.00276 \cdot 2.4^2 \cdot 3 \cdot 0.02 \cdot \log\left(\frac{15.4}{9.2}\right) = 0.0043 \text{ W/ft}$$

Por lo tanto:

$$\Delta T = R_t' \cdot W_a = 20.37 \cdot (0.0043) = 0.087 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

9.4.18 Cálculo de capacidad de conducción

$$I = \sqrt{\frac{T_{op} - (T_{amb} + \Delta T)}{R_{ca} \cdot R_t}} \cdot 1000 \text{ (A)}$$

Sustituyendo los valores obtenidos:

$$I = \sqrt{\frac{90 - (20 + 0.087)}{0.42 \cdot (21.25)}} \cdot 1000 = 160.32 \text{ (A)}$$

9.5 PORCIENTO DE CAÍDA DE TENSIÓN

Calcular la caída de tensión, si la distancia al alimentador es de 150 (m), con un factor de potencia de 0.9. La caída de tensión máxima permitida es del 2%.

$$e\% = \frac{I \cdot \log(R_{ca} \cdot \cos\phi + X_L \cdot \text{sen}\phi)}{V_0} \cdot 100 \text{ (%)}$$

9.5.1 Distancia media geométrica

Debido a que es un arreglo plano las distancias entre fases son diferentes. La separación es la de norma de 1 vez el diámetro $d = 24.3$ (mm)

Por lo tanto $d_{ab} = 48.6$ (mm); $d_{bc} = 48.6$ (mm); y $d_{ca} = 97.2$ (mm)

$$DMG = \sqrt[3]{d_{ab} \cdot d_{bc} \cdot d_{ca}}$$

Sustituyendo:

$$DMG = \sqrt[3]{(48.6) \cdot (48.6) \cdot (97.2)} = 61.23$$

9.5.2 Radio medio geométrico RMG

$$RMG = \left(\frac{Dd}{2} \right) k$$

de **tabla B15 apéndice B** para el calibre seleccionado – Siguiendo con el ejemplo mencionado anteriormente - 1/0 AWG, 19 hilos tenemos que el factor de cableado y de datos del fabricante $Dd = 9.2$ (mm);
 $k = 0.758$

Sustituyendo:

$$RMG = \left(\frac{9.2}{2} \right) 0.758 = 3.49$$

9.5.3 Inductancia L

$$L = 2 \times 10^{-4} \ln \left(\frac{DMG}{RMG} \right) \text{ (H/km)}$$

Sustituyendo los valor obtenidos tenemos:

$$L = 2 \times 10^{-4} \ln \left(\frac{61.23}{3.49} \right) = 5.73 \times 10^{-4} \text{ (H/km)}$$

9.5.4 Reactancia inductiva X_L

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L \text{ (}\Omega\text{/km)}$$

Donde: $f = 60$ (hz)

Sustituyendo:

$$X_L = 2\pi \cdot (60) \cdot (5.73 \times 10^{-4}) = 0.2161 \text{ } (\Omega/\text{km})$$

9.5.5 Porcentaje de caída de tensión

Sustituyendo los valores obtenidos en la ecuación original, considerando "I" del ejercicio anterior de 197 (A) y la longitud en km.

$$e\% = \frac{197 \cdot (0.15) \cdot (0.42) \cdot (0.9) + 0.2161 \cdot (0.4359)}{2,402} \times 100 = 0.581 \text{ } (\%)$$

Por lo que el calibre seleccionado cumple con la caída de tensión permitida.

9.6 CORTO CIRCUITO

Calcular la corriente de corto circuito que puede soportar nuestro calibre seleccionado, considerando un tiempo de duración de la falla de 2 ciclos/s.

9.6.1 Cálculo de Corriente de Corto Circuito

$$\frac{I_{cc}^2}{A^2} t = k_{cc} \cdot \log \left(\frac{T_{\max_{cc}} + T_0}{T_{op} + T_0} \right) \text{ (kA)}$$

de **tabla B6 bis apéndice B** para el conductor de cobre suave $k_{cc} = 0.0297$ y $T_0 = 234.5$ (°C)

de tablas del fabricante A = 53.48 (mm)

de tabla B8 apéndice B para el aislamiento de EPR, $T_{\max_{cc}} = 250$ (°C)

El área deberá estar dada en cmil^2 , considerando que:

$$1(\text{mm}^2) \approx 1973(\text{cmil})$$

² CMIL es igual al área correspondiente a un cable con diámetro de una milésima de pulgada, IEEE, Standard for calculation the current temperature relationship of bare overhead conductors.

$$A = 53.48(\text{mm}^2) \frac{1973(\text{cmil})}{1(\text{mm}^2)} \approx 105,516(\text{cmil})$$

Despejando "Icc" y sustituyendo los valores obtenidos, tenemos:

$$I_{cc} = \sqrt{\frac{A^2}{t} k_{cc} \cdot \log\left(\frac{T_{\max_{cc}} + T_0}{T_{op} + T_0}\right)} = \sqrt{\frac{105,516^2}{\frac{2}{60}} (0.0297) \cdot \log\left(\frac{250 + 234.5}{90 + 234.5}\right)} = 41.55 \text{ (kA)}$$

9.7 CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN EN LÍNEAS AÉREAS

Calcular la capacidad de conducción de corriente para un cable tipo ACSR, Drake 795 kCM bajo las siguientes condiciones de instalación:

Velocidad del viento: 2 ft/s

Instalado a nivel del mar

Factor de emisividad (ϵ): 0.5

Factor de absorción solar (α): 0.5

Temperatura ambiente: 40 (°C)

Máxima temperatura de operación: 100 (°C)

Resistencia del conductor:

$$R(25^\circ\text{C}) = 2.22 \times 10^{-5} \text{ (}\Omega/\text{ft)}$$

$$R(75^\circ\text{C}) = 2.65 \times 10^{-5} \text{ (}\Omega/\text{ft)}$$

9.7.1 Capacidad de conducción

$$I = \left(\frac{q_c + q_r - q_s}{R(x^\circ\text{C})} \right)^{1/2} \text{ (A)}$$

9.7.2 Pérdidas por Convección.

Convección Natural.

$$q_c = 0.283 \rho_f^{0.5} D^{0.75} (T_c - T_a)^{1.25} \text{ (W/ft)}$$

$$T_f = \frac{T_c + T_a}{2} = \frac{100 + 40}{2} = 70(^{\circ}\text{C})$$

Con T_f no vamos a tabla B14 apéndice B y obtenemos $\rho_f = 0.0643 \text{ (lb / ft}^3\text{)}$
 De catálogo del fabricante $D = 1.108 \text{ (in)}$, **Apéndice C**

Sustituyendo los valores obtenidos:

$$q_c = 0.283 \cdot (0.0643)^{0.5} \cdot (1.108)^{0.75} (100 - 40)^{1.25} = 12.9 \text{ (W/ft)}$$

9.7.3 Convección Forzada.

$$q_{c1} = \left[1.01 + 0.371 \cdot \left(\frac{D \rho_f V_w}{\mu_f} \right)^{0.52} \right] \cdot k_f \cdot (T_c - T_a) \text{ (W/ft)}$$

$$q_{c2} = 0.1695 \left[\left(\frac{D \rho_f V_w}{\mu_f} \right)^{0.6} \right] \cdot k_f \cdot (T_c - T_a) \text{ (W/ft)}$$

Con T_{film} no vamos a **tabla B14 apéndice B** y obtenemos la viscosidad del aire $\mu_f = 0.0494 \text{ (lb / ft h)}$ y la conductividad térmica del aire $k_f = 0.00898 \text{ (W / ft } ^{\circ}\text{C)}$

Sustituyendo los valores obtenidos en las 2 ecuaciones anteriores, considerando la velocidad del viento en (ft/h):

$$V_w = 2 \frac{\text{ft}}{\text{s}} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 7200 \frac{\text{ft}}{\text{h}}$$

$$q_{c1} = \left[1.01 + 0.371 \cdot \left(\frac{1.108 \cdot (0.0643) \cdot (7200)}{0.0494} \right)^{0.52} \right] \cdot (0.00898) \cdot (100 - 40) = 25.052 \text{ (W/ft)}$$

$$q_{r2} = 0.1695 \left[\frac{1.108 \cdot (0.0643) \cdot (7200)}{0.0494} \right]^{0.6} \cdot (0.00898) \cdot (100 - 40) = 23.464 \text{ (W/ft)}$$

Considerando la más crítica $q_c = 25.052 \text{ (W/ft)}$

9.7.4 Pérdidas por Radiación de Calor

$$q_r = 0.138D \cdot \varepsilon \left[\left(\frac{T_c + 273}{100} \right)^4 + \left(\frac{T_a + 273}{100} \right)^4 \right] \text{ (W/ft)}$$

Se considera " $\varepsilon = 0.5$ " según la **NOM (Sexta sección Art. 922-10)** que es el caso más crítico, cuando el material está oxidado.

Sustituyendo:

$$q_r = 0.138 \cdot (1.108) \cdot (0.5) \left[\left(\frac{100 + 273}{100} \right)^4 + \left(\frac{40 + 273}{100} \right)^4 \right] = 7.461 \text{ (W/ft)}$$

9.7.5 Ganancia por Calor Solar

Considerando las condiciones extremas.

$$q_s = \alpha \cdot Q_s \cdot A' \text{ (W/ft)}$$

$$A' = D / 12 = 1.108 / 12 = 0.092 \text{ (ft)}$$

a su vez: $\alpha = 0.5$; coeficiente de absorción solar

Q_s = total de calor recibido por la superficie (W / ft²)

H_c = Altitud del sol (°)

Z_c = Azimut del sol (°)

$Z_1 = 90^\circ$ por definición

Revisando los datos de la **tabla B16 del apéndice B**, y analizando la ubicación geográfica de México, comprendida entre los 14° 32' y 32° 43' de latitud norte.

Tenemos que $Q_s = 96.3 \text{ (W / ft}^2\text{)}$

Sustituyendo en la ecuación inicial:

$$q_s = 0.5 \cdot (96.3) \cdot (0.092) = 4.43 \text{ (W/ft)}$$

9.7.6 Cálculo de la Resistencia a la temperatura máxima de operación

Extrapolando los datos obtenidos de tablas, tenemos:

$$R(100) = R(25) + \left(\frac{R(75) - R(25)}{75 - 25} \right) (100 - 25) = 2.22 \times 10^{-5} + \left(\frac{2.65 \times 10^{-5} - 2.22 \times 10^{-5}}{50} \right) \cdot 75$$

$$R(100) = 2.862 \times 10^{-5} \text{ (}\Omega / \text{ft)}$$

9.7.7 Capacidad de conducción

$$I = \left(\frac{q_c + q_r - q_s}{R(100)} \right)^{1/2} \text{ (A)}$$

Sustituyendo los valores obtenidos:

$$I = \left(\frac{25.052 + 7.461 - 4.43}{2.862 \times 10^{-5}} \right)^{1/2} = 990.6 \text{ (A)}$$

9.8 CALIBRE ECONÓMICO

Calcular el calibre económico para un arreglo trifásico tipo trébol calibre 3/0 tipo XLPE 15 kV 100% N.A. instalado al aire en charola tipo escalera, para operar a 4,160 V a una temperatura de operación de 90 (°C), temperatura ambiente 30 (°C). Tramo de la instalación 100 (m). Carga 290 (A)

Inflación anual estimada: 5%

Interés anual estimado: 8%
 Costo de la energía: 0.4031 \$/kW
 Horas al año de utilización (H): 8760

Pérdidas totales por calor

$$W_t = W_c + W_a + W_p \quad (\text{kW H/año})$$

9.8.1 Pérdidas en el conductor

$$W_c = I^2 R_{ca} \cdot 10^{-3} (L \cdot n \cdot H \cdot F_p) \quad (\text{kW H/año})$$

Considerando un factor de carga del 100% tenemos que $F_p = 1$
 Para un arreglo trifásico $n = 3$
 $L = 0.1$ (km) Longitud del tramo
 $H = 8760$

$$W_c = 290^2 \cdot (0.265 \times 10^{-3}) (0.1 \cdot (3) \cdot (8760) \cdot (1)) = 58,569 \quad (\text{kW H/año})$$

9.8.2 Pérdidas en el aislamiento

$$W_a = 2\pi \cdot f \cdot c \cdot (V_o)^2 \tan \delta \cdot 10^{-3} ((L \cdot n \cdot H))$$

$$c = \frac{0.0241 \cdot SIC \cdot 10^{-6}}{\log \frac{D_a}{D_d}}$$

de tabla B8 apéndice B para el XLPE obtenemos $SIC = 2.5$ y $\tan \Delta = 0.004$
 del catalogo del fabricante $D_a = 17.9$ (mm) y $D_d = 11.6$ (mm) , **Apéndice C**

$$c = \frac{0.0241 \cdot (2.5) \cdot 10^{-6}}{\log \frac{17.9}{11.6}} = 3.2 \times 10^{-7} \quad (\text{F/km})$$

$$W_a = 2\pi \cdot (60) \cdot (3.2 \times 10^{-7}) \cdot (2,401)^2 \cdot (0.004) \cdot 10^{-3} ((0.1 \cdot (3) \cdot (8,760))) = 7.31 \quad (\text{kW H/año})$$

9.8.3 Pérdidas en la pantalla

$$W_p = I_p^2 R_p \cdot 10^{-3} (L \cdot n \cdot H \cdot F_p) \text{ (kW H/año)}$$

Para obtener la corriente "Ip" es necesario calcular primero la resistencia en la pantalla "Rp" y la reactancia mutua "Xm"

9.8.4 Cálculo de la resistencia eléctrica en la pantalla para cable monopolar o configuración equilateral

$$R_p = \frac{1.05 \cdot \rho_{Cu}}{(n_a \cdot A_a) \cdot (1 + \alpha(T_{op} - \Delta T_p - T_{amb}))} \text{ (\Omega/km)}$$

de **tabla B6 apéndice B** para el cobre obtenemos $\rho = 17.241 \text{ (\Omega}\cdot\text{mm}^2 / \text{W})$
 la constante "α" para el Cu es la ya obtenida con anterioridad $\alpha = 0.003929 \text{ (1/}^\circ\text{C)}$
 del catálogo del fabricante – **Apéndice C**- obtenemos el número de alambres $n_a = 10$ y el área de cada alambre $A_a = 0.32432 \text{ (mm}^2)$
 de la tabla 9.2 que se hizo referencia anteriormente – página 56- obtenemos ΔT_p para un cable de 15 kV

Sustituyendo los valores obtenidos, tenemos:

$$R_p = \frac{1.05 \cdot (17.241)}{(10 \cdot 0.32432) \cdot (1 + 0.003929(90 - 5 - 30))} = 6.79 \text{ (\Omega/km)}$$

9.8.5 Cálculo de la reactancia mutua para arreglo trébol

$$X_m = 2\pi \cdot f \ln\left(\frac{S}{r_0}\right) \cdot 2 \times 10^{-4} \text{ (\Omega/km)}$$

Para nuestro caso "S" es igual a el diámetro del conductor "Dt"

Del catálogo del fabricante, obtenemos $D_t = 31.7 \text{ (mm)}$ y calculamos $r_0 = D_0/2 \text{ (mm)}$

$$D_0 = D_a + 2e_s + D_p \text{ (mm)}$$

espesor de la semiconductor $e_s = 1 \text{ (mm)}$

diámetro de cada alambre de la pantalla $D_p = 0.643$ (mm)

Por lo tanto:

$$r_0 = \frac{(Da + 2e_s + Dp)}{2} = \frac{17.9 + 2(1) + 0.643}{2} = 10.27 \text{ (mm)}$$

Sustituyendo en nuestra ecuación inicial:

$$X_m = 2\pi(60) \ln\left(\frac{26.9}{10.27}\right) \cdot 2 \times 10^{-4} = 7.26 \times 10^{-2} \text{ } (\Omega/\text{km})$$

9.8.6 Cálculo de la corriente que circula por la pantalla para arreglo trébol

$$I_p = I \sqrt{\frac{X_m^2}{X_m^2 + R_p^2}} \text{ (A)}^2$$

Sustituyendo los valores obtenidos en los incisos anteriores

$$I_p = 290 \sqrt{\frac{0.0726^2}{0.0726^2 + 6.79^2}} = 3.1 \text{ (A)}$$

9.8.7 Pérdidas en la pantalla

$$W_p = I_p^2 R_p \cdot 10^{-3} (L \cdot n \cdot H \cdot F_p) \text{ (kW H/año)}$$

Sustituyendo los valores correspondientes:

$$W_p = (3.1)^2 \cdot 6.79 \cdot 10^{-3} (0.1 \cdot (3) \cdot (8,760)) = 171.54 \text{ (kW H/año)}$$

9.8.8 Pérdidas totales por calor

$$W_t = W_c + W_a + W_p \text{ (kW H/año)}$$

Sustituyendo los valores de las pérdidas obtenidas

$$W_t = 58,569 + 7.31 + 171.54 = 58,748 \text{ (kW H/año)}$$

9.8.9 Costo de las pérdidas en el conductor

$$W_p = W_t \cdot cs \quad (\$/año)$$

Estimando el costo del suministro eléctrico $cs = 0.4031$ (\$/kW) tenemos:

$$W_p = 58,748 \cdot 0.4031 = 23,681 \quad (\$/año)$$

9.8.10 Valor real presente a "n" años

$$VP = CC + W_p(1+i) \left(\frac{1}{i-f} \right) - \left(\frac{1}{i-f} \right) \cdot \left(\frac{1+f}{1+i} \right)^n$$

Obteniendo el precio del fabricante $CC = 5,569$ (\$/100m) y sustituyendo los valores establecidos de "i" = interés estimado por año y "f" = inflación estimada al año, podemos hacer una tabla para ver el comportamiento del costo de nuestro cable en operación a valor presente por 5 años

Para el primer año tenemos:

$$VP = 16,706 + 23,681 \cdot (1 + 0.05) \left(\frac{1}{0.08 - 0.05} \right) - \left(\frac{1}{0.08 - 0.05} \right) \cdot \left(\frac{1 + 0.05}{1 + 0.08} \right)^1 = 40,388 \quad (\$ VP)$$

n años	Valor Presente
1	40,388
2	63,411
3	85,795
4	107,557
5	128,715

Tabla 9.4, **Valor presente del cable para cinco años**

De igual forma podemos calcular para calibres mayores y comparar el ahorro a “n” años

Calibre	Inversion inicial	Pérdidas	Costo/año	VALOR PRESENTE EN AÑOS				
				1	2	3	4	5
3/0	16,706	58,748	23,681	40,388	63,411	85,795	107,557	128,715
4/0	19,759	46,739	18,841	38,600	56,917	74,724	92,039	108,872
250	22,622	28,699	16,009	38,631	54,195	69,326	84,037	98,340

Tabla 9.5, Comparación de valor presente para diferentes calibres de conductores.

De lo anterior, podemos concluir que no necesariamente el calibre más económico será el más rentable. Lo anterior debido a que si seleccionamos un calibre mayor pero que, trabaje a menores temperaturas, tenemos ahorros evidentes por efecto de menores pérdidas.

Esto tienen que contemplarlos los proyectistas dentro de cualquier análisis y ponderarlo o, por lo menos, dejar que el afectado (inversionista) tome la decisión mas adecuada.

CAPÍTULO 10**EJEMPLO REAL.**

Para fines de comprobación y validación de todo lo anterior se realizó la memoria de cálculo para "Grupo Modelo". Solicitada por la empresa Conductores Monterrey.

Cabe mencionar que el proyecto consta de varias etapas de las cuales sólo presentamos un ejemplo completo para instalación en charolas, debido a que es la parte del programa que se tiene desarrollada hasta el momento. Se verificaron los cálculos obtenidos de forma manual contra el programa

10.1 CÁLCULO DE CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN PARA INSTALACIÓN EN CHAROLAS.

EJEMPLO: A continuación mostramos los datos presentados por la empresa, en la tabla 10.1.a se muestran las condiciones generales del sistema y en la tabla 10.1.b están las descripciones de los circuitos

TABLA 10.1.a

CONDICIONES	
Voltaje	4,160 V
Tipo de Cable	EPR 5 kV 100%
Arreglo	Trebol
F.P.	0.9
T. Ambiente	45 °C
T op del Cond.	90 °C
% Caída Max	3%
Tiempo Falla	5 ciclos
Corriente C.C.	44,000 A

Tabla 10.1.a, Valores iniciales proporcionados por el Grupo Modelo

Se ha seleccionado el circuito GF1-01-36 correspondiente a la unidad de emergencia B "De Cisterna Gral. y Elect. a P.R.A.E.1y 2". Ver tabla de datos que fue proporcionada por el cliente. Siguiente página.

TABLA 10.1.b
Datos del Cliente, Grupo Modelo.

No. DE CIRCUITO	TIPO DE CARGA	POTENCIA NOMINAL		* POTENCIA	CORRIENTE NOMINAL	CORRIENTE *DE CALCULO	LONG.	CALIBRE PROPUESTO	COND. X
		H. P.	KVA	kVA	(AMP.)	(AMP.)	(m)	POR GRUPO MODELO	FASE
	CHAROLA No.4 TURBINAS, CALDERAS PLANTA DE RECUPERACION DE AGUA PARA ENV. Y EMERG. "A" Y"B"								
GF1-01-36	EMERGENCIA "B" (De Tablero Metal-Clad a Cisterna Gral y E.)		3000	3990		553.8	550	4/0	2
GF1-01-36	EMERGENCIA "B" (De Cisterna Gral. y Elect. a P.R.A.E. 1y 2)		1750	2327.5		323.0	375	4/0	
F1-01-47	P.R.A.E. 1 Y 2		1750	2327.5		323.0	550	4/0	
F1-01-26	BBAS. AGUA T-4 (2) 900 H.P. + S.E. 750 kVA		2428	2675.5	337.00	371.3	90	350	
GF1-01-30	EMERGENCIA "A" (De Tablero Metal-Clad a Bbas. Agua T-4)		2428	2675.5		371.3	90	350	
F1-01-41	BBAS. AGUA T-5 (2) 900 H.P. + S.E. 750 kVA		2428	2675.5	337.0	371.3	90	350	
F1-01-25	CALDERA 4 VTF. (1) 450 H.P. + (1) 400 H.P. + S.E. 750 Kva		1916	2162.5	265.9	300.1	160	350	
F1-01-40	CALDERA 5 VTF. (1) 450 H.P. + (1) 400 H.P. + S.E. 750 Kva		1916	2162.5	266.0	300.1	160	350	

Tabla 10.1.b. Datos del proyecto completo, propocionado por el Grupo Modelo

Para un arreglo trifásico y las condiciones proporcionadas generales de 4,160 V y arreglo tipo trebol, nos dirigimos a la tabla 310-67 de la NOM, apéndice A. Para 323 A podríamos pensar en un calibre 4/0 AWG, pero al corregir por temperatura este queda limitado por lo que escogemos el calibre 250 kCM que puede conducir hasta 375 amperes.

Corrección por temperatura

$$f_{ct} = \left(\frac{T_{op} - T_{amb}}{T_{op} - T_1} \right)^{1/2} = \left(\frac{90 - 45}{75 - 40} \right)^{1/2} = 0.9487$$

* Para fines prácticos ver el factor ya calculado en la tabla B1 del Apéndice B. Utilizar el valor inmediato superior.

Con este factor corregimos por temperatura nuestro valor de capacidad de conducción requerido, sin olvidarnos de igualmente corregir en caso de que los conductores se instalen juntos, según valores de Apéndice B2-B5.

$$I_2 = I_1 \cdot f_{ca} \cdot f_a = 375(0.9487) = 356 \text{ (A)}$$

10.2 TEMPERATURA REAL DE OPERACIÓN DEL CONDUCTOR

$$Top_2 = (Top - Tamb) \left(\frac{I}{I_2} \right)^2 + Tamb \text{ (}^\circ\text{C)}$$

donde: Top= 95 (°C)

Tamb= 45 (°C)

I= 323 (A)

I₂= 356 (A)

Sustituyendo, tenemos que:

$$Top_2 = (90 - 45) \left(\frac{323}{356} \right)^2 + 45 = 82.09 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

10.3 CÁLCULO DE RESISTENCIA EN CORRIENTE ALTERNA

Cálculo de resistencia en corriente directa Rcd

$$Rcd = \frac{\rho}{A} (1 + kc) \text{ (}\Omega\text{)}$$

de tabla B6 apéndice B para cobre suave $\rho = 17.241 \text{ (}\Omega \text{ mm}^2 / \text{km})$

de tablas del fabricante A = 126.7 (mm²)

kc = constante de cableado = 1.02

$$Rcd = \frac{17.241}{126.7} (1 + 0.02) = 0.1388 \text{ (}\Omega\text{)}$$

Constante Alfa

$$\alpha = \frac{1}{T_0 + T_\rho}$$

de tabla B6 apéndice B bis para el cobre $T_0 = 234.5$ (°C)
 $T_\rho = 20$ (°C)

$$\alpha = \frac{1}{234.5 + 20} = 3.9293 \times 10^{-3}$$

Resistencia en corriente directa a diferente temperatura.

$$R_{cd}(x^\circ C) = (R_{cd}(20^\circ C))(1 + \alpha(T_{op} - T_\rho)) \quad (\Omega)$$

Sustituyendo los valores, considerando $T_{op} = 90$ (°C)

$$R_{cd}(90^\circ C) = ((0.1388)(1 + 0.00393(90 - 20))) = 0.1770 \quad (\Omega)$$

Resistencia en corriente alterna

$$R_{ca} = R_{cd}(x^\circ C)(1 + Y_s + Y_p)(\Omega)$$

Efecto piel

de tabla B7 apéndice B, para conductor compacto de cobre $k_s = 1$

$$X_s^4 = \left(\frac{8\pi f}{R_{cd}(90^\circ C)} k_s \cdot 10^{-4} \right)^2 = \left(\frac{8\pi(60)}{0.177} (1) \cdot 10^{-4} \right)^2 = 0.726$$

$$Y_s = \frac{X_s^4}{192 + 0.8X_s^4} = \frac{(0.726)}{192 + 0.8(0.726)} = 3.77 \times 10^{-3}$$

Efecto proximidad

de B7 apéndice B para conductor compacto de cobre $k_p = 0.6$

$Dt = 24.3 \text{ mm}$

$S = 24.3 \text{ mm}$ ($S = Dt$ para un arreglo trébol)

$$X_p^4 = \left(\frac{8\pi f}{R_{cd}(90^\circ C)} k_p \cdot 10^{-4} \right)^2 = \left(\frac{8\pi(60)}{0.177} (0.6) \cdot 10^{-4} \right)^2 = 0.261$$

$$Y_p = \frac{X_p^4}{192 + 0.8X_p^4} \left(\frac{Dt}{s} \right)^2 \left[0.312 \left(\frac{Dt}{s} \right)^2 + \frac{1.18}{\frac{X_p^4}{192 + 0.8X_p^4} + 0.27} \right]$$

$$Y_p = \frac{0.261}{192 + 0.8(0.261)} (1)^2 \left[0.312(1)^2 + \frac{1.18}{\frac{0.261}{192 + 0.8(0.261)} + 0.27} \right] = 6.34 \times 10^{-3}$$

Cálculo de resistencia en corriente alterna

$$R_{ca} = R_{cd}(90^\circ C)(1 + Y_s + Y_p) (\Omega)$$

Sustituyendo los valores obtenidos:

$$R_{ca} = 0.00393 \cdot (1 + 3.77 \times 10^{-3} + 6.34 \times 10^{-3}) = 0.1788 (\Omega)$$

10.4 PORCIENTO DE CAÍDA DE TENSIÓN

Calcular la caída de tensión, si la distancia 375 m, con un factor de potencia de 0.9. La caída de tensión máxima permitida es del 3%.

$$e\% = \frac{I \cdot \log(R_{ca} \cdot \cos \phi + X_L \cdot \text{sen} \phi)}{V_0} \times 100 \quad (\%)$$

Distancia media geométrica

Para un arreglo trebol DMG (distancia media geométrica) es igual al diámetro total
 $D_t=30.1$ (mm)

Radio medio geométrico RMG

$$RMG = \left(\frac{Dd}{2} \right)^k$$

de tabla B15 apéndice B para el calibre seleccionado 250 kCM, 37 hilos $k=0.768$ y de datos del fabricante $Dd = 14.2$ (mm):

Sustituyendo:

$$RMG = \left(\frac{14.2}{2} \right)^{0.768} = 5.4528$$

Inductancia L

$$L = 2 \times 10^{-4} \ln \left(\frac{DMG}{RMG} \right) = 2 \times 10^{-4} \ln \left(\frac{30.1}{5.45} \right) = 3.42 \times 10^{-4} \text{ (H/km)}$$

Reactancia inductiva X_L

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = 2\pi(60)(3.42 \times 10^{-4}) = 0.1288 \text{ } (\Omega/\text{km})$$

Porcentaje de caída de tensión

Sustituyendo los valores obtenidos en la ecuación original.

$$e\% = \frac{\sqrt{3}(323)(0.375) \cdot \log(0.1788(0.9) + 0.1288(0.4359))}{4,160} \times 100 = 1.095 \text{ } (\%)$$

Por lo que el calibre seleccionado cumple con la caída de tensión permitida.

10.5 CORTO CIRCUITO

Calcular la corriente de corto circuito que puede soportar nuestro calibre seleccionado, considerando un tiempo de duración de la falla de 5 ciclos/s.

Cálculo de Corriente de Corto Circuito

$$\frac{I_{cc}^2}{A^2} t = k_{cc} \cdot \log\left(\frac{T_{\max_{cc}} + T_0}{T_{op} + T_0}\right) \quad (\text{kA})$$

de tabla B6 bis apéndice B para el conductor de cobre suave $k_{cc} = 0.0297$ y $T_0 = 234.5$ (°C), de tablas del fabricante $A = 250,000$ (cmil) y de tabla B8 apéndice B para el aislamiento de EPR, $T_{\max_{cc}} = 250$ (°C)

Despejando "Icc" y sustituyendo los valores obtenidos, tenemos:

$$I_{cc} = \sqrt{\frac{A^2}{t} k_{cc} \cdot \log\left(\frac{T_{\max_{cc}} + T_0}{T_{op} + T_0}\right)} = \sqrt{\frac{250,000^2}{\frac{5}{60}} (0.0297) \cdot \log\left(\frac{250 + 234.5}{90 + 234.5}\right)} = 62.27 \quad (\text{kA})$$

Por lo que nuestro calibre seleccionado soporta el corto circuito permisible.

Valores que se obtuvieron al procesar todos los datos en el programa que se ha comenzado a desarrollar para este fin.

TABLA DE RESULTADOS		
PROYECTO	MODELO	MODELO
NOMBRE DE LA CARGA	GF1-01-36	GF1-01-36
TENSION (V)	4160	4160
CARGA	323	323
UNID.	A	A
CORRIENTE NOMINAL (A)	323	323
LONG. (m)	375	375
CAIDA DE TENSION (%)	1.08	1.095
CORRIENTE CIRCUITO CORTO (A)	62265.26	62270
DURACION DE LA FALLA (ciclos/s)	5	5
TIPO DE INSTALACION	Charolas	Charolas
TIPO DE CABLE	EPR 5 kV 100% N.A. Cu	EPR 5 kV 100% N.A. Cu
CALIBRE (AWG/kCM)	'250'	'250'
No. DE COND. POR FASE	1	1

Tabla 10.5.a. Tabla comparativa de los resultados por programa que, a la fecha se tiene su desarrollo.

La segunda columna son los datos que se obtuvieron por medio del programa que, a la fecha es la parte que se tiene desarrollado. La tercera columna y en negritas, están los datos que se obtuvieron por fórmulas y desarrolladas en páginas anteriores. Se puede observar una gran precisión entre ambos.

Queda comprobada la autenticidad de los resultados obtenidos por medio del programa, que llega a tener una pequeña variación, debido a el redondeo de las cifras por el método tradicional.

CAPÍTULO 11

CONCLUSIONES

Con el presente trabajo, obtuvimos una visión amplia de las etapas que intervienen en el desarrollo de un proyecto, desde la visualización de una necesidad, planteamiento del problema, desarrollo, ejecución hasta la propuesta de comercialización.

Más que resolver una necesidad, el objetivo era el proporcionar una herramienta que facilite la labor de un proyectista, que en ocasiones un cálculo puede llevarse un par de semanas, y con el apoyo de una computadora este tiempo se reduciría a 2 horas, además de ser un método completamente confiable y verificado en cumplimiento con la Norma Oficial Mexicana para instalaciones, así como normas y organismos internacionales (IEEE).

Además al plantear un software en el que se pueda navegar, de una forma muy sencilla podemos realizar diferentes configuraciones y decidir por la que ofrezca resolver nuestra necesidad con un calibre menor, con lo que obtendremos un beneficio económico.

Cuando se selecciona el calibre de un conductor, se calcula por capacidad de conducción, caída de tensión y corto circuito, y son muy pocas las personas que consideran la variable económica, debido a que de entrada se sabe que el costo inicial será mayor, pero no dedican un poco de tiempo a analizar el beneficio que traerá a futuro.

En esta época en donde se le esta dando un énfasis especial al mejor aprovechamiento de los recursos naturales, el sector eléctrico no debe de quedarse atrás y es tiempo de darnos cuenta que el proyectar considerando el calibre económico traerá consigo un beneficio no solo para el usuario final sino para nuestro país. Es momento de tomar conciencia y no dejar que la decisión solo dependa del costo de inversión inicial, sino de la proyección a futuro costo-beneficio.

Actualmente la compañía que suministra el fluido eléctrico castiga a todas aquellas empresas cuyo factor de potencia esta por debajo de lo permitido y cuando se realiza un cálculo adecuado este se corrige dando como beneficio un menor costo en la tarifa eléctrica.

Al considerar un calibre superior al seleccionado por cuestiones técnicas, encontramos que las pérdidas por calor (efecto joule) son menores, lo que trae

consigo menores pérdidas por calor, traducidas en kW y por consiguiente en beneficios económicos. Sin embargo, al instalar un calibre mayor se tienen un valor de inversión inicial alto, lo que pretendemos es llegar a encontrar el punto de equilibrio entre la inversión inicial y el ahorro que se tendría por pérdidas en los conductores ocasionadas por sobrecalentamiento en estos.

Mientras el amperaje requerido es más próximo a la capacidad de conducción máxima del conductor, el beneficio, al optar por un conductor de mayor sección transversal, igualmente será mayor; consiguiendo tener beneficios económicos y amortizar nuestra inversión inicial, con ahorros en kW, a los 2 ó 3 años de operación, en un cable que tendrá una vida útil de más de 25 años; y que al operar abajo de los límites permisibles de capacidad de conducción, la degradación será menor trayendo consigo alargar la vida útil del cable.

El objetivo de proporcionar una herramienta que facilite la labor se cumplió y quedó demostrado con la realización de la primera etapa del proyecto (Cálculo de capacidad de conducción, caída de tensión y corto circuito para instalaciones en charolas), que inclusive los resultados obtenidos, a solicitud de un fabricante de conductores eléctricos, fueron presentados como memoria de cálculo y autorizados para su fabricación a una importante empresa.

BIBLIOGRAFÍA.

- El ABC de las Instalaciones Eléctricas Industriales.
Enrique Harper
Edit. LIMUSA
Noriega Editores, 1993.

- Norma Oficial Mexicana, NOM-001-SEDE-1999.

- Manual del Eléctricista, CONDUMEX.
2ª. Edición, 1995.

- Manual Técnico de Cables de Energía. CONDUMEX.
1ª. Edición, Ing. Victor Sierra, Ing. Alfonso Sansores.

- ICEA, Standard Insulated Cable Engineers Association.
Publication P-32-382. Short Circuit Characteristic of Insulated Cable.

- Ampacity Ratings for Insulated Conductor. Article
IEEE, Thomas A. Kommers, Senior Member.
South San Francisco, California 94080.
Institute of Electrical and Electronics Engineers.

- IEEE, Standard for Calculation the Current Temperature Relationship of Bare
Overhead Conductors.
IEEE Std, 738 – 1993.
Institute of Electrical and Electronics Engineers.

- The Calculation of the Temperature Rise and Load Capability of Cable Systems.
J. H. Neher
M. H. McGrath
Vol. 76
Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE.

APÉNDICE "A"

TABLAS DE CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN

CÁLCULO DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Tabla 310-16. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores aislados para 0 a 2000 V nominales y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores activos en una canalización, cable o directamente enterrados, para una temperatura ambiente de 30 °C

Tamaño nominal mm ²	Temperatura nominal del conductor (véase Tabla 310-13)						Tamaño nominal AWGkcmil
	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C	
	TIPOS TW* TWD* CCE TWD-UV	TIPOS RHW*, THHW*, THW*, THW-LS, THWN*, XHHW*, TT	TIPOS RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THHW-LS, THW-2*, XHHW*, XHHW-2,	TIPOS UF*	TIPOS RHW*, XHHW*, BM-AL	TIPOS RHW-2, XHHW, XHHW-2, DRS	
	Cobre			Aluminio			
0,8235	---	---	14	---	---	---	18
1,307	---	---	18	---	---	---	16
2,082	20*	20*	25*	---	---	---	14
3,307	25*	25*	30*	---	---	---	12
5,26	30	35*	40*	---	---	---	10
8,367	40	50	55	---	---	---	8
13,3	55	65	75	40	50	60	6
21,15	70	85	95	55	65	75	4
26,67	85	100	110	65	75	85	3
33,62	95	115	130	75	90	100	2
42,41	110	130	150	85	100	115	1
53,48	125	150	170	100	120	135	1/0
67,43	145	175	195	115	135	150	2/0
85,01	165	200	225	130	155	175	3/0
107,2	195	230	260	150	180	205	4/0
126,67	215	255	290	170	205	230	250
152,01	240	285	320	190	230	255	300
177,34	260	310	350	210	250	280	350
202,68	280	335	380	225	270	305	400
253,35	320	380	430	260	310	350	500
304,02	355	420	475	285	340	385	600
354,69	385	460	520	310	375	420	700
380,03	400	475	535	320	385	435	750
405,37	410	490	555	330	395	450	800
456,04	435	520	585	355	425	480	900
506,71	455	545	615	375	445	500	1000
633,39	495	590	665	405	485	545	1250
760,07	520	625	705	435	520	585	1500
886,74	545	650	735	455	545	615	1750
1013,42	560	665	750	470	560	630	2000

Tabla 310-17. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores aislados individualmente de 0 a 2000 V nominales, al aire para una temperatura del aire ambiente de 30 °C

Tamaño nominal Mm ²	Temperatura nominal del conductor (ver tabla 310-13)						Tamaño nominal AWGkcmil
	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C	
	TIPOS TW*	TIPOS RHW*, THHW*, THW*, THW-LS THWN*, XHHW*	TIPOS RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THW-2*, THW-LS THWN-2*, XHHW*, XHHW-2	TIPOS UF	TIPOS RHW*, XHHW*	TIPOS RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2	
		Cobre			Aluminio		
0,8235	....	---	18	....	....	....	18
1,307	....	---	24	....	....	....	16
2,082	25*	30*	35*	....	....	....	14
3,307	30*	35*	40*	---	---	---	12
5,26	40	50*	55*	---	---	---	10
8,367	60	70	80	---	---	---	8
13,3	80	95	105	60	75	80	6
21,15	105	125	140	80	100	110	4
26,67	120	145	165	95	115	130	3
33,62	140	170	190	110	135	150	2
42,41	165	195	220	130	155	175	1
53,48	195	230	260	150	180	205	1/0
67,43	225	265	300	175	210	235	2/0
85,01	260	310	350	200	240	275	3/0
107,2	300	360	405	235	280	315	4/0
126,67	340	405	455	265	315	355	250
152,01	375	445	505	290	350	395	300
177,34	420	505	570	330	395	445	350
202,68	455	545	615	355	425	480	400
253,35	515	620	700	405	485	545	500
304,02	575	690	780	455	540	615	600
354,69	630	755	855	500	595	675	700
380,03	655	785	855	515	620	700	750
405,37	680	812	920	535	645	725	800
456,04	730	870	985	580	700	785	900
506,71	780	935	1055	625	750	845	1000
633,39	890	1065	1200	710	855	960	1250
760,07	980	1175	1325	795	950	1075	1500
886,74	1070	1280	1445	875	1050	1185	1750
1013,42	1155	1385	1560	960	1150	1335	2000

Tabla 310-67. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores individualmente aislados de cobre, al aire, en configuración tríplex para una temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C y temperatura de aire ambiente de 40 °C.

Tamaño nominal del conductor en:		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm ²	AWG-kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
8,367	8	65	74	----	----
13,3	6	90	99	100	110
21,15	4	120	130	130	140
33,62	2	160	175	170	195
42,41	1	185	205	195	225
53,48	1/0	215	240	225	255
67,43	2/0	250	275	260	295
85,01	3/0	290	320	300	340
107,2	4/0	335	375	345	390
126,67	250	375	415	380	430
177,34	350	465	515	470	525
253,35	500	580	645	580	650
380,03	750	750	835	730	820
506,71	1000	880	980	850	950

Tabla 310 - 68. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores individualmente aislados de aluminio, al aire en configuración tríplex para una temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C y temperatura del aire ambiente de 40 °C

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm ²	AWG-kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
13,3	6	70	77	75	84
21,15	4	90	100	100	110
33,62	2	125	135	130	150
42,41	1	145	160	150	175
53,48	1/0	170	185	175	200
67,43	2/0	195	215	200	230
85,01	3/0	225	250	230	265
107,2	4/0	265	290	270	305
126,67	250	295	325	300	335
177,34	350	365	405	370	415
253,35	500	460	510	460	515
380,03	750	600	665	590	660
506,71	1000	715	800	700	780

Tabla 310-69. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores individualmente aislados de cobre, al aire en configuración triplex para una temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C y temperatura del aire ambiente de 40 °C.

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-15000 V		Intensidad para 15001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm ²	AW G kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
8,367	8	83	93	---	---	---	---
13,3	6	110	120	110	125	---	---
21,15	4	145	160	150	165	---	---
33,62	2	190	215	195	215	---	---
42,41	1	225	250	225	250	225	250
53,48	1/0	260	290	260	290	260	290
67,43	2/0	300	330	300	335	300	330
85,01	3/0	345	385	345	385	345	380
107,2	4/0	400	445	400	445	395	445
126,67	250	445	495	445	495	440	490
177,34	350	550	615	550	610	545	605
253,35	500	695	775	685	765	680	755
380,03	750	900	1000	885	990	870	970
506,71	1000	1075	1200	1060	1185	1040	1160
633,39	1250	1230	1370	1210	1350	1185	1320
760,07	1500	1365	1525	1345	1500	1315	1465
886,74	1750	1495	1665	1470	1640	1430	1595
1013,4	2000	1605	1790	1575	1755	1535	1710

Tabla 310- 70. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores individualmente aislados de aluminio, al aire, para una temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C y temperatura del aire ambiente de 40 °C.

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-15000 V		Capacidad de conducción de corriente para 15001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm ²	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
13,3	6	85	95	87	97	----	----
21,15	4	115	125	115	130	----	----
33,62	2	150	165	150	170	----	----
42,41	1	175	195	175	195	175	195
53,48	1/0	200	225	200	225	200	225
67,43	2/0	230	260	235	260	230	260
85,01	3/0	270	300	270	300	270	300
107,2	4/0	310	350	310	350	310	345
126,67	250	345	385	345	385	345	380
177,34	350	430	480	430	480	430	475
253,35	500	545	605	535	600	530	590
380,03	750	710	790	700	780	685	765
506,71	1000	855	950	840	940	825	920
633,39	1250	980	1095	970	1080	950	1055
760,07	1500	1105	1230	1085	1215	1060	1180
886,74	1750	1215	1355	1195	1335	1165	1300
1013,4	2000	1320	1475	1295	1445	1265	1410

Tabla 310 - 71. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de un cable aislado formado por tres conductores aislados de cobre, al aire, para una temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C y temperatura del aire ambiente de 40 °C

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm ²	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
8,367	8	59	66	----	----
13,3	6	79	88	93	105
21,15	4	105	115	120	135
33,62	2	140	154	165	185
42,41	1	160	180	185	210
53,48	1/0	185	205	215	240
67,43	2/0	215	240	245	275
85,01	3/0	250	280	285	315
107,2	4/0	285	320	325	360
126,67	250	320	355	360	400
177,34	350	395	440	435	490
253,35	500	485	545	535	600
380,03	750	615	685	670	745
506,71	1000	705	790	770	860

Tabla 310 - 72. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de un cable aislado formado de tres conductores aislados de aluminio, al aire para una temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C y temperatura del aire ambiente de 40 °C.

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
Mm ²	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
13,3	6	61	68	72	80
21,15	4	81	90	95	105
33,62	2	110	120	125	145
42,41	1	125	140	145	165
53,48	1/0	145	160	170	185
67,43	2/0	170	185	190	215
85,01	3/0	195	215	220	245
107,2	4/0	225	250	255	285
126,67	250	250	280	280	315
177,34	350	310	345	345	385
253,35	500	385	430	425	475
380,03	750	495	550	540	600
506,71	1000	585	650	635	705

Tabla 310 - 73. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de cables triplex de cobre o de tres conductores aislados en tubo (*conduit*), al aire para una temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C y temperatura del aire ambiente de 40 °C

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm ²	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
8,367	8	55	61	---	---
13,3	6	75	84	83	93
21,15	4	97	110	110	120
33,62	2	130	145	150	165
42,41	1	155	175	170	190
53,48	1/0	180	200	195	215
67,43	2/0	205	225	225	255
85,01	3/0	240	270	260	290
107,2	4/0	280	305	295	330
126,67	250	315	355	330	365
177,34	350	385	430	395	440
253,35	500	475	530	480	535
380,03	750	600	665	585	655
506,71	1000	690	770	675	755

Tabla 310 - 74. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de cables triplex de aluminio o de tres conductores aislados en tubo (*conduit*), al aire para una temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C y temperatura del aire ambiente de 40 °C.

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm ²	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
13,3	6	58	65	65	72
21,15	4	76	85	84	94
33,62	2	100	115	115	130
42,41	1	120	135	130	150
53,48	1/0	140	155	150	170
67,43	2/0	160	175	175	200
85,01	3/0	190	210	200	225
107,2	4/0	215	240	230	260
126,67	250	250	280	255	290
177,34	350	305	340	310	350
253,35	500	380	425	385	430
380,03	750	490	545	485	540
506,71	1000	580	645	565	640

Tabla 310 - 75. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de un cable aislado de tres conductores aislados de cobre en tubo (*conduit*), para una temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C y temperatura del aire ambiente de 40 °C

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm ²	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
8,367	8	52	58	---	---
13,3	6	69	77	83	92
21,15	4	91	100	105	120
33,62	2	125	135	145	165
42,41	1	140	155	165	185
53,48	1/0	165	185	195	215
67,43	2/0	190	210	220	245
85,01	3/0	220	245	250	280
107,2	4/0	255	285	290	320
126,67	250	280	315	315	350
177,34	350	350	390	385	430
253,35	500	425	475	470	525
380,03	750	525	585	570	635
506,71	1000	590	660	650	725

Tabla 310 - 76. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de un cable aislado de tres conductores aislados de aluminio en tubo (*conduit*), para una temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C y temperatura del aire ambiente de 40 °C.

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm ²	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
13,3	6	53	59	64	71
21,15	4	71	79	84	94
33,62	2	96	105	115	125
42,41	1	110	125	130	145
53,48	1/0	130	145	150	170
67,43	2/0	150	165	170	190
85,01	3/0	170	190	195	220
107,2	4/0	200	225	225	255
126,67	250	220	245	250	280
177,34	350	275	305	305	340
253,35	500	340	380	380	425
380,03	750	430	480	470	520
506,71	1000	505	560	550	615

CÁLCULO DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Tabla 310 - 77. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de tres conductores individualmente aislados de cobre en ductos eléctricos subterráneos (tres conductores por cada conducto) para una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, arreglo de conductores en ductos como indica la figura 310-1, y un factor de carga de 100%, una resistencia térmica (RHO) de 90 y temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C.

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
mm ²	AWG kcmil	90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
Un circuito (Véase Figura 310-1 Detalle 1)		TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
8,367	8	64	69	---	---
13,3	6	85	92	90	97
21,15	4	110	120	115	125
33,62	2	145	155	155	165
42,41	1	170	180	175	185
53,48	1/0	195	210	200	215
67,43	2/0	220	235	230	245
85,01	3/0	250	270	260	275
107,2	4/0	290	310	295	315
126,67	250	320	345	325	345
177,34	350	385	415	390	415
253,35	500	470	505	465	500
380,03	750	585	630	565	610
506,71	1000	670	720	640	690
Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
mm ²	AWG kcmil	90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
Tres circuitos (Véase figura 310-1 Detalle 2)					
8,367	8	56	60	---	---
13,3	6	73	79	77	83
21,15	4	95	100	99	105
33,62	2	125	130	130	135
42,41	1	140	150	145	155
53,48	1/0	160	175	165	175
67,43	2/0	185	195	185	200
85,01	3/0	210	225	210	225
107,2	4/0	235	255	240	255
126,67	250	260	280	260	280
177,34	350	315	335	310	330
253,35	500	375	405	370	395
380,03	750	460	495	440	475
506,71	1000	525	665	495	535
Seis circuitos (Véase figura 310-1 Detalle 3)					
8,367	8	48	52	---	---
13,3	6	62	67	64	68
21,15	4	80	86	82	88
33,62	2	105	110	105	115
42,41	1	115	125	120	125
53,48	1/0	135	145	135	145
67,43	2/0	150	160	150	165
85,01	3/0	170	185	170	185
107,2	4/0	195	210	190	205
126,67	250	210	225	210	225
177,34	350	250	270	245	265
253,35	500	300	325	290	310
380,03	750	365	395	350	375
506,71	1000	410	445	390	415

CÁLCULO DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Tabla 310 - 78. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de tres conductores individualmente aislados de aluminio en ductos eléctricos subterráneos (tres conductores por cada conducto) para una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, arreglo de conductores en ductos como indica la figura 310-1, y un factor de carga de 100%, una resistencia térmica (RHO) de 90 y temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C.

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm ²	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
Un circuito (Véase figura 310-1 Detalle 1)					
13,3	6	66	71	70	75
21,15	4	86	93	91	98
33,62	2	115	125	120	130
42,41	1	130	140	135	145
53,48	1/0	150	160	155	165
67,43	2/0	170	185	175	190
85,01	3/0	195	210	200	215
107,2	4/0	225	245	230	245
126,67	250	250	270	250	270
177,34	350	305	325	305	330
253,35	500	370	400	370	400
380,03	750	470	505	455	490
506,71	1000	545	590	525	565
Tamaño nominal del conductor					
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm ²	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
Tres circuitos (Véase figura 310-1 Detalle 2)					
13,3	6	57	61	60	65
21,15	4	74	80	77	83
33,62	2	96	105	100	105
42,41	1	110	120	110	120
53,48	1/0	125	135	125	140
67,43	2/0	145	155	145	155
85,01	3/0	160	175	165	175
107,2	4/0	185	200	185	200
126,67	250	205	220	200	220
177,34	350	245	265	245	260
253,35	500	295	320	290	315
380,03	750	370	395	355	385
506,71	1000	425	460	405	440
Seis circuitos (Véase figura 310-1 Detalle 3)					
13,3	6	48	52	50	54
21,15	4	62	67	64	69
33,62	2	80	86	80	88
42,41	1	91	98	90	99
53,48	1/0	105	110	105	110
67,43	2/0	115	125	115	125
85,01	3/0	135	145	130	145
107,2	4/0	150	165	150	160
126,67	250	165	180	165	175
177,34	350	195	210	195	210
253,35	500	240	255	230	250
380,03	750	290	315	280	305
506,71	1000	335	360	320	345

CÁLCULO DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Tabla 310 - 79. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de un cable aislado de tres conductores de cobre aislados en una cubierta general (cable de tres conductores) en ductos eléctricos subterráneos (un cable por cada conducto), para una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C arreglo de cables en ductos como indica la figura 310-1, un factor de carga de 100%, una resistencia térmica (RHO) de 90 y temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C.

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
mm ²	AWG kcmil	90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
		TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
Un circuito (Véase figura 310-1 Detalle 1)					
8,367	8	59	64	---	---
13,3	6	78	84	88	95
21,15	4	100	110	115	125
33,62	2	135	145	150	160
42,41	1	155	165	170	185
53,48	1/0	175	190	195	210
67,43	2/0	200	220	220	235
85,01	3/0	230	250	250	270
107,2	4/0	265	285	285	305
126,67	250	290	315	310	335
177,34	350	355	380	375	400
253,35	500	430	460	450	485
380,03	750	530	570	545	585
506,71	1000	600	645	615	660
Tamaño nominal del conductor					
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm ²	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
Tres circuitos (Véase figura 310-1 Detalle 2)					
8,367	8	53	57	---	---
13,3	6	69	74	75	81
21,15	4	89	96	97	105
33,62	2	115	125	125	135
42,41	1	135	145	140	155
53,48	1/0	150	165	160	175
67,43	2/0	170	185	185	195
85,01	3/0	195	210	205	220
107,2	4/0	225	240	230	250
126,67	250	245	265	255	270
177,34	350	295	315	305	325
253,35	500	355	380	360	385
380,03	750	430	465	430	465
506,71	1000	485	520	485	515
Seis circuitos (Véase figura 310-1 Detalle 3)					
8,367	8	46	50	---	---
13,3	6	60	65	63	68
21,15	4	77	83	81	87
33,62	2	98	105	105	110
42,41	1	110	120	115	125
53,48	1/0	125	135	130	145
67,43	2/0	145	155	150	160
85,01	3/0	165	175	170	180
107,2	4/0	185	200	190	200
126,67	250	200	220	205	220
177,34	350	240	270	245	275
253,35	500	290	310	290	305
380,03	750	350	375	340	365
506,71	1000	390	420	380	405

Tabla 310 - 80. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de un cable aislado de tres conductores de aluminio aislados en una cubierta general (cable de tres conductores) en ductos eléctricos subterráneos (un cable por cada conductor), para una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C arreglo de cables en ductos como indica la figura 310-1, un factor de carga de 100%, una resistencia térmica (RHO) de 90 y temperatura de los conductores de 90 °C y 105 °C.

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm ²	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
Un circuito (Véase figura 310-1 Detalle 1)					
13,3	6	61	66	69	74
21,15	4	80	86	89	96
33,62	2	105	110	115	125
42,41	1	120	130	135	145
53,48	1/0	140	150	150	165
67,43	2/0	160	170	170	185
85,01	3/0	180	195	195	210
107,2	4/0	205	220	220	240
126,67	250	230	245	245	265
177,34	350	280	310	295	315
253,35	500	340	365	355	385
380,03	750	425	460	440	475
506,71	1000	495	535	510	545
Tres circuitos (Véase figura 310-1 Detalle 2)					
13,3	6	54	58	59	64
21,15	4	70	75	75	81
33,62	2	90	97	100	105
42,41	1	105	110	110	120
53,48	1/0	120	125	125	135
67,43	2/0	135	145	140	155
85,01	3/0	155	165	160	175
107,2	4/0	175	185	180	195
126,67	250	190	205	200	215
177,34	350	230	250	240	255
253,35	500	280	300	285	305
380,03	750	345	375	350	375
506,71	1000	400	430	400	430

Tabla 310-81. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores individualmente aislados de cobre directamente enterrados en la tierra, para una temperatura de la tierra de 20 °C, un arreglo como indica la figura 310-1, un factor de carga de 100%, una resistencia térmica (RHO) de 90 y temperatura del conductor de 90 °C y 105 °C.

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm ²	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
Un circuito, tres conductores (Véase figura 310-1 Detalle 9)					
8,367	8	110	115	---	---
13,3	6	140	150	130	140
21,15	4	180	195	170	180
33,62	2	230	250	210	225
42,41	1	260	280	240	260
53,48	1/0	295	320	275	295
67,43	2/0	335	365	310	335
85,01	3/0	385	415	355	380
107,2	4/0	435	465	405	435
126,67	250	470	510	440	475
177,34	350	570	615	535	575
253,35	500	690	745	650	700
380,03	750	845	910	805	865
506,71	1000	980	1055	930	1005
Dos circuitos, 6 conductores (Véase figura 310-1 Detalle 10)					
8,367	8	100	110	---	---
13,3	6	130	140	120	130
21,15	4	165	180	160	170
33,62	2	215	230	195	210
42,41	1	240	260	225	240
53,48	1/0	275	295	255	275
67,43	2/0	310	335	290	315
85,01	3/0	355	380	330	355
107,2	4/0	400	430	375	405
126,67	250	435	470	410	440
177,34	350	520	560	495	530
253,35	500	630	680	600	645
380,03	750	775	835	740	795
506,71	1000	890	960	855	920

Tabla 310-82. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores individualmente aislados de aluminio directamente enterrados en la tierra, para una temperatura de la tierra de 20 °C, un arreglo como indica la figura 310-1, un factor de carga del 100%, una resistencia térmica (RHO) de 90 y temperatura del conductor de 90 °C y 105 °C.

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm ²	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
Un circuito, tres conductores (Véase figura 310-1 Detalle 9)					
13,3	6	110	115	100	110
21,15	4	140	150	130	140
33,62	2	180	195	165	175
42,41	1	205	220	185	200
53,48	1/0	230	250	215	230
67,43	2/0	265	285	245	260
85,01	3/0	300	320	275	295
107,2	4/0	340	365	315	340
126,67	250	370	395	345	370
177,34	350	445	480	415	450
253,35	500	540	580	510	545
380,03	750	665	720	635	680
506,71	1000	780	840	740	795
Dos circuitos, 6 conductores (Véase figura 310-1 Detalle 10)					
13,3	6	100	110	95	100
21,15	4	130	140	125	130
33,62	2	165	180	155	165
42,41	1	190	200	175	190
53,48	1/0	215	230	200	215
67,43	2/0	245	260	225	245
85,01	3/0	275	295	255	275
107,2	4/0	310	335	290	315
126,67	250	340	365	320	345
177,34	350	410	440	385	415
253,35	500	495	530	470	505
380,03	750	610	655	580	625
506,71	1000	710	765	680	730

Tabla 310-83. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de tres conductores aislados de cobre en un cable con una cubierta general (cable de tres conductores) directamente enterrados, para una temperatura de la tierra de 20 °C, un arreglo como indica la figura 310-1, un factor de carga de 100%, una resistencia térmica (RHO) de 90 y temperatura del conductor de 90 °C y 105 °C.

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm ²	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
Un circuito (Véase figura 310-1 Detalle 5)					
8,367	8	85	89	---	---
13,3	6	105	115	115	120
21,15	4	135	150	145	155
33,62	2	180	190	185	200
42,41	1	200	215	210	225
53,48	1/0	230	245	240	255
67,43	2/0	260	280	270	290
85,01	3/0	295	320	305	330
107,2	4/0	335	360	350	375
126,67	250	365	395	380	410
177,34	350	440	475	460	495
253,35	500	530	570	550	590
380,03	750	650	700	665	720
506,71	1000	730	785	750	810
Tamaño nominal del conductor					
		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm ²	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
Dos circuitos (Véase figura 310-1 Detalle 10)					
8,367	8	80	84	---	---
13,3	6	100	105	105	115
21,15	4	130	140	135	145
33,62	2	165	180	170	185
42,41	1	185	200	195	210
53,48	1/0	215	230	220	235
67,43	2/0	240	260	250	270
85,01	3/0	275	295	280	305
107,2	4/0	310	335	320	345
126,67	250	340	365	350	375
177,34	350	410	440	420	450
253,35	500	490	525	500	535
380,03	750	595	640	605	650
506,71	1000	665	715	675	730

Tabla 310-84. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de tres conductores aislados de aluminio en un cable con una cubierta general (cable de tres conductores) directamente enterrados en la tierra, para una temperatura de la tierra de 20 °C, un arreglo como indica la figura 310-1, un factor de carga del 100%, una resistencia térmica (RHO) de 90 y temperatura del conductor de 90 °C y 105 °C.

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001-5000 V		Capacidad de conducción de corriente para 5001-35000 V	
		90 °C	105 °C	90 °C	105 °C
mm ²	AWG kcmil	TIPO MV-90	TIPO MV-105	TIPO MV-90	TIPO MV-105
Un circuito (Véase figura 310-1 Detalle 5)					
13,3	6	80	88	90	95
21,15	4	105	115	115	125
33,62	2	140	150	145	155
42,41	1	155	170	165	175
53,48	1/0	180	190	185	200
67,43	2/0	205	220	210	225
85,01	3/0	230	250	240	260
107,2	4/0	260	280	270	295
126,67	250	285	310	300	320
177,34	350	345	375	360	390
253,35	500	420	450	435	470
380,03	750	520	560	540	580
506,71	1000	600	650	620	665
Dos circuitos (Véase figura 310-1 Detalle 6)					
13,3	6	75	83	80	95
21,15	4	100	110	105	115
33,62	2	130	140	135	145
42,41	1	145	155	150	165
53,48	1/0	165	180	170	185
67,43	2/0	190	205	195	210
85,01	3/0	215	230	220	240
107,2	4/0	245	260	250	270
126,67	250	265	285	275	295
177,34	350	320	345	330	355
253,35	500	385	415	395	425
380,03	750	480	515	485	525
506,71	1000	550	590	560	600

Tabla 310-85. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de tres conductores de cobre en configuración tríplex directamente enterrados, para una temperatura de la tierra de 20 °C, un arreglo como indica la figura 310-1, un factor de carga de 100%, una resistencia térmica (RHO) de 90 y temperatura del conductor de 90 °C y 105 °C.

61 cm

Detalle 7

0 Cable tríplex enterrado
(un circuito)

Detalle 8

Dos cables tríplex enterrados
(dos circuitos)

Tamaño nominal del conductor		Capacidad de conducción de corriente para 2001- 5000 V	Capacidad de conducción de corriente para 5001- 35000 V
mm ²	AWG kcmil		
Un circuito, tres conductores (Véase figura 310-1 Detalle 7)			
8,367	8	90	---
13,3	6	120	115
21,15	4	150	150
33,62	2	195	190
42,41	1	225	215
53,48	1/0	255	245
67,43	2/0	290	275
85,01	3/0	330	315
107,2	4/0	375	360
126,67	250	410	390
177,34	350	490	470
253,35	500	590	565
380,03	750	725	385
506,71	1000	825	770
Dos circuitos, seis conductores (Véase figura 310-1 Detalle 8)			
8,367	8	85	---
13,3	6	110	105
21,15	4	140	140
33,62	2	180	175
42,41	1	205	200
53,48	1/0	235	225
67,43	2/0	265	255
85,01	3/0	300	290
107,2	4/0	340	325
126,67	250	370	355
177,34	350	445	426
253,35	500	535	510
380,03	750	650	615
506,71	1000	740	690

Tabla 310-86. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de tres conductores de aluminio en configuración triplex directamente enterrados en la tierra, para una temperatura de la tierra de 20 °C, un arreglo como indica la figura 310-1, un factor de carga del 100%, una resistencia térmica (RHO) de 90 y temperatura del conductor de 90 °C y 105 °C.

61 cm

Detalle 7

1 Cable triplex enterrado
(un circuito)

Detalle 8

Dos cables triplex enterrados
(dos circuitos)

Tamaño nominal del conductor en:		Capacidad de conducción de corriente para 2001- 5000 V	Capacidad de conducción de corriente para 5001- 35000 V
mm ²	AWG kcmil		
Un circuito, tres conductores (Véase figura 310-1 Detalle 7)			
13,3	6	90	90
21,15	4	120	115
33,62	2	155	145
42,41	1	175	165
53,48	1/0	200	190
67,43	2/0	225	215
85,01	3/0	255	245
107,2	4/0	290	280
126,67	250	320	305
177,34	350	385	370
253,35	500	465	445
380,03	750	580	550
506,71	1000	670	635
Dos circuitos, seis conductores (Véase figura 310-1 Detalle 8)			
13,3	6	85	85
21,15	4	110	105
33,62	2	140	135
42,41	1	160	155
53,48	1/0	180	175
67,43	2/0	205	200
85,01	3/0	235	225
107,2	4/0	265	255
126,67	250	290	280
177,34	350	350	335
253,35	500	420	405
380,03	750	520	485
506,71	1000	600	565

CÁLCULO DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Tabla A-310-2. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible en dos o tres conductores sencillos aislados de 0 a 2000 V nominales en un cable soportado por un mensajero para una temperatura ambiente de 40°C

Tamaño nominal mm ²	Temperatura nominal del conductor (véase la Tabla 310-13)				Tamaño nominal AWG o kcmils
	75°C	90°C	75°C	90°C	
	Tipos RH, RHW, THHW, THW, THW-LS, THW-LS, THWN, XHHW	Tipos THHN, THHW, THHW-LS THW-2, THWN-2, RHH, RWH-2, USE-2, XHHW, XHHW-2	Tipos RH, RHW, XHHW	Tipos RHH, XHHW, RHW-2, XHHW-2, USE-2,	
	Cobre		Aluminio		
8,367	57	66	--	--	8
13,3	76	89	59	69	6
21,15	101	117	78	91	4
26,27	118	138	92	107	3
33,62	135	158	106	123	2
42,41	158	185	123	144	1
53,48	183	214	143	167	1/0
67,43	212	247	165	193	2/0
85,01	245	287	192	224	3/0
107,2	287	335	224	262	4/0
126,67	320	374	251	292	250
152,01	359	419	282	328	300
177,34	397	464	312	364	350
202,68	430	503	339	395	400
253,35	496	580	392	458	500
304,02	553	647	440	514	600
354,69	610	714	488	570	700
380,03	638	747	512	598	750
405,36	660	773	532	622	800
456,04	704	826	572	669	900
506,71	748	879	612	716	1,000

Tabla A-310-3. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible para cables de varios conductores con no-más de tres conductores aislados de 0 a 2,000 V nominales al aire libre, para una temperatura ambiente de 40°C (para cables TC, MC, MI, UF y USE)

Tamaño nominal Mm ²	Temperatura nominal del conductor (véase Tabla 310-13)								Tamaño nominal AWG o kcmils
	60°C	75°C	85°C	90°C	60°C	75°C	85°C	90°C	
	Cobre				Aluminio				
0,8235	---	---	---	11 [#]	---	---	---	---	18
1,307	---	---	---	16 [#]	---	---	---	---	16
2,082	18 [#]	21 [#]	24 [#]	16 [#]	---	---	---	---	14
3,307	21 [#]	28 [#]	30 [#]	25 [#]	---	---	---	---	12
5,26	28 [#]	36 [#]	41 [#]	32 [#]	---	---	---	---	10
8,367	39	50	56	43 [#]	---	---	---	---	8
				59					
13,3	52	68	75	79	41	53	59	61	6
21,15	69	89	100	104	54	70	78	81	4
26,27	81	104	116	121	63	81	91	95	3
33,62	92	118	132	138	72	92	103	108	2
42,41	107	138	154	161	84	108	120	126	1
53,48	124	160	178	186	97	125	139	145	1/0
67,43	143	184	206	215	111	144	160	168	2/0
85,01	165	213	238	249	129	166	185	194	3/0
107,2	190	245	274	287	149	192	214	224	4/0
126,67	212	274	305	320	166	214	239	250	250
152,01	237	306	341	357	186	240	268	280	300
177,34	261	337	377	394	205	265	296	309	350
202,68	281	363	406	425	222	287	317	334	400
253,35	321	416	465	487	255	330	368	385	500
304,02	354	459	513	538	284	368	410	429	600
354,69	387	502	562	589	306	405	462	473	700
380,03	404	523	586	615	328	424	473	495	750
405,36	415	539	604	633	339	439	490	513	800
456,04	438	570	639	670	362	469	514	548	900
506,71	461	601	674	707	385	499	558	584	1,000

APÉNDICE "B"

TABLAS GENERALES

TABLA B1

TABLA DE FACTORES DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA AMBIENTE.

TEMPERATURA AMBIENTE ° C	PARA TEMPERATURA AMBIENTE DIFERENTE DE 30 ° C, MULTIPLIQUE LAS CAPACIDADES DE CORRIENTE POR EL FACTOR DE CORRECCIÓN CORRESPONDIENTE		
	60 ° C (1)	75 ° C (1)	90 ° C (1)
21 – 25	1.08	1.05	1.04
26 – 30	1.00	1.00	1.00
31 – 35	0.91	0.94	0.96
36 – 40	0.82	0.88	0.91
41 – 45	0.71	0.82	0.87
46 – 50	0.58	0.75	0.82
51 – 55	0.41	0.67	0.76
56 – 60		0.58	0.71
61 – 70		0.33	0.58
71 – 80			0.41

TABLA B2

**FACTOR DE CORRECCIÓN INSTALACIÓN TIPO CHAROLA
PARA CABLE MONOPOLAR EN BAJA TENSIÓN**

ARREGLO DE CONDUCTOR	TABLA DE REFERENCIA	CALIBRE	FACTOR DE CORRECCIÓN
PLANO CON SEPARACIÓN MAYOR A UN DIÁMETRO	310-17	4 AWG Y MAYORES	1.0
PLANO CON SEPARACIÓN MENOR A UN DIÁMETRO	310-17	4 AWG – 500 kCM	0.65
PLANO CON SEPARACIÓN MENOR A UN DIÁMETRO	310-17	600 kCM – 1000 kCM	0.75
PLANO CON SEPARACIÓN MENOR A UN DIÁMETRO CON TAPA	310-17	4 AWG – 500 kCM	0.60
PLANO CON SEPARACIÓN MENOR A UN DIÁMETRO CON TAPA	310-17	600 kCM – 1000 kCM	0.70
TREBÓL CON SEPARACIÓN MAYOR A 2.15 DIÁMETROS	A – 310 – 2	4 AWG Y MAYORES	1.0

TABLA B3

FACTOR DE CORRECCIÓN INSTALACIÓN TIPO CHAROLA
PARA CABLE MONOPOLAR EN ALTA TENSIÓN

ARREGLO DE CONDUCTOR	TABLA DE REFERENCIA	CALIBRE	FACTOR DE CORRECCIÓN
PLANO CON SEPARACIÓN MAYOR A UN DIÁMETRO	310-69	4 AWG Y MAYORES	1.0
PLANO CON SEPARACIÓN MENOR A UN DIÁMETRO	310-69	4 AWG Y MAYORES	0.75
PLANO CON SEPARACIÓN MENOR A UN DIÁMETRO CON TAPA	310-69	4 AWG Y MAYORES	0.70
TREBÓL CON SEPARACIÓN MAYOR A 2.15 DIÁMETROS	310-67	4 AWG Y MAYORES	1.0

TABLA B4

**FACTOR DE CORRECCIÓN INSTALACIÓN TIPO CHAROLA
PARA CABLE MULTICONDUCTOR EN BAJA TENSIÓN**

ARREGLO DE CONDUCTOR	TABLA DE REFERENCIA	CALIBRE	FACTOR DE CORRECCIÓN
PLANO CON SEPARACIÓN MAYOR A UN DIÁMETRO	A - 310-3	TODOS	1.0
PLANO CON SEPARACIÓN MENOR A UN DIÁMETRO	310-16	TODOS	1.00
PLANO CON SEPARACIÓN MENOR A UN DIÁMETRO CON TAPA	310-16	TODOS	0.95

TABLA B5

FACTOR DE CORRECCIÓN INSTALACIÓN TIPO CHAROLA
PARA CABLE MULTICONDUCTOR EN ALTA TENSIÓN

ARREGLO DE CONDUCTOR	TABLA DE REFERENCIA	CALIBRE	FACTOR DE CORRECCIÓN
PLANO CON SEPARACIÓN MAYOR A UN DIÁMETRO	310-71	4 AWG Y MAYORES	1.0
PLANO CON SEPARACIÓN MENOR A UN DIÁMETRO	310-75	4 AWG Y MAYORES	1.00
PLANO CON SEPARACIÓN MENOR A UN DIÁMETRO CON TAPA	310-75	4 AWG Y MAYORES	0.95

TABLA B6
PROPIEDADES DE LOS CONDUCTORES

MATERIAL DEL CONDUCTOR	DESCRIPCIÓN	RESISTIVIDAD VOLUMÉTRICA Ohm mm ² /km	RESISTIVIDAD VOLUMÉTRICA Cmil-ohm/ft
Mat. cond.		ρ	ρ
Cu	Cobre suave	17.241	10.3710
Cu	Cobre semiduro	17.659	10.6224
Cu	Cobre Duro	17.922	10.7806
Al	Aluminio	28.264	17.0017
Al/Ac	Aluminio/Acero	28.200	16.9632
AS	Aluminio Soldado	138.000	83.0113
AG	Acero Galvanizado	138.000	83.0113

TABLA B6-bis

MATERIAL DEL CONDUCTOR	DESCRIPCIÓN	TEMPERATURA A $R_{CD}=0$	CONSTANTE DE CORTO CIRCUITO
Mat. cond.		T_0	
Cu	Cobre suave	234.5	0.0297
Cu	Cobre semiduro	240.5	0.0297
Cu	Cobre Duro	244.0	0.0297
Al	Aluminio	228.1	0.0125
Al/Ac	Aluminio/Acero	228.1	0.0142
AS	Aluminio Soldado	180.0	0.0036
AG	Acero Galvanizado	180.0	0.0036

TABLA B7
FACTORES DE EFECTO PIEL Y EFECTO PROXIMIDAD

DESCRIPCIÓN	Ks	Kp
Conductor redondo compacto de cobre	1.0	0.6
Conductor redondo de cobre	1.0	0.8
Conductor compacto segmental de cobre	0.39	0.46
Conductor redondo compacto de aluminio	1.0	0.5
Conductor redondo de aluminio	1.0	0.5

TABLA B8
PROPIEDADES DEL AISLAMIENTO

AISLAMIENTO	V	CONSTDIEL SIC	TANGDELTA Δ	RESISTIVIDAD TERMICA °C-cm/W	Top	TEMPERATURA MAXIMA EN SOBRECARGA	TEMPERATURA MAXIMA EN CC
PVC	1000	8.0	0.1000	700	90	105	150
Polietileno	1000	2.3	0.0010	350	75	105	150
XLPE	35000	2.5	0.0040	350	90	130	250
EPR	35000	3.0	0.0200	500	90	130	250
Etileno- Propileno*	115,000	3.0	0.0050	500	90	130	250
Polietileno de Cadena Cruzada*	115,000	2.5	0.0010	350	90	130	250

TABLA B9
PROPIEDADES DE LA CUBIERTA EXTERIOR

MATERIAL	RESISTENCIA TERMICA
POLIETILENO	350.00
HYPALON	550.00
PVC	600.00
NYLON	700.00
NEOPRENO	600.00

TABLA B10
CONSTANTES TERMICAS DEL DUCTO.

TIPO DE DUCTO	CONSTANTE A	CONSTANTE B	CONSTANTE C
DUCTO METÁLICO	17.0	3.6	0.029
DUCTO DE PVC	17.0	2.3	0.024

TABLA B11
DIMENSIONES DE DUCTOS SUBTERRÁNEOS DE PVC
FUENTE: IEEE

TAMAÑO NOMINAL		DIÁMETRO EXTERIOR	DIÁMETRO INTERIOR	DIÁMETRO EXTERIOR	DIÁMETRO INTERIOR
mm	pulg	mm	mm	in	in
		Ddext	Ddint		
25	1	33.5	26.7	1.32	1.05
38	1 1/2	48.5	41.4	1.91	1.63
50	2	60.32	52.5	2.37	2.07
75	3	88.9	77.92	3.50	3.07
100	4	114.3	102.2	4.50	4.02
125	5	141.3	128.19	5.56	5.05
150	6	168.2	154	6.62	6.06
200	8	219	202.7	8.62	7.98
250	10	273	254.5	10.75	10.02

TABLA B12

TEMPERATURA EN EL INTERIOR DEL DUCTO. PARA ALTA TENSIÓN

TEMPERATURA EXTERIOR DE 20°C

VOLTAJE DE OPERACIÓN, kV	NIVEL DE AISLAMIENTO	TEMPERATURA DE OPERACIÓN A 90°C	TEMPERATURA DE OPERACIÓN A 105°C
5	100%	52	59
5	133%	51	58
8	100%	51	58
8	133%	51	58
15	100%	51	57
15	133%	49	56
25	100%	50	56
25	133%	49	55
35	100%	49	55
35	133%	48	54

TEMPERATURA EXTERIOR DE 30°C

VOLTAJE DE OPERACIÓN, kV	NIVEL DE AISLAMIENTO	TEMPERATURA DE OPERACIÓN A 90°C	TEMPERATURA DE OPERACIÓN A 105°C
5	100%	57	64
5	133%	56	63
8	100%	56	63
8	133%	56	63
15	100%	56	62
15	133%	54	61
25	100%	55	61
25	133%	54	60
35	100%	54	60
35	133%	53	59

TEMPERATURA EXTERIOR DE 40°C

VOLTAJE DE OPERACIÓN, kV	NIVEL DE AISLAMIENTO	TEMPERATURA DE OPERACIÓN A 90°C	TEMPERATURA DE OPERACIÓN A 105°C
5	100%	62	69
5	133%	61	68
8	100%	61	68
8	133%	61	68
15	100%	61	67
15	133%	59	66
25	100%	60	66
25	133%	59	65
35	100%	59	65
35	133%	58	64

TABLA B12 ... CONTINUACIÓN

TEMPERATURA EN EL INTERIOR DEL DUCTO. PARA BAJA TENSIÓN

TEMPERATURA DE OPERACIÓN 90°C

TEMPERATURA AMBIENTE	TM
20	52
30	57
40	62

TABLA B13

CONSTANTES TÉRMICAS DE DUCTOS

MATERIAL	RESISTIVIDAD TERMICA DEL DUCTO
PVC	500.00
ASBESTO-CEMENTO	480.00
POLIETILENO	400.00

TABLA B14

PROPIEDADES DEL AIRE

Temperatura T _p		Viscosidad del aire μ lb / ft h	Densidad del aire ρ lb / ft ³			Conductividad térmica del aire K	
°C	°K		Nivel de mar	5 000 ft	10 000 ft		15 000 ft
0	273	0.0415	0.0807	0.0671	0.0554	0.0455	0.00739
5	278	0.0421	0.0793	0.0660	0.0545	0.0447	0.00750
10	283	0.0427	0.0779	0.0648	0.0535	0.0439	0.00762
15	288	0.0433	0.0765	0.0636	0.0526	0.0431	0.00773
20	293	0.0439	0.0752	0.0626	0.0517	0.0424	0.00784
25	298	0.0444	0.0740	0.0616	0.0508	0.0417	0.00795
30	303	0.0450	0.0728	0.0606	0.0500	0.0411	0.00807
35	308	0.0456	0.0716	0.0596	0.0492	0.0404	0.00818
40	313	0.0461	0.0704	0.0586	0.0484	0.0397	0.00830
45	318	0.0467	0.0693	0.0577	0.0476	0.0391	0.00841
50	323	0.0473	0.0683	0.0568	0.0469	0.0385	0.00852
55	328	0.0478	0.0672	0.0559	0.0462	0.0379	0.00864
60	333	0.0484	0.0661	0.0550	0.0454	0.0373	0.00875
65	338	0.0489	0.0652	0.0542	0.0448	0.0367	0.00886
75	343	0.0494	0.0643	0.0535	0.0442	0.0363	0.00898
75	348	0.0500	0.0634	0.0527	0.0436	0.0358	0.00909
80	353	0.0505	0.0627	0.0522	0.0431	0.0354	0.00921
85	358	0.0510	0.0616	0.0513	0.0423	0.0347	0.00932
90	363	0.0515	0.0608	0.0506	0.0418	0.0343	0.00943
95	368	0.0521	0.0599	0.0498	0.0412	0.0338	0.00952
100	373	0.0526	0.0591	0.0492	0.0406	0.0333	0.00966

TABLA B15
TABLA PARA DETERMINAR EL RADIO MEDIO GEOMÉTRICO
(R M G)

RADIO GEOMÉTRICO DE CONDUCTORES USUALES	
CONSTRUCCIÓN DEL CONDUCTOR	R M G
Alambre sólido	$0.779 \bullet R$
Cable de un solo material	
7 hilos	$0.726 \bullet R$
19 hilos	$0.758 \bullet R$
37 hilos	$0.768 \bullet R$
61 hilos	$0.772 \bullet R$
R = Radio del Conductor	

TABLA B16

GANANCIA POR CALOR Y CALOR RECIBIDO

Variación por latitud (Grados latitud norte)	Hc (Grados, variación ángulo solar)
15	68.08
16	74.26
17	79.04
18	82.64
19	85.24
20	87.01
21	88.10
22	88.63
23	88.71
24	88.45
25	87.91
26	87.17
27	86.29
28	85.30
29	84.25
30	83.17
31	82.08
32	80.99

Hc (variación del ángulo solar)	Qs (W/ft ²) (calor recibido por la superficie del conductor)	qs (W/ft) (ganancia por calor)
90 (norte del país)	96.39057442	4.45
88.71	96.29140772	4.44
85	96.06257779	4.43
80	95.79260368	4.42
75	95.44128578	4.40
70	94.90317558	4.38
65 (sur del país)	94.10507703	4.34

Nota: Los valores resaltados son los datos para el valor crítico

TABLA B17
TOTAL DE FLUJO DE CALOR RECIBIDO POR LA SUPERFICIE A
NIVEL DEL MAR

Grados Altitud Solar	(Q _s W/ft ²)	
	Atmósfera Limpia	Atmósfera Industrial
5	21.7	12.6
10	40.2	22.3
15	54.2	30.5
20	64.4	39.2
25	71.5	46.6
30	77.0	53.0
35	81.5	57.5
40	84.8	61.5
45	87.4	64.5
50	90.0	67.5
60	92.9	71.6
70	95.0	75.2
80	95.8	77.4
90	96.4	78.9

TABLA B18
CONSTANTES DE MATERIALES DEL CONDUCTOR

MATERIAL DEL CONDUCTOR	DESCRIPCION	RESISTIVIDAD VOLUMETRICA ohm mm ² / km	TEMPERATURA EN LA QUE R _{cd} =0	CTE K PARA CALCULO DE C.C.	RESISTIVIDAD VOLUMETRICA cmil-ohm / ft	CTE DE TENSION DE JALADO
matcond		RV	Tcero	kcc	RVi	kt
Cu	Cobre Suave	17.241	234.500	0.0297	10.3710	7.15
Cu	Cobre Semiduro	17.659	240.500	0.0297	10.6224	7.15
Cu	Cobre Duro	17.922	244.000	0.0297	10.7806	7.15
Al	Aluminio	28.264	228.100	0.0125	17.0017	5.371
Al/Ac	Aluminio/Acero	28.200	228.100	0.0142	16.9632	
AS	Aluminio Soldado	138.000	180.000	0.0036	83.0113	
AG	Acero Galvanizado	138.000	180.000	0.0036	83.0113	

RESISTIVIDAD VOLUMETRICA
TEMPERATURA TEORICA EN LA QUE
LA RESISTENCIA ES CERO.

APÉNDICE “C”

TABLAS DE FABRICANTE.*

*Manual técnico VIAKON, Conductores Monterrey

**TABLA DE FABRICANTE
NÚMERO DE ALAMBRES SEGÚN EL CABLE CONDUCTOR**

Calibre AWG / kCM	Tensión en Volt Numero de alambres			
	5 000	15 000	25 000	35 000
8 a 4	7	-	-	-
2 a 4/0	10	12	14	16
250 a 500	14	16	18	20
600 a 1 000	18	20	22	24

TABLA DE FABRICANTE
CARACTERÍSTICAS DE CABLES PARA MEDIA TENSIÓN EPR, TIPO DS, 5,
15, 25 Y 35 Kv CON PANTALLA METÁLICA Y CUBIERTA.

.....

EPR - 5 kV				100% Nivel de Aislamiento				133% Nivel de Aislamiento			
				Espesor de aislamiento : 2.29 mm (90 mils)				Espesor de aislamiento : 2.92 mm (115 mils)			
<i>Calibre</i>	<i>Área nominal de la sección transversal</i>	<i>Número de hilos</i>	<i>Díametro del conductor</i>	<i>Díametro sobre el aislamiento</i>	<i>Díametro total aproximado</i>	<i>Peso Total aproximado (kg / 100 m)</i>		<i>Díametro sobre el aislamiento</i>	<i>Díametro total aproximado</i>	<i>Peso Total aproximado (kg / 100 m)</i>	
<i>10G o ACM</i>	<i>mm²</i>		<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>Cobre</i>	<i>Aluminio</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>Cobre</i>	<i>Aluminio</i>
8	8.367	7	3.6	9.7	16.0	28.5	23.0	10.9	17.3	32.0	26.6
6	13.30	7	4.5	10.6	17.8	37.9	29.2	11.8	19.1	41.9	33.2
4	21.15	7	5.7	11.8	19.0	47.7	34.0	13.0	20.3	52.0	38.3
2	33.62	7	7.2	13.3	20.5	63.0	41.8	14.5	21.8	68.3	46
150	53.48	19	9.2	15.3	22.6	86.5	51.7	16.3	23.9	91.6	57
20	67.43	19	10.3	16.4	23.7	102	38.2	17.6	25.0	107	64
30	85.01	19	11.6	17.7	26.1	127	71.7	18.9	27.4	133	78
40	107.2	19	13.0	19.1	27.6	151	81.5	20.6	28.8	158	88
250	126.7	37	14.2	20.6	30.1	175	92.4	21.8	30.4	182	99
400	152.0	37	15.5	21.9	30.5	202	103	23.1	31.7	209	110
350	177.3	37	16.8	23.2	31.7	229	113	24.4	33.0	236	121
400	202.7	37	17.9	24.3	33.0	255	123	25.5	34.6	265	133
500	253.4	37	20.0	26.3	35.5	310	145	27.7	36.8	318	154
600	304.0	61	22.0	28.6	37.7	364	167	29.8	39.0	373	176
750	380.0	61	24.6	31.2	40.4	442	193	32.4	41.7	452	205
1000	506.7	61	28.4	33.0	44.3	571	241	36.2	45.6	581	232

NOTA: Valores aproximados sujetos a tolerancias de fabricación

EPR - 15 kV				100% Nivel de Aislamiento				133% Nivel de Aislamiento			
				Espesor de aislamiento : 4.45 mm (175 mils)				Espesor de aislamiento : 5.59 mm (220 mils)			
<i>Calibre</i>	<i>Área nominal de la sección transversal</i>	<i>Número de hilos</i>	<i>Díametro del conductor</i>	<i>Díametro sobre el aislamiento</i>	<i>Díametro total aproximado</i>	<i>Peso Total aproximado (kg / 100 m)</i>		<i>Díametro sobre el aislamiento</i>	<i>Díametro total aproximado</i>	<i>Peso Total aproximado (kg / 100 m)</i>	
<i>10G o ACM</i>	<i>mm²</i>		<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>Cobre</i>	<i>Aluminio</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>Cobre</i>	<i>Aluminio</i>
2	33.62	7	7.2	17.6	26.0	87.1	65.3	19.9	28.9	102	80
10	53.48	19	9.2	19.6	28.1	112	77.3	21.9	31.0	128	93
20	67.43	19	10.3	20.7	29.2	129	85.0	23.0	32.2	146	102
30	85.01	19	11.6	22.0	30.5	149	94.1	24.3	33.5	167	112
40	107.2	19	13.0	23.4	32.0	175	105	25.7	35.3	196	126
250	126.7	37	14.2	24.9	33.5	200	117	27.2	37.0	222	140
300	152.0	37	15.5	26.2	33.3	230	131	28.5	38.4	251	152
350	177.3	37	16.8	27.5	36.6	258	142	29.8	39.7	280	165
400	202.7	37	17.9	28.6	35.8	285	154	30.9	41.0	309	177
500	253.4	37	20.0	30.8	40.0	340	175	33.1	43.2	365	200
600	304.0	61	22.0	32.9	42.2	396	199	35.2	45.4	423	223
750	380.0	61	24.6	35.5	44.8	476	229	37.8	48.2	505	238
1000	506.7	61	28.4	39.3	50.4	625	293	41.6	54.2	662	332

NOTA: Valores aproximados sujetos a tolerancias de fabricación

TABLA DE FABRICANTE
CARACTERÍSTICAS DE CABLES PARA MEDIA TENSIÓN EPR, TIPO DS, 5,
15, 25 Y 35 Kv CON PANTALLA METÁLICA Y CUBIERTA.
....CONTINUACION

EPR - 25 kV				100% Nivel de Aislamiento Espesor de aislamiento : 6.60 mm (260 mils)				133% Nivel de Aislamiento Espesor de aislamiento : 8.13 mm (320 mils)			
Calibre	Área nominal de la sección transversal	Número de hilos	Diámetro del conductor	Diámetro sobre el aislamiento	Diámetro total aproximado	Peso Total aproximado (kg / 100 m)		Diámetro sobre el aislamiento	Diámetro total aproximado	Peso Total aproximado (kg / 100 m)	
AWG o KCM	mm ²		mm	mm	mm	Cobre	Aluminio	mm	mm	Cobre	Aluminio
10	53.48	19	9.2	23.9	32.5	136	101	26.9	36.0	137	122
20	67.43	19	10.3	25.0	34.1	156	112	28.0	37.1	175	131
30	85.01	19	11.6	26.3	35.4	177	122	29.3	38.5	198	142
40	107.2	19	13.0	28.0	37.1	206	136	31.0	40.2	227	157
250	126.7	37	14.2	29.4	38.6	232	150	32.4	41.7	254	172
300	152.0	37	15.5	30.8	40.0	261	163	33.8	43.1	284	185
350	177.3	37	16.8	32.0	41.3	290	175	35.0	44.4	314	199
400	202.7	37	17.9	33.2	42.5	319	187	36.2	45.6	343	212
500	253.4	37	20.0	35.3	44.7	376	211	38.3	47.7	401	236
600	304.0	61	22.0	37.4	46.9	434	236	40.4	50.4	463	266
750	380.0	61	24.6	40.0	49.9	519	272	43.0	53.0	547	300
1000	506.7	61	28.4	43.8	55.4	673	343	46.8	58.5	704	375

NOTA: Valores aproximados sujetos a tolerancias de fabricación

EPR - 35 kV				100% Nivel de Aislamiento Espesor de aislamiento : 8.76 mm (345 mils)				133% Nivel de Aislamiento Espesor de aislamiento : 10.67 mm (420 mils)			
Calibre	Área nominal de la sección transversal	Número de hilos	Diámetro del conductor	Diámetro sobre el aislamiento	Diámetro total aproximado	Peso Total aproximado (kg / 100 m)		Diámetro sobre el aislamiento	Diámetro total aproximado	Peso Total aproximado (kg / 100 m)	
AWG o KCM	mm ²		mm	mm	mm	Cobre	Aluminio	mm	mm	Cobre	Aluminio
10	53.48	19	9.2	28.3	37.4	167	132	32.1	41.3	194	159
20	67.43	19	10.3	29.4	38.6	183	141	33.2	42.5	213	169
30	85.01	19	11.6	30.7	39.9	208	153	34.5	43.8	237	182
40	107.2	19	13.0	32.5	41.8	239	169	36.3	45.7	269	199
250	126.7	37	14.2	33.8	43.1	265	183	37.6	47.1	297	214
300	152.0	37	15.5	35.2	44.5	296	197	39.0	48.4	328	229
350	177.3	37	16.8	36.4	45.8	326	211	40.2	50.1	362	247
400	202.7	37	17.9	37.6	47.0	356	224	41.4	51.3	393	261
500	253.4	37	20.0	39.7	50.8	431	266	43.5	53.1	471	306
600	304.0	61	22.0	41.8	53.4	495	297	45.6	57.3	534	336
750	380.0	61	24.6	44.4	56.1	580	333	48.2	60.0	621	374
1000	506.7	61	28.4	48.2	60.0	720	360	52.0	63.9	764	434

NOTA: Valores aproximados sujetos a tolerancias de fabricación

**TABLA DE FABRICANTE
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE ALAMBRE NOM. THHS-LS**

ALAMBRE VIAKON* THHW-LS 600 V

Número de artículo	Calibre	Área nominal de la sección transversal	Espesor nominal del aislamiento	Diámetro exterior aproximado	Peso total aproximado	Capacidad de conducción de corriente*		
						60°C	75°C	90°C
	AWG	mm ²	mm	mm	kg / 100 m			
SLZY25	14	2.082	0.76	3.3	3	20	20	25
SLX476	12	3.307	0.76	3.8	4	25	25	30
SLG583	10	5.260	0.76	4.3	6	30	35	40
SLG582	8	8.367	1.14	5.8	10	40	50	55

CABLE VIAKON* THHW-LS 600 V

Número de artículo	Calibre	Área nominal de la sección transversal	Número de hilos	Espesor nominal del aislamiento	Diámetro exterior aproximado	Peso total aproximado	Capacidad de conducción de corriente*		
							60°C	75°C	90°C
	AWG / kCM	mm ²		mm	mm	kg / 100 m			
SLX589	14	2.082	19	0.76	3.5	3	20	20	25
SLX579	12	3.307	19	0.76	4.0	5	25	25	30
SLX589	10	5.260	19	0.76	4.6	7	30	35	40
SLX596	8	8.367	19	1.14	6.2	11	40	50	55
SLX600	6	13.300	19	1.52	8.0	17	55	65	75
SLC327	4	21.150	19	1.52	9.2	25	70	85	95
SLC326	2	33.620	19	1.52	10.8	38	95	115	130
SLX133	1	42.410	19	2.03	12.9	49	110	130	150
SLC325	1-0	53.480	19	2.03	13.9	60	125	150	170
SLC334	2-0	67.430	19	2.03	15.1	74	145	175	195
SLC324	3-0	85.010	19	2.03	16.4	91	165	200	225
SLC323	4-0	107.200	19	2.03	17.9	113	195	230	260
SLC322	250	126.700	37	2.41	20.0	134	215	255	290
SLC321	300	152.000	37	2.41	21.4	159	240	285	320
SLC333	350	177.300	37	2.41	22.7	184	260	310	350
SLC332	400	202.700	37	2.41	23.9	208	280	335	380
SLC331	500	253.400	37	2.41	26.1	257	320	380	430
SLG436	600	304.000	61	2.79	29.0	309	355	420	475
SLF793	750	380.000	61	2.79	31.7	381	400	475	535
SLG437	1 000	506.700	61	2.79	36.6	503	455	545	615

* Entre números de artículo corresponden a conductores con aislamiento de color negro y en empaque de carrete.

Si se requiere en otros colores, favor de solicitarlo.

* Basada en la tabla 310-16 de la NOM-001-SEMI para una temperatura ambiente de 30°C

Nota: Las dimensiones y pesos están sujetos a tolerancias de manufactura.

Calibre	NÚMERO DE ARTÍCULO PARA PRODUCTOS EN CAJAS DE 100 m					
	AWG	Negro	Bianco	Rojo	Verde	Azul	Amarillo
ALAMBRE VIAKON* THHW-LS 600 V						
14	SLX522	SLX523	SLX524	SLX525	SLX526	SLX527
12	SLX528	SLX529	SLX530	SLX531	SLX532	SLX533
10	SLX534	SLX535	SLX536	SLX537	SLX538	SLX539
8	SLX540	SLX541	SLX542	-	-	-
CABLE VIAKON* THHW-LS 600 V						
14	SLX563	SLX564	SLX565	SLX566	SLX567	SLX568
12	SLX573	SLX574	SLX575	SLX576	SLX577	SLX578
10	SLX584	SLX584	SLX585	SLX586	SLX587	SLX588
8	SLX591	SLX595	SLX594	-	-	-

TABLA DE FABRICANTE
CABLE VIAKON® DE COBRE DESNUDO.

Calibre nominal de AWG/ ACM	Área mm ²	Peso kg / km	Capacidad de condición de corriente (1)	TEMPLE DURO CLASE AA				TEMPLE SEMIDURO CLASE A				TEMPLE SUAVE CLASE B						
				Número de partidos	Carga de ruptura por tensión kg	Resistencia eléctrica CD a 20°C ohm / km	Diametro total nominal mm	Número de partidos	Carga de ruptura por tensión kg	Resistencia eléctrica CD a 20°C ohm / km	Diametro total nominal mm	Número de partidos	Carga de ruptura por tensión kg	Resistencia eléctrica a CD a 20°C ohm / km	Diametro total nominal mm			
20	0,519	4,71		DL54	3	852	0,856	6,46	A080	7	683	0,861	5,88	DL78	7	15	33,9	0,92
18	0,823	7,46		DL55	3	1070	0,679	7,25	DL71	7	855	0,682	6,61	J163	7	23	21,4	1,16
16	1,307	11,86		DL56	3	1321	0,539	8,14	A079	7	1071	0,541	7,42	DL79	7	37	13,5	1,46
14	2,082	18,88		DL57	3	1642	0,427	9,14	DL72	7	1342	0,429	8,33	H698	7	55	8,40	1,84
12	3,307	30,00		DL58	3	2156	0,342	9,36	A083	7	1681	0,340	9,36	H491	7	90	5,32	2,32
10	5,260	47,71		A065	7	2156	0,342	9,36	A083	7	1681	0,340	9,36	H492	7	142	3,34	2,93
9	6,633	60,13		A066	7	2688	0,271	10,51	A084	7	2105	0,270	10,51	DL80	7	180	2,65	3,29
8	8,367	75,87	90	A067	7	3341	0,215	11,80	A085	7	2656	0,214	11,80	H454	7	226	2,10	3,70
7	10,55	95,67	110	A068	7	4152	0,171	13,25	A086	7	3301	0,170	13,25	DL81	7	286	1,67	4,15
6	13,30	120,56	130	DL58	12	5049	0,144	15,23	A087	19	4008	0,144	14,57	H453	7	360	1,32	4,66
5	16,76	152,03	150	DL59	12	5974	0,120	16,68	A088	19	4776	0,120	15,96	DL82	7	454	1,05	5,24
4	21,15	191,78	180	DL60	12	6868	0,103	18,02	A089	19	5534	0,103	17,23	N113	7	572	0,832	5,88
3	26,67	241,80	200	DL61	19	8079	0,089	18,43	A090	19	6328	0,089	18,43	H583	7	722	0,660	6,61
2	33,62	304,90	230	A073	19	8959	0,080	19,55	A091	37	7312	0,079	19,61	H495	7	910	0,523	7,42
1	42,41	384,55	270	DL62	19	9957	0,072	20,60	A092	37	7961	0,071	20,66	K637	19	1148	0,415	8,43
1/0	53,45	485,02	310	DL63	37	11231	0,065	21,67	DL73	37	8759	0,065	21,67	H481	19	1447	0,379	9,46
2/0	67,43	611,46	360	DL64	37	12256	0,060	22,63	DL74	37	9553	0,059	22,63	H482	19	1825	0,261	10,63
3/0	85,01	770,87	420	DL65	37	13213	0,055	23,56	DL75	61	10419	0,055	23,59	H483	19	2302	0,207	11,94
4/0	107,2	972,25	460	DL66	37	14139	0,051	24,45	DL76	61	11222	0,051	24,48	H484	19	2789	0,164	13,40
250	126,7	1149	540	DL67	37	15160	0,048	25,32	A094	61	12025	0,047	25,35	H485	19	3428	0,139	14,82
300	152,0	1378	610	DL68	37	15930	0,045	26,14	U300	61	12829	0,044	26,17	H496	37	4115	0,116	16,00
350	177,3	1608	670	DL69	37	17922	0,040	27,74	DL77	61	14329	0,039	27,77	N497	37	4799	0,099	17,30
400	202,7	1838	730	DL70	37	19881	0,036	29,23	A095	61	15921	0,035	29,26	H498	37	5771	0,086	18,49
450	228,0	2068	780											H599	37	5933	0,077	19,61
500	253,4	2297	840											H594	37	6591	0,069	20,66
550	278,7	2527	880											DL83	61	7543	0,063	21,72
600	304,0	2757	940											DL84	61	8328	0,057	22,68
650	329,4	2987	990											DL85	61	9569	0,053	23,59
700	354,7	3216	1040											DL86	61	9226	0,049	24,48
750	380,0	3446	1090											DL87	61	9884	0,045	25,35
800	405,4	3676	1130											DL88	61	10546	0,043	26,17
900	456,0	4135	1220											DL89	61	11862	0,038	27,77
1.000	506,7	4595	1.300											R835	61	13162	0,034	29,26

(1) Calculada para un conductor desnudo, expuesto al sol, operando a una temperatura de 75 °C. Temperatura ambiente: 25 °C. Velocidad del viento: 0,61 m/s y emisividad térmica relativa de la superficie del conductor: 0,5.