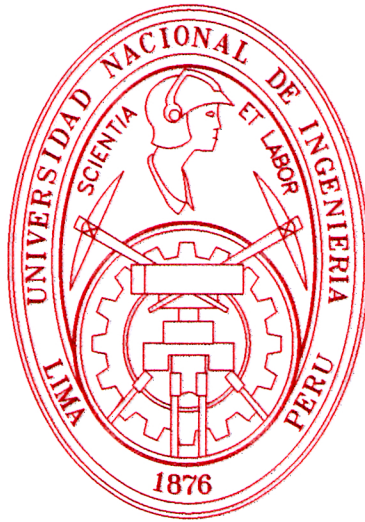


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE SUBESTACIONES
MOVILES”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

ANTENOR LIZARDO DELGADO BRAVO

PROMOCION 2000-II

LIMA-PERU

-2005-

TABLA DE CONTENIDO

PRÓLOGO.....	Pág. 3
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN.....	Pág. 5
CAPÍTULO II	
FUNDAMENTO TEÓRICO	Pág. 7
CAPÍTULO III	
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	Pág. 25
3.1. GENERALIDADES.....	Pág. 25
3.2. ALCANCES DEL PROYECTO.....	Pág. 26
3.3. PLANOS DEL PROYECTO.....	Pág. 28
3.4. BASES DE CÁLCULO.....	Pág. 29
CAPÍTULO IV	
FABRICACIÓN DE EQUIPOS MECÁNICOS.....	Pág. 30
4.1.FABRICACIÓN DE LA CELDA DE LLEGADA.....	Pág. 30
4.2. FABRICACIÓN DE LAS CELDAS DE SALIDA.....	Pág. 33
4.3. FABRICACIÓN DEL PATÍN DE DESLIZAMIENTO.....	Pág. 37
CAPITULO V	
CÁLCULO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS ELÉCTRICOS.....	Pág. 40
5.1. CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL TIPO DE BARRA.....	Pág. 47
5.2. CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL SECCIONADOR.....	Pág. 62

5.3. CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LOS FUSIBLES.....	Pág. 65
5.4. CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LOS AISLADORES.....	Pág. 66
5.5. CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LOS PARARRAYOS.....	Pág. 67
5.6. CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA.....	Pág. 68
5.7. CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.....	Pág. 70
5.8. CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN.....	Pág. 75
CAPÍTULO VI	
MONTAJE, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO.....	Pág. 80
6.1. MONTAJE.....	Pág. 80
6.2. PRUEBAS.....	Pág. 82
6.3. PUESTA EN SERVICIO.....	Pág. 82
6.4. EQUIPOS DE MANIOBRA.....	Pág. 84
CAPÍTULO VII	
ANÁLISIS ECONÓMICO.....	Pág. 87
CONCLUSIONES.....	Pág. 97
BIBLIOGRAFÍA.....	Pág. 99
APÉNDICE.....	Pág.102

PRÓLOGO

El presente proyecto de Ingeniería trata sobre el diseño y fabricación de Sub-estaciones Móviles tipo **“SKID MOUNTED”** de 8 MVA, 69/7,2 KV, 60 Hz, para la compañía Southern Perú Copper Corporation situado en la provincia de Suches, Departamento de Tacna.

Para el desarrollo del proyecto se involucran una serie de áreas, tanto de la ingeniería mecánica y eléctrica así como otras afines.

Las Sub-estaciones Móviles representan una gran alternativa para suministrar energía eléctrica cuando quiera y donde quiera, su utilización puede darse en diferentes actividades como la minería e industrias donde se requiere trasladar cada cierto tiempo de lugar geográfico y además permite operar rápidamente sin ningún inconveniente, representa una buena opción económica debido a que no es necesario invertir nuevamente en otra subestación.

El siguiente trabajo constituye un estudio de los aspectos técnicos desde el punto de vista de la Ingeniería, presentando un trabajo de manera secuencial que ofrezca una visión integral del diseño de sub-estaciones que en la mayoría de los casos se fabrica de acuerdo a los requerimientos del cliente.

En el **Capítulo 1**, se presenta una visión general del proyecto.

En el **Capítulo 2**, se desarrolla la parte teórica del proyecto y las consideraciones técnicas a tener en cuenta.

En el **Capítulo 3**, se hace la descripción del proyecto y sus alcances.

En los **Capítulo 4**, se presenta todo lo concerniente a la selección de los equipos mecánicos así como su fabricación y diseño.

En el **Capítulo 5**, se presenta todo lo concerniente al cálculo y selección de los equipos eléctricos así como su fabricación y diseño.

En el **Capítulo 6**, se presenta todo lo referido al montaje, pruebas y puesta en servicio de la subestación móvil.

En el **Capítulo 7**, se presenta el análisis económico del proyecto.

Como parte final se presentan las conclusiones, los planos, bibliografía y apéndices que fueron de vital importancia durante todo el desarrollo del proyecto.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de tesis tiene como propósito efectuar un estudio que permita la normalización de las sub-estaciones móviles, otorgándole al fabricante y al cliente una visión rápida de cómo elaborarlas y su costo aproximado, además de los beneficios que ellas otorgan.

Lo que se espera demostrar con este proyecto, es que las sub-estaciones móviles son una buena alternativa de suministro de energía rápida, confiable, económica y de fácil instalación en lugares de difícil acceso.

El método de trabajo a seguir es el siguiente:

- Recopilación de datos.
- Investigación y Análisis.
- Diseño y Construcción.
- Montaje y puesta en servicio.

Los alcances del proyecto son los que permiten disminuir los costos, ofrecer facilidades de transporte y de construcción, debido a que podemos

trasladarlas de un lugar a otro y ofrecer las mismas condiciones de servicio en distintos lugares.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

En el presente capítulo haremos una introducción teórica de una subestación móvil y daremos a conocer los equipos que conforman una subestación móvil.

Primero debemos decir que ésta es una subestación que respeta los criterios básicos de las sub-estaciones convencionales, además de estar totalmente equipadas y de no requerir equipos adicionales para su instalación.

Una subestación móvil significa entregar energía en unas pocas horas después de su instalación debido a que pocos pasos son necesarios para energizar el sistema:

- Aterrizar el sistema.
- Conexión a la línea de llegada.
- Conexión a la línea de salida.

2.1 Subestaciones Móviles:

En esta parte se dará una visión general de lo que es una subestación móvil y de los equipos básicos que ellas requieren como:

- Pararrayo A.T.
- Seccionador y cuchilla de tierra A.T.
- Fusibles A.T.
- Transformador de potencia
- Interruptor M.T.
- Transformador de tensión M.T.
- Transformador de corriente M.T.
- Batería y cargador de batería
- Celda de media tensión
- Derivaciones
- Transformador de control

Cabe señalar que no es necesaria la instalación de todos estos equipos y que dependen de las especificaciones y requerimientos técnico-económicos del cliente.

A continuación describiremos cada uno de los equipos descritos para dar una idea clara de su utilidad y funcionamiento en la subestación móvil.

2.1.1 Pararrayo

Los pararrayos se emplean para proteger los aparatos e instalaciones importantes (especialmente transformadores) contra las sobretensiones de maniobras o de fenómenos atmosféricos.

Los pararrayos se eligen según la tensión eficaz de extinción del arco y las reglas de coordinación de aislamiento, la intensidad de descarga y la resistencia de cortocircuito.

Se denomina tensión eficaz de extinción del arco a la tensión en el pararrayo con la que se interrumpe la intensidad posterior a una descarga. Según normas VDE 0675, dicha tensión se elige igual o mayor que la máxima tensión continua admisible a frecuencia de red en el pararrayo, considerando las condiciones más desfavorables. Para pararrayos de fase (dispuestos entre fase y tierra), la tensión de extinción se determina por la máxima tensión de fase contra tierra, que se calcula como producto de la mayor tensión a frecuencia de red por el coeficiente de puesta a tierra de la red (norma VDE 0111).

Para proteger los neutros de transformadores (puestos a tierra) se suele elegir un pararrayos con una tensión de extinción equivalente a un 70 a 80% de la de los pararrayos de fase.

Los pararrayos hasta la serie 30 suelen dimensionarse para una intensidad nominal de descarga de 5KA; en regiones muy tormentosas se emplean también los de 10KA. Los superiores a la serie 30 son normalmente para 10 KA.

Es posible una sobrecarga por el pararrayo para una intensidad de pérdida a frecuencia de la red, p. ej. una intensidad de doble pérdida a tierra. Esta intensidad de pérdida suele ser menor que la mayor intensidad de pérdida posible calculada. En las redes con neutro aislado y con bobinas de extinción las intensidades de pérdida a tierra suelen ser inferiores a 15 KA, incluso con doble pérdida a tierra; en las redes con el neutro rígidamente puesto a tierra son raras las intensidades de pérdida a tierra superiores a 40 KA. Son corrientes por lo tanto los valores de 10, 20 y 40 KA de la resistencia al corto circuito de los pararrayos. En algunos casos (p.ej. pararrayos en salidas de generadores) es de especial importancia la resistencia al corto circuito.

Los pararrayos se disponen en paralelo con el objeto protegido, generalmente entre fase y tierra. Debido al limitado espacio de la protección los pararrayos se conectan, a ser posible, en la inmediata proximidad del objeto que debe ser protegido.

En las instalaciones de media y alta tensión con entrada por cables hay que contar con sobretensiones por reflexión, a pesar de la atenuación de la onda

de choque por el cable. Hay que colocar, por lo tanto, un juego de pararrayos cerca del transformador. En caso de que la longitud del cable supere los 30 m, es conveniente instalar también pararrayos en el paso de la línea aérea al cable. Los tramos de cable a lo largo de una línea aérea deberán protegerse colocando pararrayos en ambos terminales.

Para controlar los pararrayos se utilizan espinterómetros de reproducción, que se instalan en el conductor de puesta a tierra. Los pararrayos han de instalarse, en este caso, aislados contra tierra.

La conexión de los pararrayos a tierra ha de efectuarse por el trayecto más corto y, a ser posible, recto. Los cables de conexión entre pararrayos y aparatos de control (contadores chispómetros), así como su punto de conexión, deben ser aislados como mínimo para 1 KV, si su recorrido sobre áreas transitables es inferior a 2600 mm.

2.1.2 Seccionador y Cuchilla de puesta a tierra

2.1.2.1 Seccionador

El Seccionador es un aparato mecánico de conexión que asegura, en posición abierta, una distancia de seccionamiento que satisface condiciones especificadas. Un seccionador es capaz de abrir y de cerrar un circuito cuando se establece o interrumpe una corriente de valor despreciable, o bien

no se produce ningún cambio importante de la tensión entre los bornes de cada uno de los polos del seccionador.

Es también capaz de conducir corrientes en las condiciones normales del circuito y de soportar corrientes por un tiempo especificado en condiciones anormales como las de cortocircuito.

Se les clasifica por el plano en que se mueven las cuchillas, vertical, horizontal, por la distancia de seccionamiento, también vertical u horizontal, por el número de columnas de aisladores que tienen por polo, dos o tres columnas, por la posición relativa de los polos, diagonal, paralelos, en fila india.

El modelo de seccionador rotativo de tres columnas, la central mueve el contacto principal y se tienen dos interrupciones por polo.

El modelo de seccionador rotativo de dos columnas, cada columna sostiene medio brazo, la interrupción se presenta en el centro del polo, mecánicamente es mas complejo que el seccionador de tres columnas, ya que ambos polos deben moverse sincronizados, para que el contacto se cierre con éxito.

El modelo de seccionador pantógrafo de seccionamiento vertical, cada columna sostiene un brazo articulado que con su mano busca cerrarse en el

contacto fijo soportado por las barras tubulares o los cables. Debe notarse que hay dos aisladores por polo, uno de soporte, y otro que transmite el movimiento al brazo.

2.1.2.2 Cuchilla de puesta a tierra

Tiene la función de conectar a tierra parte de un circuito, generalmente está asociado a un seccionador en A.T. o a un seccionador o interruptor en M.T. y es utilizada para aislar los contactos del seccionador o interruptor.

2.1.3 Interruptor

Es un elemento que permite desconectar circuitos bajo corrientes nominales, vacío o de cortocircuito.

En el instante de cerrar el interruptor se produce una corriente de cortocircuito cuyo valor está limitado por la resistencia y reactancia de dispersión del inducido. Si el interruptor se cierra en el momento de que la tensión V es máxima, la corriente de cortocircuito se denomina "Simétrica".

Los ciclos de trabajo del interruptor son los siguientes:

- a) Desconexión Normal.
- b) Interrupción de corte de falla.

- c) Cierre con corrientes de falla.
- d) Interrupción de pequeñas corrientes inductivas.
- e) Fallas en líneas cortas.
- f) Oposición de fase durante las salidas del sistema.
- g) Recierres automáticos rápidos.
- h) Cambios súbitos de corriente durante las operaciones de maniobra.

Los interruptores deben de estar diseñados para conducir corrientes de plena carga y soportar los esfuerzos electrodinámicos producidos a las corrientes de cortocircuito.

Los medios para la extinción del arco en los interruptores son diversos:

- a) En vacío.
- b) En gas SF₆.
- c) En pequeños volúmenes de aceite.
- d) Neumáticos o de aire comprimido.

2.1.4 Transformador de Corriente

Son transformadores de baja potencia, cuyos primarios están intercalados en la línea, mientras los arrollamientos secundarios quedan en cortocircuito a través de los aparatos de medida, contadores, relés o reguladores conectados. Estos transformadores aíslan los circuitos de medida y

protección de la tensión del primario, protegiendo los aparatos contra sobrecargas de acuerdo con el comportamiento de los transformadores frente a sobreintensidades.

Los transformadores a partir de 3,6 KV pueden tener varios arrollamientos secundarios con núcleos totalmente separados magnéticamente con las mismas o diferentes curvas características. Pueden por ejemplo, disponer de dos núcleos de medida de diferente precisión o ser ejecutados también con núcleos de medida y protección con distintos factores nominales de sobreintensidad.

La intensidad nominal térmica permanente (valor eficaz en A.) es 1,2 veces y, en caso de transformadores de intensidad de rango extendido, 1,5 ó 2 veces la intensidad.

La intensidad nominal térmica de breve duración es el valor de la intensidad en el primario de 1 s de duración, indicado en la placa de características, cuyos efectos térmicos pueden ser soportados por el transformador de intensidad con el arrollamiento secundario en cortocircuito, sin sufrir daños (valor eficaz en KA).

La intensidad dinámica nominal es el valor de la amplitud de la primera onda de la intensidad, cuyos efectos mecánicos pueden ser soportados por un

transformador de intensidad con el arrollamiento secundario en cortocircuito, sin sufrir daños (valor pico en KA).

Los transformadores de intensidad para fines de medida se prevén para la conexión de instrumentos, contadores, aparatos análogos, y para la conexión de equipos de protección.

En transformadores de intensidad para fines de medida (identificación con la letra M), la clase indica el límite del error porcentual de la intensidad para la intensidad nominal; en transformadores de intensidad para fines de protección (identificación con la letra P) el límite porcentual de error total para la intensidad límite nominal del error en el primario.

2.1.5 Transformador de Tensión

Los transformadores de tensión inductivos son transformadores de pequeña potencia que trabajan prácticamente en vacío. Aíslan la tensión nominal del primario de los circuitos conectados de medida y protección y transforman la tensión a medir en tensiones secundarias aptas para su medida, manteniendo la fidelidad de sus valores absolutos y desfases.

Cada transformador de tensión tiene un arrollamiento primario y uno secundario. Los de más de 1 KV pueden disponer de varios arrollamientos secundarios, pero siempre con un solo núcleo de hierro. Los

transformadores de tensión de más de 1 KV se ejecutan frecuentemente con un devanado para la detección de contactos a tierra.

Se distingue entre:

- a) Transformadores de tensión unipolares aislados; miden la tensión entre el conductor y tierra.
- b) Transformadores de tensión bipolares aislados; miden la tensión entre dos conductores.

La intensidad nominal de larga duración es la intensidad (valor eficaz en A), que puede soportar durante cuatro u ocho horas el arrollamiento para la detección de contactos a tierra, en caso de contacto a tierra estableciéndose una tensión de 1,9 veces la nominal del primario, y estando sometidos el resto de los arrollamientos a sus cargas nominales, sin que sobrepase en mas de 10° K la temperatura admisible en cualquier parte del transformador.

La intensidad limite térmica en el secundario (valor eficaz en A.) es soportada por el arrollamiento secundario, sin estar sometido a carga el arrollamiento de detección de contactos a tierra, de forma permanente para la tensión nominal en el primario, sin que sobrepase la temperatura admisible en ninguna de las partes del transformador.

La carga de breve duración es el máximo valor admisible de la suma de todas las fuerzas, que actúan simultáneamente sobre un terminal del primario de un transformador de tensión (mecánicas, valor nominal en Nw). Se compone de la carga de servicio y de las fuerzas electrodinámicas, fuerzas de conexión y desconexión y otras fuerzas dinámicas.

2.1.6 Transformador de Potencia

El transformador es un aparato estático que transfiere por inducción electromagnética tensiones e intensidades en corriente alterna entre dos o mas arrollamientos, manteniéndose la misma frecuencia y siendo, por lo general, distintos los valores de la tensión y de la intensidad.

El transformador de potencia es el que tiene sus arrollamientos separados conectados en paralelo a los sistemas correspondientes y no tienen ninguna parte en común.

El grupo de conexión indica la conexión de los arrollamientos de fase de dos arrollamientos de un transformador, así como el numero indicativo de desfase del vector de tensión. Las conexiones se designan con las siguientes letras:

- Conexión estrella Y, y
- Conexión triángulo D, d

- Conexión zigzag Z, z
- Conexión abierta III, iii

Las letras mayúsculas señalan la conexión del arrollamiento de tensión superior, las minúsculas la de tensión inferior. En los grupos de conexión se anteponen las letras mayúsculas. El numero indicativo (5,11 etc.) determina el desfase, en múltiplos de 30°, del vector de la tensión inferior respecto al de la tensión superior con designación de conexión correspondiente, en sentido contrario al de las manecillas del reloj.

Si el punto estrella de un arrollamiento conectado en estrella o zigzag se ha llevado al exterior, el símbolo será YN o ZN, o bien yn o zn.

Estos transformadores con los grupos usuales Yz5 (Yz11) y Dy5 (Dy11) el punto estrella llevado al lado de salida permite la conexión de un conductor neutro a la red de baja tensión. Las designaciones de los grupos de conexión serán entonces: Yzn5 (Yzn11) y Dyn5 (Dyn11).

2.1.7 Baterías

En instalaciones de distribución se utilizan baterías de acumuladores para la alimentación de corriente a los circuitos de mando, de protección de regulación, de señalización y otros, independientemente de la red.

La c.c. de la batería se usa directamente o a través de alternadores para obtener “corriente alterna asegurada”. Con c.a. asegurada se alimentan las fuentes de energía de los ordenadores y de la protección electrónica de las instalaciones con técnica secundaria moderna.

La tensión nominal y la capacidad de una batería de acumuladores se determinan por la tensión nominal requerida, considerando la tolerancia admisible de tensión de los diversos consumidores (dispositivos de conexión y protección), el consumo de éstos, su tiempo de servicio y su forma de consumo. En las instalaciones de distribución se utilizan principalmente dos tipos de acumuladores:

Acumuladores de plomo con electrodos o compuestos de este metal y con ácido sulfúrico diluido como electrolito: Se utilizan en instalaciones de distribución en estaciones de transformación y en centrales, para atender a una gran demanda de energía durante largos tiempos de servicio (p.e. para el alumbrado de emergencia).

Acumuladores de Niquel-Cadmio con electrodos positivos de compuestos de níquel, electrodos negativos de cadmio y potasa cáustica como electrolito: Se utilizan preferentemente en instalaciones de distribución de tamaño pequeño o medio que ocupan poco espacio. Se diferencian de los acumuladores de plomo en lo siguiente:

Ventajas:

- Mayor esfuerzo mecánico.
- Mantenimiento más sencillo.
- Mayor duración
- Menos peso y espacio

Desventajas:

- Menos tensión del elemento (1,2 V/elemento).
- Aumento de tensión al cargar hasta 50 %.
- Caída de tensión al descargar hasta 20%.
- Rendimiento solo 75% referido a Ah y 50 a 60 % referido a Wh; por tanto, bastante mayor consumo de energía.
- Mayor consumo de agua destilada.
- Requieren cambio de la potasa cáustica cada dos años.
- Coste de inversión mas alto.
- Sensibles a temperaturas, solo admisibles hasta 45°C.

2.1.8 Celda de Media tensión

2.1.8.1 Celdas de distribución de media tensión

En el caso de una celda de distribución abierta, la parte frontal estará cubierta con una chapa, las paredes laterales estarán cerradas por medio de chapas o placas de yeso endurecido, estando formada la parte trasera y puertas por chapas metálicas.

2.1.8.2 Instalaciones de distribución de media tensión

Según sea la colocación de los aparatos de mando en las celdas correspondientes, hay que diferenciar las siguientes instalaciones:

- Instalaciones con aparatos montados de forma fija con barras ómnibus (colectoras) dobles o sencillas: En las celdas de distribución están instalados, de forma fija, todos los elementos necesarios para el servicio, tales como interruptores automáticos, seccionadores bajo carga, transformadores de medición, etc.
- Instalaciones con aparatos de chasis extraíble (técnica de carro seccionable) con barras ómnibus dobles o sencillas: Los elementos de servicio, principalmente los interruptores automáticos, han sido dispuestos sobre un carro extraíble.

2.1.9 Derivaciones

El paso de la corriente origina fuerzas que actúan sobre conductores paralelos, cuya longitud “ l ” es grande en relación con la distancia entre ellos “ a ”, y que se reparten uniformemente a todo lo largo de los conductores. Estas fuerzas son especialmente grandes en caso de cortocircuito y realizan esfuerzos de torsión sobre los conductores y esfuerzos de rotura, compresión o tracción sobre los elementos de fijación. Por esta razón, el

embarrado no debe dimensionarse solo para la intensidad de servicio, sino también para hacer frente a la intensidad de cortocircuito máxima posible.

2.1.10 Transformador de Control

Los transformadores de control se utilizan para suministrar la tensión auxiliar para la operación de los elementos de protección, iluminación, calefacción, cargador-rectificador etc.

2.2 Subestación Requerida

Para la subestación requerida por el cliente los aparatos a utilizar son los siguientes:

- Pararrayo A.T.
- Seccionador A.T.
- Transformador de potencia.
- Resistencia de puesta a tierra.
- Celdas de media tensión.
- Interruptor M.T.
- Derivaciones.
- Transformador de control.
- Transformador de tensión M.T.
- Transformador de corriente M.T.
- Cargador – Rectificador.

En los siguientes capítulos veremos el cálculo y selección de los equipos que se instalarán en nuestro proyecto, siempre teniendo en cuenta que la altura de operación de la subestación es de 4200 m.s.n.m.

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

3.1 Generalidades

El siguiente proyecto se realiza debido a la necesidad de distribuir energía de manera rápida y poder trasladar el centro de distribución de un lugar a otro de una manera fácil y rápida dotando así a los clientes de energía confiable y segura para la operación de sus actividades.

En este caso debido al estudio de las cargas eléctricas del cliente y luego de la aplicación de los factores correspondientes se ha determinado que la demanda máxima será de 8 MVA.

Para dotar de esta potencia al cliente se ha previsto la construcción de una Sub-estación Móvil de 69/7,2 KV, que consta de una Celda de Llegada en Alta Tensión 69 KV, un Transformador de 8MVA, 69/7,2 KV, una Celda de Llegada y dos Celdas de Salida en Media Tensión 7,2 KV.

3.1.1 Descripción del área del proyecto

La Sub-estación Móvil de 69/7,2 KV para el cliente estará ubicada en la Provincia de Suches, Departamento de Tacna.

La Sub-estación Móvil de acuerdo al área del proyecto estará ubicada a 4200 m.s.n.m., zona la cual esta sujeta a descargas atmosféricas, lluvias, nieve y temperaturas entre 0°C y 10°C.

3.1.2. Punto de Alimentación

La energía eléctrica para la Sub-estación Móvil se tomará de la línea de Transmisión del Sistema Interconectado, ésta es una de las grandes ventajas de este tipo de sub-estaciones debido a que solo es necesaria una línea de transmisión para su funcionamiento.

3.2 Alcances del Proyecto

La Subestación Móvil de 69/7,2 KV consiste en el suministro, montaje, pruebas y puesta en servicio de:

3.2.1. Bahía de Llegada en Alta Tensión 69 KV. : Esta bahía esta conformada por los siguientes equipos:

- Seccionador de Barra 123 KV, 1600A, 40 KA.

- Fusibles 115 KV, 100 A.
- Pararrayos 84 KV, 198 KVp, 10 KA.

3.2.2. Transformador de Potencia de 8 MVA, 69/7,2 KV y Resistencia de Puesta a Tierra 7,2 kV (Línea – Línea), 4,156kV(Línea – Neutro), 15A,10s.

3.2.3. Celda de Llegada 7,2 KV, 60 Hz. Esta celda está conformada por los siguientes equipos:

- Transformador de Corriente 600-1200/5A, 15VA, Clase 0,5FS10, 600-1200/5A, 15VA, Clase 5P20.
- Transformador de Tensión 7,2/0,12 KV, 50 VA, Cl. 0,5.
- Relé de Sobrecorriente y Falla a tierra.
- Pararrayos 8 KV, 10 KA.
- Transformador Toroidal 50/5 A.

3.2.4. Dos celdas de Salida 7,2 KV, 60 Hz. Estas celdas están conformadas por los siguientes equipos:

- Interruptor en vacío extraíble 12KV, 1250A, 75KA.
- Relé Multifunción DPU 2000R.
- Medidor Multifunción ALPHA+.
- Transformador de Corriente 300-600/5A, 15VA, Clase 0,5FS10, 300-600/5A, 15VA, Clase 5P20.
- Transformador Toroidal 50/5 A.

3.3 Planos del Proyecto

- MSPE1030E0000** Diagrama Unifilar de la Subestación Móvil 8 MVA.
- MSPE1030E1001** Sistema de Mando del Seccionador 69 KV.
- MSPE1030E1002** Sistema de Medición y Protección Celda de Llegada.
- MSPE1030E1003** Servicios Auxiliares Transformador de Control 5 KVA.
- MSPE1030E1004** Sistema de Iluminación y calefacción Celda de Llegada.
- MSPE1030E2001** Sistema de Protección Celda de Salida 1.
- MSPE1030E2002** Sistema de Mando y Señalización Interruptor Salida 1.
- MSPE1030E2003** Sistema de Iluminación y Calefacción Salida 1.
- MSPE1030E3001** Sistema de Protección Celda de Salida 2.
- MSPE1030E3002** Sistema de Mando y Señalización Interruptor Salida 2.
- MSPE1030E3003** Sistema de Iluminación y Calefacción Salida 2.

3.4 Bases de Cálculo

El Cálculo del sistema de utilización en 69 y 7,2 KV, cumple con las indicaciones dadas en el Código Nacional de Electricidad, Ley de Concesiones Eléctricas, Decreto Ley No 25844 y su Reglamento y las Normas DGE 004B-P-1 / 1984 y DGE 013-CS-1 del Ministerio de Energía y Minas.

Parámetros Utilizados:

Caída de tensión permisible	: 3,5% de 69kV, según el numeral 2.1.3 del tomo IV del Código Nacional de Electricidad.
Tensión Nominal	: 69kV, 60Hz.
Potencia de Cortocircuito	: 150 MVA.
Potencia Aparente de Diseño	: 8000 KVA.
Tiempo de apertura de la protección	: 0,02 s.
Factor de Potencia estimado	: 0,80.

CAPÍTULO IV

FABRICACIÓN DE EQUIPOS MECÁNICOS

4.1 Fabricación de Celda de Llegada

La Fabricación de la Celda de Llegada será del tipo Metal Enclosed para uso exterior con dimensiones de 2600 mm de alto, 1300 mm de ancho y 1800 mm de largo, la celda será arenada y pintada con base anticorrosiva Epóxico y pintura sulfatada descrita en el Apéndice C para soportar las inclemencias del clima.

Como características mas importantes de la Celda de Llegada se pueden recalcar las siguientes:

- Tensión Nominal : 7,2 KV.
- Tensión de Aislamiento : 12 KV.
- Intensidad Nominal : 1250 A.
- Intensidad de cortocircuito: 20 KA.

La celda estará protegida contra disipación de arcos que puedan producirse en caso de cortocircuito con protecciones intermedias en ambos lados, protección posterior, techo, base, marco frontal y con empaquetadura de Neoprene de 1/8 " en el perímetro.

La celda dispondrá de todos los accesorios característicos de este tipo de envolvente, a saber: iluminación interior, calefacción, etc.

- La celda contendrá montada los siguientes equipos:
 - 3 Pararrayos óxido de zinc, uso exterior 8,0 KV, 10kA.
 - 3 Transformadores de tensión 12/28/75 KV, 7,2/0,12 KV, 50VA-clase 0,5, para medida, encapsulado en resina, uso interior con fusibles incorporados.
 - 1 Voltímetro 144 x 144 con su respectivo conmutador.
 - 1 Transformador de tensión 12/28/75 KV, 7200/240-120Vac, 5kVA, para control.
 - 3 Transformadores de corriente 12/28/75 KV, 600-1200/5/5A, 15/15VA, clase 0,5/5p20, para medida, encapsulados en resina, uso interior con fusibles incorporados.
 - 1 Unidad de protección por sobrecorriente, trifásico, electrónico basado en microprocesador, con las siguientes funciones de protección:

- Función (50) : Sobrecorriente Instantánea Fase-Fase.
- Función (51) : Sobrecorriente temporizado Fase-Fase.
- Función (50N) : Sobrecorriente Instantáneo Fase-Tierra.
- Función (51N) : Sobrecorriente temporizado Fase-Tierra.

Valores nominales 5A, 60Hz, tensión auxiliar (80.. 265)
Vac/Vcc.

- 1 Equipo de iluminación interior, 120V, 50W.

- 1 Equipo de calefacción, 120V, 100W.

- 2 Tomacorrientes Industriales macho-hembra 2 x 20A.

- 1 Lámpara uso exterior para indicación de presencia de tensión, lado
7,2 KV, 250W, 120V.

- Microinterruptores para protección de los circuitos de protección y control.

- Aisladores portabarras de Porcelana 15 KV.

4.2 Fabricación de las Celdas de Salida

La Fabricación de las Celdas de Salida serán del tipo Metal Enclosed para uso exterior con dimensiones de 2600 mm de alto, 1300 mm de ancho y 1800 mm de largo, las celdas serán arenadas y pintadas con base anticorrosiva Epóxico y pintura sulfatada descrita en el Apéndice C para soportar las inclemencias del ambiente.

Como características mas importantes de las Celdas de Salida se pueden recalcar las siguientes:

- Tensión Nominal : 7,2 KV.
- Tensión de Aislamiento : 12 KV.
- Intensidad Nominal : 1250 A.
- Intensidad de cortocircuito: 20 KA.

La celda estará protegida contra disipación de arcos que puedan producirse en caso de cortocircuito con protecciones intermedias en ambos lados, protección posterior, techo, base, marco frontal y con empaquetadura de Neoprene de 1/8 " en el perímetro.

Las celdas dispondrán de todos los accesorios característicos de este tipo de envolvente, a saber: iluminación interior, calefacción, etc.

- Las celdas contendrán montados los siguientes equipos:

- 2 Interruptores trifásicos en VACIO, valores nominales, 12 KV, 1250A, 20KA, de ejecución extraíble mando manual y motorizado, provisto de bobina de cierre y apertura en 120Vcc, contador de operaciones, cable multifilar, contactos auxiliares 5NA+ 5NC, con seccionador de tierra con contactos 2NA + 2NC.

- 2 Conmutadores de mando 500V, 12A, manija con dispositivo de retorno a posición central.

- 6 Portalámparas, con lámparas de señalización verde y rojo, para indicar posición de abierto o cerrado del interruptor de potencia.

- 6 Transformadores de corriente, encapsulados en resina sintética de 12kV, 600-300/5/5A, clase 0,5/5P10, 15/15VA, 60Hz, para medida y protección respectivamente encapsuladas en resina sintética, uso interior.

- 2 Unidades de protección multifunción basado en microprocesador, 5A, 110Vac, 60Hz, tensión auxiliar 120 Vcc, con las siguientes funciones:

Sobrecorriente temporizado e instantáneo: 50/51/50N/51N

Sobrecorriente Secuencia Negativa : 46

Recloser : 79

Direccional de Sobrecorriente Secuencia

Positiva : 67P

Direccional de Sobrecorriente Secuencia

Negativa : 67N

Frecuencia : 81

Máxima y mínima tensión : 27/59

Mediciones, Corriente, Tensión, Potencia Activa, Potencia Reactiva, Energía Activa y Reactiva.

-2 Medidores de energía, de estado sólido, tecnología moderna con indicaciones de medida primaria y las siguientes características eléctricas:

Corriente nominal : 5 A.

Tensión nominal : 110V.

Frecuencia nominal : 60Hz.

Clase de precisión : 0,2 - IEC

Esta unidad cuenta con las siguientes funciones de medida:

Indicación de tensión : (V).

Indicación de corriente : (A).

Indicación de potencia activa: (KW).

Indicación de potencia reactiva: (KVAR).

Indicación de energía activa:	(KW-h).
Indicación de energía reactiva:	(KVA.-h).
Indicación del factor de potencia:	(cos φ)
Indicación de frecuencia:	(Hz).

Montaje empotrado.

- 2 Transformadores toroidal 50/5A, 750V.
- 2 Equipos de iluminación interior, 120V, 50W.
- 2 Equipos de calefacción, 120V, 100W.
- 2 Tomacorrientes Industriales macho-hembra 2 x 20A
- 2 Conectores de acoplamiento para salida de cables 8,5 KV, PLM-USA.
- Microinterruptores para protección de los circuitos de protección y control.
- Aisladores portabarras de Porcelana 12kV.
- Equipo de fuente auxiliar en cc.

4.3 Fabricación del Patín de Deslizamiento

El patín de deslizamiento se fabricará con las siguientes dimensiones:

Longitud total	:	8 metros
Ancho	:	4,5 metros
Altura del patín	:	200 mm.

Las vigas principales de sección " I " fabricadas con plancha de acero de alta resistencia HITENSILE (88000 PSI), entrelazadas con travesaños fabricados con plancha de acero estructural A-36 de ¼" de espesor, de sección "C".

El riel de roce es fabricado con plancha de acero estructural A-36 de ¼" de espesor. La plataforma útil es forrada con plancha estriada de 3/16 de espesor.

El piso de la parte posterior de la unidad es forrado con plancha estriada de 3/16" de espesor.

La unión plancha a estructura se soldará con Electrodo de punto intermitente 4" de Soldadura por 10" libre, con electrodo OVERCORD S 5/32".

Las soldaduras exteriores serán:

- Pasada Corrida con electrodo E6011 5/32" - (Penetración).
- Pasada Corrida con electrodo OVERCORD S 5/32" - (Acabado).

Las soldaduras interiores serán punto en cadena.

4.3.1. Soldadura del patín

Las piezas de espesores comprendidos entre 5 y 15 mm. Se deben preparar biselándose sus bordes de la forma indicada en la figura 1, a fin de poderse soldar, ya que de hacer una soldadura a tope en I, el mayor espesor de las piezas dificultaría la operación de soldar. El biselado o achaflanado puede no abarcar todo el espesor de la pieza, dejando hasta 3 mm sin biselar y haciéndolo en el resto con un ángulo de 30° o 35° con lo que el ángulo total que forman los dos biseles es de 60° a 70°. Las piezas, se dejan 2 ó 3 mm separadas y se rellena el espacio comprendido entre ellas con las pasadas de soldadura que sean necesarias, formando un poco de reborde en ambos lados de las piezas, igual que las soldaduras en I.

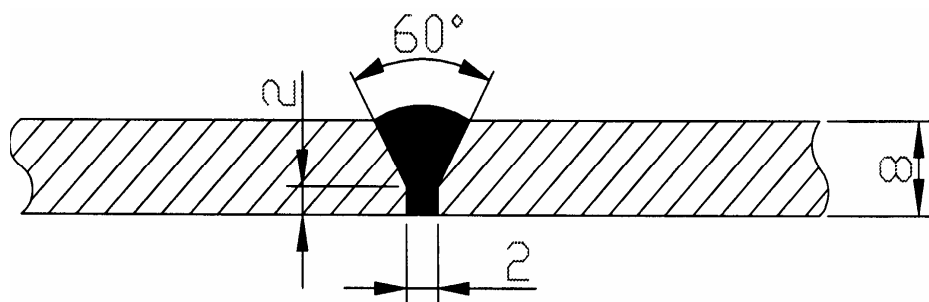


Figura 1

Para nuestro caso como el espesor de la plancha es de 8 mm. se deberá emplear la **soldadura a tope en V**, oxiacetilénica o eléctrica. El diámetro y peso por metro de soldadura de la varilla necesaria para soldar por este sistema es el siguiente:

Espesor de la pieza en mm.	8
Diámetro de la varilla en mm.	5
Peso de la varilla en mm.	0,65

CAPÍTULO V

CÁLCULO ELÉCTRICO

Calculo de las intensidades de Cortocircuito

Definiciones:

Intensidad de Cortocircuito, es la corriente que pasa por el cortocircuito en el tiempo que dura éste.

Corriente alterna de cortocircuito, es la componente de frecuencia de servicio de la corriente de cortocircuito.

Intensidad de corriente alterna inicial de cortocircuito I''_k , es el valor efectivo de la intensidad de c.a. de cortocircuito en el momento de inicio de éste.

Intensidad máxima de cortocircuito I_s , es el valor momentáneo máximo posible posterior al inicio del cortocircuito, se da como valor de cresta.

Intensidad constante de cortocircuito I_k , es el valor efectivo de la c.a. de cortocircuito que permanece después de desaparecer los fenómenos transitorios.

Intensidad de corriente alterna de desconexión I_a , es el valor efectivo de la c.a. de cortocircuito que pasa por el interruptor en el momento de la primera separación de los contactos, cuando éste se desconecta en caso de cortocircuito.

Cortocircuito cercano al generador existe si en un cortocircuito de tres fases la c.a. inicial de cortocircuito de una maquina síncrona es como mínimo dos veces superior a su intensidad nominal.

Sobretensiones: Se entiende por sobretensiones a las tensiones generalmente transitorias, cuyos valores sobrepasen el de la tensión de servicio máxima permanentemente admisible de los equipos eléctricos, sin tener frecuencia de servicio.

Las sobretensiones pueden limitarse en su magnitud por pararrayos u otras medidas de protección contra sobretensiones.

Según su naturaleza, hay que distinguir entre sobretensiones externas (de origen atmosférico) y sobretensiones internas, provocadas por fallos en la red o durante el servicio (sobretensiones por maniobras).

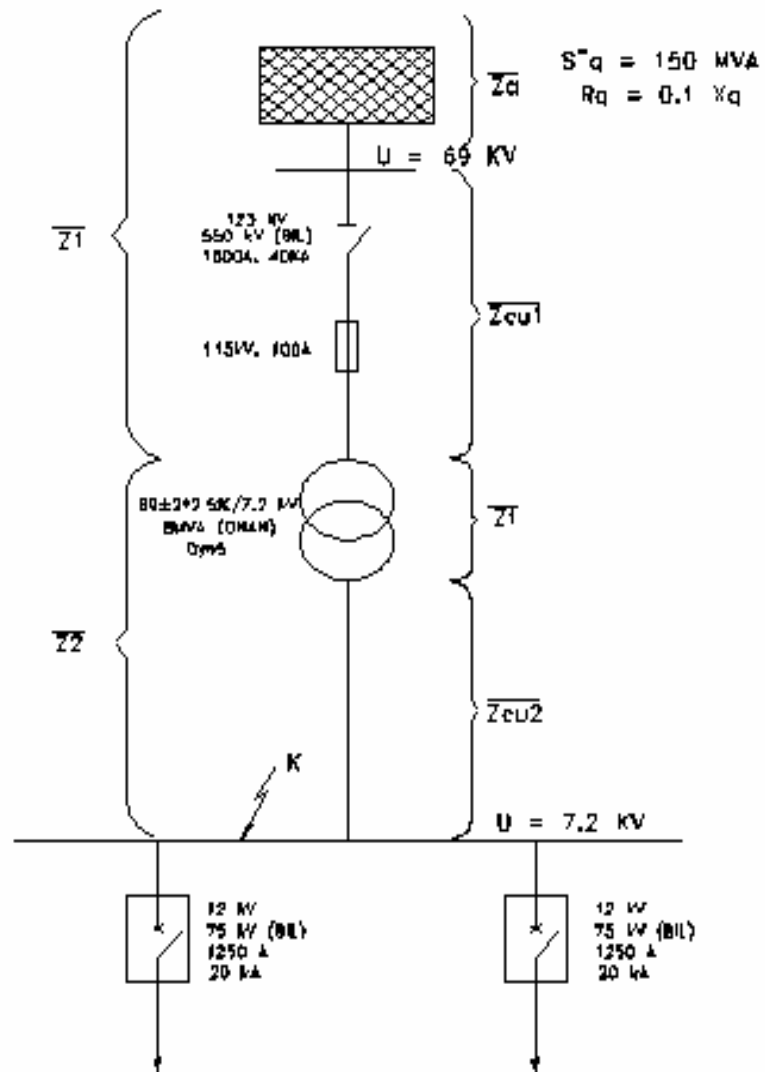


Figura 2. Esquema Unifilar para el cálculo de I_k

Calculo de la corriente de falla o cortocircuito de la red.

$S''_Q = 150 \text{ MVA}$

$$Z_Q = \frac{1,1 * U_n^2}{S''_Q} = \frac{1,1 (69 \text{ KV})^2}{150 \text{ MVA}} = 34,914 \Omega.$$

$$S''_Q \quad 150 \text{ MVA}$$

$$R_Q = 0,1 X_Q$$

$$Z_Q = \sqrt{R_Q^2 + X_Q^2} = \sqrt{X_Q^2 + 0,01 X_Q^2} = 1,005 X_Q$$

$$X_Q = \frac{Z_Q}{1,005} = 34,74 \Omega.$$

$$1,005$$

$$R_Q = 0,1 (34,74) = 3,474 \Omega.$$

$$\therefore \overline{Z}_Q = [3,474 + j 34,74]$$

$$\overline{Z}_T = [R_T + jX_T]$$

$$R_T = \frac{U_r * U_{NT}^2}{100\% * S_{NT}} \Omega/\text{fase}$$

$$100\% * S_{NT}$$

$$X_T = \frac{U_x * U_{NT}^2}{100\% * S_{NT}} \Omega/\text{fase}$$

$$100\% * S_{NT}$$

Por dato del transformador $U_z = 7\% = 0,07$

$$U_x = \sqrt{U_z^2 - U_r^2}$$

⇒ Ur en % asumimos: Ur = 0,6% = 0,006 (de Tabla 1)

Tensión de cortocircuito u_z

Tensión superior nominal en kV	6 a 20	30	60	110
u_z en %	3,5 a 8	6 a 11	9 a 12	9 a 15

Caída de tensión óhmica u_r

Potencia nominal en MVA	0,1	0,32	1	3,2	10	32
u_r en %	1,8 a 2,1	1,5 a 1,8	1,3 a 1,5	0,8 a 1,0	0,5 a 0,7	0,4 a 0,6

Tabla 1. Valores Característicos de los Transformadores de Alta Tensión

$$U_x = \sqrt{(0,07)^2 - (0,006)^2} = 0,0697$$

$$\Rightarrow U_x = 6,974 \%$$

$$R_T = \frac{0,6 * (7,2 \text{ KV})^2}{100\% * 8 \text{ MVA}} = 0,03888\Omega.$$

$$100\% * 8 \text{ MVA}$$

$$X_T = \frac{6,974 * (7,2 \text{ KV})^2}{100\% * 8 \text{ MVA}} = 0,4519\Omega.$$

$$100\% * 8 \text{ MVA}$$

$$\therefore \overline{Z_T} = [0,03888 + j 0,4519]$$

$$\overline{Z}_{\text{Tubo cobre}} = L [R_T + j X_T]$$

$$\overline{Z}_{\text{Tubo cobre}} = 0,012 [0,207 + j 0,2334]$$

$$\overline{Z}_{\text{Tubo cobre}} = [0,00248 + j 0,0028]$$

$$\overline{Z}_{\text{barra cobre}} = L [R_B + j X_B]$$

$$\overline{Z}_{\text{barra cobre}} = 0,010 [0,185 + j 0,2115]$$

$$\overline{Z}_{\text{barra cobre}} = [0,00185 + j 0,00211]$$

$$Z_I = [\overline{Z}_Q + \overline{Z}_{\text{Tubo cobre}}] = (3,474 + j34,74) + (0,00248 + j 0,0028)$$

$$\Rightarrow \overline{Z}_I = 3,47648 + j 34,7428$$

$$| \overline{Z}_I | = 34,9163$$

$$| \overline{Z}'_I | = | Z_I |^* [U_2 / U_1]^2$$

$$| \overline{Z}'_I | = | Z_I |^* [7,2/69]^2 = 0,3802$$

$$\overline{Z}_{II} = [Z_T + Z_{\text{Barrra cobre}}] = [0,03888 + j 0,4519] + [0,00185 + j 0,00211]$$

$$Z_{II} = 0,04073 + j 0,45401$$

$$|Z_{II}| = 0,4558$$

$$|\bar{Z}_K| = |Z'_I| + |Z_{II}| = 0,3802 + 0,4558$$

$$|Z_K| = 0,836 \Omega.$$

$$I_K = \frac{1,1 * 7,2 \text{ KV}}{\sqrt{3 * 0,836 \Omega}} = 5,47 \text{ KA.}$$

$$\sqrt{3 * 0,836 \Omega}$$

Corrección por factor de altura:

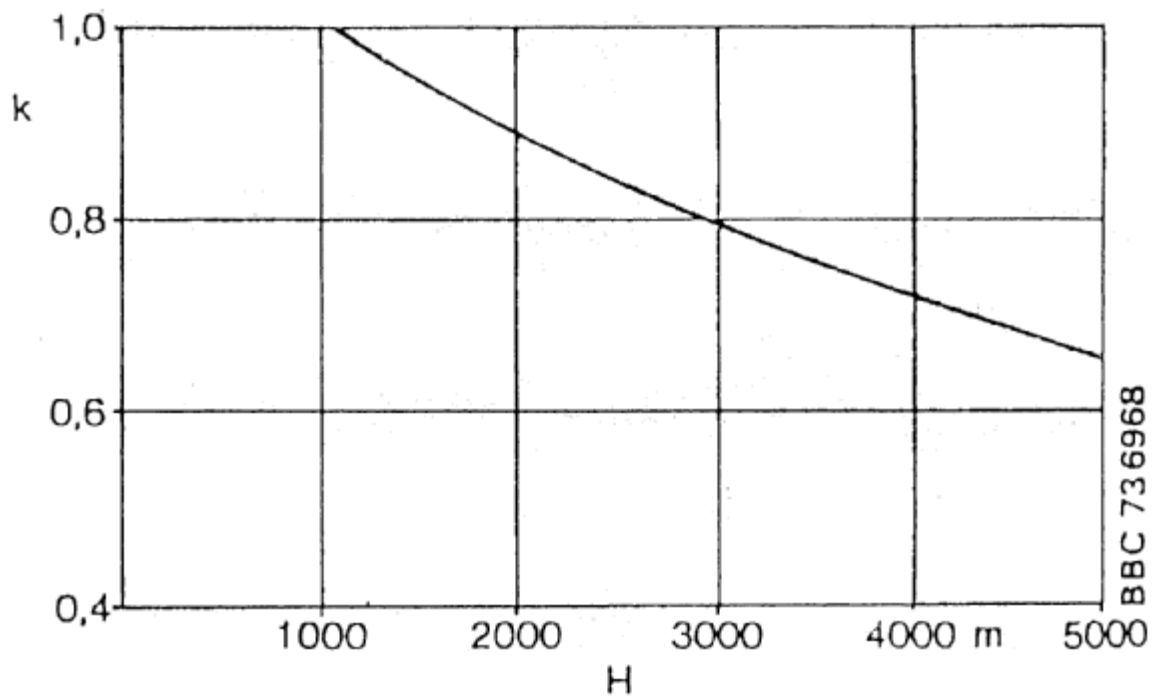


Tabla 2. Factor de corrección por altura

$$K = \frac{1}{e^{(H-1000)/8150}}$$

donde H = 4200 m.

$$\Rightarrow K = \frac{1}{e^{(4200-1000)/8150}} = 0,6752731$$

$$\Rightarrow U \text{ aislamiento} = \frac{7,2 \text{ KV}}{0,6752731} = 10,662353 \text{ KV.}$$

5.1 Cálculo y Selección del tipo de barras

5.1.1 Introducción

Los esfuerzos electrodinámicos generados por las corrientes de cortocircuito ejercen fuerzas potencialmente peligrosas por su carácter destructivo sobre conductores, barras, aisladores y soportes estructurales. Por ello es de importancia al diseñar una subestación efectuar los cálculos necesarios, a fin de apreciar estos esfuerzos en el diseño integral de la subestación móvil.

El diseño de barras colectoras para la zona de 7,2 KV de la subestación móvil se efectuará en base a los siguientes factores:

- a) Corriente nominal

- b) Esfuerzos electrodinámicos producida por corrientes de cortocircuito
 - c) Efectos térmicos por las corrientes nominal y de cortocircuito
 - d) Resonancia
- a) Corriente nominal: Las barras colectoras deben de ser capaces de transportar la corriente nominal requerida en sus diversos estados de operación, en forma continua con una determinada sobrelevación de temperatura ambiente dada (35°C según normas DIN).

Los fabricantes proporcionan tablas de corriente nominales para distintas configuraciones de barras colectoras, tanto para corriente alterna (40-60 Hz.) como para corriente continua. Igualmente se pueden leer en esta tabla los valores de corriente que transportan cuando están provistas de una película de pintura y cuando no lo están.

Algunos proyectistas calculan la corriente nominal que soportaran las barras en base a la potencia final requerida de la subestación, utilizando la siguiente formula

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * V}$$

S: Potencia final de la subestación.

V: Tensión en barras.

I: Corriente en barras.

Este cálculo a priori de la corriente presupone que dicha corriente fluirá en las barras en alguna oportunidad de su vida útil. Luego mediante tablas se seleccionara algún tipo de barra, dándose inicio a los cálculos posteriores para verificar el cumplimiento de los otros factores a tener en cuenta.

b) Esfuerzos electrodinámicos producida por corrientes de cortocircuito:

b.1) Cálculo del esfuerzo electrodinámico

En la práctica, para el cálculo de los esfuerzos electrodinámicos, normalmente solo se cuenta con el nivel de cortocircuito trifásico en MVA. Por otro lado, teniendo en cuenta que los cálculos mecánicos se hacen con factores de seguridad de 2 a 2,5, no se justifica efectuar un análisis muy riguroso de las diferentes corrientes de cortocircuito que pueden presentarse (cortocircuito trifásico, bifásico y bifásico a tierra).

Lo que normalmente se hace es utilizar la fórmula deducida para un cortocircuito bifásico, empleando como corriente de cortocircuito la corriente obtenida a partir del nivel de cortocircuito trifásico dado.

De esta manera se está considerando la situación mas desfavorable; para el calculo respectivo se utilizará la fórmula:

$$F_{\max} = 13,265 \underline{L} I_{cc}^2 * 10^{-2} \text{ Kgf}$$

d

L: Distancia entre apoyos.

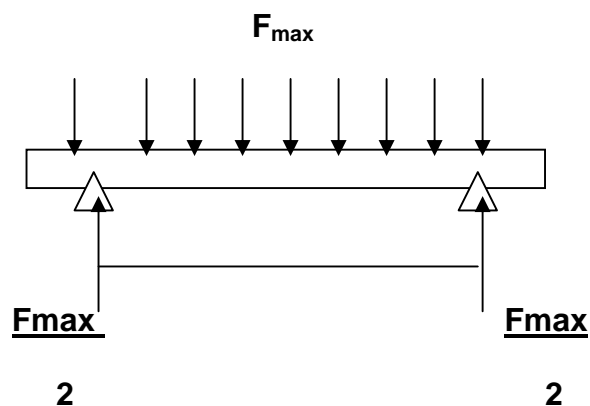
d: Distancia entre conductores.

I_{cc} : Corriente de cortocircuito trifásico.

Dimensionamiento mecánico de las barras colectoras:

Desde el punto de vista mecánico la barra puede considerarse como una viga simplemente apoyada o como una viga empotrada en sus extremos.

Realmente se trata de un caso intermedio, sin embargo las formulas que se dan a continuación se basan como si el caso fuera de una viga simplemente apoyada, que por otro lado es la situación mas desfavorable



El momento actuante deberá estar dado por:

$$M = \frac{F_{\max} * L}{12} \quad \text{Kg-cm}$$

Fmax : Fuerza total distribuida entre apoyos en Kg-f

L: Longitud entre apoyos en cm.

El esfuerzo de flexión máximo de la fibra extrema, estará dado por:

$$K = \frac{M}{J/C}$$

J : Momento de inercia en cm⁴.

C: Distancia a la fibra neutra en cm.

W: J/C valor generalmente dado en tablas.

Este esfuerzo deberá estar por debajo del máximo esfuerzo admisible dado por el material Km es decir:

$$K < K_m$$

c) Efectos térmicos por las corrientes nominal y de cortocircuito

c.1) Efectos térmicos producidos por la corriente nominal

La corriente permanente que circula en las barras producirá una sobreelevación de temperatura a consecuencia de la cual las barras se dilatarán. Se efectuará el cálculo de la dilatación lineal de las barras con el objeto de analizar su magnitud y determinar si es necesario la inclusión de juntas flexibles, también llamados juntas de dilatación.

La dilatación lineal de una barra está dada por la siguiente formula:

$$D = \alpha * L * \Delta\theta$$

Donde : $\alpha_{\text{lineal Cu}} = 17 * 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

L : Longitud de la barra en cm.

El máximo incremento de temperatura permisible es de 30°C a partir de una temperatura ambiente de 35°C según normas DIN.

c.2) Efectos térmicos producidos por la corriente de cortocircuito

El calentamiento producido en las barras debido a la corriente de cortocircuito es un proceso de corta duración, por lo que se puede despreciar la cesión de calor de la atmósfera.

El cálculo de la sobreelevación de temperatura en una barra debido a una corriente de cortocircuito permanente I_{ccp} , durante un tiempo t , se calcula mediante la siguiente formula:

$$\Delta\phi = \frac{Kc}{A^2} * I_{ccp}^2 * (t+\Delta t) * 100^{\circ}C$$

$$Kc \text{ cobre} = 0,0058 \text{ mm}^2 / A^2 \cdot \text{seg}$$

$$A = \text{área de la barra mm}^2$$

t = tiempo del relé mas tiempo de apertura del interruptor (seg).

t vale: <0,30-0,15> para cortocircuito trifásico.

<0,60-0,25> para cortocircuito bifásico.

d) Cálculo y verificación de efectos de resonancia

Cuando la frecuencia natural (f_n) con la que vibran las barras se encuentra muy cerca ($\pm 10\%$) de la frecuencia eléctrica (f_e) o a su doble se produce el fenómeno de resonancia.

Se debe cumplir que:

$$f_n > 1,1 f_e \quad \text{ó}$$

$$f_n < 0,90 f_e \quad \text{ó}$$

$$f_n > 1,1 (2f_e) \quad \text{ó}$$

$$f_n < 0,90 (2f_e).$$

Estas condiciones son lo mismo que:

$$f_n > 66 \text{ ciclos / s} \quad \text{ó} \quad f_n < 54 \text{ ciclos / s} , \quad \text{ó}$$

$$f_n > 132 \text{ ciclos / s} \quad \text{ó} \quad f_n < 108 \text{ ciclos / s}$$

$$f_n = \frac{112 \times \sqrt{(E \times J_y)}}{\sqrt{(G \times L^4)}} \text{ ciclos / s}$$

Donde:

$E =$ Módulo de elasticidad del cobre $= 1,25 \times (10)^6 \text{ Kg/cm}^2$

$J_y =$ Momento de inercia en cm^4

$G =$ Peso de la barra en Kg./cm .

$L =$ Longitud de la barra en cm .

5.1.2 Cálculo y selección

a) Cálculo y selección por corriente de carga nominal

$I =$ Corriente de máxima demanda $= 642,3 \text{ A}$

Se selecciona una barra con sección suficiente para poder transportar la corriente de máxima demanda.

$b =$ Ancho de la barra $= 8 \text{ cm}$.

$h =$ Espesor de la barra $= 1 \text{ cm}$.

La capacidad de la barra según tablas es de 1500 A , por lo que satisface en capacidad a la corriente de máxima demanda. (Ver Apéndice A).

b) Cálculo y selección de la sección por esfuerzos electrodinámicos

b.1) Cálculo de la fuerza máxima entre conductores ($F_{\text{máx}}$):

$$F_{\text{máx}} = 13,265 \times (L/d) \times (I_k)^2 \times 10^{-2} \text{ Kg-f.}$$

Donde:

- L = Distancia entre apoyos en cm
- d = Distancia entre conductores en cm
- $F_{\text{máx}}$ = Fuerza máxima entre conductores

Entonces :

$$F_{\text{máx}} = 13,265 \times (70/35) \times (5,4)^2 \times 10^{-2} \text{ Kg-f}$$

$$F_{\text{máx}} = 7,736 \text{ Kg-f}$$

b.2) Cálculo del momento flector máximo actuante (M):

El momento flector máximo se presenta en el punto medio de la barra y su valor se calcula utilizando la siguiente formula:

$$M = \frac{F_{\text{máx}}}{12} \times L \text{ Kg-cm}$$

12

Donde:

- $F_{\text{máx}}$ = Fuerza máxima entre conductores en Kg-f
- L = Distancia entre apoyos en cm
- M = Momento flector máximo actuante en Kg-cm

Entonces:

$$M = \frac{7,736 \times 70}{12} \text{ Kg-cm}$$

$$M = 45,126 \text{ Kg-cm.}$$

b.3) Cálculo del momento de inercia (Jy):

Para el caso de cálculo, se considera el de una barra en sentido horizontal.

$$Jy = \frac{h^4 \times b^3}{12} \text{ cm}$$

Donde:

b = Ancho de la barra en cm

h = Espesor de la barra en cm

Jy = Momento de inercia de la sección transversal respecto al eje

Y en cm:

Entonces :

$$Jy = \frac{8^3}{12} \text{ cm}$$

12

$$J_y = 42,66 \text{ cm}$$

b.4) Cálculo del esfuerzo de flexión máximo ($\sigma_{\text{máx}}$):

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M}{J_y/C'}$$

Donde:

M = Momento flector actuante en Kg-cm

Jy = Momento de inercia de la sección transversal respecto al eje Y
en cm

C' = Distancia al eje neutro en cm

$\sigma_{\text{máx}}$ = Esfuerzo de flexión máximo en Kg-cm

Entonces :

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{45.126}{(42.66/2.5')}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 2,65 \text{ Kg/cm}^2.$$

NOTA:

El esfuerzo máximo admisible del cobre es de 1100 Kg/cm², siendo mayor que el esfuerzo máximo de flexión actuante que es igual a 2,65 Kg/cm².

c) Cálculo y verificación de efectos térmicos

c.1) Cálculo de la sobre elevación de temperatura en una barra:

$$\theta = \frac{0,0058 \times I_k'^2 \times (t + \Delta t)}{A^2} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Donde:

- I_k' = Corriente de cortocircuito permanente en A
- t = Tiempo del relé mas el tiempo de apertura del interruptor = 0,02s
- Δt = Tiempo adicional debido a la corriente de choque
- A = Área de la barra en mm²
- θ = Sobre elevación de temperatura de la barra en $^\circ\text{C}$

$$\Delta t = \frac{I_s^2 \times \tau}{I_k^2} \text{ s}$$

- τ = 0,3 – 0,15s, para cortocircuito tripolar
0,6 – 0,25s, para cortocircuito bipolar

$$\Delta t = \frac{(15,11)^2 \times 0,6}{(5,4)^2} \text{ s.}$$

$$\Delta t = 4,6977 \text{ s}$$

Entonces:

$$\theta = \frac{0,0058 \times (5400)^2 \times (0,02 + 4,6977)}{(480)^2} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta = 3,46 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Luego se tiene que:

$$T_o = \text{Temperatura inicial de la barra supuesta } 65^\circ\text{C}$$

$$T_f = \text{Temperatura final en } ^\circ\text{C}$$

$$T_f = T_o + \theta$$

$$T_f = 65 + 3,46 \text{ } ^\circ\text{C} = 68,46^\circ\text{C}$$

Según la VDE, T_f en caso de cortocircuito no debe sobrepasar de 200°C .

d) Cálculo y verificación de efectos de resonancia .

Cuando la frecuencia natural (f_n) con la que vibran las barras se encuentran muy cerca ($\pm 10\%$) de la frecuencia eléctrica (f_e) o a su doble se produce el fenómeno de resonancia.

Se debe cumplir que:

$$f_n > 1,1 f_e \quad \text{ó}$$

$$f_n < 0,90 f_e \quad \text{ó}$$

$$f_n > 1,1 (2f_e) \quad \text{ó}$$

$$f_n < 0,90 (2f_e).$$

Estas condiciones son lo mismo que:

$$f_n > 66 \text{ ciclos / s} \quad \text{ó} \quad f_n < 54 \text{ ciclos / s}, \quad \text{ó}$$

$$f_n > 132 \text{ ciclos / s} \quad \text{ó} \quad f_n < 108 \text{ ciclos / s}$$

$$f_n = \frac{112 \times \sqrt{(E \times J_y)}}{\sqrt{(G \times L^4)}} \text{ ciclos / s}$$

Donde:

$$E = \text{Modulo de elasticidad del cobre} = 1,25 \times (10)^6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$J_y = \text{Momento de inercia en cm}^4$$

$$G = \text{Peso de la barra en Kg./cm.}$$

$$L = \text{Longitud de la barra en cm.}$$

$$f_n = \text{Frecuencia natural en ciclos / s.}$$

Entonces :

$$f_n = \frac{112 \times \sqrt{(1,25 \times (10)^6 \times 14.4)}}{\sqrt{(0,018 \times (100)^4)}} \text{ ciclos / s}$$

$f_n = 11200 \text{ ciclos / s} > 132 \text{ ciclos / s}$, lo que implica que no se producirá el fenómeno de resonancia.

5.2 Cálculo y Selección del Seccionador

El seccionador es para uso exterior, para accionamiento por medio de una palanca montada sobre el frente de maniobra, provisto de una base portafusible tripolar para el montaje de tres fusibles limitadores de corriente.

El seccionador de Alta Tensión se seleccionará teniendo en consideración los siguientes parámetros:

- a) Nivel de Tensión
- b) Intensidad Nominal
- c) Nivel de Aislamiento
- d) Corriente de cortocircuito

a) Nivel de Tensión: Lo hemos seleccionado conociendo la tensión de servicio 69 KV. que después de aplicarle el factor de corrección por altura calculado anteriormente da:

$$U = \frac{69 \text{ KV}}{0,6752731} = 102,18 \text{ KV}$$

Por lo tanto debido a condiciones de estandarización de mercado elegimos la tensión de 123 KV.

b) Intensidad Nominal: Lo hemos seleccionado de acuerdo a datos facilitados del cliente hechos de su estudio de protección en 1600 A.

c) Nivel de Aislamiento: De acuerdo a la Tabla 3 para el nivel de aislamiento se seleccionará los niveles de acuerdo a la tensión.

Por lo que seleccionamos de acuerdo a 123 KV.

Nivel de aislamiento a frecuencia industrial : 230 KV.

Nivel de aislamiento al impulso : 550 KV.

Nivel de aislamiento para $52 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$

Tensión máxima del equipo U_m (valor efectivo) kV	Magnitud de referencia $U_m \cdot \sqrt{\frac{2}{3}}$ (valor de cresta) kV	Tensión de choque de rayo nominal soportable (valor de cresta) kV	Tensión alterna nominal soportable (valor efectivo) kV
52	42,5	250	95
72,5	59	325	140
123	100	450 550	185 230
145	118	450 550 650	185 230 275
170	139	550 650 750	230 275 325
245	200	650 750 850 950 1050	275 325 360 395 460

Tabla 3. Nivel de Aislamiento

Fuente: Manual de las instalaciones de distribución de energía eléctrica

Publicado por: BROWN BOVERI CIA.

+

d) Corriente de cortocircuito: Lo hemos seleccionado de acuerdo a datos facilitados por el cliente, efectuados de su estudio de protección en 40 KA.

El seccionador tiene las siguientes características:

Tensión nominal : 123 KV.

Corriente nominal : 1600 A.

Corriente de cortocircuito térmica	: 40 KA.
Corriente de cortocircuito dinámica	: 100 KA.
Nivel de aislamiento a frecuencia industrial	: 230 KV.
Nivel de aislamiento al impulso	: 550 KV.

5.3 Cálculo y Selección de los Fusibles

Los fusibles para la protección del transformador serán del tipo alto poder de ruptura.

Según el capítulo III, inciso 3.5 del tomo IV del Código Nacional de Electricidad, la capacidad de los elementos de protección cuando se usan fusibles deben ser no mas del 150% de la corriente nominal del transformador.

Los fusibles tienen las siguientes características:

Tensión nominal	:115 KV.
Tensión máxima	:121 KV.
Tensión de aislamiento	:550 KV.
Corriente de ruptura	:40 KA.
Corriente nominal	:100A.

5.4 Cálculo y Selección de los Aisladores

Dimensionamiento de aisladores

Una vez conocida la máxima fuerza entre apoyos el esfuerzo de ruptura en la punta del aislador estará dada por dicha fuerza dividida por un coeficiente de seguridad adecuado, generalmente se toma 0,5

$$P = \frac{F_{\max}}{0,5}$$

Entonces:

$$P = \frac{7,736 \text{ Kg-f}}{0,5}$$

$$P = 15,472 \text{ Kg-f.}$$

Los aisladores portabarras son de porcelana de las siguientes características:

Tensión de servicio	:	10 KV.
Esfuerzo de rotura	:	750 Kg
Línea de fuga	:	145 mm

5.5 Cálculo y Selección de los Pararrayos

Los pararrayos de alta tensión se seleccionaran de acuerdo a la tabla del Apéndice B donde necesitamos calcular los parámetros U_m y U_r .

U_m : Es el voltaje r.m.s. máximo fase-fase el cual ocurre bajo condiciones de operación normal en cualquier instante y en cualquier punto del sistema y puede ser estimado del 5% al 10% del valor máximo de tensión nominal.

U_c : Tensión permisible que puede ser aplicado continuamente entre los terminales del pararrayo y es igual a $U_m/\sqrt{3}$.

Debido a la regulación del transformador la tensión máxima y mínima son:

$$U_{max.} = 69 + 2 \times 2,5\% \text{ KV} = 72,45 \text{ KV}$$

$$U_{min.} = 69 - 2 \times 2,5\% \text{ KV} = 65,55 \text{ KV.}$$

Entonces:

$$U_m = 1,10 * 72,45 = 79,695 \text{ KV.}$$

$$U_c = 79,695 / \sqrt{3} = 46,06 \text{ KV.}$$

Por lo tanto seleccionando de la tabla de Pararrayos ExlimQ del Apéndice B obtenemos el siguiente pararrayo:

PARARRAYO USO EXTERIOR EXLIM Q084 - EH100

$U_m = 84 \text{ KV}$

$U_{res} = 198 \text{ KVp}$

$U_c = 67 \text{ KV}$

$I_n = 10 \text{ KA}$, con contador de descargas.

5.6 Cálculo y Selección del Transformador de Potencia

El Transformador de Potencia fue seleccionado de acuerdo a las especificaciones del cliente y tiene las siguientes características:

En baño de aceite, con arrollamientos de cobre y núcleo de hierro laminado en frío, montaje interior o exterior, enfriamiento natural, tanque liso con radiadores previsto para las siguientes condiciones de servicio:

Normas de ejecución	IEC / ANSI - C.57.
Potencia nominal continua	8,0/10,0 MVA (OA/futuro FA)
Frecuencia	60 Hz.
Altitud de servicio	3500 m.s.n.m.
Relación de transformación en vacío	$69000 \pm 2 \times 2,5\%/7200 \text{ V}$.
Esquema lado A.T.	Triángulo, con cuatro tomas suplementarias conmutables en vacío.
Esquema lado B.T.	Estrella con neutro accesible.
Grupo de conexiones	Dyn5.

Tensión de cortocircuito	7,0 %
Número de bornes AT / BT	3/4.
Tensión de ensayo a frecuencia industrial con fuente independiente durante un minuto	Lado A.T.: 140 KV RMS. Lado B.T.: 26 KV RMS
Límites de Calentamiento: Sobretensión con carga continua	Aceite: 60°C. Arrollamientos : 65°C. Ambiente Máx : 40°C.

Con los siguientes accesorios:

- Conmutador de tomas suplementarias en vacío ubicado en la parte lateral.
- Termómetro de dial con contactos de alarma y desconexión.
- Pozo termométrico.
- Caja de bornes para accesorios con contactos.
- Relé de imagen térmica.
- Tapón de llenado de aceite.
- Placa de características.
- Ganchos de suspensión para levantar la parte activa ó el transformador completo.

- Perno para la puesta a tierra del tanque.
- Válvula de vaciado y toma de muestra.
- Válvula de seguridad.
- Desecador de aire.
- Relé Bucholz con contactos de alarma y desconexión.
- Radiadores
- Bornes de puesta a tierra
- Dotación de aceite.

5.7 Cálculo y Selección de la Resistencia de Puesta a Tierra

Resistencia para puesta de neutro a tierra

La resistencia de puesta a tierra es una resistencia de potencia dimensionada adecuadamente para conectarse entre el neutro del transformador (o generador) y tierra. Su función es proteger el equipo y la instalación al limitar la corriente de falla.

Selección de Resistencia para puesta a tierra

La práctica más común para poner a tierra sistemas en plantas industriales ha sido:

- a) En sistemas de 600 voltios o menores – Neutro sólidamente a tierra.
- b) Hasta 5 KV – Aterrizaje con alta resistencia.

- c) De mas de 5 KV y hasta 13,8 KV – Con baja resistencia.
- d) De mas de 13,8 KV – Con baja resistencia o sólidamente a tierra.

Recientemente se ha presentado la tendencia de poner a tierra con alta resistencia sistemas de 600 voltios y menores con las ventajas inherentes que representa y la seguridad adicional que ofrece al operario.

Los factores siguientes se deben de considerar al especificar y recomendar Resistencias para Puesta de Neutro a Tierra:

- a) La corriente de carga de la capacitancia total a tierra del circuito que se protegerá. Empíricamente se utilizan la siguiente regla:
 - En sistemas de 600 voltios, 0,5 amperes por 1000 KVA de capacidad en el transformador.
 - En mediano y alto voltaje, 1,0 ampere por 1000 KVA de capacidad en el transformador.

Sin embargo no hay sustituto para el diseño que deriva de un cálculo preciso.

- b) La corriente de magnetización de motores.
- c) El valor máximo de corriente de falla permisible en el sistema después de haber tomado en consideración los puntos a) y b) descritos arriba. Éste determina el nivel máximo de posible daño a los equipos que sea aceptable en condiciones de falla.

- d) La importancia de la continuidad en la producción después de presentarse la falla. El usuario deberá determinar si abre el circuito y suspende la producción para eliminar la falla o continua la producción mientras localiza la falla.

- e) El tipo y características de los reveladores de protección. La mayoría de los reveladores de falla a tierra están diseñados para operar entre 5% y 20% del nivel máximo de corriente de la resistencia. La máxima protección del sistema con el mínimo de posible daño se obtiene al seleccionar las corrientes mas bajas.

- f) La seguridad del personal.

El proceso de selección

Ya sea que se conecte el neutro a tierra sólidamente o mediante una resistencia, es necesario que se ponga a tierra cada nivel de voltaje para obtener las ventajas de un sistema de puesta a tierra. La conexión a tierra se debe de efectuar en el punto neutro del generador o de los transformadores en otras palabras en la fuente de energía y no en la carga. La conexión a tierra siempre deberá efectuarse en el secundario del transformador.

Cuando ocurre una falla de una fase a tierra en un sistema puesto a tierra mediante resistencia un voltaje igual al voltaje de línea a neutro aparece entre las terminales de la resistencia.

En ese momento podemos considerar que la corriente de falla es igual a la corriente que circula por la resistencia. Como conocemos ya la diferencia de potencial entre la fase y el neutro y el valor en ohmios de la resistencia, podemos obtener el valor de la corriente al dividir el voltaje entre la resistencia.

La clasificación de tiempo será seleccionada basándose en el periodo de tiempo que se pretenda mantener energizado el circuito en condiciones de falla.

Finalmente resta seleccionar el tipo de gabinete, los más típicos son:

- a) Abierto (open frame), este tipo de construcción es para resistencias instaladas en interiores y que no están expuestas a agentes atmosféricos, ni al personal, generalmente instaladas en el interior de gabinetes de sub-estaciones unitarias o equipo de interrupción.
- b) Interiores/Intemperie: cuando se espera que la resistencia esté expuesta a los elementos correspondientes.

- c) Gabinetes aprobados por CSA, que incluyen costados sólidos y tapa elevada, esto brinda mayor protección contra el ingreso de lluvia, nieve, hielo o granizo con mejor ventilación.

Las normas bajo la cual son fabricadas las resistencias de puesta a tierra son normas NEMA, generalmente NEMA 1 equivale al gabinete para interior, el gabinete NEMA 3 corresponde al uso interior e intemperie. No es recomendable el uso de gabinetes NEMA 4 por su alto costo y por que limitan grandemente el flujo de aire necesario para ventilar la resistencia.

Las resistencias de puesta de neutro a tierra se especifican de acuerdo a:

- a) **Voltaje:** El voltaje entre la fase y neutro del sistema al que se va a conectar.
- b) **Corriente inicial:** La corriente inicial que circulará por la resistencia al aplicar el voltaje indicado.
- c) **Tiempo:** El periodo de tiempo durante el cual la resistencia permanecerá energizada sin exceder el limite máximo de elevación de temperatura.
- d) Abierto, Interior, Intemperie o CSA.

Por lo cual seleccionamos una resistencia de puesta a tierra de las siguientes características:

- 7,200 kV (Línea - Línea)
- 4,156 kV (Línea - Neutro)
- 15 A, 10 seg.
- Gabinete Intemperie que cumpla las normas NEMA 3.

5.8 Cálculo y Selección del Sistema de Protección

El sistema de protección seleccionado para el proyecto consta de:

- Un conjunto de fusibles y pararrayos para la alta tensión seleccionados anteriormente en este capítulo.
- Protecciones propias del transformador
 - 96: Relé Bucholz.
 - 63: Sobrepresión transformador.
 - 26: Temperatura Aceite transformador.
 - 49: Imagen Térmica transformador.
 - 71: Nivel de Aceite.
- Un relé de sobrecorriente y falla a tierra para la protección del alimentador de 7,2 KV, 60 Hz.
- Un relé multifunción para cada una de las salidas.

5.8.1 Selección de los Relés de Protección

Los relés de protección fueron seleccionados de acuerdo a lo que se indicaba en el proyecto.

a) Selección del relé de sobrecorriente y falla a tierra para el alimentador del suministro normal en 7,2 KV, 60Hz.

Características técnicas:

Unidad de protección por sobrecorriente y falla a tierra, trifásico, electrónico basado en microprocesador, con las siguientes funciones de protección:

- Función (50) : Sobrecorriente Instantánea Fase-Fase.

Rango de ajuste : 0,5...40xIn, e ∞ (infinito)

Tiempo de ajuste: 0,04...300s

- Función (51) : Sobrecorriente temporizado Fase-Fase.

Rango de ajuste : 0,5...2,5xIn

Tiempo de ajuste: 0,05...300s

Valores nominales 1A/5A, tensión auxiliar (80 .. 265)VAC/ (18 ... 265)VDC.

Tiempo de ajuste : 0,00 a 99,9s, pasos de 0,01 s.

- Función (50N) : Sobrecorriente Instantánea Fase-tierra.

Rango de ajuste : 50% a 2000% de la corriente nominal del grupo, pasos de 10%.

Tiempo de ajuste : 0,00 a 99,9 s, pasos de 0,01 s.

- Función (51N) : Sobrecorriente temporizado Fase-Fase.

Rango de ajuste : 50% a 200% de la corriente nominal del grupo, pasos de 10%.

Tiempo de ajuste : 0 a 60 s, pasos de 1 s.

b) Selección de los relés multifunción para las salidas en 7,2 KV, 60Hz.

Características técnicas:

Unidad de protección multifunción, trifásico, electrónico basado en microprocesador, con las siguientes funciones de protección:

- Función (27) : Mínima tensión

Rango de ajuste : 10 a 200V, pasos de 1V.

Tiempo de ajuste : 0 a 60 s, pasos de 1 s.

- Función (50) : Sobrecorriente Instantánea Fase-Fase.

Rango de ajuste : 50% a 2000% de la corriente nominal del grupo, pasos de 10%.

Tiempo de ajuste : 0,00 a 9,99s, pasos de 0,01 s.

- Función (51) : Sobrecorriente temporizado Fase-Fase.

Rango de ajuste : 50% a 200% de la corriente nominal del grupo, pasos de 10%.

Tiempo de ajuste: 0,0 a 60 s, pasos de 0,1 s.

- Función (50N) : Sobrecorriente Instantánea Fase-tierra.

Rango de ajuste: 50% a 2000% de la corriente nominal del grupo, pasos de 10%.

Tiempo de ajuste: 0,00 a 9,99 s, pasos de 0,01 s.

- Función (51N) : Sobrecorriente temporizado Fase-Fase.

Rango de ajuste : 50% a 200% de la corriente nominal del grupo, pasos de 10%.

Tiempo de ajuste : 0 a 60 s, pasos de 1 s.

- Función (59) : Máxima tensión

Rango de ajuste : 70 a 250V, pasos de 1V.

Tiempo de ajuste: 0 a 60 s, pasos de 1 s.

- Función (81U) : Mínima frecuencia

Rango de ajuste : 56,00 a 64,00 Hz, pasos de 0,01Hz.

Tiempo de ajuste: 0,01 a 9,98s., pasos de 0,01 s.

- Función (81O) : Máxima frecuencia

Rango de ajuste : 56,00 a 64,00 Hz, pasos de 0,01Hz.

Tiempo de ajuste: 0 a 999 s., pasos de 1 s.

Valores nominales 5A, 110VAC, 60Hz, tensión auxiliar (70 ..
280)VDC.

CAPÍTULO VI

MONTAJE, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO

6.1 Montaje

6.1.1 Montaje de Celdas

6.1.1.1 Transporte y Almacenaje

Las celdas son despachadas en embalaje de madera tipo cofre para protección durante el transporte y deben ser mantenidas en posición vertical durante el transporte ó almacenaje. Para izamiento y traslado son previstos ángulos de izamiento instalados en el techo de cada celda.

Las maniobras de traslado e izamiento deben ser efectuadas con cuidado, evitando movimientos bruscos o choques.

Inmediatamente después del desembalaje, se debe efectuar la inspección de las celdas para detectar eventuales daños producidos durante el transporte.

En caso de ser detectada alguna ocurrencia debe ser comunicada al ingeniero responsable del suministro.

6.1.1.2 Nivelación y anclaje

El patín de deslizamiento donde se instalarán las celdas, debe estar perfectamente nivelada, de ser necesario se debe calzar las celdas colocando laminas metálicas hasta obtener una buena nivelación.

6.1.1.3 Conexión de los cables

La salida de los cables en 7,2KV, 60Hz, será por la parte lateral de las celdas.

En la base de las celdas se ha previsto ángulos de fijación para sujetar a los terminales de cable, de tal manera que éstos no ejerzan ningún esfuerzo sobre el conector.

6.1.2 Montaje de Equipos de Alta Tensión

Los equipos de Alta Tensión y el Transformador de Potencia se montarán encima del patín de deslizamiento

6.2 Pruebas del Suministro en Obra

Las pruebas del suministro en obra, se realizarán a la subestación completa y al transformador, además son sobre todo, de verificación a un buen trabajo de montaje, considerando que todo el suministro integral fue probado en fábrica.

Las pruebas a realizar son:

Prueba de funcionamiento mecánico.

Prueba de funcionamiento eléctrico.

Prueba de aislamiento del cableado.

6.3 Puesta en Servicio

6.3.1 Introducción

Una vez instalado todo el suministro integral, en su lugar definitivo con los circuitos totalmente desenergizados, se efectúan los controles detallados a continuación y en el orden en que se presentan.

6.3.2 Verificación de las características

Utilizando los planos en su conjunto se verificará que las características de la subestación móvil correspondan con las instaladas.

Se controlará que la tensión, frecuencia y corriente nominal indicadas coincidan con aquellas de la línea a la cuál está conectada.

6.3.3 Verificación del anclaje

Se verificará que se hayan colocado todos los pernos de anclaje.

6.3.4 Verificación de componentes montados

Se verificará que los componentes de la subestación, no deben presentar golpes, deformaciones, rajaduras, roturas u otros defectos producto del montaje, que pueden afectar su funcionamiento y por consiguiente el de las celdas.

Finalmente se verificará el correcto cierre de las puertas, que todos los pernos, tuercas y tornillos de conexiones estén bien ajustados.

6.4 Equipos de Maniobra

6.4.1 Pértiga Tipo tropicalizada y para trabajo pesado, de material aislante de alta resistencia mecánica a la flexión, para maniobrar y accionar el seccionador tripolar, tendrá un aislamiento no menor de 100 KV. De una longitud aproximada de 7,60 m., tendrá un disco central con el fin de aumentar la distancia de la superficie de contorneo e indicador luminoso de existencia de tensión.

6.4.2 Varilla extractora de fusibles de alta tensión

Se proveerá de una varilla aislada hasta 100 KV, vendrá provista con las muelas de extracción adecuadas para los fusibles de alta tensión; tendrá una longitud mínima de 1,35 m. aproximadamente y vendrá provista de una pantalla intermedia de no menos 12 cm. de diámetro, la muela de extracción permitirá fusibles de hasta 88 mm. de diámetro

6.4.3 Banco de maniobras

Consistente en una plataforma de 0,80 x 0,80 mts. de madera dura de 1" de espesor mínimo. Conformada por listones debidamente encolados y soportados en listones matrices de 2 1/2".

Aproximadamente de modo que pueda resistir un peso de 100 Kg. Como acabado, la madera será soportada por cuatro aisladores de resistencia mecánica a la compresión, impacto y dureza con pieza de fijación a la plataforma.

De la siguiente características:

Tensión Nominal : 100 KV.

Capacidad de aislamiento: Según VDE 011/1212

No se permitirá clavos ni uniones metálicas.

6.4.4 Zapatos

Un par de zapatos con suela y tacones de jebe de alto aislamiento eléctrico, los que deberán ser cocidos, no se permitirán clavos o partes metálicas.

6.4.5 Guantes

Un par de guantes tamaño grande, de jebe u otro material aislante para uso eléctrico y un nivel de aislamiento de 30KV.

6.4.6 Cartilla

Una cartilla (1) en idioma castellano de primeros auxilios en caso de accidentes por contacto eléctrico de dimensiones no menor a 1,00 x 0,80 m.

CAPÍTULO VII

ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico realizado a continuación es la suma de muchos factores dentro del negocio eléctrico ; a simple vista una subestación móvil resulta mucho mas económica que construir una subestación fija ya que no se necesita mayor inversión en obras civiles ni tener que estar invirtiendo en mayores cantidades de cable para alimentar los motores de la mina.

Es por esto que es obvio que una subestación que solo necesita una línea para alimentarse es mucho mas flexibles y se acomoda muy bien a las necesidades de la mina que necesita moverse dentro de su territorio sin mas inversión que tan solo el hecho de trasladar la subestación sobre el patín.

A continuación se presentaran los cálculos para obtener los índices de rentabilidad en un horizonte de 5 años:

$$V_f = V_p (1 + \alpha)^N$$

N = numero de años, en nuestro caso seria 5 años.

$$V_p = V_f / (1 + \alpha)^N$$

Despejando la formula para calcular el valor a tiempo actual de X años:

$$VAN = -F_0 + \frac{F_1}{(1 + \alpha)} + \frac{F_2}{(1 + \alpha)^2} + \frac{F_3}{(1 + \alpha)^3} + \frac{F_4}{(1 + \alpha)^4} + \frac{F_5}{(1 + \alpha)^5}$$

Para el negocio eléctrico se considera a igual a 12%.

Los índices que se deben tener en cuenta en cuanto a la definición de la rentabilidad son los siguientes:

$$VAN > 0$$

$$B/C > 1$$

$$TIR \gg \alpha$$

Evaluación Económica del Proyecto **de Instalación de la S.E. Móvil**

La tarifa de energía aumenta cada cuatro años en 5% estando actualmente en 0,04 US \$/KWh.

Inversión:

Costo del equipo	\$ 340000
IGV (19%)	\$ 64600
Instalación	\$ 8000
Total	<u>\$ 412600</u>

Costos de Operación y Mantenimiento:

Los costos de operación aumentan un 2% anual.

Operario	\$ 8500
Mantenimiento preventivo	\$ 10600
Total	<u>\$ 19100</u>

Ingreso:

Demanda de potencia	6,4 MW
Energía Anual	56064 MWh

En el negocio eléctrico se considera el 12% como la tasa de descuento.

INGRESOS			
Año	Costo Energía(0,04 US\$/KWh)	Energía producida (KW/h.)	Ingreso
0	0,04	0	0
1	0,04	56064000	2242560
2	0,04	56064000	2242560
3	0,04	56064000	2242560
4	0,04	56064000	2242560
5	0,042	56064000	2354688
6	0,042	56064000	2354688
7	0,042	56064000	2354688
8	0,042	56064000	2354688
9	0,0441	56064000	2472422,4
10	0,0441	56064000	2472422,4
11	0,0441	56064000	2472422,4
12	0,0441	56064000	2472422,4
13	0,046305	56064000	2596043,5
14	0,046305	56064000	2596043,5
15	0,046305	56064000	2596043,5

EGRESOS		
Inversión	Opera y Mantt.	Total
-412600	0	-412600
	19100	19100
	19482	19482
	19871,64	19871,64
	20269,0728	20269,0728
	20674,45426	20674,45426
	21087,94334	21087,94334
	21509,70221	21509,70221
	21939,89625	21939,89625
	22378,69418	22378,69418
	22826,26806	22826,26806
	23282,79342	23282,79342
	23748,44929	23748,44929
	24223,41828	24223,41828
	24707,88664	24707,88664
	25202,04437	25202,04437

Para n =15 años

$$\text{VAN} = 15846071 - 412600 = 15433471,65$$

$$\text{B /C} = 15846071 / 412600 = 38,40540875$$

Evaluación Económica del Proyecto de Instalación de la S.E. Fija

La tarifa de energía aumenta cada cuatro años en 5% estando actualmente en 0,04 US \$/KWh.

Inversión:

Costo del equipo	\$340000
Costo de las obras civiles	\$100000
IGV (19%)	\$ 83600
Instalación	\$ 10000
Total	\$ 533600

Costos de Operación y Mantenimiento:

Los costos de operación aumentan un 2% anual.

Operario	\$ 8500
Mantenimiento preventivo	\$ 10600
Mantenimiento de Obras Civiles	\$7100
Total	\$ 26200

Ingreso:

Demanda de potencia 6,4 MW
Energía Anual 56064 MWh

En el negocio eléctrico se considera el 12% como la tasa de descuento.

INGRESOS			
Año	Costo Energía(0,04 US\$/KWh)	Energía producida(KW/h.)	Ingreso
0	0,04	0	0
1	0,04	56064000	2242560
2	0,04	56064000	2242560
3	0,04	56064000	2242560
4	0,04	56064000	2242560
5	0,042	56064000	2354688
6	0,042	56064000	2354688
7	0,042	56064000	2354688
8	0,042	56064000	2354688
9	0,0441	56064000	2472422,4
10	0,0441	56064000	2472422,4
11	0,0441	56064000	2472422,4
12	0,0441	56064000	2472422,4
13	0,046305	56064000	2596043,52
14	0,046305	56064000	2596043,52
15	0,046305	56064000	2596043,52

EGRESOS		
Inversión	Opera y Mant.	Total
-533600	0	-533600
	26200	26200
	26724	26724
	27258,48	27258,48
	27803,6496	27803,6496
	28359,72259	28359,72259
	28926,91704	28926,91704
	29505,45538	29505,45538
	30095,56449	30095,56449
	30697,47578	30697,47578
	31311,4253	31311,4253
	31937,6538	31937,6538
	32576,40688	32576,40688
	33227,93502	33227,93502
	33892,49372	33892,49372
	34570,34359	34570,34359

Comparación:

	VAN	B/C
Instalación fija	15258929	29,6
Instalación móvil	15433472	38,4

Conclusión:

De la evaluación económica realizada se desprende que la subestación móvil es la más conveniente desde el punto de vista económico.

CONCLUSIONES

- 1.- De la tesis presentada, se puede observar lo amplio y complejo que es desarrollar y ejecutar una subestación móvil como la realizada para Southern Perú Copper Corporation.
- 2.- El suministro integral fue calculado y además expresado en planos eléctricos y mecánicos en forma clara, de tal forma que no se presentaron problemas durante su ejecución en la etapa de fabricación así como de montaje.
- 3.- Del proyecto podemos concluir que es mas económico y rentable este tipo de subestaciones que las convencionales debido a que no se necesita invertir en obras civiles.
- 4.- Podemos concluir que técnicamente es más versátil este tipo de subestaciones debido a que ofrecen bastantes facilidades al cliente por ejemplo:
 - Es de gran utilidad en minas donde la zona de operación cambia permanentemente de lugar debido a que se traslada la subestación y no se invierte en otra.
 - También puede ser utilizada para suministro de energía durante el mantenimiento de líneas de transmisión.

- También puede ser utilizada para casos de emergencia en donde se necesita reponer el suministro de energía debido a falla en el sistema.
 - Y en fin es una buena alternativa para suministro de energía de forma rápida y confiable.
- 5.-** Se garantiza un funcionamiento óptimo debido a que se hacen pruebas completas de toda la subestación en fábrica antes de entregarla debido a que es todo un conjunto, lo que garantiza el buen funcionamiento de la misma al momento de ser puesta en servicio.
- 6.-** Este proyecto permite la normalización de las subestaciones móviles debido a que otorga los requerimientos necesarios para su instalación descritos en el Capítulo II y los equipos básicos, así como las características que deben cumplir dichos equipos descritos en el mismo capítulo.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Autor : Albert F. Spitta.
Año de Publicación : 1981.
Titulo del Libro : Instalaciones Eléctricas.
Editorial : Dossat S.A.

- 2.- Autor : Asea Brown Boveri .
Año de Publicación : 1992.
Titulo del Libro : Manual de las instalaciones de distribución de energía eléctrica.
Editorial : URMO.

- 3.- Autor : SIEMENS.
Año de Publicación : 1998.
Titulo del Libro : Instalaciones Eléctricas.
Editorial : Editorial Dossat S.A.
Redacción : Günter G. Seip.

- 4.- Autor : ABB HV Aparattus-Expert High Voltage.
Año de Publicación : 2001.
Titulo : Catalogo de Seccionadores de potencia.
Editorial : URMO.

- 5.- Autor : S & C Transmission Division.
Año de Publicación : 2002.
Titulo : Catalogo de fusibles– tipo SMD-2B.
Editorial : URMO.
- 6.- Autor : ABB Transmit Oy Instrument transformers.
Año de Publicación : 2001.
Titulo : Catalogo de transformadores de corriente y
tensión
Editorial : URMO.
- 7.- Autor : ABB Calor Emag AG.
Año de Publicación : 2000.
Titulo : Catalogo de interruptores de potencia en vacío.
Editorial : URMO.
- 8.- Autor : ABB Transmit Oy Relays and Network Control.
Año de Publicación : 2000.
Titulo : Catalogo de relés de sobrecorriente – ABB
SPAJ 140C
Editorial : URMO.

9.- Autor : ABB Power T&D Company Inc Distribution
Relay Division.

Año de Publicación : 2000.

Título : Catalogo de relés multifunción – ABB DPU
2000R

Editorial : URMO.

APÉNDICE A

181

Carga continua de barras de cobre (DIN 43671, diciembre 1975)

Tabla 5-15

Barras de cobre con sección rectangular en instalaciones interiores, temperatura ambiente 35 °C, temperatura del embarrado 65 °C, disposición vertical del ancho de la barra, luz entre barras igual al espesor de barras, en c.a. luz entre fases > 0,8 x distancia entre ejes de las fases

Ancho x grosor	Sección	Peso ¹⁾	Material ²⁾	Intensidad continua en A c.a. hasta 60 Hz pñtado								Intensidad continua en A c.a. y c.a. hasta 16 2/3 Hz pñtado							
				N.º de barras				desnudo				N.º de barras				desnudo			
mm	mm ²	kg/m		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
17 x 2	23,5	0,209	E-Cu F 37	179	202	228		126	182	216		123	202	232		108	182	220	
15 x 2	29,5	0,262	E-Cu F 37	148	240	261		126	212	247		148	240	267		123	212	252	
15 x 3	44,5	0,366	E-Cu F 37	187	318	361		182	292	351		187	316	367		162	262	365	
20 x 2	35,5	0,351	E-Cu F 37	188	302	313		182	264	286		183	302	321		162	268	303	
20 x 3	58,5	0,573	E-Cu F 37	237	394	454		204	368	431		237	394	453		204	348	437	
20 x 5	99,1	0,882	E-Cu F 37	319	560	728		274	500	630		320	567	728		274	502	587	
20 x 10	198	1,77	E-Cu F 30	497	924	1320		427	825	1180		480	932	1300		428	832	1210	
25 x 3	74,5	0,653	E-Cu F 37	287	470	525		245	412	499		297	470	538		245	414	506	
25 x 5	124	1,11	E-Cu F 37	384	682	839		327	536	795		384	664	841		327	590	794	
30 x 3	80,5	0,736	E-Cu F 37	337	544	593		285	478	564		337	540	608		290	478	575	
30 x 5	140	1,33	E-Cu F 37	447	750	844		379	572	690		448	750	860		380	676	897	
30 x 10	289	2,66	E-Cu F 30	676	1200	1670		573	1060	1480		683	1230	1630		579	1080	1520	
40 x 3	118	1,05	E-Cu F 37	438	692	725		386	600	690		438	696	748		367	604	708	
40 x 5	198	1,77	E-Cu F 37	573	952	1140		482	836	1090		578	956	1150		484	848	1100	
40 x 10	399	3,55	E-Cu F 30	850	1470	2000	2580	715	1290	1770	2230	865	1530	2000		729	1350	1880	

Continúa en la siguiente página

Tabla 5-15 (continuación)

Ancho x grosor	Sección	Peso ¹⁾	Material ²⁾	Intensidad continua en A c.a. hasta 60 Hz pñtado								Intensidad continua en A c.a. y c.a. hasta 16 2/3 Hz pñtado							
				N.º de barras				desnudo				N.º de barras				desnudo			
mm	mm ²	kg/m		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
50 x 5	249	2,22	E-Cu F 37	897	1140	1350	2010	593	994	1250	1820	703	1170	1370		846	1020	1300	
50 x 10	498	4,44	E-Cu F 30	1022	1720	2320	2950	852	1510	2040	2600	1050	1930	2360		875	1610	2220	
60 x 5	290	2,66	E-Cu F 30	828	1330	1510	2210	688	1160	1440	2210	838	1370	1580	2090	594	1190	1500	1970
60 x 10	589	5,33	E-Cu F 30	1180	1980	2610	3280	965	1720	2300	2920	1250	2130	2720	3580	1020	1870	2570	3530
80 x 5	300	3,55	E-Cu F 30	1070	1560	1830	2820	688	1450	1750	2720	1090	1770	1990	2570	802	1530	1880	2450
80 x 10	598	7,11	E-Cu F 30	1500	2410	3170	3930	1240	2170	2790	3450	1590	2730	3420	4450	1310	2380	3240	4280
100 x 5	495	4,44	E-Cu F 30	1300	2010	2150	3200	1090	1730	2050	3190	1340	2160	2380	3080	1110	1810	2270	3060
100 x 10	988	8,88	E-Cu F 30	1810	2850	3720	4830	1490	2480	3280	3990	1940	3310	4100	5310	1600	2890	3500	5150
120 x 10	1700	10,7	E-Cu F 30	2110	3780	4270	5130	1740	2960	3740	4500	2300	3800	4780	5250	1890	3380	4550	5010
150 x 10	1600	14,2	E-Cu F 30	2700	4130	5360	6320	2270	3590	4560	5530	3210	5060	6130	8010	2470	4400	5880	7710
200 x 10	2000	17,8	E-Cu F 30	3250	4970	6430	7490	2690	4310	5810	6540	3720	6220	7460	8730	3040	5380	7150	8390

¹⁾ Calculado con una densidad de 8,9 kg/dm³.

²⁾ Luz milímetros.

³⁾ Material: E-Cu u otros metales, según DIN 40 500, hoja 3, semiproducto preferente: barras planas con redondeo de aristas según DIN 46 433, hoja de selección 3.

181

APÉNDICE B

TABLA DE SELECCIÓN DE PARARRAYOS

Dimensions and Ordering Information - Porcelain Top EXLIM Q Arresters

Style	Rating kV RMS	Dimension A		Creepage Distance		Weight		Minimum Clearance from Center Line			
								Phase to Ground		Phase to Phase	
		in.	mm	in.	mm	lbs.	kg	in.	mm	in.	mm
Q003PA002B	3	12.7	323	6.0	152	25	11	6.5	165	10.5	267
Q004PA003B	4	12.7	323	6.0	152	25	11	6.5	165	10.5	267
Q006PA005B	6	12.7	323	6.0	152	26	12	6.5	165	10.5	267
Q007PA006B	7	15.6	396	15.0	381	30	14	6.5	165	10.5	267
Q008PA007B	8	15.6	396	15.0	381	30	14	6.5	165	10.5	267
Q009PA008B	9	15.6	396	15.0	381	31	14	6.5	165	10.5	267
Q010PA008B	10	15.6	396	15.0	381	32	15	6.5	165	10.5	267
Q012PA010B	12	15.6	396	15.0	381	33	15	6.5	165	10.5	267
Q015PA012B	15	15.6	396	15.0	381	34	15	7.0	178	10.5	267
Q018PA015B	18	22.3	566	30.0	762	44	20	8.0	203	11.0	279
Q021PA017B	21	22.3	566	30.0	762	46	21	9.0	229	12.0	305
Q024PA019B	24	22.3	566	30.0	762	48	22	10.0	254	13.0	330
Q027PA022B	27	22.3	566	30.0	762	50	23	11.0	279	14.0	356
Q030PA024B	30	22.3	566	30.0	762	52	24	12.0	305	15.0	381
Q036PA029B	36	22.3	566	30.0	762	56	25	13.0	330	16.0	406

Dimensions and Ordering Information - Metal Top EXLIM Q Arresters

Style	Rating kV RMS	Dimension A		Creepage Distance		Weight		Minimum Clearance from Center Line			
								Phase to Ground		Phase to Phase	
		in.	mm	in.	mm	lbs.	kg	in.	mm	in.	mm
Q003MA002A	3	15.8	401	7.5	191	40	18	7.5	191	13.5	343
Q004MA003A	4	15.8	401	7.5	191	41	19	7.5	191	13.5	343
Q006MA005A	6	15.8	401	7.5	191	42	19	8.5	216	14.0	356
Q007MA006A	7	15.8	401	7.5	191	43	20	8.5	216	14.0	356
Q008MA007A	8	18.5	470	15.6	396	47	21	8.5	216	14.0	356
Q009MA008A	9	18.5	470	15.6	396	48	22	8.5	216	14.5	368
Q010MA008A	10	18.5	470	15.6	396	49	22	9.5	241	14.5	368
Q012MA010A	12	18.5	470	15.6	396	50	23	10.5	267	15.0	381
Q015MA012A	15	21.8	554	24.0	610	58	26	11.5	292	15.5	394
Q018MA015A	18	21.8	554	24.0	610	59	27	12.5	318	16.5	419
Q021MA017A	21	21.8	554	24.0	610	60	27	13.5	343	17.5	445
Q024MA019A	24	21.8	554	24.0	610	61	28	14.5	368	18.5	470
Q027MA022A	27	26.3	668	39.0	991	73	33	15.5	394	19.5	495
Q030MA024A	30	26.3	668	39.0	991	74	34	16.5	419	20.5	521
Q036MA029A	36	26.3	668	39.0	991	80	36	18.5	470	22.5	572
Q039MA031A	39	26.3	668	39.0	991	82	37	19.0	483	23.5	597

Dimensions and Ordering Information - Metal Top EXLIM Q Arresters

Style	Rating kV RMS	Fig.	Dimensions						Creepage Distance		Weight		Minimum Clearance from Center Line			
			A		B		C		in.	mm	lbs.	kg	Phase to Ground		Phase to Phase	
			in.	mm	in.	mm	in.	mm					in.	mm	in.	mm
Q045XA037A	45	3	29.3	744					54.0	1372	112	51	19.5	495	24.0	610
Q045XA039A	48	3	29.3	744	-	-	-	-	54.0	1372	113	51	20.0	508	24.05	622
Q054XA042A	54	3	29.3	744					54.0	1372	115	52	20.5	521	25.0	635
Q060XA048A	60	3	40.7	1034					90.0	2286	136	62	21.0	533	25.5	648
Q072XA057A	72	3	40.7	1034					90.0	2286	146	66	21.5	546	27.0	686
Q090XA070A	90	3	40.7	1034	-	-	-	-	90.0	2286	455	70	26.0	660	32.0	813
Q096XA076A	96	3	45.5	1156					105.9	2690	176	80	28.0	711	34.0	864
Q108XA084A	108	3	53.0	1346					132.4	3363	220	100	32.0	813	38.0	965
Q110XA088A	110	3	53.0	1346	-	-	-	-	132.4	3363	221	100	33.0	838	39.0	991
Q120XA098A	120	3	53.0	1346					132.4	3363	228	103	35.0	889	42.0	1067
Q132XA106A	132	3	53.0	1346	-	-	-	-	132.4	3363	239	108	39.0	991	45.0	1143
Q144XA115A	144	-	65.7	1669	23.6	600	11.6	295	144.0	3658	270	122	50	1270	62	1575
Q168XA131A	168	-	77.1	1958	23.6	600	11.6	295	180.0	4572	290	132	57	1448	69	1753
Q172XA140A	172	-	77.1	1958	23.6	600	11.6	295	180.0	4572	300	136	58	1473	71	1803
Q180XA144A	180	-	81.9	2080	31.5	800	15.8	400	195.9	4976	310	141	65	1651	81	2057
Q192XA152A	192	-	81.9	2080	31.5	800	15.8	400	195.9	4976	320	145	69	1753	85	2159
Q226XA180A	226	-	94.2	2393	35.5	902	25.6	650	238.3	6053	349	158	81	2057	99	2515
Q240XA190A	240	-	101.7	2583	35.5	902	25.6	650	264.9	6728	369	167	85	2159	103	2616
Q258XA209A	258	-	101.7	2583	35.5	902	25.6	650	264.9	6728	378	171	90	2286	108	2743
Q264XA212A	264	-	119.3	3030	58.0	1473	37.4	950	292.4	7427	482	219	104	2642	121	3073
Q276XA220A	276	-	119.3	3030	58.0	1473	37.4	950	292.4	7427	496	220	108	2743	137	3480
Q288XA230A	288	-	119.3	3030	58.0	1473	37.4	950	292.4	7427	496	225	111	2819	140	3556
Q294XA235A	294	-	123.2	3129	58.0	1473	37.4	950	301.8	7696	505	230	113	2870	142	3607
Q300XA243A	300	-	123.2	3129	58.0	1473	37.4	950	301.8	7696	516	234	115	2921	144	3658
Q312XA245A	312	-	143.0	3632	58.0	1473	37.4	950	370.8	9418	548	249	119	3023	148	3759
Q336XA272A	336	-	143.0	3632	58.0	1473	37.4	950	370.8	9418	556	252	126	3200	155	3937
Q360XA291A	360	-	143.0	3632	58.0	1473	37.4	950	370.8	9418	564	256	133	3378	163	4140

APÉNDICE C

DESCRIPCIÓN DE LA PINTURA EPÓXICO

Base Anticorrosiva Epóxico

Descripción: Es un producto epóxico de 03 componentes con 85-88% de zinc metálico puro que curado con poliamida provee de excelentes propiedades anticorrosivas debido a la concentración del zinc metálico. Este producto mejora las propiedades anticorrosivas de cualquier sistema de pintado y ofrece protección catódica al acero en caso de daños mecánicos, evitando la formación del oxido.

Usos: Como base de tratamientos previo de planchas de acero, estructuras metálicas en general, tanques de almacenamiento, equipos e instalaciones industriales, embarcaciones marinas.

Preparación de Superficie:

Hierro o Acero: Como mínimo arenado cercano al metal blanco SSPC – SP – 10. De ningún modo aplicar base anticorrosiva Epóxico Zinc Rinch Primer sobre pinturas antiguas o restos de las mismas, la superficie debe de estar libre de contaminantes; polvo, grasa o suciedad.

Especificaciones Técnicas:

Vehículo	:	Epóxico – Poliamida.
Color	:	Gris metálico mate.
Pigmento	:	Polvo de Zinc puro.
Proporción de la mezcla	:	(A) Resina epóxica: 1 gl. (B) Catalizador: 1,8 gl. (C) Polvo de Zinc Puro: 1 gl. La mezcla de los tres componentes equivale a 1gl.
Sólidos por volumen	:	55%
Tiempo mínimo de inducción:		15'-30' (25°C)
Tiempo de vida útil de la mezcla:		8-10 hr. (25°C)
Tiempo de secado a 25°C	:	Tacto (30'-1hr.) para recubrir 6 hr. Duro 5-7 días.
Espesor de película recomendada	:	Húmeda 6 mm (150 u)/capa de pintura. Sin dilución. Seco 3 mm (75 u) por capa.
Resistencia al calor seco	:	Hasta 260°C.

Aplicación y Preparación de la pintura: Mezclar la parte A (resina) con la parte B (catalizador) entonces agregar parte C (polvo de Zinc) lentamente con buena agitación, hasta que alcance una mezcla uniforme (no invertir el orden de la mezcla).

El material debe de ser filtrado por una malla 30 o 60 para asegurar una dispersión completa del polvo de zinc. Dar un reposo de ½ hr. al material catalizado, luego aplicar la pintura.

La pintura diluida catalizada deberá ser agitado continuamente para evitar el asentamiento.

Apéndice D

Fotos de Subestaciones Móviles

Sub-estación móvil integrada en trailer: 10MVA, 69/7.2kV



Sub-estación móvil integrada en patín desde 100 KVA hasta 10,000 KVA



Sub-estación tipo patín con solución PASS – 60 KV : 4/5 MVA , 60/10 KV

