PARÁMETROS DE INSTALACIÓN Y MANIPULACIÓN DE CABLES PORTÁTILES PARA USO EN MINERÍA

INTRODUCCIÓN

La siguiente información es presentada como una guía básica para la instalación y manipulación de cables flexibles no armados empleados en operaciones mineras. Este documento no pretende ser una referencia exhaustiva en este tema, principalmente se enfoca en los parámetros de instalación de cables, que deben ser vistos como complemento a las buenas prácticas y las experiencias propias de cada operación minera en particular. Dado el carácter general de las recomendaciones aquí incluidas y considerando la existencia de condiciones particulares en cada proyecto, es responsabilidad de cada usuario la correcta aplicación de esta información.

ALCANCE

Cables portátiles tipo SHD, SHD-GC, G, G-C, o similares con conductores flexibles de cobre estañado o sin estañar y con cubiertas de Poliuretano (TPU) o Polietileno Clorado (CPE).

DEFINICIONES:

En cualquier instalación o situación de manipulación de un cable, se deben considerar distintos factores importantes como son: la temperatura ambiente, equipos y accesorios utilizados, medio de instalación, rozamiento con superficies, elementos y procedimientos de seguridad, esfuerzos a los que pueda estar sometido el cable y por supuesto las limitaciones físicas del mismo.

A continuación se presentan las principales consideraciones y fórmulas de cálculo para los siguientes parámetros:

1. Radio de curvatura mínimo
2. Presión lateral
3. Tensión máxima en el cable con presión lateral y radio de curvatura límites
4. Tensión máxima de tiro.
    - 4.1. Con pernos de tiro
    - 4.2. Con mallas tiracables
5. Longitud máxima de arrastre
    - 5.1. Usando malla tiracables.
    - 5.2. Usando algún dispositivo que garantice el radio de curvatura
6. Longitud máxima en suspensión:
    - 6.1 Con mallas de soporte
    - 6.2. Curvado desde una superficie superior

1. Radio de curvatura mínimo

Es el radio mínimo recomendado al que un cable puede ser curvado de forma permanente sin que se vea afectada su estructura y los materiales que lo componen.

Este radio se mide con respecto a la superficie interna del cable curvado, y no con el eje del cable.

Generalmente se hace referencia al radio mínimo de curvatura como un factor relacionado con el diámetro exterior del cable. Para el caso de cables mineros portátiles, tipo SHD, SHD-GC, G-GC, y otros considerados en la norma ICEA S-75-381, el radio mínimo de curvatura es 6 veces el diámetro exterior del cable cuando su voltaje de operación es hasta 5kV, y 8 veces el diámetro del cable cuando el voltaje de operación es mayor a 5kV.

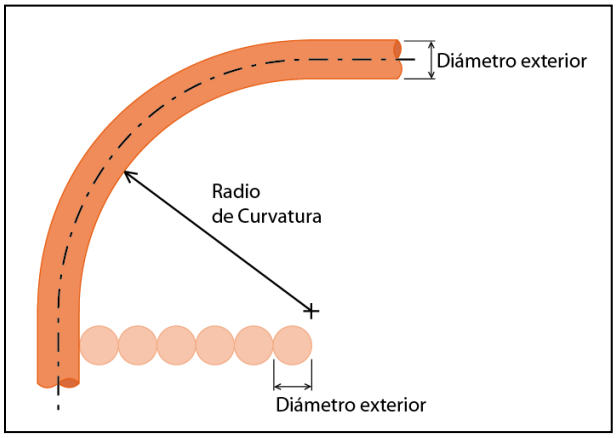

Figura 1. Radio de Curvatura

Nota 1: Los radios mínimos de curvatura indicados por la norma no aplican para superficies curvas donde el cable esté sometido a tensión mientras está siendo tirado para su instalación. En estos casos es una buena práctica considerar radios de curvatura mayores (1,5 veces el radio mínimo) y tener la precaución de no exceder la presión lateral máxima ejercida sobre el cable en la zona de curvatura.

2. Presión lateral

La presión lateral es el esfuerzo en dirección radial ejercido sobre el aislamiento y revestimiento de un cable que está siendo presionado en una superficie curva sobre su trayectoria cuando es sometido a tensión mecánica.

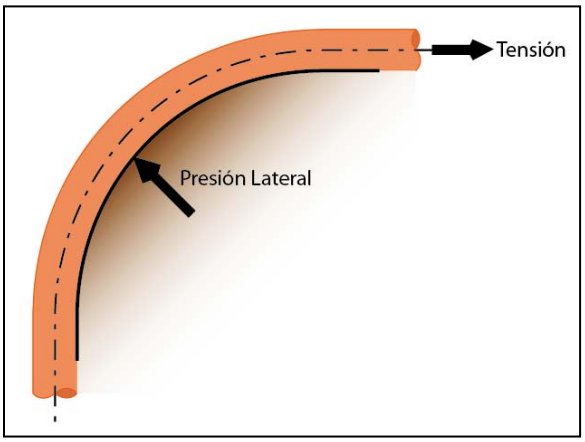

Fig. 2. Presión lateral en el cable

Aunque este parámetro se considera de mayor relevancia cuando se instalan cables en ductos o en bandejas, existen situaciones en la operación minera en las que los cables pueden estar sometidos a presión lateral, como sucede cuando éste se descuelga libremente sobre una ladera desde un banco (Ver fig. 3).

Fig. 3. Cable SHD sometido a presión lateral

La presión lateral es directamente proporcional a la tensión a la que está siendo tirado el cable, e inversamente proporcional al radio en que está siendo curvado, y puede ser calculada usando la siguiente fórmula:

$$P_L = \frac{T}{r} \qquad (1)$$

Donde,

***P_L**= Presión Lateral [kg-f/m]*
***T**= Tensión aplicada en el cable [kg-f]*
***r**=radio de curvatura del cable [m]*

Nota: Se recomienda que la presión lateral en los cables no exceda los 743 kg-f/m.

3. Tensión máxima en el cable cuando la presión lateral y el radio de curvatura están en valores límites

Debido a que existen límites recomendados respecto a la **presión lateral** y al **radio de curvatura** a los que puede estar sometido un cable para favorecer su desempeño óptimo, cuidando que las propiedades mecánicas y eléctricas de sus componentes no se vean afectadas por su instalación o manipulación, se sugiere calcular la tensión máxima a la que podría estar siendo sometido el cable cuando sea curvado hasta su **radio de curvatura mínimo** y llegue a la **presión lateral máxima**. La fórmula a emplear es la siguiente:

$$T_{máx.lím} = P_{L\,máx.} * r_{mín.} \qquad (2)$$

Donde,

***$T_{máx.lím.}$**= Tensión máxima por condiciones límite de instalación [kg-f]*
***$P_{Lmáx.}$**= Presión lateral máxima = 743 [kg-f/m]*
***$r_{mín}$**=radio de curvatura mínimo [m]*

Ejemplo 1: Un cable SHD 8kV 3x3/0AWG, cuyo diámetro externo es de 60mm, tiene un radio de curvatura mínimo de 60mm x 8 = 480mm (0,48m) y es descolgado formando una curva similar a la mostrada en la figura 3. En este caso el cable no debería someterse a tensiones mecánicas por encima de 357 kg-f

$$T_{máx.lím} = P_{L\,máx.} * r_{mín.}$$

$$T_{máx.lím}=743 \text{ kg-f/m} * 0{,}48 \text{ m} = 357 \text{ kg-f}$$

4. Tensión máxima de tiro

Es la tensión máxima que puede aplicarse a un cable durante el proceso de instalación o reubicación y depende de la resistencia mecánica de los componentes del cable, así como de los accesorios de tiro empleados para esta tarea.

En cualquier caso se considera siempre que el cable que está siendo tirado, está deslizándose suavemente en forma recta sobre rodillos de libre rotación o sobre una superficie limpia y libre de irregularidades que puedan dañar la integridad del cable.

4.1. Tensión máxima con pernos de tiro (Pulling eyes)

Los pernos de tiro son accesorios que van fijados directamente sobre el cobre de los conductores de fase, y funcionan como medio de sujeción para tirar del cable. Cuando se emplean estos accesorios, el cable se debe tirar de todos los conductores de fase, sin incluir los conductores de tierra ni el piloto para este propósito.

Fig. 4. Perno de tiro

La tensión máxima de tiro cuando se usan estos dispositivos se calcula con la siguiente fórmula, y se recomienda que no exceda 500kg-f, con la excepción indicada en la nota 2:

$$\boldsymbol{T_{máx.perno} = 7 * n * S} \qquad (3)$$

Donde,

$T_{máx.\ perno}$= Tensión máxima de tiro del cable usando pernos [kg-f]
n= Número de conductores conectados al perno
S= sección nominal de cada conductor [mm²]

Nota 2: Cuando la tensión máxima calculada con la fórmula (3) resulta mayor que 500 kg-f, y el peso lineal del cable es mayor que 3,3 kg/m, la tensión máxima de tiro se calcula de la siguiente manera:

$$\boldsymbol{T_{máx.perno} = 150 * W} \qquad (4)$$

Donde:
W= peso lineal del cable [kg/m]

Ejemplo 2: Al calcular la fuerza de tiro con pernos para un cable SHD 8kV 3x3/0+2X2+1X4AWG, usando la fórmula (3) da como resultado una tensión máxima de 1785 kg-f.

$$T_{máx.perno} = 7*3*85\text{mm}^2 = 1785$$

Como este resultado es mayor que 500 kg-f y el cable pesa 6,5kg/m, se debe usar entonces la fórmula (4), resultando una fuerza máxima de tiro de 975 kg-f:

$$T_{máx.perno} = 150*6{,}5 = 975$$

4.2. Tensión máxima con mallas tiracables (Cable stocking, pulling grip, cable sock)

Las mallas tiracables son accesorios que distribuyen la fuerza de tiro alrededor del cable. Y pueden instalarse en un extremo del cable, o en cualquier punto intermedio de su extensión.

Fig. 5. Malla o media tiracables

Cuando se emplean estos accesorios, la carga máxima que se le puede aplicar al cable está en función de la resistencia mecánica y de la sección transversal del material de revestimiento del cable, y puede ser calculada con la siguiente fórmula:

$$T_{máx.malla} = F * A$$

$$A = (D * e - e^2) * \pi$$

$$\boldsymbol{T_{máx.malla} = F * (D * e - e^2) * \pi} \qquad (5)$$

$T_{máx.\ malla}$= Tensión máxima de tiro del cable usando malla [kg-f]

F= Fuerza máxima de tensión según el material de revestimiento. Poliuretano (TPU): 0,52 kg-f/mm²; Polietileno Clorado (CPE): 0,34 kg-f/mm²]

A= sección transversal del revestimiento [mm²]

D= diámetro exterior del cable [mm]

e= espesor nominal de revestimiento [mm]

Nota: Cuando se considere el uso de mallas para tirar el cable, la tensión no puede exceder la fuerza máxima calculada para usar pernos de tiro desde el conductor.

Ejemplo 3: Un cable SHD 8kV 3x3/0AWG con revestimiento en CPE tiene un diámetro exterior de 60mm y un espesor de revestimiento de 6,35mm. La tensión máxima que se podría aplicar al cable al tirarlo con una malla tira cables sería de 364 kg-f.

$$T_{máx.malla} = 0{,}34 * (60*6{,}35 - 6{,}35^2) * \pi$$

$$T_{máx.malla} = 364 \text{ kg-f}$$

Con el ejemplo 2 se puede verificar además que la tensión al tirar con malla no sobrepasa la carga máxima de tiro desde los conductores.

5. Longitud máxima de arrastre:

Es la longitud máxima de cable que puede ser arrastrada, que se recomienda no sobrepasar para no tensionar el cable en exceso.

Para evitar el maltrato en el cable por el uso de sogas o cuerdas (ver figura 6), se recomienda usar algún dispositivo que permita repartir los esfuerzos de forma uniforme en una mayor superficie del cable, y dependiendo de éstos, la longitud máxima de arrastre se calcula de diferente manera.

Fig. 6. Cables arrastrados con sogas
(Fuente: Nexans Amercable y engineersaustralia.org.au)

5.1. Longitud máxima de arrastre con malla tiracables:

Fig. 7. Malla o media tiracables con apertura lateral

Cuando el cable es arrastrado directamente sobre el terreno usando mallas de tiro, la longitud máxima de arrastre se puede calcular así:

$$L_{máx.arrastre.malla} = \frac{T_{máx.malla}}{0{,}5*W} \qquad (6)$$

Donde,

$L_{máx.arrastre\ malla}$= Longitud máxima de cable arrastrado con malla [m]

$T_{máx.\ malla}$= Tensión máxima de tiro del cable usando malla [kg-f] Calculado de acuerdo al punto 4.2.

W= peso lineal del cable [kg/m]

Ejemplo 4: Para un cable SHD 8kV 3x3/0AWG, cuya tensión máxima de tiro con malla es de 364 kg-f (Ejemplo 3) y pesa 6,5kg/m, podría arrastrarse como máximo un tramo de 112 metros cuando se arrastra usando mallas tiracables.

$$L_{máx.arrastre.malla} = \frac{364}{0{,}5*6{,}5} = 112 \text{ m}$$

5.2. Longitud máxima de arrastre con dispositivo que garantice el radio de curvatura

Fig. 8. Dispositivos para tiro de cables en curva
(Fuente: Nexans Amercable y engineersaustralia.org.au)

Cuando el cable es arrastrado directamente sobre el terreno usando algún dispositivo o estructura que garantice el radio de curvatura mínimo (Fig. 8), la longitud máxima de arrastre se puede calcular así:

$$L_{máx.arrastre.curvado} = \frac{T_{máx.lím}}{0{,}5 * W}$$

Donde,

$L_{máx.arrastre\ curvado}$= Longitud máxima de cable arrastrado usando un accesorio que garantice el radio de curvatura mínimo [m]. Corresponde a la longitud del cable a cada lado de la curva

***$T_{máx.lím.}$**= Tensión máxima por condiciones límite de instalación [kg-f] Calculada de acuerdo a sección 3.*

***W=** peso lineal del cable [kg/m]*

Ejemplo 5: Un cable SHD 8kV 3x3/0AWG puede someterse a una tensión máxima de 357 kg-f (Ejemplo 1) y pesa 6,5kg/m, podría arrastrarse como máximo un

tramo de 110 metros cuando se arrastra usando algún dispositivo como los de la figura 8.

$$L_{máx.arrastre.curvado} = \frac{357}{0{,}5*6{,}5} = 110 \text{ m}$$

6. Longitud máxima en suspensión vertical

Cuando el cable en su recorrido hace cambios de nivel, y queda suspendido desde un extremo superior lo recomendado es usar algún método que permita repartir el peso del cable de forma uniforme en la mayor superficie posible del cable, y dependiendo de éste, la longitud máxima en suspensión se calcula de diferente manera.

6.1: Longitud máxima en suspensión vertical usando mallas de soporte

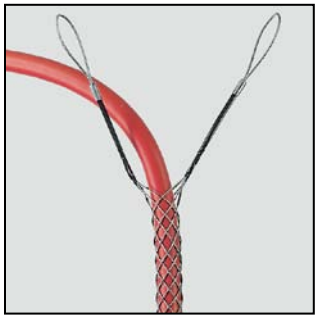

Fig. 9. Malla de soporte de cables

Son mallas similares a las usadas para el tiro del cable, pero tienen características que las hacen específicas para funcionar como soporte permanente. Para calcular la longitud máxima del cable que se puede dejar suspendido se usa la siguiente fórmula:

$$L_{máx.susp.malla} = \frac{T_{máx.malla}}{W}$$

L máx. susp. malla *= Longitud máxima de cable suspendido desde una malla [m]*

T máx. malla*= Tensión máxima de tiro del cable usando malla [kg-f] (Calculada según sección 4.2)*

W*= peso lineal del cable [kg/m]*

Ejemplo 6: El cable SHD 8kV 3x3/0AWG, cuya tensión máxima de tiro con malla es de 364 kg-f (Ejemplo 3) y pesa 6,5kg/m, podría suspenderse como máximo un tramo de 56 metros cuando se usen mallas de soporte adecuadas.

$$L_{máx.susp.malla} = \frac{364}{6{,}5} = 56m$$

Nota: se deben seleccionar mallas con la resistencia mecánica suficiente para soportar de forma segura el peso del cable suspendido.

6.2. Longitud máxima en suspensión vertical desde un punto en el cual el cable está curvado

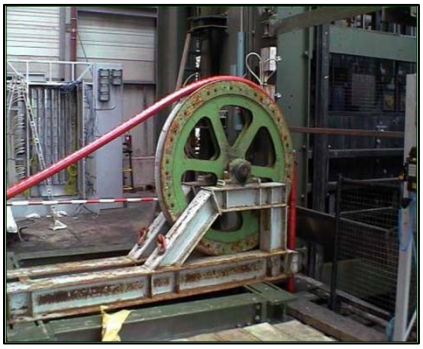

Fig. 10. Cable suspendido en forma vertical desde una polea.

Cuando el cable está suspendido desde una superficie uniforme con una trayectoria que respeta el radio de curvatura mínimo, se puede calcular la longitud máxima a descolgar usando la siguiente fórmula:

$$L_{máx.susp.curva} = \frac{T_{máx.lím}}{W}$$

Donde,

L máx. susp. curva = Longitud máxima de cable suspendido desde una malla [m]

T máx.lím.*= Tensión máxima por condiciones límite de instalación [kg-f] Calculada de acuerdo a sección 3.*

W*=* peso lineal del cable [kg/m]

Ejemplo 7: El cable SHD 8kV 3x3/0AWG que puede someterse a una tensión máxima de 357 kg-f (Ejemplo 1) y pesa 6,5kg/m, podría suspenderse como máximo un tramo de 55 cuando se instale en forma similar a la mostrada en la figura 10.

REFERENCIAS

Flexible Mining Cables - Made for extremes. NSW Goberment / Trade & Investment. Owen Barry. 2013. Disponible en http://www.engineersaustralia.org.au/

IEEE Std 690. IEEE Standard for the Design and Installation of Cable Systems for Class 1E Circuits in Nuclear Power Generating Stations. 2004

Trailing Cable Management. Nexans Amercable. Mark Fuller. Murray Duncan.

ANSI/NEMA WC58/ICEA S-75-381-2008 Portable and Power Feeder Cables for Use in Mines and Similar Applications.