

Cómo reducir el tiempo de inactividad y prolongar la vida útil del cable

Cuidado y mantenimiento del cable para minería subterránea



Cómo reducir el tiempo de inactividad y prolongar la vida útil del cable

Cuidado y mantenimiento de cables en minería subterránea

Índice

El altísimo costo del tiempo de inactividad del cable hoy en día	3
Diseño de cables para minería subterránea	3
Diseño de cables para minería subterránea	6
Cómo fallan los cables para minería subterránea	8
El cuidado y mantenimiento correctos reducen notoriamente el tiempo de inactividad	10
Resumen de las formas de reducir el tiempo de inactividad del cable	13
Cómo lo ayuda General Cable a reducir el tiempo de inactividad	15

La información contenida en la presente es para su evaluación por parte de personas con capacitación técnica. Cualquier persona que se apoye en este documento lo hace a su propia discreción y a su propio riesgo, asume todos los riesgos y responsabilidades en relación con dicho uso y General Cable no tendrá responsabilidad alguna al respecto de él, sean los reclamos por contrato, de manera extracontractual o por otra teoría legal. General Cable no otorga declaraciones ni garantías, explícitas o implícitas, en lo que respecta a la precisión, completitud o confiabilidad del presente documento.

Ha habido grandes avances en las técnicas de producción y minería en los últimos 40 años y con la introducción de estos métodos de minería de alta producción, se ha dado aún más importancia a asegurar un flujo continuo de corriente a estas máquinas. Esto ha cobrado más importancia aún, dado el entorno económico altamente competitivo de hoy en día.

Los cables de marca Anaconda de General Cable han sido diseñados para reducir el tiempo de inactividad vinculado a cables, ya que este factor representa un fuerte impacto en la rentabilidad de la mina.

En operaciones de estas magnitudes, cada minuto de inactividad es muy costoso y, una vez perdido, nunca se puede recuperar. Esto nos ha llevado a reunir gran cantidad de información y experiencia a lo largo de los años sobre cómo se puede minimizar dicho tiempo de inactividad.

Este folleto representa un volumen de conocimiento oportuno y actualizado para la minería subterránea. Reduce nuestras recomendaciones a procedimientos simples que pueden transmitirse fácilmente a todo su personal operativo.

Hay disponible un documento similar sobre cuidado y mantenimiento de cables en minería de superficie.



El altísimo costo del tiempo de inactividad de los cables hoy en día

El desempeño confiable de los cables en la minería subterránea moderna es fundamental para una minería de bajo costo. La interrupción no programada de la producción que resulta de la falla de cables cuesta mucho más de lo que se cree generalmente. Los costos de tonelaje perdido, interés, depreciación, sobrecarga y trabajo vinculados con este tipo de inactividad puede exceder la inversión inicial en cables. Esto enfatiza la importancia de seleccionar cables de la más alta calidad.

Para una verdadera representación, los costos finales de cables deben incluir el costo de reparación y del tiempo de inactividad. Durante un periodo de tiempo, este costo puede expresarse en dólares por tonelada de carbón producido. La selección, el manejo y el mantenimiento cuidadosos de los cables pueden recortar estos costos hasta la mitad de 1%.

Para lograr esto, es invaluable contar con una comprensión del diseño de los cables subterráneos y sus limitaciones para un rendimiento óptimo.

Diseño de cables para minería subterránea

Los cables de las máquinas mineras de principios de 1900 generalmente estaban hechos con un conductor flexible de cobre, una pared de aislamiento de caucho y una cobertura externa de material fibroso.

A medida que cambiaron las aplicaciones y los requisitos de servicio, cambiaron los cables para minería. El complejo diseño de alto nivel de ingeniería de hoy en día (figura 1) saca ventaja de los materiales modernos de revestimiento y aislamiento polimérico y de las técnicas de trenzado y blindaje, lo que otorga seguridad, durabilidad y rendimiento óptimos.

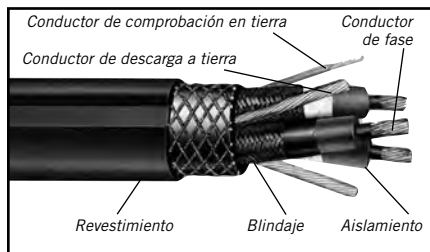


Figura 1

Aquí se encuentra una breve descripción de cada uno de los componentes: (No se incluyen todos estos componentes en todos los diseños de cables, y hay algunas excepciones en cuanto a la elección de los materiales, como se explica más adelante en la sección “Aplicaciones de cables en minería subterránea”.)

Revestimiento

El revestimiento es fundamental en cables para minería subterránea y es la “primera línea de defensa” contra los entornos físicos y mecánicos adversos.

El neopreno, que fue por largo tiempo el material de revestimiento estándar para cables planos y MP-GC, ha sido reemplazado por un compuesto de polietileno clorado (CPE), que brinda una mejor resistencia a la tracción, alta resistencia a la abrasión, flexibilidad excelente y un amplio rango térmico desde 90°C hasta -50°C.

El CPE posee una resistencia natural al ozono, lo que lo hace especialmente adecuado para aplicaciones de alta tensión, y supera las Pruebas de Llama de la Administración de seguridad y salubridad minera (MSHA).

Blindaje

Los cables de alta tensión (superior a 2 kV) vienen blindados por razones de ingeniería bien establecidas. Las conocidas funciones del blindaje son:

1. Lograr una distribución simétrica y radial de la tensión dentro del aislamiento para eliminar, con fines prácticos, las tensiones longitudinales en la superficie del aislamiento o el revestimiento.
2. Ofrecer una capacitancia definida para la tierra del conductor aislado, presentando así una impedancia de sobrecarga uniforme y minimizando el reflejo de ondas de tensión dentro del tramo de cable.
3. Reducir el riesgo de descarga eléctrica y el peligro para la vida y la propiedad.

El desempeño confiable de los cables en la minería subterránea moderna es fundamental para una minería de bajo costo.

Las pruebas indican que el blindaje trenzado de cobre/textil es mecánicamente superior a un trenzado totalmente de cobre.

Blindaje (cont.)

Se ha descubierto que los alambres del blindaje también cumplen otra función, particularmente importante, en los casos en que la continuidad de descarga a tierra es fundamental. En modelos donde se colocan en el cable conductores de descarga a tierra, en contacto con el blindaje todo a lo largo del cable, se asegura una continuidad de descarga a través de la cantidad infinita de caminos paralelos provistos.

Últimamente, ha habido un interés creciente en el blindaje de cables de baja tensión para eliminar el peligro de descarga eléctrica, aunque aparece una objeción común: la complejidad de los empalmes y las terminaciones.

Hay dos tipos de blindaje flexible que se vinculan con la minería subterránea:

1. Trenzado totalmente de cobre.
2. Trenzado de cobre/textil.

Las pruebas indican que el blindaje trenzado de cobre/textil es mecánicamente superior a un trenzado totalmente de cobre. Esto se debe mayormente a que los alambres individuales cruzan por sobre hebras en lugar de sobre otros alambres. (Figura 2)

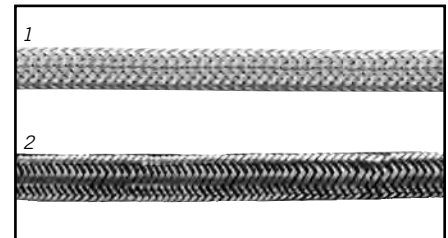


Figura 2

Sistema de descarga a tierra

Los conductores de descarga a tierra y los alambres de blindaje no pueden separarse unos de los otros cuando se considera la impedancia efectiva de tierra debido a que juntos forman todo el sistema de descarga a tierra.

Como consecuencia, se producen pocos cambios en la impedancia del sistema de descarga a tierra luego de que los componentes individuales han padecido fatiga por flexión extrema. De hecho, se ha demostrado que el sistema de descarga a tierra seguirá funcionando mucho tiempo después de que las fallas en el conductor de fase hagan que el cable ya no sea operativo.

La función de este sistema, teóricamente, es transmitir la corriente de falla y limitar simultáneamente la caída de tensión resultante en el circuito de descarga a tierra externo a la resistencia de descarga a tierra a no más de 100 voltios en sistemas de alta tensión y 40 voltios en sistemas de baja tensión. Cuando la resistencia de descarga a tierra limita la corriente máxima de falla, parece que así se definen los parámetros para las dimensiones de los conductores de descarga a tierra.

Aunque el sistema de descarga a tierra podría considerarse a prueba de fallas en un cable blindado, la ley federal exige monitoreo continuo de descarga a tierra para asegurar la continuidad a través de las conexiones y garantizar terminaciones sólidas.

A menudo, se incluyen conductores de comprobación en tierra en las extensiones para facilitar este monitoreo de tierra. La fatiga prematura por flexión de estos conductores prácticamente se ha eliminado mediante la aplicación de una dura pared de aislamiento de polipropileno que evita los pellizcos. En casos en los que el conductor de comprobación es mucho más pequeño que el conductor de fase, se mejora ampliamente su vida de flexión aumentando el espesor de la pared de aislamiento. El objetivo es derivar una máxima resistencia a los pellizcos.

Aislamiento

El aislamiento de caucho propileno etileno (EPR) es ahora lo estándar en cables para minería subterránea y ha colaborado en la reducción del espesor del aislamiento en hasta un tercio y, a la vez, permite casi duplicar la tensión típica de ruptura.

Este caucho tiene excelentes propiedades mecánicas en un rango de temperatura de -60°C a $+90^{\circ}\text{C}$. Dentro de este rango, el EPR tiene una alta resistencia a la tracción y a las rasgaduras, la abrasión y los cortes por compresión. Además, es flexible y fácil de reparar, lo que hace que sea ideal para entornos mineros exigentes.



Trenzado de conductores

Los conductores de los cables para minería están trenzados para otorgar flexibilidad y larga vida de flexión. La vida de flexión de un modelo en particular es la cantidad de veces que puede doblarse y desdoblarse antes de que se fatiguen los hilos. La vida de flexión o resistencia a la fatiga por flexión es una función del esfuerzo. La relación no es lineal, especialmente en la sección de la curva con poco esfuerzo. (Figura 3) Teóricamente, en algún punto de la curva que aparece abajo, se podría aumentar la vida de flexión en un factor de 10 reduciendo simplemente el esfuerzo a la mitad; sin embargo, la operación a niveles de esfuerzo muy bajo es poco práctica.

La fatiga por flexión en cualquier cable portátil es una certeza y, simplemente, cuestión de tiempo. Para prolongar el tiempo antes de que ocurra, lo importante es equilibrar la carga de tracción entre los conductores individuales lo más uniformemente que resulte posible.

Los radios mínimos de curvatura y las cargas máximas de tracción recomendados por el fabricante se calculan teniendo esto en cuenta. Si usted los supera, acelerará enormemente el índice de fallas. Caso en el cual, la reducción porcentual de la vida de flexión supera el aumento porcentual de las limitaciones operativas en un gran margen.

Los radios mínimos de curvatura recomendados por la Insulated Cable Engineers Association (ICEA) son los siguientes:

- Cable portátil con blindaje trenzado: 8 veces el diámetro del cable
- Cable portátil sin blindaje: 6 veces el diámetro del cable
- Cable plano sin blindaje: 6 veces la dimensión menor
- Cable con blindaje de cinta de cobre: 12 veces el diámetro del cable

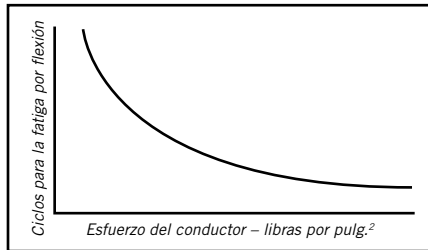


Figura 3



La muestra testigo se dobló continuamente durante una cantidad específica de ciclos en un radio de curvatura dado, bajo una tensión específica, hasta que quedaron solo algunos hilos enteros.



La segunda muestra se dobló la misma cantidad de ciclos, el mismo radio de curvatura pero el peso de la tensión se redujo a la mitad. Como puede verse, la reducción de la tensión disminuye notoriamente la rotura de los hilos.



La tercera muestra se dobló, una vez más, la misma cantidad de ciclos, con la misma tensión que la muestra testigo. Sin embargo, se utilizó un radio de curvatura dos veces y medio más grande. El mayor radio de curvatura elimina prácticamente el daño a los hilos.

El mayor radio de curvatura elimina prácticamente el daño a los hilos.

Las investigaciones en curso con materiales semiconductores pueden resultar en diseños de cables que pueden brindar los beneficios del blindaje sin tener la desventaja de la rotura del alambre de blindaje.

Aplicaciones de cables para minería subterránea

Como se mencionó anteriormente, no todos los componentes que aparecen arriba son comunes a todos los cables para minería subterránea. En realidad, hay algunas diferencias notorias de diseño según las condiciones de servicio a las que someterá el cable. Estas pueden clasificarse en: (1) extensiones usadas en carretes; (2) extensiones para aplicaciones sin carretes; y (3) cables de alimentación.

1. Extensiones usadas en carretes

Los cables en carretes se usan principalmente en vagonetas lanzadera. Rara vez se usan cables blindados en esta aplicación debido a la creencia de que el blindaje no resistiría mucho la flexión y la tensión reiteradas en servicio. Las investigaciones en curso con materiales semiconductores pueden resultar en diseños de cables que pueden brindar los beneficios del blindaje sin tener la desventaja de la rotura del alambre de blindaje.

En la actualidad, se prefiere el cable plano porque su diámetro relativamente más pequeño permite un mejor radio de curvatura. También puede enrollar más cable en cualquier carrete debido a un uso más eficiente del espacio disponible. (Figura 4)

Una vagoneta lanzadera impone condiciones muy duras a un cable. El alto nivel de tracción, especialmente cuando bobina hacia atrás, por lo general excede los límites recomendados. El radio de curvatura de las poleas guía con frecuencia se encuentra por debajo de los límites que brindan un rendimiento óptimo. Ambas condiciones llevan a una fatiga temprana por flexión.

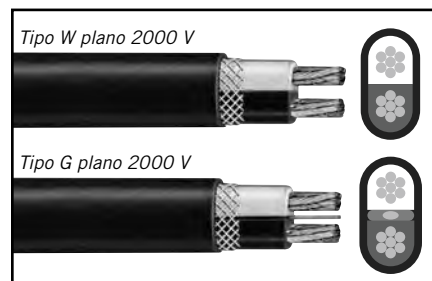


Figura 4

Estas condiciones operativas para los cables de vagonetas lanzadera exigen el aislamiento más resistente disponible. También exigen un alto grado de adhesión entre el aislamiento y el revestimiento en cables planos para poder contener los conductores en un plano paralelo. Dicha unión está presente normalmente en polímeros similares pero puede lograrse con la ayuda de adhesivos cuando se utilizan materiales disímiles, tales como EPR y CPE.

2. Extensiones para aplicaciones sin carretes

Aunque no están sometidos a las tensiones de tracción de los cables con carrete, los hombres o las máquinas mineras arrastran estos cables por la tierra. Esto requiere de un alto nivel de resistencia a la abrasión y a la tracción.

Actualmente, los revestimientos de CPE son los que mejor se adaptan a estas condiciones de servicio. Además, los conductores que antes se aislaban con neopreno con clasificación de 75°C y 600 voltios han dejado paso al aislamiento de EPR que tiene clasificación de 90°C y 2000 voltios con un espesor de pared equivalente. El EPR también brinda una resistencia superior a la absorción de humedad. El diseño está pensado para las mismas aplicaciones que los cables de 600 voltios pero con mayores márgenes de seguridad. (Figura 5)

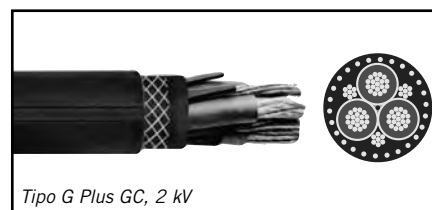


Figura 5

Aunque los cables no blindados han sido los de uso más común, el énfasis en la máxima protección contra el riesgo de descarga eléctrica ha llevado a la introducción de cables blindados en este tipo de servicio.



2. Extensiones para aplicaciones sin carretes (cont.)

Observe también el diseño simétrico de la figura 5. Los sistemas de descarga a tierra asimétricos en cables trifásicos provocan tensiones inducidas que son proporcionales a la longitud del circuito y la magnitud de la corriente de la fase. Con alto nivel de corriente, las tensiones inducidas resultantes en cables del tipo G-GC pueden producir chispas peligrosas cuando los mineros con continuidad hacen contacto con vagonetas lanzadera con buena descarga a tierra. Para aliviar esto, el sistema de descarga a tierra debe estar equilibrado, y se coloca un conductor de comprobación en tierra en el intersticio central formado por los conductores de fase. Estos diseños se llaman Tipo G Plus GC y SHD Plus GC.

El tipo SHD Plus GC ofrece tres características para minería subterránea que no están presentes en los tipo G-GC más comunes: (1) continuidad a tierra a prueba de fallas; (2) no produce tensiones inducidas; y (3) protege contra el riesgo de descarga eléctrica.

3. Cables de alimentación

Los sistemas de distribución subterráneos utilizan cables de alimentación de alta tensión. El alimentador de energía de mina (MP-GC) con conductor de comprobación en tierra es el cable diseñado para la distribución de alta tensión subterránea y es relativamente fijo, es decir que se lo traslada menos de una vez al año. (Figura 6)

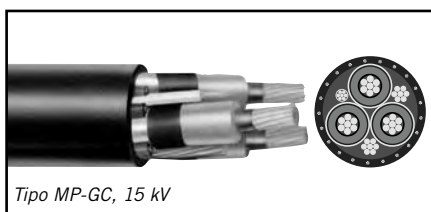


Figura 6

Está formado por los siguientes componentes:

1. El conductor es de hilos de cobre desnudo recocido, compacto clase B.
2. El blindaje de trenza extrusada (ESS) termoestable y semiconductor se utiliza junto con el aislamiento de caucho propileno etileno (EPR) en espesores correspondientes a estándares de cable de alimentación normales.
3. El sistema de blindaje de aislamiento está formado por blindaje de aislamiento extrusado (EIS) y blindaje de cinta de cobre.
4. Un duro revestimiento de polietileno clorado (CPE) curado con plomo otorga la protección externa necesaria.

Si el cable se moverá con mayor frecuencia o si se lo instalará en el área de superficie de una mina subterránea, debe considerarse utilizar cable tipo SHD-GC. (Figura 7)

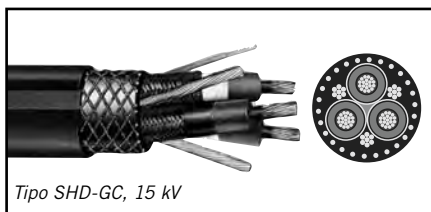


Figura 7

El tipo SHD-GC difiere del tipo MP-GC en varios aspectos:

1. El trenzado está diseñado para una flexibilidad y vida de flexión óptimas.
2. Cuenta con blindaje de trenza extrusada (ESS) y el aislamiento es de EPR, el mismo que se utiliza con el tipo MP-GC; sin embargo, el espesor nominal del aislamiento es 20% a 30% más pesado para brindar protección mecánica extra.
3. Se utiliza un blindaje con trenza de cobre/textil con el tipo SHD-GC para eliminar el problemas de las cintas de cobre pellizcadas, que se producen a menudo cuando se curvan los tipo MP-GC.
4. El revestimiento de CPE reforzado de dos capas que se utiliza en el tipo SHD-GC tiene casi dos veces el espesor en comparación con un cable tipo MP-GC.

La experiencia de General Cable indica que el valor en dólares se optimiza con modelos estándar, desplazando los ahorros de material obtenidos utilizando un modelo combinado.

En la actualidad, los cables de alimentación de energía de minas son más pequeños y se prestan a métodos de suspensión más económicos.

3. Cables de alimentación (cont.)

Los oficiales mineros a menudo consideran una combinación entre el tipo MP-GC y el tipo SHD-GC. Una que es favorita utiliza técnicas de trenzado y blindaje tipo SHD-GC con espesores de revestimiento y aislamiento de tipo MP-GC. En la superficie parecerá que hay ahorro de materiales con este diseño.

Sin embargo, la experiencia de General Cable indica que el valor en dólares se optimiza con modelos estándar, desplazando los ahorros de material obtenidos utilizando un modelo mixto. En otras palabras, puede esperar más rendimiento con el mismo costo o el mismo rendimiento con menor costo utilizando modelos de cable estándar siempre que sea posible.

En la actualidad, los cables de alimentación de energía de minas son más pequeños y se prestan a métodos de suspensión más económicos que los modelos de alambre con armadura de acero helicoidal que se utilizaban anteriormente para brindar mayor resistencia a la tracción.

Se puede suspender un cable tipo MP-GC típico de los conductores de fase adosados a aisladores de esfuerzo. Este método generalmente resulta útil cuando las suspensiones verticales por pozos de sondeo son de aproximadamente 400 pies (122 metros) o menos.

Las suspensiones de mayor longitud a menudo requieren de soporte adicional cuando el factor de seguridad es inferior a siete (7) según la fórmula a continuación:

F = AT/P, donde:

F = Factor de seguridad (mínimo de 7)

A = Área (pulg.²) de los tres conductores de alimentación

T = Resistencia a la tracción del cobre recocido (24.000 libras/pulg.²)

P = Peso del cable que quedará suspendido (libras)

Por ejemplo, el factor de seguridad de 500 pies (152 m) de un cable tipo MP-GC de tres conductores 4/0 AWG (0,1662 pulg.²) que pesa 4500 libras (2040 kg) por 1000 pies (304 m) debe calcularse como se indica a continuación:

$$F = \frac{0,4986 \text{ pulg.}^2 \times 24.000 \text{ libras/pulg.}^2}{2250 \text{ libras}} = 5,3$$

Ya que F es inferior a 7, se necesita un método alternativo. Un método es colocar sujetadores de cable y alambres de acero como piezas de soporte. Esto puede facilitar suspensiones verticales de hasta 1000 pies.

Cómo fallan los cables para minería subterránea

Las roturas de cables no son ningún misterio ni sin causas, y casi sin excepción pueden deberse a una o más de las siguientes causas:

1. Tensión excesiva
2. Daño mecánico
3. Sobrecarga de corriente
4. Técnicas incorrectas de empalme y terminación

Tensión excesiva

Muchas fallas de cable son resultado directo de la tensión excesiva. Un cable que se ha “estirado” ya no tiene la construcción equilibrada que es tan importante para una larga vida útil. La tensión en los conductores somete a los alambres individuales del trenzado a compresión y cortes. Estos delgados alambres están dañados y se romperán más fácilmente cuando se los doble o flexione.



Tensión excesiva (cont.)

La tensión también alarga el aislamiento del conductor. El aislamiento alargado se vuelve vulnerable a los cortes por compresión. Se romperá más fácilmente cuando se lo aplaste contra el conductor trenzado cuando se transite sobre él. El aislamiento también tenderá a deslizarse sobre el conductor en un empalme.

Los revestimientos bajo tensión pierden una parte considerable de su resistencia al daño mecánico. Es mucho más factible que un revestimiento bajo tensión se corte o desgarre. El estiramiento también hace que los conductores de cobre tomen una forma permanente. Por supuesto, también se estiran el aislamiento y el revestimiento pero éstos volverán a su longitud original cuando se elimine la tensión. Esta diferencia entre las propiedades del caucho y el cobre sometidos a tensión hará que los conductores estén ondulados y fallen de manera prematura.

Para reducir la tensión en el cable:

1. De ser posible, evite el bobinado hacia atrás.
2. Si resulta inevitable, localice un punto de amarre lo más atrás posible de la galería de arrastre.
3. Avance lentamente cuando pase el punto de amarre.
4. Aplique tensión hidráulica al carrete del cable de modo que se levanten aproximadamente 10 pies (3 metros) del fondo de la mina cuando comience a avanzar.

Daño mecánico

Este es una de las fuentes más comunes de fallas en extensiones. Los factores que inician el daño mecánico incluyen el corte, la compresión (aplastamiento), las perforaciones y la abrasión.

En casos extremos de daño mecánico, la falla es instantánea, y la causa puede asignarse en el momento. Sin embargo, muchas veces, los componentes de cables están simplemente “lesionados” y se convierten en fallas latentes. En ese punto, puede resultar más difícil detectar la causa exacta y tomar acciones reparadoras.

Sobrecarga de corriente

La temperatura de los conductores, el aislamiento y el revestimiento es, por supuesto, elevada cuando los cables están sometidos a una carga eléctrica. Aumenta la resistencia del cobre, aumenta la caída de tensión en el cable y, por lo tanto, se suministra una tensión reducida a la máquina. Como consecuencia, la máquina requiere más corriente, lo que suma aún más al calentamiento del cable.

Los materiales de revestimiento y aislamiento de una extensión presentan una resistencia máxima al abuso físico a una temperatura de 90°C o menos en el conductor. La capacidad de estos componentes de tolerar el daño disminuye a medida que la temperatura aumenta. Las condiciones que normalmente producen pocas fallas en cables, repentinamente, son un problema. A altas temperaturas, el revestimiento pierde mucha de su resistencia a los cortes, a los aplastamientos, las rasgaduras y la abrasión.

La sección del cable que permanece en el carrete es la que está más propensa a daños por sobrecarga eléctrica. Las capas en el carrete obstruyen la ventilación y la disipación del calor. (Figura 9) La exposición continua a temperaturas elevadas envejecerá el revestimiento y lo hará duro y quebradizo, lo que hará que se quiebre o agriete en los enrollados posteriores.

Quando los cables se usan con una o más capas bobinadas en un carrete, las ampacidades deben disminuirse como se indica a continuación:

No. de capas	Multiplicar la ampacidad por
1	0,85
2	0,65
3	0,45
4	0,35

Figura 9

Los materiales de revestimiento y aislamiento de una extensión presentan una resistencia máxima al abuso físico a una temperatura de 90°C o menos en el conductor.

La mejor forma de minimizar la eventualidad de tiempo de inactividad es un programa de mantenimiento de cables viable.

Técnicas incorrectas de empalme y terminación

Con los años, se ha realizado mucho trabajo para mejorar tanto los materiales de empalmes como las técnicas. Se ha descubierto que los puntos que se mencionan a continuación son los principales responsables de un servicio de empalme insatisfactorio:

1. Terminar con un conductor de descarga a tierra o de comprobación en tierra más corto que los conductores de energía.
2. No se limpian los residuos semiconductores en la superficie del aislamiento.
3. Huecos, vacíos o puntos blandos en la cinta colocada como aislamiento.
4. Terminación incorrecta del sistema de blindaje, dejando protuberancias que apuntan hacia el interior.
5. Daño al aislamiento de fábrica por una remoción incorrecta de los sistemas de blindaje.
6. Uno o más conductores individuales quedan demasiado flojos.
7. El empalme tiene poca resistencia a la tracción y se puede dividir fácilmente en dos con un tirón.
8. Se dañan los alambres individuales durante la aplicación del conector.
9. El empalme queda demasiado voluminoso; no pasará a través de las guías de cables o por las poleas.
10. Aplicación incorrecta de la cobertura externa, lo que permite que entre agua al interior del cable.

Si se elige un cable con una clasificación de corriente correcta, se evita una tensión excesiva y los daños mecánicos y se utilizan técnicas de empalme adecuadas, no es poco razonable decir que se produce una reducción de 50 por ciento o más de tiempo de inactividad vinculada a los cables. Esto, por supuesto, se traduce en mayor producción y mayores ganancias.

El cuidado y mantenimiento correctos reducen notoriamente el tiempo de inactividad

La mejor forma de minimizar la eventualidad de tiempo de inactividad es un programa de mantenimiento de cables viable. Este programa no debe limitarse a algunas recomendaciones sobre qué hacer y qué no hacer, sino que debe estar formado por una serie de buenas prácticas relacionadas con los cables que se conviertan en un hábito y entren naturalmente en la rutina minera diaria.

Un programa eficaz

No existe una fórmula mágica para que un mantenimiento de cables se ajuste a todas las condiciones. El siguiente esbozo básico sugiere un enfoque que se puede aplicar en cualquier operación:

1. Elija un diseño de cable que sea consistente con la tensión, la seguridad y el rendimiento esperado.
2. Mantenga un registro de las causas de fallas de cables.
3. Eduque al personal operativo para reconocer las limitaciones de un cable portátil.
4. Tome acciones reparadoras basadas en los registros y la educación. Los registros apuntarán a lo que hizo que el cable fallara. La educación ayudará a explicar por qué falló el cable.

El mantenimiento efectivo comienza con la elección del modelo de cable más idóneo que se pueda obtener para la aplicación. *Las consideraciones económicas por sí solas son un mal reemplazante para la buena ingeniería.*

Los fabricantes de cables como General Cable proporcionan datos abundantes que sirven como guía pero se debe hacer énfasis en lo siguiente cuando se elige el tipo y el tamaño del cable:

1. Seguridad.
2. Capacidad de transmisión de corriente.
3. Caída de tensión.
4. Temperatura ambiente, por ejemplo, calor extremo en verano.
5. Resistencia mecánica.
6. Las condiciones inusuales que pueden requerir un modelo de cable especial.



Un programa eficaz (cont.)

Se debe prestar especial atención a las recomendaciones de la ICEA que dicen que “en donde se desee una seguridad máxima, se recomiendan los cables tipo SHD-GC”.

El segundo paso en un buen programa de mantenimiento es un análisis del rendimiento. Se debe mantener un registro preciso y debe incluir:

1. La fecha de instalación.
2. Registro de remoción para reparaciones.
3. La causa de cada falla.

La información sobre el número 3 es la más importante de todas.

Un registro preciso de las causas de falla indicarán las áreas donde se necesite mantenimiento con mayor urgencia. Este registro también indicará la eficacia de todas las acciones reparadoras que se podrían tomar. La experiencia es una buena maestra y puede resultar muy útil para armar un programa pero la experiencia se puede mejorar ampliamente con un registro preciso. Hay una gran tendencia a clasificar prácticamente todas las fallas bajo el título de “manejo incorrecto por parte del personal operativo”.

Debe haber un acuerdo mutuo entre el fabricante del cable y el operador minero en lo que respecta a las limitaciones físicas y eléctricas de un cable. Los fabricantes de cables como General Cable pueden ofrecer asistencia valiosa en programas de entrenamiento diseñados para capacitar al personal operativo en las buenas prácticas del uso de cables.

Empalmes adecuados

Si bien es verdad que ningún empalme es mejor que un cable nuevo, el uso de materiales de calidad y técnicas probadas pueden mejorar notoriamente la vida útil del empalme del cable. Un empalme bien hecho tiene las siguientes características:

1. Alta resistencia a la tracción: el empalme no puede dividirse en dos con un tirón.
2. Conductores equilibrados: igual tensión en cada conductor.
3. Diámetro externo pequeño: el empalme puede pasar fácilmente por las guías de cables existentes.
4. Baja resistencia eléctrica.
5. Aislamiento adecuado.
6. Alta resistencia a la fatiga.
7. Una cobertura capaz de evitar que la humedad ingrese al interior del cable.

Preparación del cable para un empalme

Para preparar los extremos de los cables para empalmes y terminaciones, hay determinados pasos que requieren de atención especial y técnica para protegerse contra fallas prematuras. Dichos pasos se detallan a continuación:

1. Los extremos del cable siempre deben cortarse cuidadosamente y rectos.
2. El revestimiento exterior debe quitarse sin dañar las cintas de blindaje o el trenzado utilizando los procedimientos a continuación:
 - a) Corte el revestimiento en su circunferencia hasta aproximadamente 80 por ciento del espesor del revestimiento.
 - b) Con el cuchillo en ángulo, corte el revestimiento de manera longitudinal, de modo tal que los cruces repetidos de estos cortes sólo hayan penetrado aproximadamente 80 por ciento del espesor del revestimiento.
 - c) Con unas pinzas, tome el borde del revestimiento y tire en sentido del corte inclinado. Si el revestimiento no se desgarra por el corte, se debe usar un cuchillo aplicando tensión al revestimiento, evitando dañar el trenzado o las cintas de blindaje que están debajo.
3. Limpie bien el revestimiento en ambos extremos del empalme para lograr una buena adhesión entre el revestimiento de fábrica y el revestimiento de empalme completado.

Si bien es verdad que ningún empalme es mejor que un cable nuevo, el uso de materiales de calidad y técnicas probadas pueden mejorar notoriamente la vida útil del empalme del cable.

En esta etapa, la integridad eléctrica final de la unión del cable está en relación directa con la habilidad de quien hace el empalme.

Cómo hacer el empalme

1. Escalone los conductores de modo que el empalme terminado tenga el diámetro más pequeño posible y así todos los conductores reconectados serán de la misma longitud. (Figura 10)
2. Si el cable es blindado, corte con cuidado los alambres del blindaje en el punto de terminación. Un borde de blindaje liso es fundamental para evitar una falla prematura del empalme.
3. Quite el blindaje de aislamiento semiconductor, si lo hubiera, hasta aproximadamente 1/4" (6 mm) del extremo del blindaje metálico. La terminación incorrecta de los componentes del blindaje es una de las principales causas de fallas en empalmes.
4. Para dar forma de cono al aislamiento es necesario hacer un corte perpendicular de 360° en todo el aislamiento menos 1/16" (1,5 mm), a una distancia predeterminada del extremo del conductor. Esta distancia depende directamente del tipo del conector y del tipo de aislamiento del cable. Dé forma y alise el cono antes de quitar la sección corta del aislamiento del conductor. Esta técnica de amortiguación, ilustrada en la figura 11, protege la superficie del conductor contra abrasión y rayaduras indebidas.
5. Se debe quitar cualquier resto de residuo semiconductor que quede en el conductor o en la superficie del aislamiento. Normalmente, es suficiente pasar un paño que no deje pelusas levemente humedecido con solvente limpiador. (Nota: Generalmente, no se utilizan materiales de blindaje de aislamiento semiconductores en cables de minería con clasificación inferior a 8000 voltios.)
6. Vuelva a conectar los conductores, teniendo cuidado de no dañar los alambres individuales. (Figura 12)



Figura 10

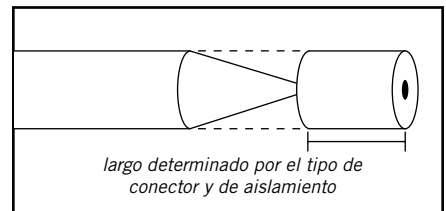


Figura 11

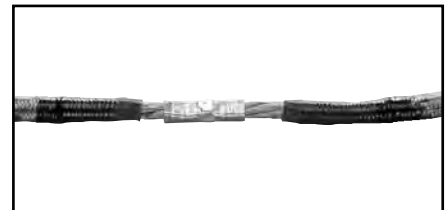


Figura 12

Re-aislamiento de la unión

En esta etapa, la integridad eléctrica final de la unión del cable está en relación directa con la habilidad de quien hace el empalme. Si la persona falla en abordar correctamente alguna fase de la operación, podría producirse una falla. Las áreas que requieren atención estricta a los detalles son:

1. La aplicación de cinta semiconductor, cuando se la utiliza, sobre el conector del conductor debe dar como resultado un contorno liso. (Figura 13) La masilla de aislamiento puede ayudar con esto, como también el sellado contra humedad.

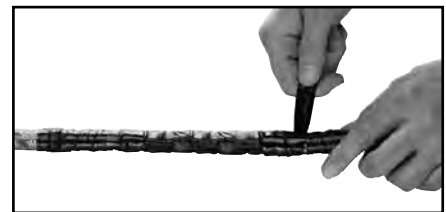


Figura 13

Re-aislamiento de la unión (cont.)

2. La cinta aislante debe aplicarse superpuesta en un 50%, produciendo un estiramiento uniforme según especifique el fabricante de la cinta. (Figura 14)
3. Pasar con frecuencia sobre el trabajo una herramienta cóncava, el mango de un desarmador u otro objeto redondeado para eliminar el aire que pueda quedar dentro y que podría ionizarse si se somete a un gradiente de tensión suficiente.
4. Envuelva cinta aislante a aproximadamente 1/4" (6 mm) del componente semiconductor del cable. Para obtener un blindaje metálico adecuado, se recomienda utilizar cinta trenzada totalmente de cobre estañado.

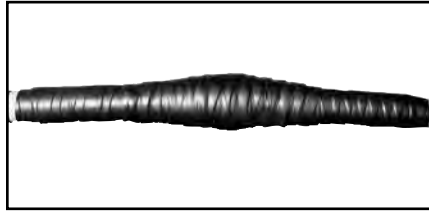


Figura 14

Nuevo revestimiento del empalme completo

Cuando no se encuentra disponible un kit de empalmes, se han utilizado con considerable éxito cintas de polietileno clorado (CPE) y polietileno clorosulfonatado para colocar un nuevo revestimiento.

Resumen de las formas de reducir el tiempo de inactividad del cable

A continuación aparece un resumen de los pasos que se ha probado que son eficaces para prolongar la vida útil del cable:

1. Evitar retorcimientos o pellizcos del cable durante la instalación; un conductor pellizcado es un conductor dañado.
2. Evitar la tensión excesiva.
3. Utilizar el tamaño de cable más grande posible para la aplicación. Sacar ventaja de la resistencia a la tracción y la capacidad de transmisión de corriente extra del siguiente tamaño más grande. A largo plazo, es más económico.
4. Mantenga al mínimo el tránsito sobre el cable. Cualquier forma de aplastamiento es una fuente potencial de ruptura del aislamiento y el revestimiento.
5. Invierta periódicamente los extremos de los cables. El extremo del carrete puede haberse dañado por la exposición prolongada a altas temperaturas.
6. Reemplace las poleas, guías y rodillos dañados. Asegúrese de que las guías de los cables son lo suficientemente grandes para que los empalmes pasen libremente por ellas.
7. Repare los cables cortados o aplastados, incluso si no se ha producido un estallido.
8. Cuenten con un cable de repuesto. Quite el cable con reparaciones temporales y realice reparaciones permanentes. Esto dará resultado, especialmente en secciones húmedas.
9. Mantenga el agua fuera del interior del cable.
10. Mantenga un registro de lo que causó las fallas de los cables. Apuntará a donde deben tomarse medidas para un mantenimiento más eficaz.

Al adoptar todas estas prácticas, ¡no es poco razonable una disminución del 50 % del tiempo de inactividad vinculado con los cables!

Al adoptar todas estas prácticas, ¡no es poco razonable una disminución del 50 por ciento del tiempo de inactividad vinculado con los cables!

Aquí encontrará la información en forma de tabla:

Guía de mantenimiento de extensiones

Causas del daño	Evidencia de daño	Cómo evitar el daño
Tensión excesiva	<ol style="list-style-type: none"> 1) Cable con marca de cuello, con forma parecida a un reloj de arena 2) El revestimiento se desliza fuera del empalme temporal 3) El conductor de descarga a tierra se abrió en dos 	<p>Instale amortiguadores en los puntos de amarre. (1, 2, 3)</p> <p>Mantenga la tensión correcta en el carrete de la extensión. (1, 2, 3)</p> <p>De ser posible, coloque el punto de amarre para evitar el bobinado hacia atrás. (1, 2, 3)</p>
Daño mecánico	<ol style="list-style-type: none"> 1) Secciones cortas del cable aplastadas o aplanadas y quedan de un diámetro mayor 2) Abrasión excesiva, cable ranurado o muestra desgaste irregular 3) Muestras, cortes y perforaciones 	<p>Evite el tránsito sobre el cable. (1)</p> <p>No pellizque el cable entre el equipo y el parante, el techo o el piso de la mina. (1)</p> <p>Respete un radio de curvatura mínimo. (1)</p> <p>Reemplace las poleas o guías rotas. (2, 3)</p>
Sobrecarga de corriente	<ol style="list-style-type: none"> 1) Revestimiento ampollado 2) Los alambres de conductor de cobre estañado se tornan de color negro azulado 3) El revestimiento de la capa inferior del cable del carrete se endurece y se resquebraja 	<p>Elija un cable con una clasificación de corriente adecuada. Consulte al fabricante de cables o de máquinas mineras para obtener recomendaciones. (1, 2)</p> <p>Cuando opere sólo a una corta distancia de la fuente de alimentación, quite el cable del carrete y colóquelo donde esté bien ventilado. (1, 2)</p> <p>Cuando se quite el cable para realizarle empalmes permanentes, invierta los extremos del cable. (3)</p>
Empalmes y terminaciones temporales	<ol style="list-style-type: none"> 1) Hay conductores desnudos expuestos en un empalme temporal 2) Conductor de descarga a tierra o de comprobación en tierra abierto 3) Cable pellizcado 	<p>Corra las cintas aislantes nuevamente sobre el aislante original del conductor y reemplace los empalmes temporales con empalmes permanentes lo más pronto posible. (1)</p> <p>Conecte estos conductores más pequeños aproximadamente 1/4" (6 mm) más largos que los conductores de alimentación en todos los empalmes y las terminaciones. (2)</p> <p>Equilibre los conductores en todos los empalmes y las terminaciones de modo que haya un esfuerzo uniforme en todos los conductores. (3)</p>



Cómo lo ayuda General Cable a reducir el tiempo de inactividad

General Cable está satisfecho de trabajar cerca de usted para reducir el tiempo de inactividad vinculado con los cables en su propia operación de minería. Para hacerlo, contamos con tres áreas separadas de competencia que podemos acercarnos a su situación:

1) Cables Anaconda®

Hemos sido largo tiempo el proveedor líder de cables portátiles diseñados para operación confiable en los entornos mineros más exigentes. ¡Y todavía somos pioneros en avances!

2) Asistencia en campo

Hemos aprendido mucho de años de brindar asistencia de ingeniería precisamente en el sitio de la mina, experiencia que compartimos con gusto con usted en su propio lugar. ¡Incluso podemos entrenar a su personal en el cuidado correcto del cable!

3) Laboratorio de prueba de cables para minería

Creemos que ningún otro proveedor le puede ofrecer los servicios de una instalación como esta. Este laboratorio ubicado en Marion, Indiana, EE.UU., tiene todos los equipos de prueba necesarios para simular las condiciones reales de una mina, con una gran diferencia: nuestro laboratorio de cables portátiles puede probar un cable hasta la destrucción en una fracción del tiempo que le tomaría destruirse en condiciones normales de campo. Aún así podemos extrapolar con precisión los resultados en términos del tipo del uso final que se espera recibirá el cable.



Por lo tanto, el laboratorio puede darle consejos confiables y rápidos sobre sus problemas con la duración de sus extensiones. Puede ayudarlo con recomendaciones correctas sobre qué cables seleccionar. Y, por supuesto, ha ayudado a General Cable de modo inconmensurable en el pasado para diseñar cables que están adecuados a la realidad de un sitio de mina.

El cuadro a continuación describe tipos comunes de fallas y pruebas de laboratorio que podemos realizar para inducir tal daño.

Fuente del daño del cable	Pruebas en cables para simular el daño en servicio
Tensión excesiva y fatiga del alambre:	<ul style="list-style-type: none"> • Enrollador de tensión • Máquinas flexionadoras • Máquina curvadora con torsión
Daño mecánico:	<ul style="list-style-type: none"> • Máquina de corte por compresión • Abrasivo • Impacto de caída libre (trituradora) • Hincadora de pilotes (impactadora repetitiva)
Estabilidad eléctrica:	<ul style="list-style-type: none"> • Prueba de sobrecarga de corriente • Envejecimiento cíclico • EMA • Prueba de resistencia de duración con CA • Prueba de CC
Resistencia al fuego y al calor:	<ul style="list-style-type: none"> • Prueba con llamas • Horno de tiro natural • Sobrecargas eléctricas
Empalmes y terminaciones:	<ul style="list-style-type: none"> • Pruebas mecánicas y eléctricas
Entorno:	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a químicos y aceites • Envejecimiento en horno

General Cable está satisfecho de trabajar cerca de usted para reducir el tiempo de inactividad vinculado con los cables en su propia operación de minería.



**4 Tesseneer Drive,
Highland Heights,
Kentucky 41076-9753**

Los logotipos de GENERAL CABLE
y ANACONDA son marcas registradas de
General Cable Technologies Corporation.

©2008. General Cable
Technologies Corporation.
Highland Heights, KY 41076

Todos los derechos reservados.
Impreso en EE.UU.

Teléfono: 1.888.593.3355
Fax: 1.800.335.1270
Tel. internacional: +1.859.572.8000
Fax internacional: +1.859.572.8058

www.generalcable.com

Formulario No. INS-0082-S1208