

**Requisitos de las instalaciones de distribución eléctrica en media y baja tensión en minas
subterráneas tipo roca dura y grisutasas**

María Alejandra Rueda García

Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniero Electricista

Director:

Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga

Doctor en Ciencias con énfasis en Ingeniería Eléctrica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Bucaramanga

2020

Contenido

	Pág.
Introducción	10
1. Objetivos	12
1.1 Objetivo General	12
1.2 Objetivos Específicos.....	12
2. Sistema de distribución de minas subterráneas.....	12
2.1 Principales componentes del sistema de distribución	15
2.1.1 Subestación (Centro de Carga).	15
2.1.2 Celdas de maniobra.....	16
2.1.3 Transformador.....	17
2.1.4 Puesta a tierra para sistemas de distribución en minas.	17
2.1.4.1 Normativa para los sistemas de puesta a tierra	19
3. Sistema de cableado de la red de distribución en media y baja tensión	24
4. Requisitos para subestaciones y tableros de distribución	29
4.1 Exigencias eléctricas para subestaciones, transforma-dores y tableros de distribución.	31
4.1.1 Índice de protección y protección de robustez mecánica.....	31
4.1.2. Exigencias para instalación bajo tierra de transformadores.....	33
4.1.3 Características de tableros eléctricos.	35
4.1.4 Exigencias para subestaciones subterráneas	36

5. Herramienta interactiva para la descripción del sistema de distribución en minas subterráneas.....	38
6. Conclusiones.....	43
Referencias Bibliográficas	45

Lista de Figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Sistema de distribución radial en mina subterránea.....	14
<i>Figura 2.</i> Celda de maniobra.	16
<i>Figura 3.</i> Transformador trifásico tipo seco.	17
<i>Figura 4.</i> Esquema de sistema de puesta a tierra en minas subterráneas.	19
<i>Figura 5.</i> Cable tipo SHD-GC, con aislamiento de EP 90°C, de 2 kV a 25 kV y cubierta exterior de CPE. Usado para cable de arrastre.	26
<i>Figura 6..</i> Subestación principal de superficie.	29
<i>Figura 7.</i> Subestación portátil para minas subterráneas.	30

Lista de Apéndices

Ver documentos adjuntos en el CD y pueden ser visualizados en la base de datos de la Biblioteca
UIS

Apéndice A. Documento interactivo

Resumen

Título: Requisitos de las instalaciones de distribución eléctrica en media y baja tensión en minas subterráneas tipo roca dura y grisutasas*

Autora: María Alejandra Rueda García**

Palabras Clave: Grisú, Regimen de Nuetro a Tierra, Centro de carga, Cable de arrastre, Transformador tipo seco

Descripción:

A pesar de la importancia del sector minero en la economía del país, la reglamentación y normativa colombiana para las instalaciones eléctricas en minas es escasa y usualmente se utiliza la NTC- 2050 la cual no es aplicable a este tipo de instalaciones.

Si bien el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) en el artículo 30 señala los requisitos específicos para minas subterráneas, no distingue las diferencias entre las minas de roca dura y grisutasas, las cuales deben ser tratadas de manera distinta pues los riegos en cada una no son los mismos. En cuanto a la normativa exigida, el RETIE en el artículo 29 se limita a dar unos requisitos adaptados de varias normas entre las que menciona “IEC 61557-8, DIN VDE 0118-1, NEMA WC-58 o de la norma técnica peruana sobre uso de electricidad en minas”, es decir que para Colombia no se cuenta con una norma de referencia para las propiedades específicas del territorio. La norma internacional IEC 61557-8 habla de los requisitos de los dispositivos de monitoreo de aislamiento en sistemas con régimen de neutro IT, pero en las minas subterráneas también hay equipos flotantes (no puestos a tierra). Por su parte, la norma DIN VDE 0118-1 es la norma alemana para equipos eléctricos en minas subterráneas. Esta norma no es de fácil acceso para los ingenieros diseñadores de este tipo de instalaciones. Finalmente, la norma NEMA WC-58 contiene los requisitos para los cables usados en minería según los estándares de los Estados Unidos.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones
Director: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga Doctor en Ciencias con énfasis en Ingeniería Eléctrica

Abstract

Title: Requirements for medium and low voltage electrical distribution facilities in underground mines of the type rock hard and grayish *

Author: María Alejandra Rueda García **

Keywords: Grisú, Ground to Neutral Regime, Load Center, Drag Cable, Dry Type Transformer

Description:

Despite the importance of the mining sector in the country's economy, Colombian regulations and regulations for electrical installations in mines are scarce and NTC-2050 is usually used, which is not applicable to this type of facility.

Although the Technical Regulation of Electrical Installations (RETIE) in article 30 indicates the specific requirements for underground mines, it does not distinguish the differences between hard and grayish rock mines, which must be treated differently since the risks in each are not the same. As for the required regulations, the RETIE in Article 29 limits itself to giving requirements adapted from several standards, among which it mentions "IEC 61557-8, DIN VDE 0118-1, NEMA WC-58 or the Peruvian technical standard on use of electricity in mines", that is to say that for Colombia there is no reference standard for the specific properties of the territory. The international standard IEC 61557-8 talks about the requirements of the insulation monitoring devices in systems with IT neutral regime, but in the underground mines there are also floating equipment (not grounded). For its part, DIN VDE 0118-1 is the German standard for electrical equipment in underground mines. This standard is not easily accessible to engineers who design this type of installation. Finally, the NEMA WC-58 standard contains the requirements for cables used in mining according to United States standards.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones
Director: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga Doctor en Ciencias con énfasis en Ingeniería Eléctrica

Introducción

La explotación minera, ha surgido del descubrimiento de una concentración de mineral bajo tierra, el cual representa un valor económico relevante para compensar la construcción de estructuras y utilización de maquinaria para la obtención de dichos materiales; por ello, como alternativa de las minas de superficie se encuentran las minas subterráneas, las cuales son útiles cuando la exploración es a más de 60 metros de profundidad, por esta razón, este tipo de mina cuenta con componentes especiales para garantizar un adecuado desempeño en las condiciones extremas de trabajo.

En las minas subterráneas se presentan grandes problemas a tener en cuenta, como la seguridad de los trabajadores, constantes derrumbes, gases venenosos, peligro de explosión, incendio o inundaciones, entre otras; por lo cual, las estructuras de soporte, la maquinaria, las redes eléctricas y de comunicaciones; deben contar con materiales de calidad que cumplan con la normatividad legal vigente para el buen desarrollo y seguridad de la actividad minera (Ingeoexpert, 2019).

La minería, ha utilizado diversas clases de energía a lo largo del tiempo. En el siglo XX, la energía de aire comprimido era exclusiva para las labores en las minas; luego, la energía eléctrica, la cual se comenzó a utilizar en instalaciones de exterior y poco a poco se fue introduciendo en el interior de estas locaciones, hasta llegar a las salas de bombas, transportes, ventilación y finalmente, hasta los talleres de arranque; brindando ventajas como alto rendimiento, aumento de potencia en la maquinaria, mayor fiabilidad, menos averías y

utilización de maquinaria más rápida; pero, evidenciando también desventajas como el riesgo de electrocución, riesgo de incendio, riesgo de explosión y maquinaria con menos aplicaciones (UCO, 2017).

Es por ello, que la normatividad colombiana e internacional, ha establecido requisitos para las instalaciones eléctricas en minas, las cuales deben elaborarse bajo todos los requerimientos técnicos que garanticen condiciones de seguridad y teniendo en cuenta los parámetros establecidos por el Ministerio de Minas y Energía, además de contemplar los diferentes códigos eléctricos para instalaciones en áreas clasificadas (Ministerio de Minas y Energía, 2015).

Para generar un aporte a las minas subterráneas y al Ministerio de Minas y Energía; en este trabajo de grado se busca documentar los aspectos más importantes que conforman la instalación eléctrica del sistema de distribución de una mina. Como son las características y componentes del sistema de conexión a tierra, los requisitos para el sistema de cableado de la red de distribución en media y baja tensión, y las exigencias para la instalación de subestaciones y tableros de distribución; todo esto basado en las principales normas vigentes y condiciones especiales de cada tipo de mina, con el propósito de compilar la normatividad aplicable para el mejoramiento de la seguridad de las organizaciones y brindar una guía normativa para el sistema de distribución eléctrica en minas subterráneas tipo roca dura y grisutasas.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Detallar los requisitos normativos de las instalaciones de distribución eléctrica en media y baja tensión en minas subterráneas tipo roca dura y grisutasas.

1.2 Objetivos Específicos

Describir las características y componentes del sistema de conexión a tierra.

Documentar los requisitos para el sistema de cableado de la red de distribución en media y baja tensión acorde con el tipo de mina.

Detallar los requisitos para instalaciones subterráneas de subestaciones y tableros de distribución según el tipo de mina.

2. Sistema de distribución de minas subterraneas

Por la naturaleza de la mina y sus requisitos de servicio, la distribución eléctrica debe casi siempre ser radial. La energía y la puesta a tierra de la mina subterránea llegan desde la

superficie por medio de cables aislados, ya sea a través de un conducto o pozo de entrada. En las minas subterráneas, estos cables deben terminar en un elemento de desconexión ubicado a una distancia mínima de 152 m del punto de entrada de la veta. Este elemento de desconexión permite la eliminación del suministro eléctrico de la mina subterránea en caso de emergencia. Desde los elementos de desconexión, que pueden ser parte de una celda de maniobra, la energía se distribuye a través de cables a los centros de carga o rectificadores que se encuentran tan cerca de la maquinaria como sea posible. Todos los cables de los circuitos de alta tensión tienen pantallas protectoras. La figura 1, muestra el sistema de distribución radial de una mina subterránea.

Las concentraciones de carga principal en la minería subterránea son separadas por secciones. La distribución termina en la sección del centro de carga, que es un transformador combinado con una barra y los circuitos de protección. A partir de éste, varias máquinas son alimentadas a través de acopladores y cables de arrastre.

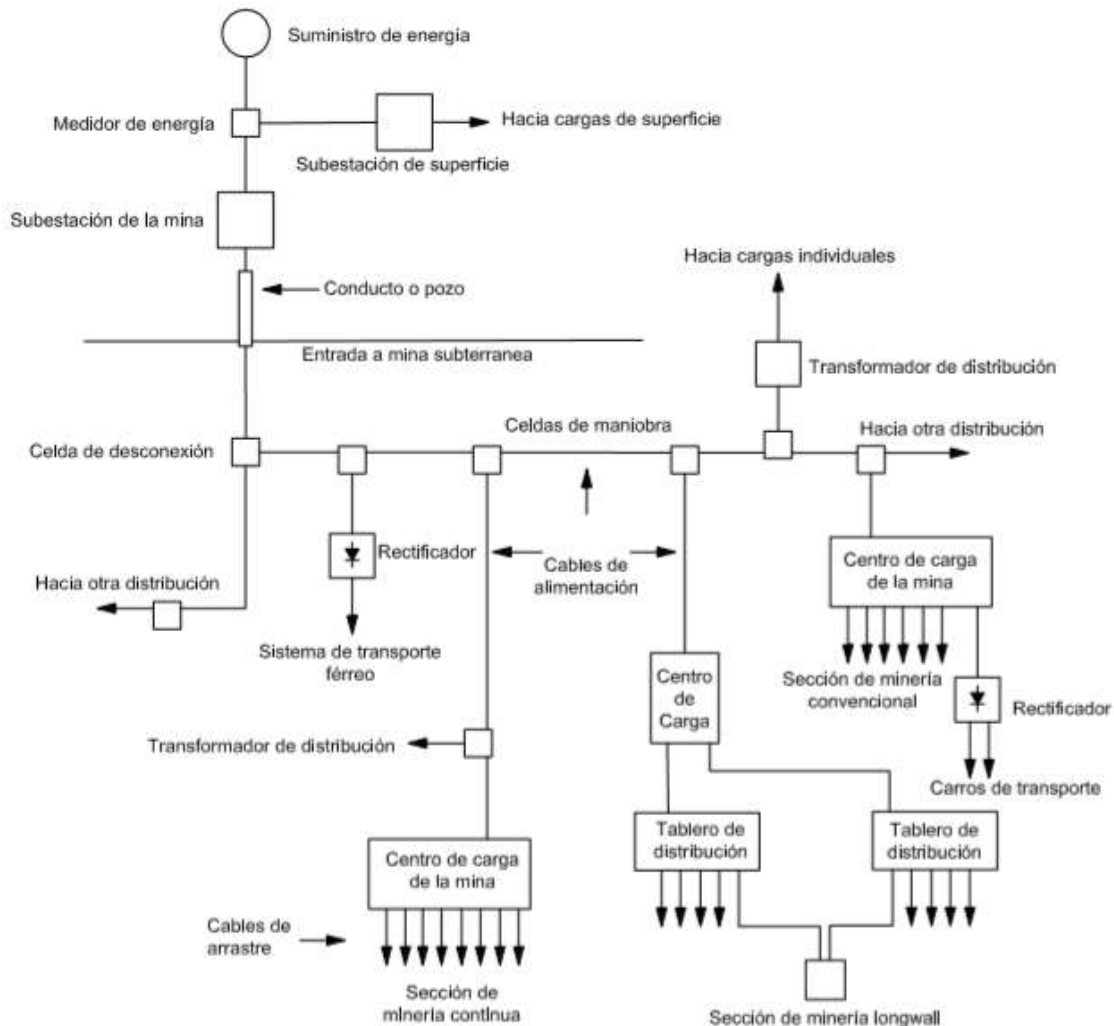


Figura 1. Sistema de distribución radial en mina subterránea. Adaptado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/170a/7cf7ba6dd7cec9a0f837436308bb7a505610.pdf>

Si se usan correas de transporte, los transformadores de distribución se sitúan cerca de las unidades de las cintas transportadoras, por lo que se conocen como transformadores de correas transportadoras. Después de la transformación, la energía se suministra mediante circuitos de partida hacia los motores. Para el transporte férreo, la distribución llega a las unidades rectificadoras, que son una combinación de transformadores y rectificadores. Las unidades rectificadoras se encuentran en la entrada o al lado de la vía férrea, entre dos segmentos de la

línea (la vía férrea se divide en segmentos para su alimentación), y típicamente suministran los extremos de dos segmentos de una línea del ferrocarril, en que cada alimentador tiene su propio circuito de protección para detectar fallas. En algunas minas, existen equipos y pequeños motores de corriente continua, que obtienen su suministro a partir de los alimentadores del sistema férreo. La distribución de CC también puede dar energía directamente a grandes motores a través de celdas, sin embargo, esta práctica es poco común.

Todos los equipos eléctricos usados en minas subterráneas deben ser resistentes, portátiles, autónomos, y específicamente diseñados para la instalación y operación en espacios reducidos. Además, todos los equipos y cables de conexión deben estar protegidos contra cualquier falla que podría provocar una descarga eléctrica al personal. Esto es proporcionado principalmente por el relé de protección incorporado en cada parte del sistema, y con redundancia para maximizar la seguridad.

2.1 Principales componentes del sistema de distribución

Los componentes típicos del sistema de distribución eléctrica de una mina y mencionados anteriormente se describen a continuación con más detalle. Cabe anotar que se abordará la instalación que va desde el punto de conexión con la red pública hasta los tableros de baja tensión de los centros de carga.

2.1.1 Subestación (Centro de Carga). El centro de carga es de los elementos principales para el sistema eléctrico en las minas subterráneas. Su uso principal es para llevar valores de tensión de las redes de transmisión a niveles de tensión actos para el funcionamiento de los

equipos que operarán al interior de la mina. Debe estar respaldada por estrictos circuitos de protección para garantizar la confiabilidad del sistema. Esta definición se profundiza en el capítulo 4 del libro.

2.1.2 Celdas de maniobra. Las celdas de maniobra son el resguardo de los puntos de conexión y desconexión de las diferentes ramificaciones de circuitos instalados en el interior de la mina. Los componentes de una Celda de maniobra se albergan dentro de una carcasa metálica, su elaboración es similar a la de los centros de carga. La Figura 2 muestra un de estos equipos.



Figura 2. Celda de maniobra. Nota. Tomado de: Eaton Recuperado de: <http://www.eaton.cl/conosur/ProductosSoluciones/Energia/ProductosyServicios/DistribucionEl%C3%A9ctrica/SistemasIntegradosElectroCenters/EquiposdeDistribucionLoopMina/index.htm>

Internamente, estos equipos están elaborados con elementos de desconexión y protección, su principal fin es operar independientemente cada circuito, permitiendo tener una independencia en la manipulación de cada uno de ellos y a su vez fortalecer la seguridad del sistema, esto principalmente se realiza con relés de protección debidamente seleccionados para cada ramificación y deben estar debidamente coordinados con los demás equipos de protección aguas

arriba y aguas abajo. El interruptor es su principal componente, normalmente el más utilizado es el interruptor de vacío, aunque también son utilizados los de aceite (PÉREZ, 2011)

2.1.3 Transformador. El transformador es un equipo utilizado para reducir o elevar los niveles de tensión, es por eso que se hace el elemento más importante en una subestación o centro de carga. La correcta selección de este equipo es indispensable para garantizar la seguridad, eficiencia y fiabilidad del sistema. Ver figura 3.

Todos los transformadores de centros de carga de minas normalmente son trifásicos debido a que presentan menores costos, mayor eficiencia, ocupan menos espacio, y tienen menos interconexiones expuestas que tres unidades monofásicas. (PÉREZ, 2011)



Figura 3. Transformador trifásico tipo seco. Nota. Tomado de Siemens Recuperado de: <https://new.siemens.com/br/pt/produtos/energia/alta-tensao/transformadores/transformadores-geafol.html>

2.1.4 Puesta a tierra para sistemas de distribución en minas. El sistema de conexión a tierra ha sido utilizado desde el inicio de la implementación de la energía eléctrica en la minería

con el fin de proteger personas y equipos eléctricos. Para 1916, la Oficina de Minas de EE.UU. sugiere el utilizar sistemas de puesta a tierra para proveer seguridad ante una descarga eléctrica para los mineros que están expuestos directa o indirectamente a elementos eléctricos. La implementación de un sistema de puesta a tierra en la minería subterránea es bastante complejo ya que la forma habitual de diseñar un sistema de puesta a tierra en la superficie consiste en enterrar electrodos interconectados mediante una malla de material conductor, la cual garantiza un diferencial de tensión constante en la capa superior del terreno drenando picos elevados de corriente a capas terrestres inferiores, esto es difícil de garantizar en el interior de una mina subterránea puesto que la resistencia de contacto de la maquinaria minera con el piso de la mina es demasiado alta para una puesta a tierra adecuada, como solución, Griffith y Gleim (1943) propusieron que la puesta a tierra de una mina subterránea debe ser ubicada en la superficie. Dicha práctica actualmente se utiliza en la minería (PÉREZ, 2011).

Básicamente el sistema de puesta a tierra implementa cables trifásicos que van desde la superficie llevando la energía suministrada por el transformador al interior de la mina, figura 4. Todas las carcasas de equipos en corriente alternan o corriente continua, a excepción del sistema férreo de transporte, estarán conectados a una salida común que llega a la superficie a la malla de puesta a tierra, para garantizar la eficacia de este método se hace necesario un monitoreo constante que verifique la continuidad del mismo.

también se pide que las conexiones sean sólidas, que los cables incluyan los conductores para el sistema de puesta a tierra y para este apartado las normas coinciden en realizar evaluaciones al sistema en periodos no superiores a un año

Reglamentación colombiana RETIE

- Los circuitos de suministro deben ser puestos a tierra a través de una impedancia limitadora (sistema IT), Debe ser constantemente monitoreado y activar una alarma o generar una desconexión en un máximo de 1.5 segundos al detectar problemas en la continuidad del circuito de puesta a tierra.
- La impedancia limitadora debe ser dimensionada para funcionamiento continuo, excepto cuando se provea un dispositivo de disparo de falla a tierra; monitoreada de tal manera que desenergice la fuente si la impedancia se abre y conectada al neutro tan cerca como sea posible de la fuente.
- En redes con tensiones nominales de hasta 1000 V, debe instalarse una indicación luminosa intermitente en zonas de permanencia de personas, la cual debe indicar en amarillo si la resistencia de aislamiento de la red desciende por debajo de $100\ \Omega$ por cada voltio de tensión nominal fase-tierra y en rojo si desciende por debajo de $50\ \Omega$ por cada voltio de tensión nominal fase-tierra, tal como indica la norma IEC 60364-5-53 Anexo H.
- Cuando se tengan sistemas no puestos a tierra se debe instalar un dispositivo indicador de falla a tierra acoplado con la protección del circuito (Ministerio de Minas y Energía, 2013).

Regulación Estadounidense - 30 CFR

- Dispositivos de interrupción de circuito.

El sistema de conexión a tierra a prueba de fallas debe estar continuamente monitoreado e incluirá el marco del equipo y todos sus accesorios en el potencial de tierra. Además, el equipo, incluidos sus controles y el cable portátil, se desactivará automáticamente al producirse una falla de tierra incipiente. La corriente de disparo por falla a tierra debe estar limitada por una resistencia a tierra. La corriente máxima de disparo de falla a tierra no debe exceder los 25 amperios.

El cable portátil para equipos con clasificaciones de placa desde 661 voltios hasta 1,000 voltios debe incluir conductores de conexión a tierra, un conductor de control de conexión a tierra y protectores metálicos conectados a tierra alrededor de cada conductor; excepto que en las máquinas que emplean enrolladores de cables, se pueden usar cables sin blindajes si el aislamiento tiene una capacidad nominal de 2,000 voltios o más (Art. 18.48).

- Todos los circuitos eléctricos de equipos metálicos que se encierran o encajonan deben estar conectados a tierra o provistos de una protección equivalente. Este requisito no se aplica a los equipos que funcionan con baterías (Art. 56.12025).
- Las cercas y los edificios metálicos que encierran transformadores y equipos de distribución deben estar conectados a tierra (Art. 56.12026)
- Se debe proporcionar conexión a tierra de la estructura o protección equivalente para equipos móviles alimentados a través de cables de arrastre. (Art. 56.12027)
- Se deben realizar pruebas al sistema de puesta a tierra inmediatamente después de la instalación, reparación o modificación y anualmente a partir de entonces (Art. 56.12028)
- Métodos aprobados de puesta a tierra.

Se aprobarán cubiertas metálicas, armaduras y conductores en sistemas de resistencia con conexión a tierra si se realiza una conexión sólida con el conductor del neutro; En todos los demás sistemas, se aprobarán los siguientes métodos de puesta a tierra:

Una conexión sólida a una carcasa de perforación de baja resistencia a la tierra

Una conexión sólida a un conductor de puesta a tierra que se extiende a un campo de puesta a tierra de baja resistencia situado en la superficie (Art. 75.700-1)

- Para circuitos monofásicos de 110-220 voltios el único método de conexión a tierra aprobado es la conexión de todos los marcos metálicos, cubiertas y otros recintos de dichos equipos al sistema de puesta a tierra del transformador. (Art. 75.701-2)

- cables de puesta a tierra; Capacidad de los cables.

Si el conductor utilizado es el No. 6 AWG o mayor, el área de la sección transversal del cable de conexión a tierra debe ser al menos la mitad con respecto al mismo y el cable de conexión a tierra deberá ser de igual sección transversal si se utiliza un conductor de energía inferior al No. 6 AWG (Art. 75.701-4)

- Para circuitos de alto voltaje se deben instalar los dispositivos de desconexión a menos de 100 pies del punto en la superficie donde los circuitos ingresan a la parte subterránea de la mina
- La tensión máxima utilizada para los circuitos de verificación de puesta a tierra no debe exceder los 96 voltios. Las corrientes de falla a tierra deben estar limitadas por una resistencia de tierra neutral a no más de: 6.5 amperios cuando el voltaje nominal del circuito de alimentación es de 2.400 voltios o menos; 3.75 amperios cuando el voltaje nominal del circuito de alimentación excede los 2.400 voltios (Art. 75.814).

(MSHA, 2014)

Regulación Canadiense – CSA M421

- El circuito de conexión a tierra desde la superficie hasta el subterráneo consistirá de al menos un conductor de cobre interconectado y unido a las subestaciones subterráneas.
- El radar de detección subterránea GPR y la transferencia de potencial en equipos móviles o móviles no debe exceder de 100 V.

Para minas de carbón subterráneas:

- La cubierta metálica de un cable no debe utilizarse como único conductor de puesta a tierra.
- Los motores eléctricos, componentes o cámaras asociados con el montaje de máquinas o equipos deben conectarse a tierra con conductores de cobre al sistema de tierra de la fuente de alimentación. La conductancia del conductor a tierra debe ser más del 50% de la conductancia del conductor de potencia más grande y debe tener un tamaño mínimo de No. 10 AWG.
- Los sistemas de CC de dos cables que operan a voltajes de 250 V o menos, pero que excedan los 50 V, deberán estar conectados a tierra y equipados con un equipo de monitoreo de falla a tierra.
- Consideraciones de puesta a tierra del sistema de CA de la mina de carbón subterránea
- El factor de potencia de la impedancia limitante de falla a tierra, asumiendo una capacitancia cero, no debe ser inferior a 0.65 de retraso, y debe limitar la corriente de arranque a un máximo de 1.6 veces la corriente limitada de falla a tierra de estado estacionario diseñada.
- En las minas de carbón subterráneas, la corriente de falla a tierra prospectiva y el voltaje de falla a tierra deben reducirse a un valor tan bajo como sea posible; los valores de 25 V

ac o 60 V dc son deseables. Se deben coordinar diferentes niveles de protección para lograr un tiempo de remoción de fallas lo más rápido posible (Canadian Standards Association “CSA Group,” 2016)

3. Sistema de cableado de la red de distribución en media y baja tensión

La distribución abarca todas las líneas de alta tensión, cables, acopladores de cable, líneas eléctricas aéreas, y puesta a tierra entre los equipos eléctricos y las cargas. Esta categoría, los cables de arrastre es el eslabón más débil en los sistemas eléctricos de minas.

Los cables llevan la energía eléctrica desde la subestación, donde se toma el suministro de las líneas de la empresa de servicios públicos, hasta las máquinas de explotación minera, las bombas, cintas transportadoras, u otros equipos. Hay muchas posibles variaciones en la distribución de las minas, y varios tipos de cables de usos similares (Ministerio de Minas y Energía, 1995)

El tipo de cable depende de la aplicación, algunos permanecen en lugares fijos por varios años, mientras que otros se mueven con frecuencia. Los cables que están conectados a las máquinas de la minería se denominan portátiles. Existen normas que denominan a estos cables como “cable de arrastre” (trailing cables) para los cables portátiles utilizados en las minas. Este tipo de cable debe ser resistente al fuego y flexible.

Los cables portátiles que alimentan el centro de carga, o se conectan al lado de alto voltaje, tienen que ser trasladados cuando el centro de carga se mueve, pero no se mueven tan a menudo como los cables de arrastre.

La mayoría de los cables fijos son los que traen la energía a la mina, por ejemplo, para la perforación del pozo y a una celda de maniobra portátil. Estos son los cables alimentadores (feeder), y específicamente los cables alimentadores de minas se pueden utilizar para las instalaciones fijas durante varios años. Cabe destacar que el uso de la palabra alimentador es para denotar un tipo de cable en lugar de la aplicación en la distribución. Tanto los cables alimentadores y portátiles pueden utilizarse para aplicaciones de alimentación, donde estos cables suministran a dos o más cargas importantes (Minas, n.d.).

Los tres componentes básicos de cable son los conductores, aislamiento, y la chaqueta, aunque también puede haber rellenos (fillers), cintas semiconductoras (binding), pantallas (shielding), y armaduras (armor). Los conductores están rodeados por el aislamiento y la chaqueta cubre el aislamiento. La selección de los cables se basa en una serie de parámetros, entre ellos, la capacidad de corriente, voltaje, y la configuración. Componentes y parámetros de selección se describen en los párrafos siguientes.

Con el fin de obtener la flexibilidad necesaria, los conductores del cable se componen de muchas hebras conductoras combinadas en secciones, donde una serie de filamentos forman cada hebra. Los conductores son de cobre o de aluminio, este último es más barato y liviano, pero tiene una menor conductividad. El aluminio se utiliza a veces en los cables de alimentación, pero la pobre flexibilidad impide su uso en cables de arrastre, en la figura 5 se muestra y describe un cable de arrastre. El área de la sección de los conductores es importante para la resistencia mecánica y está estrechamente relacionado con la capacidad de corriente. El área de la sección

del cable o calibre utilizados son AWG (American Wire Gauge) y circulares denominadas MCM (mil-circular-mil).

El aislamiento es necesario para soportar el estrés del calor, la tensión, y el desgaste mecánico. Esta debe ser especialmente diseñada para proteger al personal de una descarga eléctrica, y también aislar los cables de fuerza con los del circuito de puesta a tierra. El calor excesivo es especialmente destructivo para los compuestos de aislamiento, en que las principales fuentes de calor son la temperatura ambiente y pérdida de potencia por la resistencia del cable conductor. La calificación de capacidad de corriente generalmente se basa en el aumento de la temperatura máxima del conductor, con el límite de la temperatura elegida sobre la base de la esperanza de vida del aislamiento del cable. La clase de temperatura (siempre se da en grados Celsius) describe la temperatura máxima admisible del conductor sostenida en una temperatura ambiente de 40°C (104 ° F) (PÉREZ, 2011).

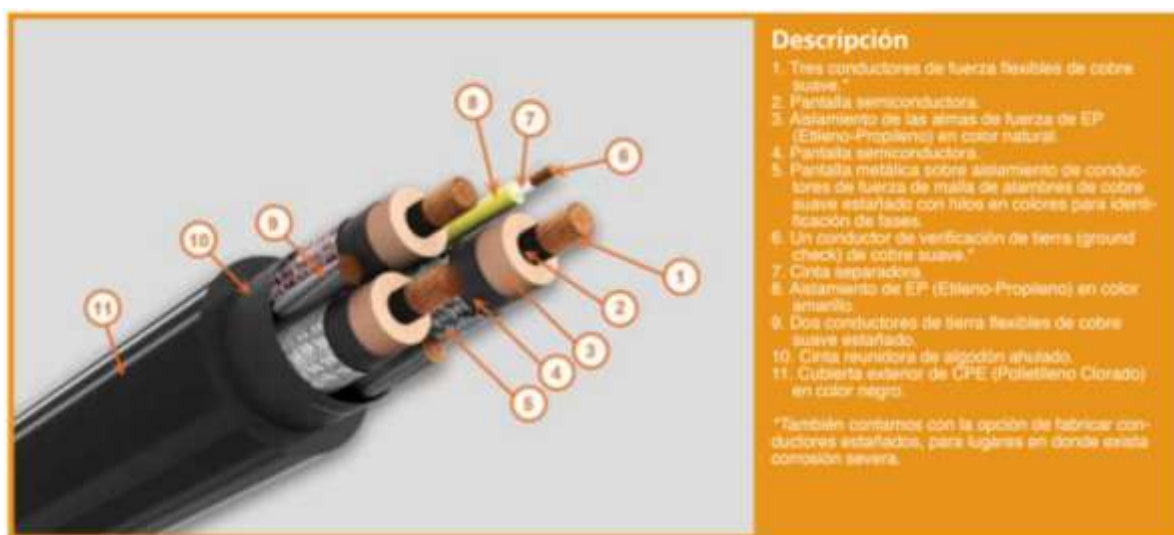


Figura 5. Cable tipo SHD-GC, con aislamiento de EP 90°C, de 2 kV a 25 kV y cubierta exterior de CPE. Usado para cable de arrastre. Nota. Tomado de CONdumex Recuperado de: http://catalogo.condumex.com.mx/cdx_catalogo/detalleFichasProd.aspx?idCat=0&idFicha=183

El RETIE en el capítulo 30.1.3 da una descripción de los diferentes tipos de cable que se pueden utilizar en la minería subterránea y los clasifica en tres grupos, así:

- Cables armados: son los especialmente indicados para instalaciones fijas, contruidos en un solo bloque los tres conductores aislados y el de tierra aislada, para sistema trifásico, un relleno de material plástico, una armadura metálica, y una cubierta exterior de PVC.

- Cables flexibles armados o semiflexibles: Son los utilizados en instalaciones de baja movilidad; en general son cables de muy amplio rango de aplicación en toda clase de instalaciones subterráneas, están formados por los tres conductores aislados y su conductor de tierra aislada, para sistema trifásico, un relleno de material plástico, una armadura metálica y una cubierta exterior de gran resistencia a la abrasión.

- Cables flexibles: Estos están indicados para instalaciones móviles. Son cables de construcción y tratamiento más complejos, requieren de una protección eléctrica especial denominada protección de cable flexible y están compuestos de los tres conductores aislados para sistema trifásico, un relleno central plástico, una pantalla metálica y una cubierta exterior de gran resistencia a la abrasión.

También agrega que las terminaciones y los empalmes deben tener características mecánicas y eléctricas equivalentes a las del cable, los productos utilizados deben disponer de un marcado específico y de una certificación coherente con a dicha información y en general solicita que se realicen inspecciones frecuentemente que garanticen la ausencia de aberturas en las carcasas y un buen estado en los elementos del sistema eléctrico.

Por otra parte, la norma estadounidense (MASHA) da una lista específica de la información que se debe suministrar en los cables eléctricos y cables de señalización, tales características son:

- Tipo de cable (por ejemplo, G o GGC).

- Construcción (por ejemplo, redonda o plana).
- Número y tamaño (calibre) de cada conductor.
- Clasificación de voltaje para todos los cables que contienen conductores eléctricos.
- Capacidad de transmisión de corriente de cada conductor, con la temperatura ambiente correspondiente en la que se basa la corriente nominal (ampacidad) de cada conductor de potencia.

Para los empalmes también solicita un mínimo de información:

- Nombre comercial o designación (por ejemplo, estilo o número de código).
- Tipo (por ejemplo, blindado o no blindado).
- Tensión nominal.
- Tipo de materiales, proveedor, número de stock del proveedor o designación de cada componente.
- Deben suministrar las instrucciones de ensamblaje del empalme que identifican claramente todos los componentes y procedimientos detallados utilizados para hacer el empalme.

La norma estadounidense es muy insistente en la seguridad y calidad de los productos, hace mucho énfasis en que los cables y empalmes eléctricos deben ser resistentes a las llamas. Para que un producto cumpla con esta condición el proveedor está obligado a realizarle pruebas a los conductores, exponiéndolos a altas temperaturas y corrientes dentro de una pequeña bóveda que lleva los materiales a condiciones extremas garantizando así que el producto sea apto para las condiciones del medio en una mina subterránea.

A su vez indica las exigencias de los conductores para motores eléctricos, estas son contar con cables que satisfagan las características de placa del motor, instalar conductores no inferiores

al calibre 14 AWG, materiales resistentes al fuego y para cables portátiles la longitud no debe ser superior a 500 pies (152.4 m) (MSHA, 2014)

4. Requisitos para subestaciones y tableros de distribución

Es común que en la minería se compre la totalidad o la mayor parte de energía eléctrica a las empresas de servicios públicos. La subestación principal, figura 6, es la que conecta directamente de las líneas de transmisión, y lleva la tensión a valores reducidos para los sistemas de subtransmisión o redes de distribución. Normalmente su capacidad va desde 500 kVA con suministro de 380 V para las bombas y cintas transportadoras, hasta 50000 kVA para la operación de minas con sistemas robustos (PÉREZ, 2011).



Figura 6.. Subestación principal de superficie. Nota. Tomado de Semantic scholar Recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/170a/7cf7ba6dd7cec9a0f837436308bb7a505610.pdf>

Además de los transformadores, las subestaciones contienen un conjunto de interruptores, aparatos de protección y dispositivos de puesta a tierra, en que todos cumplen una función de seguridad. La naturaleza de la operación minera y sus requisitos de energía determinan cuántas subestaciones principales se requieren y dónde deben colocarse.

Las subestaciones portátiles son utilizadas principalmente para los requisitos de carga pequeños y, en instalaciones más grandes, pueden servir para transformar la tensión de distribución primaria a un nivel de distribución inferior. Estas subestaciones se han diseñado y construido como una única unidad. La Figura 7 muestra una subestación portátil.



Figura 7. Subestación portátil para minas subterráneas. Nota. Tomado de Ab control Recuperado de: <http://abcontrol.com.mx/site/?p=1242.1577.1544>

Los transformadores de potencia son los principales equipos de las subestaciones y permiten transmitir la energía a plantas de preparación y carga general, tales como bombas, ventiladores, talleres de mantenimiento y oficinas e instalaciones de baños. En el caso de una mina subterránea se recomienda disponer además de un transformador separado para el sistema eléctrico subterráneo.

La selección de la capacidad del transformador debe basarse en una estimación de la carga eléctrica, determinando el consumo de los equipos y el factor de carga de la planta.

Otros elementos importantes en la subestación son los equipos de protección, que proporcionan la desconexión para aislar fallas y para el mantenimiento mediante interruptores de cuchillas o interruptores fusibles, que se encuentran en el primario y secundario del transformador de la subestación. Los interruptores de cuchillas suelen tener encapsulado metálico, mientras que los interruptores fusibles se montan en postes. Fusibles o interruptores pueden ser utilizados para la protección del transformador. Una regla general es usar un interruptor en el primario con relé de protección cuando la capacidad del transformador es de 5000 kVA o más.

Las protecciones de corto circuito, sobrecarga, y por falla a tierra son esencialmente los mismos que se emplean en las Celdas de maniobra (Oliver, 2013).

4.1 Exigencias eléctricas para subestaciones, transforma-dores y tableros de distribución.

4.1.1 Índice de protección y protección de robustez mecánica. En minas subterráneas, se deben utilizar los equipos con los grados de protección apropiados, tanto a la penetración de cuerpos sólidos, gases o agua, como al impacto, teniendo en cuenta los siguientes requerimientos:

El Grado de protección IP o su equivalente NEMA, se refiere al nivel de estanqueidad frente a la penetración de polvo y de agua al interior de cualquier envolvente. La identificación del nivel de protección se hace por medio de las letras IP seguido de dos cifras, la primera indica el nivel relativo de estanqueidad al polvo (el máximo será 6 e indica que el polvo no entra bajo

ninguna circunstancia) y la segunda al agua (el máximo será 9K para equipos que resistan potentes chorros de agua a alta temperatura). En minas subterráneas deben utilizarse mínimo los siguientes grados IP o sus equivalentes NEMA:

- IP 20: También llamada protección de dedos, está destinado principalmente a partes de aparatos contenidos en otras envolventes, por ejemplo, seccionadores o transformadores de auxiliares situados en el mismo compartimento que el resto de aparatos.
- IP 23: Exigido para envolventes de equipos sin modo de protección destinados a estar instalados en el interior de locales o habitáculos cerrados (sin acceso libre al personal).
- IP 54: Exigible a envolventes de equipos sin modo de protección cuando están instalados con acceso directo al personal de explotación (locales o lugares abiertos). También para equipos con modo de protección con envoltorio antideflagrante (Que elimina o reduce el peligro de explosión).
- IP 55: Exigible a envolventes de equipos de Seguridad Intrínseca y de Seguridad Aumentada, o ambos como modo de protección.

El Grado de protección de robustez mecánica IK o su equivalente NEMA, se refiere al grado de protección de la envoltorio o parte de ella contra impactos donde el máximo índice será IK10 que se refiere a un impacto con una energía de 20J con un objeto de una masa y una altura de la pieza de golpeo de 5kg y 4mm respectivamente. Se debe usar en cualquier tipo de equipo de instalación subterránea, tanto de áreas clasificada como sin clasificación.

Los equipos eléctricos de interior deben presentar alta resistencia mecánica a fin de ser capaces de asegurar el suministro eléctrico con la seguridad exigible para ambientes subterráneos no clasificados o con riesgo de explosión, los grados IK mínimos requeridos son:

- IK09 para equipos eléctricos destinados a frentes de arranque, preparación y, en general, cualquier labor de interior que implique proximidad a con maquinaria pesada,
- IK07 para otros equipos eléctricos, alumbrado general, señalización, control, gasometría, etc.

Estos índices, tanto el IP como el IK se deben tener en cuenta para la selección de cualquier equipo que se desee instalar en el interior de la mina, esto incluye los tableros de distribución, los transformadores y las subestaciones o centros de carga (Minas, n.d.).

4.1.2. Exigencias para instalación bajo tierra de transformadores

- El transformador instalado en una mina subterránea debe tener encerramiento de tal forma que:
 - (a) Este protegido contra daño físico
 - (b) Tenga resguardo de tal manera que se impida el acceso a personal no calificado y no autorizado
 - (c) Cuento con espaciamientos alrededor del mismo para permitir un acceso seguro para inspección, mantenimiento y reparación
 - (d) Su instalación debe ser sobre una base a prueba de fuego y en una ubicación que minimice la propagación del fuego
 - (e) No debe ser usado donde haya riesgo de inundación al menos que este certificado para operar sumergido
 - (f) Debe estar provisto con una cubierta protectora.

- Deberán instalarse medios de desconexión adecuados en el circuito primario de cada transformador de potencia y distribución o en cada banco de transformadores que funcionen como una unidad
- La propagación del fuego de los transformadores llenos de líquido se controlará proporcionando
 - a) un compartimiento separado y cerrado para contener cualquier líquido que pueda liberarse y cualquier incendio que pueda ocurrir;
 - b) un sistema de drenaje para asegurar que cualquier incendio que pueda ocurrir pueda ser controlado de manera segura; o
 - c) un sistema automático aprobado de extinción de incendios.
- Debe estar separado de un área de almacenamiento de explosivos de la siguiente manera:
 - i) cuando el transformador tiene más de $5 \text{ kV} \cdot \text{A}$, a una distancia de al menos 15 m de roca sin perturbar o una distancia de al menos 60 m de espacio abierto; o
 - ii) cuando el transformador es de $5 \text{ kV} \cdot \text{A}$ o menos, a una distancia de al menos 15 m de espacio abierto.
- Se debe prever la eliminación segura de gases peligrosos y productos de combustión que pueden producirse en el transformador o en la habitación que lo contiene.
- Un transformador que contenga un líquido con un punto de inflamación inferior a 275°C no debe instalarse en una mina subterránea.
- Deben desarrollarse políticas y procedimientos específicos de salud y seguridad para responder a los peligros potenciales asociados con los transformadores llenos de gas. Por ejemplo, un procedimiento que requiera el uso de aparatos de respiración podría ser necesario para ingresar a una sala de equipos si se activa una alarma de monitoreo de

oxígeno o SF6. Adicional debe tener un mínimo de dos sensores de monitoreo de oxígeno colocados a una distancia de no más de 1 m de los extremos opuestos del transformador

- Aislamiento de transformadores: Cuando un transformador del tipo seco o de relleno con nitrógeno sea instalado en una mina subterránea, debe tener materiales aislantes iguales o superiores que la Clase H de acuerdo con la IEC 85 y estar a una distancia mínima de tres metros de puntos de trabajo, o de circulación de personas.

4.1.3 Características de tableros eléctricos. Para los accionamientos de máquinas destinadas a labores propias de frentes de explotación o preparación deben ser controlados, protegidos y monitorizados, desde tableros eléctricos apropiados para esos fines (denominados cofres de tajo), los cuales son equipos robustos, contruidos en envolvente metálica electrosoldada y deben contar con Certificado de Conformidad con la norma que le aplique. Cuando van a ser utilizados en minas clasificadas con riesgo de explosión deben estar certificados y marcados como IECEX, ATEX o similar, deben disponer de un sistema de apertura-cierre que facilite el acceso, el cual debe asegurarse por medio de enclavamientos mecánicos. Además:

- Deben instalarse de tal forma que permitan el acceso a la parte posterior del tablero desde ambos extremos para su inspección, ajuste o reparación.

4.1.4 Exigencias para subestaciones subterráneas

- Debe estar equipado con un interruptor de desconexión principal que, cuando está en la posición abierta, desenergiza la entrada a todos los transformadores de energía.
- debe estar equipado con un dispositivo de desconexión para cada circuito que suministre energía a una máquina de minería continua de alto voltaje. Un dispositivo de desconexión se define como un interruptor de desconexión o un acoplador de cable.
- Cada interruptor de desconexión debe estar etiquetado para identificar claramente el circuito que desconecta, y debe diseñarse e instalarse de la siguiente manera:
 - (1) Clasificado para el voltaje máximo de fase-fase final del circuito;
 - (2) Clasificado para la corriente de carga completa del circuito.
 - (3) Permitir la observación visual, sin quitar ninguna cubierta.
 - (4) Conecte a tierra todos los conductores de alimentación en el lado de la carga cuando el interruptor esté en la posición "abierto y conectado a tierra";
 - (5) Solo se puede bloquear en la posición "abierto y conectado a tierra"; e
 - (6) Interrumpe de manera segura la corriente de carga completa del circuito antes de que se abra el interruptor de desconexión. Todos los compartimentos que brindan acceso a los circuitos de alto voltaje deben tener barreras y / o cubiertas.
- (e) El circuito de control debe estar enclavado con el interruptor de desconexión principal en el centro de energía para que:
 - (1) Cuando el interruptor de desconexión principal está en la posición "abierto", el circuito de control solo puede alimentarse a través de un interruptor auxiliar en la posición "prueba"; y

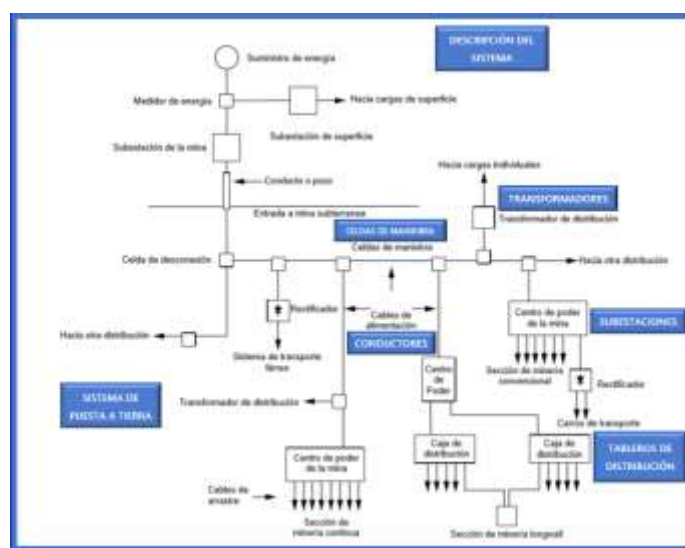
- (2) Cuando el interruptor de desconexión principal está en la posición "cerrado", el circuito de control solo puede alimentarse a través de un interruptor auxiliar en la posición "normal".
- (f) Cada cubierta o barrera removible debe estar equipada con al menos dos interruptores de enclavamiento. Excepto cuando el interruptor auxiliar está en la posición de "prueba"
- (g) El centro de energía debe estar equipado con un interruptor de parada de emergencia accesible desde el exterior que desenergiza el alto voltaje entrante en el evento de una emergencia.
- (h) El centro de energía debe estar equipado con una barra de conexión a tierra que se utilizará antes de realizar trabajos eléctricos
- (i) Todos los compartimentos, el acceso a conductores y piezas de alto voltaje energizados debe mostrar una etiqueta de precaución.
- Un ensamble de subestación que consiste en dos o más estructuras móviles interconectadas por cable debe estar provisto de un interruptor de circuito que dispare la alimentación en caso de una falla a tierra en el cable de interconexión. La longitud del cable de interconexión no debe superar los 5 m.

5. Herramienta interactiva para la descripción del sistema de distribución en minas subterráneas

Como complemento al trabajo de grado se desarrolló un archivo aplicado en Excel, el cual sintetiza de manera interactiva el contenido de este documento (Ver Apéndice A).

Lo que se busca al crear esta herramienta es tener una ayuda visual, didáctica y practica que de forma sencilla muestre como es el modelo típico del sistema de distribución en una mina subterránea, sus generalidades y las principales exigencias de los elementos más importantes. En la página principal del archivo se puede apreciar el esquema típico de distribución en minas subterráneas, complementado con cuadros de dialogo que al ser seleccionados van a direccionar a una ventana con la descripción de los elementos

Al abrir el documento se encuentra la siguiente imagen:



En ella se aprecia el esquema típico de la distribución radial en minas subterráneas acompañado de 7 cuadros de dialogo de color azul, los cuales contienen:

- Descripción del sistema
- Subestaciones
- Transformadores
- Celdas de maniobra
- Tableros de distribución
- Conductores
- Sistema de puesta a tierra

Para ampliar la información de la descripción del sistema se da clic en el cuadro de dialogo con ese nombre, es decir:



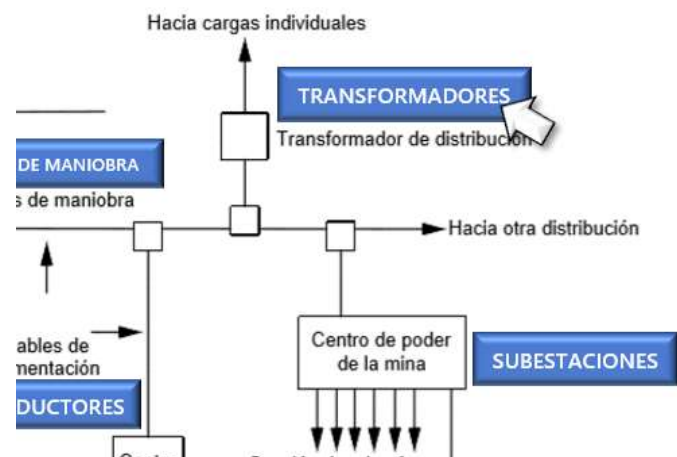
A continuación direccionará a la pestaña que contiene imágenes, descripción general, principales componentes y si es el caso los requisitos de instalación, así:

SISTEMA DE DISTRIBUCION DE MINAS SUBTERRANEAS		INICIO
GENERALIDADES	Los sistemas eléctricos en la industria minera se caracterizan por su complejidad y por estar sujetos a restricciones legales, tales como la CSA M421-00 (canadiense), la 30 CFR (estadounidense) o el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas del Ministerio de Minas y Energía en Colombia (RETIE). Los equipos de minería por lo general son móviles y motorizados, la mayoría se alimenta eléctricamente a través de cables portátiles y, por seguridad, deben ser parte de un sistema de puesta a tierra elaborado. Las máquinas y equipos de distribución de energía rara vez son fijos y deben resistir niveles extremos de polvo, la humedad y las vibraciones. Las cargas eléctricas de la maquinaria de minería son cíclicas y pueden ser extremadamente variables. El escenario de la minería es de constante movimiento, donde la distribución de la energía permanentemente se traslada, y el riesgo de accidentes está siempre presente.	
PRINCIPALES COMPONENTES	- Centros de poder (Subestaciones). - Celdas de maniobra. - Subestaciones portátiles. - Distribución (conductores y conectores). - Tableros de distribución. - Sistema de puesta tierra.	
MODO DE OPERACIÓN	La energía y la puesta a tierra de la mina subterránea llegan desde la superficie por medio de cables aislados, estos cables deben terminar en los desconectores ubicados a una distancia mínima de 152 m del punto de entrada de la veta. Todos los cables de los circuitos de alta tensión, tienen pantallas protectoras. Las concentraciones de carga principal en la minería subterránea son separadas por secciones. La distribución termina en la sección del centro de poder. A partir de éste, varias máquinas son alimentadas a través de acopladores y cables de arrastre. Si se usan correas de transporte, los transformadores de distribución se sitúan cerca de las unidades de las cintas transportadoras, por lo que se conocen como transformadores de correas transportadoras. Las unidades rectificadoras se encuentran en la entrada o al lado de la vía férrea, entre dos segmentos de la línea (la vía férrea se divide en segmentos para su alimentación). Todos los equipos eléctricos usados en minas subterráneas deben ser resistentes, portátiles, autónomos, y específicamente diseñados para la instalación y operación en espacios reducidos. Además, todos los equipos y cables de conexión deben estar protegidos contra cualquier falla que podría provocar una descarga eléctrica al personal. Esto es proporcionado principalmente por el relé de protección incorporado	INICIO

En esta ventana se encuentran botones que se pueden seleccionar para direccionar al inicio dando clic sobre ellos

SISTEMA DE DISTRIBUCION DE MINAS SUBTERRANEAS		INICIO
GENERALIDADES	Los sistemas eléctricos en la industria minera se caracterizan por su complejidad y por estar sujetos a restricciones legales, tales como la CSA M421-00 (canadiense), la 30 CFR (estadounidense) o el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas del Ministerio de Minas y Energía en Colombia (RETIE). Los equipos de minería por lo general son móviles y motorizados, la mayoría se alimenta eléctricamente a través de cables portátiles y, por seguridad, deben ser parte de un sistema de puesta a tierra elaborado. Las máquinas y equipos de distribución de energía rara vez son fijos y deben resistir niveles extremos de polvo, la humedad y las vibraciones. Las cargas eléctricas de la maquinaria de minería son cíclicas y pueden ser extremadamente variables. El escenario de la minería es de constante movimiento, donde la distribución de la energía permanentemente se traslada, y el riesgo de accidentes está siempre presente.	
PRINCIPALES COMPONENTES	- Centros de poder (Subestaciones). - Celdas de maniobra. - Subestaciones portátiles. - Distribución (conductores y conectores).	

Estando nuevamente en el inicio se puede seleccionar otro elemento deseado, por ejemplo, el transformador:



Allí se encontrará el siguiente cuadro:

TRANSFORMADORES		INICIO
 Transformador tipo seco		
GENERALIDADES	Los transformadores son dispositivos eléctricos que sirven para regular la intensidad o el voltaje en un circuito de corriente alterna, de forma que la frecuencia y la potencia se mantengan estables. Convierten la electricidad que reciben de una fuente externa a través del devanado primario o de entrada en magnetismo, que es transformado en electricidad nuevamente en el devanado secundario o de salida. Su principal función es convertir el nivel de la tensión de distribución a los niveles que requieren los equipos que operan en el interior de la mina.	
PRINCIPALES COMPONENTES	Armazón Bornes de alta y baja tensión Medio refrigerante Núcleo de material magnético Boquillas terminales Devanados Bobinas	
	Un transformador instalado en una mina subterránea deberá a) estar protegido contra daños físicos; b) estar protegido de tal manera que el acceso de personas no autorizadas se pueda evitar si hay partes expuestas energizadas; c) estar separado de un área de almacenamiento de explosivos de acuerdo con CAN / BNQ 2310-510 o las distancias de separación según lo especificado por la autoridad reguladora competente;	

Y así para todas las opciones que se tienen en el documento.

6. Conclusiones

En el desarrollo de este trabajo de grado se evidencia que es necesario recurrir a normas internacionales para validar requisitos de instalación y diseño de sistemas eléctricos en minas subterráneas, esto debido a que el reglamento técnico colombiano RETIE suministra información muy superficial sobre las exigencias de estos sistemas y no cuenta con especificaciones y requerimientos específicos para los diferentes elementos.

Los sistemas eléctricos para minas subterráneas son muy exigentes debido a que la presencia de energía eléctrica en el interior de una mina es un riesgo latente, es por esto que definiciones y exigencias claras del sistema eléctrico se hacen más que necesarias, los equipos instalados deben estar conectados al riguroso sistema de puesta a tierra y garantizar que esté presente continuidad mediante un monitoreo constante, se deben garantizar conexiones sólidas y seguras. Un seguimiento constante a este sistema es clave a la hora de garantizar el funcionamiento eficiente del sistema eléctrico.

Se hace sumamente importante identificar las características que deben tener los diferentes conductores que se pueden llegar a utilizar en el interior de una mina, no basta con la breve descripción que suministra el RETIE ya que se debe definir en que casos se implementa cada tipo de cable y cuales son la exigencias de los materiales de construcción para que el producto sea apto en una instalación sometida a movimiento constante, altas temperaturas y compatible con la presencia de gases explosivos como el grisú presente en las minas subterráneas de carbón.

Los equipos a instalar en el interior de una mina surgen de un análisis selectivo y deben cumplir con el requerimiento de los terrenos agrestes a los cuales van a ser sometidos, es allí donde surge la necesidad de definir claramente las características de estos elementos, es fundamental garantizar las distancias de seguridad y la instalación sobre bases ignífugas al igual que los índices IP e IK de cada unidad del sistema eléctrico. Para estas instalaciones lo primordial es garantizar la extinción de fuego, el monitoreo de los gases peligrosos, la presencia de alarmas luminosas y sonoras y la selección de equipos con materiales resistentes a habientes corrosivos con temperaturas altas. Cabe decir que no basta con la selección de unos buenos equipos, esto se debe complementar con revisiones constantes al sistema eléctrico y con las correcciones inmediatas ante cualquier novedad identificada.

Referencias Bibliográficas

American National Standards Institute ANSI. (2015). *Standard for Electrical Power Distribution Equipment and Systems*.

Canadian Standards Association “CSA Group.” (2016). Use of electricity in mines. *Nature*, 137(3474), 914. <https://doi.org/10.1038/137914a0>

I.T. MINAS. (2010). *Instalaciones eléctricas en minería*. 1–8.

Ministerio de Minas y Energía. (1995). *Norma sobre cables e instalaciones eléctricas en bajo tierra*.

Ministerio de Minas y Energía. (2013). *Anexo General Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE*. 169–177.

Ministerio de Minería. (2013). *Guía de operación para la pequeña minería*.

MSHA. (2014). *Title 30 Mineral Resources*. <http://arlweb.msha.gov/regs/30cfr/>

NFPA 70. (2008). *National Electrical Code*. 1470. [https://tsapps.nist.gov/notifyus/docs/wto_country/DOM/full_text/pdf/DOM223\(spanish\).pdf](https://tsapps.nist.gov/notifyus/docs/wto_country/DOM/full_text/pdf/DOM223(spanish).pdf)

Oliver, J. (2013). *Síntesis de la normativa minera en Colombia y otras regiones aplicada al montaje de instalaciones eléctricas*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Park, B. (2010). *Recommended Practice for Electrical Equipment Maintenance 2010 Edition*.

Pérez, F. S. C. (2011). “ *Nociones específicas para puesta a tierra en instalaciones mineras .* ”

Resources, M. (2018). *Title 30 Mineral Resources.*