VIAKON®

TENSIONES MÁXIMAS DE JALADO

Boletín ST007

Septiembre 2026



INTRODUCCIÓN

La tensión máxima de jalado es la fuerza mecánica máxima con la que se puede jalar un cable durante su instalación y depende si dicha fuerza se aplica al conductor o a la cubierta. Si la fuerza aplicada es mayor que la tensión máxima permisible, el cable puede sufrir daños severos como la deformación del cable (desplazamiento de los elementos), daño al aislamiento o a la cubierta, reducción de la vida útil del cable, fallas en servicio, entre otras.

Para poder determinar las tensiones máximas de jalado es importante considerar varios factores como el claro del ducto, la posibilidad de atascamiento de los cables eléctricos en el ducto, las presiones laterales, los radios mínimos de curvatura, la trayectoria de la instalación (tramos rectos y curvas), entre otros aspectos más que se consideran en el presente boletín técnico.

Es fundamental considerar las tensiones máximas de jalado para evitar daños mecánicos y eléctricos al cable, así como garantizar la confiabilidad de la instalación.

1. Tensiones máximas de jalado utilizando anillo de tracción en el conductor: [1]

Para conductor de cobre: $T_{máx.} = 7.16 \times n \times A$
Para conductor de aluminio: $T_{máx.} = 5.36 \times n \times A$

En donde:

$T_{máx}$ es la tensión máxima de jalado, en kg.
n es el número de conductores.
A es el área de la sección transversal de cada conductor, en mm^2.

La tensión máxima de jalado para este cálculo es de 2268 kg para cables monoconductores y de 4536 kg para cables multiconductores. Esta limitación se debe a la distribución desigual de las fuerzas de tensión al tirar de varios conductores.

2. Longitudes máximas de tracción utilizando manga de malla de acero sobre la cubierta: [1]

Al utilizar una manga de malla de acero sobre la cubierta, la tensión máxima no debe ser mayor que 448.7 kg ni exceder la tensión máxima que se indica en el inciso 1 anterior.

Procedimiento a seguir para el cálculo [2]

A continuación, se indica la secuencia de cálculo para determinar las longitudes seguras de jalado para cables a instalarse en sistemas de ductos:

- Seleccionar el cable, determinar su diámetro exterior y su peso;
- Determinar el tipo de ducto y definir el tamaño para alojar el número de cables necesarios;
- Calcular el claro, la relación de atascamiento y el factor de corrección por peso;
- Revisar la tensión máxima permitida, las presionas laterales máximas y los radios mínimos de curvatura para el cable en cuestión;
- Diseñar el sistema de ductos. Calcular la tensión y la presión lateral sobre la pared de la curva para cada sección. A medida que el cálculo avanza de una sección de ducto a la siguiente, la tensión existente en una sección determinada, T_2, se convierte en la tensión de entrada, T_1, para la sección siguiente. Verificar si se ha excedido el límite de tensión admisible o de presión lateral.
- Los ángulos se expresan en grados cuando los cálculos de tensión implican funciones trigonométricas (seno, coseno), como en el caso de pendientes ascendentes o descendentes. Los ángulos se expresan en radianes cuando los cálculos de tensión implican funciones exponenciales, como en las curvas de los ductos, véase la Tabla 1.

Tabla 1 – Equivalencia de ángulos

Grados	Radianes
360°	2π
180°	π
90°	π/2
45°	π/4

Selección del ducto

La selección del tamaño del ducto es muy importante, por lo cual se deben considerar los parámetros siguientes:

- El porcentaje máximo de llenado del ducto.
- El claro del cable.
- El atascamiento.

Porcentaje de llenado del ducto

El porcentaje de llenado es un parámetro crítico porque determina cuánto contacto y fricción habrá entre el cable y el ducto. A mayor llenado, mayor tensión de jalado, mayor presión en las curvas y mayor riesgo de dañar al cable.

Cuando hay mayor ocupación en el ducto, además de que hay mayor dificultad para disipar el calor, hay menos espacio libre para que el cable se acomode dentro del ducto, el cable tiene mayor superficie de contacto con la pared interna del ducto, el cable tiende a apoyarse con mayor fuerza sobre la pared exterior del ducto y se incrementa el coeficiente de fricción, principalmente cuando se instalan varios cables en un mismo ducto.

Debido a lo anterior, el tamaño mínimo del ducto debe seleccionarse en función del diámetro exterior del cable y del número de cables que se van a alojar. El número permisible de cables no debe exceder la ocupación permitida que se indica en la Tabla 2, de acuerdo con lo que establece la NOM-001-SEDE:

Tabla 2 – Porcentaje máximo de llenado del ducto [3]

Número de conductores	Porcentaje máximo de llenado
1	53
2	31
Más de 2	40

El porcentaje máximo de llenado del ducto lo podemos determinar de la manera siguiente: [4]

$$P = \frac{d^2}{D^2} \times n \times 100$$

En donde:

P es el porcentaje de llenado del ducto, en %.
n es el número de cables dentro del ducto.
d es el diámetro exterior del cable, en mm.
D es el diámetro interno del ducto, en mm.

Claro del cable

La configuración de tres cables monopolares en un ducto está determinada por la relación entre el diámetro interno del ducto (D) y el diámetro exterior (d) de uno de los cables monopolares (relación D/d), véase la Figura 1.[4]

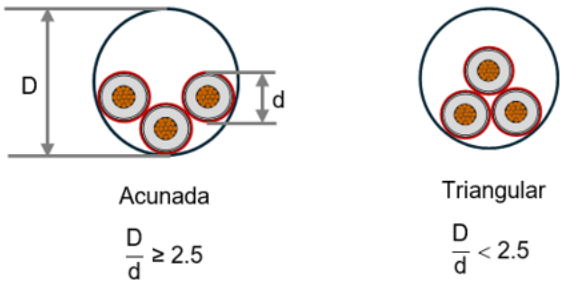
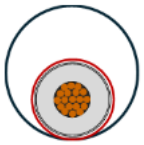


Figura 1 – Configuración de los cables [4]

Se forma una configuración acunada cuando se introducen tres cables monopolares en un ducto donde la relación D/d es igual o mayor que 2.5. Se forma una configuración triangular cuando se introducen tres cables monopolares en un ducto donde la relación D/d es menor que 2.5.

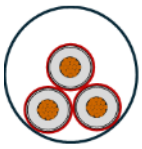
El claro es la distancia entre la parte superior del cable más elevado dentro del ducto y la superficie interior superior de dicho ducto. Debe ser, como mínimo, el 10 % del diámetro interior del ducto o 25 mm, en el caso de cables grandes o instalaciones que requieran numerosas curvas. El claro del cable se calcula por medio de las ecuaciones siguientes:[4]

- Fórmula para calcular el claro cuando sólo hay un conductor:



$$C = D - d$$

- Fórmula para calcular el claro cuando hay tres conductores en configuración triangular:



$$C = \frac{D}{2} - 1{,}366\, d + \frac{D-d}{2}\sqrt{1-\left(\frac{d}{D-d}\right)^2}$$

- Fórmula para calcular el claro cuando hay tres conductores en configuración acunada:



$$C = \frac{D}{2} - \frac{d}{2} + \frac{D-d}{2}\sqrt{1-\left(\frac{d}{2\,(D-d)}\right)^2}$$

En donde:

C es el claro, en mm.
D es el diámetro interior del ducto, en mm.
d es el diámetro exterior del cable, en mm.

Atascamiento

Para evaluar la posibilidad de atascamiento, es necesario realizar una comprobación calculando la relación entre el diámetro interior del ducto, D, y el diámetro exterior de un cable individual, d. Debido a que la curvatura de un cilindro genera una sección transversal ovalada en la curva, se debe utilizar 1,05D como diámetro interior del ducto al aplicar estos límites: [1]

- Si 1.05D/d es mayor que 3.2, el atascamiento no es probable.
- Si 1.05D/d está entre 2.8 y 3.2, el atascamiento es probable.
- Si 1.05D/d es menor que 2.6, el atascamiento no es probable, pero se debe revisar el claro del cable.

En donde:

D es el diámetro interior del ducto, en mm.
d es el diámetro exterior del cable, en mm.

El intervalo crítico de la relación de atascamiento que debe evitarse es de 2.8 a 3.2.

Factor de corrección por peso

El factor de corrección por peso (W_c) es la distribución del peso del conjunto de cables que van a ser jalados. Este factor se calcula para considerar la distribución del peso de los cables individuales en un tendido de múltiples cables, el cual depende de la posición de los cables dentro del ducto. Tanto la configuración acunada como la triangular generan una fuerza normal entre los cables y el ducto mayor que la que existiría si se instala un cable único. Esto puede interpretarse como un aumento efectivo del peso de los cables, lo que da lugar al factor de corrección de peso.

- Un cable

  $W_c = 1$



- 3 cables (triangular)

$$W_c = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{d}{D-d}\right)^2}}$$



- 3 cables (acunada)

$$W_c = 1+\frac{4}{3}\left(\frac{d}{D-d}\right)^2$$



- 4 cables o más

  $W_c = 1.4$



En donde:

Wc es el factor de corrección por peso.
D es el diámetro interior del ducto, en mm.
d es el diámetro exterior del cable, en mm.

Presiones laterales

La presión lateral del cable (P_L) es la presión radial que experimenta el cable al ser instalado a través de una sección curva, es decir, la presión que se ejerce sobre el cable al doblarlo. Esta presión se debe a la tensión y al peso del cable, que tienden a forzarlo contra la pared del ducto. Las presiones laterales se determinan por medio de las ecuaciones siguientes:[2]

- Para el tendido de un solo cable en el ducto:

$$P_L = \frac{T}{R}$$

- Para el tendido de tres conductores en acomodo triangular:

$$P_L = \frac{W_c T}{2R}$$

- Para el tendido de tres conductores en acomodo tipo acunada:

$$P_L = (3W_c - 2)\frac{T}{3R}$$

En donde:

P_L es la presión lateral (kg/m)
T es la tensión aplicada en el cable a la salida de la curva (kg)
R es el radio de curvatura del cable (m)
W_c es el factor de corrección del peso debido al acomodo de los cables en el ducto.

Nota: Para mayor información sobre presiones laterales, puede consultarse el Boletín Técnico ST005.

Radios mínimos de curvatura

Durante la instalación, los cables suelen doblarse o flexionarse para rodear obstáculos y seguir cambios de dirección. Si los cables se doblan más de lo debido, puede reducirse su vida útil o dañarse. El radio mínimo de curvatura es el doblado máximo que se puede ejercer sobre el cable eléctrico sin dañarlo.

Cada cable tiene un radio mínimo de curvatura que debe respetarse para evitar una degradación en los materiales y en el desempeño del conductor eléctrico.

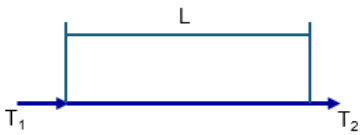
Nota: Para mayor información sobre radios mínimos de curvatura, puede consultarse el Boletín Técnico ST004.

ECUACIONES PARA CALCULAR LAS TENSIONES DE JALADO EN TRAMOS RECTOS Y EN CURVAS

A continuación, se presentan las ecuaciones para calcular las tensiones de jalado en tramos rectos y en curvas. La definición de los símbolos es la siguiente:[2]

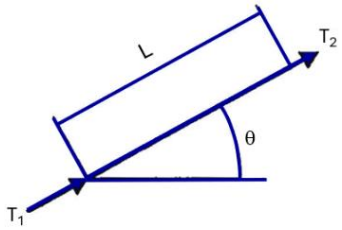
T_1 es la tensión a la entrada de ese tramo, en kg.
T_2 es la tensión a la salida de ese tramo, en kg.
W es el peso del cable por unidad de longitud, en kg/m.
L es la longitud del tramo recto, en m.
R es el radio de la curva, en m.
K es el coeficiente de fricción.
W_c es el factor de corrección por peso.
θ es el ángulo (en grados o en radianes, según aplique).

Cálculo de la tensión de jalado en tramo recto horizontal



$$T_2 = T_1 + WKW_cL$$

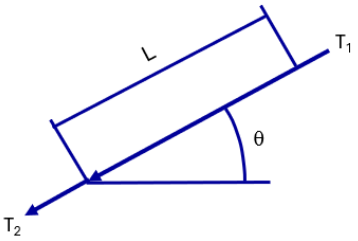
Cálculo de la tensión de jalado en tramo ascendente



$$T_2 = T_1 + LW(\text{sen}\ \theta + KW_c \cos\theta)$$

θ en grados

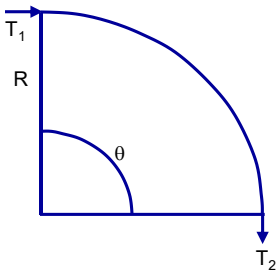
Cálculo de la tensión de jalado en tramo descendente



$$T_2 = T_1 - LW(\text{sen}\ \theta - KW_c \cos\theta)$$

θ en grados

Cálculo de la tensión de jalado en curva horizontal

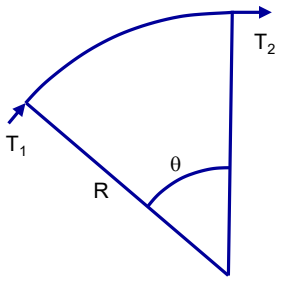


$$T_2 = T_1 \cos(K\theta) + \text{sen}(K\theta)\sqrt{T_1^2+(WR)^2}$$

$$K = KW_c$$

θ en radianes

Cálculo de la tensión de jalado en curva vertical convexa hacia arriba

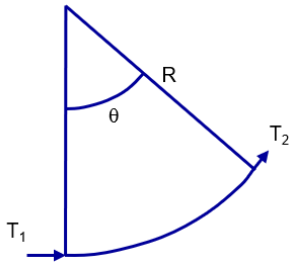


$$T_2 = T_1 e^{K\theta} + \frac{WR}{1+K^2}\left[2Ke^{K\theta}\text{sen }\theta + (1-K^2)(1- e^{K\theta}\cos\theta)\right]$$

$K = KWc$

θ en radianes

Cálculo de la tensión de jalado en curva vertical cóncava hacia arriba

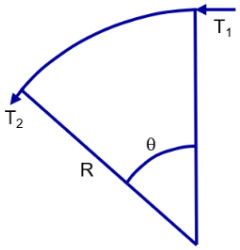


$$T_2 = T_1 e^{K\theta} - \frac{WR}{1+K^2}\left[2K\text{sen }\theta - (1-K^2)(e^{K\theta} - \cos\theta\right]$$

$K = KW_c$

θ en radianes

Cálculo de la tensión de jalado en curva vertical convexa hacia abajo

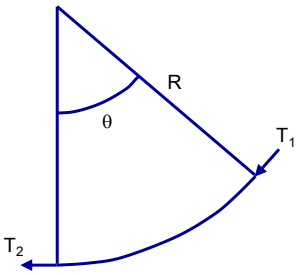


$$T_2 = T_1 e^{K\theta} + \frac{WR}{1+K^2}\left[2K\text{sen }\theta - (1-K^2)(e^{K\theta} - \cos\theta)\right]$$

$K = KW_c$

θ en radianes

Cálculo de la tensión de jalado en curva vertical cóncava hacia abajo



$$T_2 = T_1 e^{K\theta} - \frac{WR}{1+K^2}\left[2Ke^{K\theta}\text{sen }\theta + (1-K^2)(1-e^{K\theta}\cos\theta\right]$$

$K = KW_c$

θ en radianes

Los valores de $e^{K\theta}$ se indican en la Tabla 3. El coeficiente de fricción es función de la presión de apoyo en la pared lateral, a medida que aumenta la presión de apoyo en la pared lateral, el coeficiente de fricción disminuye. Los valores de fricción resultantes de presiones elevadas en la pared lateral pueden aproximarse a 0.1.

Tabla 3 – Valores de $e^{K\theta}$ [1][5]

Ángulo de curvatura en grados	Valores de $e^{K\theta}$							
	K = 0.1	K = 0.2	K = 0.3	K = 0.35	K = 0.4	K = 0.5	K = 0.6	K = 0.75
15	1.03	1.05	1.08	1.10	1.11	1.14	1.17	1.22
30	1.05	1.11	1.16	1.20	1.23	1.30	1.36	1.48
45	1.08	1.17	1.26	1.32	1.37	1.48	1.60	1.81
60	1.11	1.23	1.36	1.44	1.52	1.68	1.87	2.19
75	1.14	1.3	1.48	1.58	1.68	1.92	2.18	2.65
90	1.17	1.37	1.6	1.73	1.87	2.19	2.57	3.25

En la Tabla 3 se indican valores típicos del coeficiente de fricción dinámica para condiciones de baja presión de apoyo en la pared lateral, utilizando un lubricante para el jalado. Los valores exactos pueden obtenerse del fabricante del lubricante para el tipo específico utilizado. El coeficiente de fricción para condiciones de alta presión de apoyo en la pared lateral puede ser menor.

En la Tabla 4 se presentan valores típicos del coeficiente de fricción. El coeficiente de fricción dinámica (K) es una medida de la fricción entre un cable en movimiento y el ducto. Este coeficiente puede influir considerablemente en el cálculo de la tensión. Puede variar entre 0,1 y 1,0 con lubricante y superar el valor de 1,0 sin lubricante. Los lubricantes deben ser compatibles con los componentes del cable y aplicarse mientras se realiza el jalado del mismo. Las operaciones de jalado nunca deben detenerse y reanudarse, ya que el coeficiente de fricción estática siempre será mayor que el coeficiente de fricción dinámica. [4]

Tabla 4 - Coeficientes de fricción[5]

Parte exterior del cable	Tipo de ducto			
	M	PVC	FIB	ASB
PVC - Policloruro de vinilo	0.4	0.35	0.5	0.5
PE - Polietileno de alta masa molecular y baja densidad	0.35	0.35	0.5	0.5
PO - Poliolefina	0.35	0.35	0.5	0.5
CP - Polietileno clorosulfonado	0.5	0.5	0.7	0.6
XLPE - Polietileno de cadena cruzada	0.35	0.35	0.5	0.5
Nylon	0.4	0.35	0.5	0.5
CPE - Polietileno clorado	0.5	0.5	0.7	0.6
Código para el ducto: M - Metálico, de acero o aluminio PVC - Policloruro de vinilo FIB - Ducto de fibra ASB - Asbesto-cemento				

BIBLIOGRAFÍA

[1] IEEE Std 576-2000 Recommended Practice for Installation, Termination, and Testing of Insulated Power Cable as Used in Industrial and Commercial Applications.
[2] AEIC CG5 2005 Underground extruded power cable pulling guide.
[3] NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas (utilización).
[4] Power cable manual 4th edition. 2005 Southwire Company.
[5] Manual del electricista, Viakon. Junio 2020.



viaKON®

Innovamos con energía