VIAKON®

Cálculo de ampacidad por el método Neher-McGratt

Boletín ST006

Agosto 2026



INTRODUCCIÓN

La ampacidad es la corriente máxima que un conductor puede transportar continuamente, bajo las condiciones de uso, sin exceder su rango de temperatura.[1] Hay diversos factores que pueden afectar la capacidad de conducción de corriente de un cable aislado, como, por ejemplo; la temperatura máxima de operación del cable, la temperatura del medio ambiente, la resistividad térmica del suelo, entre otros.

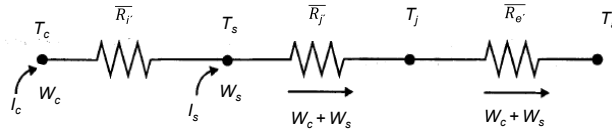
Cuando circula corriente a través de un conductor se genera calor, el cual se disipa a través de su aislamiento, su cubierta y la tierra que lo rodea. Cuando el calor que se genera es igual que el calor que se disipa al exterior, se genera un equilibrio térmico y se dice que el sistema es estable. En un sistema inestable el calor generado es mayor que el calor disipado, lo cual puede provocar el envejecimiento del aislamiento resultando en una falla del cable eléctrico.[2]

La ecuación desarrollada por Neher y Mc Gratt para calcular la ampacidad, o capacidad de conducción de corriente de un cable eléctrico, está basada en principios de transferencia de calor y circuitos térmicos, de manera que no se supere la temperatura máxima de operación del cable evitando de esta manera que se dañe el aislamiento.

El incremento de temperatura del conductor de un cable por encima de la temperatura ambiente puede considerarse que está compuesto por un incremento debido a sus propias pérdidas, el cual puede subdividirse en el aumento provocado por las pérdidas producidas por la corriente en el conductor (I^2R), la cubierta y el ducto, y el aumento producido por sus pérdidas dieléctricas ΔT_d.[3]

Cada uno de estos aumentos de temperatura de los componentes puede considerarse el resultado de una tasa de flujo de calor, expresada en watts por pie, a través de una resistencia térmica expresada en ohm pie térmicos “TOF” (grados Celsius-pie por watt); dicho de otro modo, el aumento radial en grados Celsius para un flujo de calor de un watt distribuido uniformemente a lo largo de un pie de conductor.

El cálculo del incremento de temperatura en estado estable se realiza mediante el análisis mediante el uso de equivalentes térmicos de las leyes de Ohm y Kirchhoff en un circuito térmico sencillo descrito en la Figura 1.[4]



En donde:

I_c	es la corriente en el conductor (A)
W_c	es W generado en el conductor (calor) (W/ft)
I_s	es la corriente en la pantalla metálica (A)
W_s	es W generado en la pantalla
$W_c + W_s$	es W generado en el conductor y en la pantalla (W/ft)
T_c	es la temperatura del conductor (°C)
T_s	es la temperatura de la pantalla (°C)
T_j	es la temperatura de la cubierta (°C)
T_a	es la temperatura ambiente (°C)
$\overline{Ri'}$	es la resistencia térmica del aislamiento (TOF)
$\overline{Rj'}$	es la resistencia térmica de la cubierta (también puede incluir ductos) (TOF)
$\overline{Re'}$	es la resistencia térmica de la tierra o circuito térmico externo (aire, banco de ductos, etc.) (TOF)

Figura 1 - Aplicación de los equivalentes térmicos de las leyes de Ohm y Kirchhoff a un circuito térmico simple

Es importante mencionar que las pérdidas dieléctricas pueden tener un efecto significativo en la capacidad de corriente de múltiples cables de 15 kV a 35 kV instalados en un banco de ductos, o bien en ciertos cables con tensiones nominales mayores que 35 kV. Sin embargo, por lo general, dichas pérdidas son despreciables en cables de circuito único con aislamiento extruido y tensiones nominales de hasta 35 kV, a menos que el factor de disipación aumente considerablemente con temperaturas de operación elevadas.[4]

El objetivo de este boletín técnico es proporcionar una guía para el cálculo de ampacidad de un cable de baja tensión con base en el método de Neher-McGratt.[3]

MÉTODO DE NEHER-McGRATT

La ecuación de Neher-Mc Gratt para el cálculo de ampacidad es la siguiente:

$$I = \sqrt{\frac{T_c - T_a}{R_{dc}\,(1 + Y_c)\overline{R_{ca'}}}} \times 10^3$$

En donde:

I es la ampacidad, en Amperes
T_c es la temperatura de operación del conductor, en °C
T_a es la temperatura ambiente, en °C
R_{dc} es la resistencia de corriente continua del conductor a la temperatura T_c, en μΩ/ft
Y_c es la componente de la resistencia de corriente alterna debida al efecto superficial y efecto de proximidad
$\overline{R_{ca'}}$ es la resistencia térmica efectiva entre el conductor y el medio ambiente que lo rodea, en TOF

Cálculo de la resistencia de corriente continua a 20 °C:

Los valores de la resistencia de corriente continua a 20 °C se pueden consultar en la NMX-J-012-ANCE para conductores de cobre y la NMX-J-032-ANCE para conductores de aluminio, sin embargo, también se pueden calcular por medio de la ecuación siguiente:

$$R_{cc} = \frac{1.02\,\rho c}{CI}\,(\mu\Omega/\text{ft})$$

En donde:

ρc es la resistividad eléctrica del conductor (cmil $\frac{\Omega}{ft}$)
CI es el área del conductor en circular-in (CI)

Tabla 1 – Resistividad eléctrica del cobre y aluminio

Material	ρc (circularmil-Ohm/ft a 20 °C)	R Temperatura inferida de resistencia cero (°C)
Cobre (100 % IACS)	10.371	234.5
Aluminio (61 % IACS)	17.002	228.1

Cálculo de la resistencia c.c. del conductor a 90 °C

$$R_{\text{cc temp operación}} = \frac{R_{cc}\,(r + T_c)}{(r + 20)}\ (\mu\Omega/\text{ft})$$

En donde:

$R_{\text{cc temp operación}}$ es la resistencia de cc a la temperatura de operación (μΩ/ft)
r es la temperatura de resistencia cero (°C)
T_c es la temperatura de operación del conductor (°C)

Cálculo de la componente de la resistencia de corriente alterna debida al efecto superficial y efecto de proximidad

$$Y_c = Y_{cs} + Y_{cp}$$

En donde:

Y_c es la componente de la resistencia de corriente alterna debido al efecto superficial y efecto de proximidad
Y_{cs} es el efecto superficial
Y_{cp} es el efecto de proximidad

Tabla 2 – Valores recomendados de k_s y k_p

Construcción del conductor	Revestimiento de los alambres	Tratamiento	k_s	k_p
Concéntrico redondo	Ninguno	Ninguno	1.0	1.0
Concéntrico redondo	Estaño o aleación	Ninguno	1.0	1.0
Concéntrico redondo	Ninguno	Sí	1.0	0.80
Redondo compacto	Ninguno	Sí	1.0	0.6
Segmentado compacto	Ninguno	Ninguno	0.435	0.6
Segmentado compacto	Estaño o aleación	Ninguno	0.5	0.7
Segmentado compacto	Ninguno	Sí	0.435	0.37
Sectorial compacto	Ninguno	Sí	1.0	(véanse notas)

NOTAS:

1. El término "tratado" denota un conductor completo que ha sido sometido a un proceso de secado e impregnación similar al empleado en el cable de energía de papel.

2. El efecto de proximidad en los conductores sectorial compacto puede considerarse como la mitad del de los conductores redondos compactos que tienen la misma área de sección transversal y espesor de aislamiento.

3. El efecto de proximidad en los conductores anulares se puede aproximar utilizando el valor de un conductor redondo concéntrico de la misma área de sección transversal y espaciamiento. El aumento del diámetro del tipo anular y la eliminación del metal del centro disminuyen el efecto piel, pero para un espaciamiento axial dado, tienden a resultar en un aumento de la proximidad.

4. Los valores indicados anteriormente para los segmentados compactos se refieren a construcciones de cuatro segmentos. Los valores "sin revestimiento y con tratamiento" también pueden tomarse como aplicables a los segmentos compactos de cuatro segmentos con núcleo hueco (aproximadamente 0.75 pulgadas de espesor). Para los segmentos compactos de núcleo hueco de seis segmentos "sin revestimiento y con tratamiento", los datos de prueba limitados indican valores k_s y k_p de 0.39 y 0.33 respectivamente.

Cálculo del efecto superficial

$$Y_{cs} = F_{sp}(x)$$

$$x = \frac{R_{cc}}{k_s}$$

En donde:

R_{cc} es la resistencia de corriente continua a la temperatura de operación del conductor (μΩ/ft)
k_s es el factor de corrección por efecto superficial

Si el valor de x es ≥ 7.2, utilizar la ecuación siguiente:

$$F_{sp}(x) = \frac{11.0}{\left(x + \frac{4}{x} - \frac{2.56}{x^2}\right)^2}$$

Si el valor de x es < 7.2, utilizar la ecuación siguiente:

$$F_{sp}(x) = \frac{11.0\left(1 - \frac{0.1102}{x}\right)}{\left(4 + \frac{4}{x} - \frac{2.56}{x^2}\right)^2}$$

Cálculo del efecto de proximidad

$$Y_{cp} = F_{(xp)}\left(\frac{D_c}{S}\right)^2 \times \left[\frac{1.18}{F_{(xp)} + 0.27} + 0.312\left(\frac{D_c}{S}\right)^2\right]$$

En donde:

$$F(xp) = F_{sp}(x)$$

$$x = \frac{R_{cc}}{k_p}$$

R_{cc} es la resistencia cc a la temperatura de operación (μΩ/ft)
k_p es el factor de corrección por efecto de proximidad
Dc es el diámetro del conductor (plg)
S es el espaciamiento entre cables (plg) (cuando los cables se están tocando, el espaciamiento entre cables es igual al diámetro total del cable).

Cálculo de las resistencias térmicas

El cálculo de las resistencias térmicas depende de la construcción del cable y del tipo de instalación, para fines de este boletín consideraremos las siguientes:

$$\overline{R_{ca}}' = \overline{R_i}' + \overline{R_{sd}}' + \overline{R_c}' + \overline{R_e}'$$

En donde:

$\overline{R_i}'$ es la resistencia térmica del aislamiento (TOF)

$\overline{R_{sd}}'$ es la resistencia térmica del cable al ducto (TOF)

$\overline{R_c}'$ es la resistencia térmica de la pared del ducto (TOF)

$\overline{R_e}'$ es la resistencia térmica de la tierra al ambiente (TOF)

Cálculo de la Resistencia térmica del aislamiento

$$\overline{R_i}' = 0.012\,\bar{\rho}i \log\frac{D_i}{D_c} \quad \text{(TOF)}$$

En donde:

$\bar{\rho}i$ es la resistividad térmica del aislamiento
D_i es el diámetro sobre el aislamiento (plg)
Dc es el diámetro del conductor (plg)

Tabla 3 – Resistividad térmica de materiales utilizados como aislamiento

Material	$\bar{\rho}i$
EPR	500
PVC	600
Polietileno	350
Polietileno de cadena cruzada (XLPE)	350

Cálculo de la resistencia térmica del cable al ducto

Fórmula reducida con la restricción de que D_s' sea un valor de entre 1 – 4 pulgadas para cable en ducto o Conduit y de 3 – 5 pulgadas para cables en tubería.

$$\overline{R_{sd}}' = \frac{n'A}{1 + (B + CT_m)D_s'}$$

En donde:

A, B y C son constantes
D_s' es el diámetro equivalente del grupo de cables (plg)

n' es el número de cables
T_m es la temperatura promedio del medio (°C)

Tabla 4 – Constantes para uso en el cálculo de $\overline{R_{sd'}}$

Condición	A	B	C	A´	B´	Promedio ΔT
Ducto metálico	17	3.6	0.029	3.2	0.19	20
Ductor de fibra en aire	17	2.1	0.016	5.6	0.33	20
Ducto de fibra en concreto	17	2.3	0.024	4.6	0.27	20
Ducto en tránsito en aire	17	3.0	0.014	4.4	0.26	20
Ducto en tránsito en concreto	17	2.9	0.029	3.7	0.22	20
Tubería aislada en gas a 200 psi	3.1	1.16	0.0053	2.1	0.68	20
Tubería aislada en aceite	0.84	0	0.0065	2.1	2.45	10
Ds'= 1.00 × diámetro del cable para un cable. 1.65 × diámetro del cable para dos cables. 2.15 × diámetro del cable para cuatro cables. 2.50 × diámetro del cable para cuatro cables.						

Cálculo de la resistencia térmica de la pared del ducto

$$\overline{R_C}' = 0.0104 \rho c n' \left(\frac{t}{D-t}\right) \quad \text{(TOF)}$$

En donde:

ρc es la resistividad térmica del ducto
n' es el número de cables
t es el espesor de la pared del ducto (plg)
D es el diámetro exterior del ducto (plg)

Tabla 4 – Dimensiones de ductos de metal o PVC

Diámetro nominal (plg)	Diámetro externo (plg)	Pared del ducto (plg)	Diámetro interno (plg)
2	2.375	0.154	2.067
3	3.500	0.216	3.068
4	4.500	0.237	4.026
5	5.563	0.258	5.047
6	6.625	0.280	6.065
8	8.625	0.322	7.981
10	10.75	0.365	10.02

Cálculo de la resistencia térmica de la tierra al ambiente

$$\overline{R_{e'}} = 0.012 \rho_e n' \left[log \frac{D_x}{D_e} + LF log \left(\frac{4L}{D_x}\right)\right] \quad \text{(TOF)}$$

En donde:

ρe es la resistividad térmica del terreno ($°C \frac{cm}{W}$)
n' es el número de cables.
D_x es el diámetro ficticio en el cual comienza el efecto del factor de perdidas (plg)
D_e es el diámetro en el cual comienza la porción de tierra en el circuito térmico (plg)
LF es el factor de pérdidas (*loss factor*)
L es la profundidad del cable tomando como referencia la superficie de la tierra (plg)

$$D_x = 1.02 \sqrt{\alpha \times 24 \text{ h}} \text{ (plg)}$$

$$\alpha = \frac{104}{\rho e^{0.8}}$$

En donde:

α es la difusividad térmica (plg²/h)
ρe es la resistividad térmica del terreno ($°C \frac{cm}{W}$)
D_x es el diámetro ficticio en el cual comienza el efecto del factor de perdidas (plg)

Finalmente, procedemos a sumar todas las resistencias:

$$\overline{R_{ca}}' = \overline{R_t}' + \overline{R_{sd}}' + \overline{R_c}' + \overline{R_e}'$$

Una vez que conocemos todos los valores, podemos sustituirlos en la ecuación de ampacidad:

$$I = \sqrt{\frac{T_c - T_a}{R_{cc}(1 + Y_c)\overline{R_{ca}}'}}$$

BIBLIOGRAFÍA

[1] NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones eléctricas (utilización).

[2] Sistemas eléctricos de distribución. Juan Antonio Yebra Morón. Ed. Reverté.

[3] The calculation of the temperature rise and load capability of cable systems. J.H. Neher and M. H. McGratt. 1957.

[4] IEEE Std 835 – 1994 (R2006) Standard power cable ampacity tables.



VIAKON®

Innovamos con energía