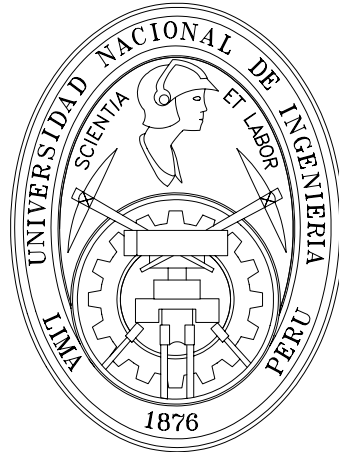


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA
TRANSPORTABLE DE 10MVA, 69/7.2 kV

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

VASSALLO ELESCANO, GIOVANNI FABRICIO

PROMOCION 2003-II

LIMA- PERU

2008

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a mi
abuela, mis padres, mi hermana y
mis amigos que siempre me han
apoyado cuando necesitaba de ellos,
muchas gracias

INDICE

PRÓLOGO	1
CAPITULO I INTRODUCCIÓN	4
1. <i>GENERALIDADES</i>	<i>4</i>
1.1. Definición de una subestación	5
1.2. Características de operación de las subestaciones.....	5
1.3. Clasificación de las subestaciones	7
2. <i>OBJETIVO</i>	<i>10</i>
3. <i>ALCANCES</i>	<i>10</i>
4. <i>CARGAS A CONSUMIR.....</i>	<i>11</i>
CAPITULO II MEMORIA DESCRIPTIVA.....	12
1. <i>DESCRIPCION GENERAL.....</i>	<i>12</i>
2. <i>FORMULACION DE ALTERNATIVAS</i>	<i>12</i>
3. <i>PREMISAS DE CALCULO</i>	<i>15</i>
CAPITULO III CRITERIOS DE DISEÑO DE SUBESTACIÓN.....	16
1. <i>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</i>	<i>17</i>

2.	<i>NIVELES DE AISLAMIENTO</i>	17
3.	<i>NIVELES DE TENSIÓN</i>	17
4.	<i>DISTANCIA ELÉCTRICA Y SEGURIDAD</i>	18
5.	<i>CAPACIDAD DE CORTOCIRCUITO</i>	18
6.	<i>ELABORACIÓN DEL ESQUEMA UNIFILAR</i>	19
7.	<i>DIMENSIONES Y UBICACIÓN DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS</i>	19
8.	<i>REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE</i>	19
CAPITULO IV DISEÑO ELECTROMECAÁNICO		21
1.	<i>PLANEACIÓN</i>	21
2.	<i>DISEÑO CONCEPTUAL</i>	21
3.	<i>ACTIVIDADES A CUMPLIRSE</i>	22
4.	<i>DIAGRAMA UNIFILAR y ESQUEMAS GENERALES</i>	22
4.1.	Diagrama unifilar.....	22
4.2.	Esquemas eléctricos.....	23
5.	<i>DISTANCIAS ELÉCTRICAS</i>	23
6.	<i>DISTANCIA DE SEGURIDAD</i>	24
CAPITULO V CALCULOS Y SELECCIÓN DE EQUIPOS		26
1.	<i>DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE AISLAMIENTO</i>	26
1.1.	Efectos de la Altitud	26
1.2.	Efectos de la Contaminación Ambiental	27
2.	<i>DIMENSIONAMIENTO DE LOS PARARRAYOS</i>	28

3.	<i>DIMENSIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA</i>	33
4.	<i>DIMENSIONAMIENTO DE LOS TRANSFORMADORES DE MEDICIÓN</i> ...	34
4.1.	Transformadores de Corriente:.....	34
4.2.	Transformadores de tensión.....	36
5.	<i>DIMENSIONAMIENTO DE LOS INTERRUPTORES DE POTENCIA</i>	37
6.	<i>DIMENSIONAMIENTO DE LOS SECCIONADORES DE POTENCIA</i>	38
7.	<i>SECCIONADOR FUSIBLE DE POTENCIA</i>	39
8.	<i>RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA DE NEUTRO DEL TRANSFORMADOR</i>	40
9.	<i>AISLADORES EN SUBESTACIONES</i>	41
10.	<i>SELECCIÓN DE RELÉS DE PROTECCIÓN</i>	42
11.	<i>CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL TIPO DE BARRA DE COBRE</i>	45
11.1.	Corriente nominal (In)	45
11.2.	Esfuerzos electrodinámicos por la corriente de cortocircuito.....	46
11.3.	Efectos térmicos debido a Corriente nominal	48
11.4.	Resonancia.....	48
12.	<i>SELECCIÓN DE TIPO DE CABLES A USAR</i>	49
13.	<i>PLATAFORMA CAMABAJA</i>	51
14.	<i>PRUEBAS</i>	51
	CAPITULO VI ANÁLISIS ECONÓMICO	53
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
1.	<i>CONCLUSIONES</i>	60

2. <i>RECOMENDACIONES</i>	62
BIBLIOGRAFIA	63
ANEXOS	64

PRÓLOGO

Cada día la ciencia sorprende con adelantos tecnológicos en los diferentes campos que conocemos, la ingeniería es un área en la cual se ha desarrollado en grandes proporciones.

La electricidad, en lo que corresponde a Generación, Transporte y Distribución ha pasado por procesos de mejora continua, es por este motivo que un adelanto en su tecnología es “La Subestación Eléctrica Transportable” donde se aprecia lo último de la tecnología desarrollada por los Americanos aplicada y adaptada para las exigencias de nuestro país en cuanto a seccionadores de potencia, interruptores, transformadores de potencia y de medida, conectores en media tensión y relés electrónicos multifunción de protección; todos estos equipos instalados sobre bases móviles previamente diseñadas para soportar los esfuerzos producidos por el terrenos en el cual se desplazarán, así como por el peso de los equipos que soporta.

Otra ventaja es la rapidez en se pueden poner en servicio y su posible uso ante una situación de emergencia. Es por todas estas razones que en los países en desarrollo como el nuestro, su aceptación es cada vez mayor principalmente en la minería en general.

En el **CAPÍTULO I** de la Tesis de Grado veremos la definición de una subestación eléctrica transportable de distribución en el cual explicaremos sus principales ventajas como cambiarla de ubicación cada cierto tiempo, principalmente hacia las zonas de explotación del mineral, estas Subestaciones eléctricas transportables alimentan a Switch Houses y estos a su vez lo hacen a Palas y Perforadoras eléctricas. La subestación eléctrica transportable, entre sus características principales, debe ser flexible, confiable y segura.

En el **CAPÍTULO II** la subestación eléctrica transportable es fabricada sobre una plataforma camabaja, de doble eje, con una potencia de 10 MVA, una llegada en 69 y dos alimentadores en 7.2kV. que será desarrollada según las premisas establecidas.

En el **CAPÍTULO III** y posteriormente el **CAPÍTULO IV** se presentan los criterios y el diseño electromecánico de esta subestación, el cual se ha realizado de acuerdo a especificaciones técnicas, tomando en cuenta los niveles de aislamiento, niveles de tensión, distancias eléctricas y de seguridad, capacidad de cortocircuito. Debemos de basarnos en el esquema unifilar, las dimensiones de los equipos así como los requerimientos del cliente y una evaluación económica antes de la fabricación de la misma.

Con estos datos se procederá en el **CAPÍTULO V** a mostrar la selección de los equipos electromecánicos y su disposición que será parte de la subestación. Debemos de tomar en cuenta de que los equipos son de última generación diseñados para el adecuado funcionamiento y protección de los equipos principales así como el conexionado de cada uno de ellos de acuerdo a los planos

electromecánicos desarrollados para posteriormente probar los equipos en conjunto para su correcto funcionamiento.

Posteriormente tenemos en el **CAPÍTULO VI** el análisis económico de la subestación eléctrica transportable realizando el ejercicio desde el punto de vista del contratista que va a realizar el trabajo, para este propósito se ha utilizado los indicadores económicos adecuados.

Finalmente en el **CAPÍTULO VII** podemos dar las conclusiones y recomendaciones, así como también adjuntamos toda la información técnica entre manuales, lista de materiales, los cronogramas de fabricación, protocolo de pruebas y planos tanto eléctricos como mecánicos que presento en la siguiente Trabajo a continuación.

Debo agradecer a la empresa Dimatic SAC, que es la casa en la cual hemos desarrollado este y otros proyectos importantes debido al apoyo que he tenido de la Gerencia General y de mis compañeros de trabajo por llevar adelante proyectos nuevos e innovadores realizados para el progreso del Perú.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La Gran Minería en el Perú es una de las áreas que se ha desarrollado de manera constante y continuamente se va renovando debido a su adecuada organización y a la capacidad de respuesta ante alguna eventualidad. Por este motivo las mineras se encuentran en la vanguardia de las comunicaciones y de los últimos descubrimientos tecnológicos que aparecen en el mundo.

Es así que en la presente tesis de grado vamos a desarrollar el proyecto Subestación Eléctrica Transportable integrado en el Perú con equipamiento americano, cumpliendo los estándares de fabricación requeridos por el cliente y por los proveedores que exigen calidad en la integración de sus equipos

A continuación presentaré un avance de la tecnología y desarrollo en nuestro país respectivo a la realización de este tipo de Subestaciones Eléctricas tipo Transportable, en esta oportunidad orientada a la industria minera

1. GENERALIDADES

Debido a que la Tensión de Generación en una central eléctrica es relativamente baja y bastante lejana de los centros de consumo, el transporte de energía eléctrica a estos niveles resultaría demasiado costoso si lo

realizaran a esta Tensión original. Para que el costo del transporte de la energía sea razonable es necesario elevar la tensión a un nivel alto que depende de varios factores, como son: la potencia a transmitir, la longitud de la línea, las pérdidas, etc. Dicha operación se efectúa en una instalación que se denomina en general Estación Transformadora Primaria o Subestación Primaria; una vez efectuada la conducción por las líneas de transmisión, en los centros de consumo debe procederse a la distribución de esta potencia, requiriéndose de Subestaciones Distribuidoras que reduzcan el voltaje.

Alguna veces se interlazan sistemas por medio de Subestaciones de Interconexión.

1.1. Definición de una subestación

Una subestación es un punto dentro del sistema de potencia, en el cual se cambian los niveles de tensión y corriente con el fin de minimizar pérdidas y optimizar la distribución de la potencia por todo el sistema

Además es el centro donde se recibe y reparte la energía producida en las centrales generadoras, maniobrando y controlando su destino final a los diferentes centros de consumo, con determinados requisitos de calidad.

1.2. Características de operación de las subestaciones

Características tales como flexibilidad, confiabilidad, seguridad y modularidad determinan la forma de una subestación y se definen de la forma siguiente:

1.2.1. Flexibilidad

La flexibilidad es la propiedad de la instalación para acomodarse a las diferentes condiciones que se puedan presentar, bien sea por mantenimiento, por cambios en el sistema o por fallas

1.2.2. Confiabilidad

La confiabilidad se define como la propiedad de que una subestación pueda mantener el suministro de energía, bajo la condición de que al menos un componente de la subestación pueda repararse durante la operación.

1.2.3. Seguridad

La seguridad es la propiedad de una instalación de operar adecuadamente bajo condiciones normales y anormales de manera que se evite el daño en los equipos o riesgo para las personas

1.2.4. Modularidad

Es la facilidad que tiene una subestación para cambiar de configuración cuando sus necesidades o el sistema lo requieran

Estas características pueden conjugarse en el momento de decidir la configuración de una subestación, dependiendo de la ubicación de ésta dentro del sistema de potencia, de acuerdo con su función o por su capacidad

1.3. Clasificación de las subestaciones

Las subestaciones pueden clasificarse bajo unos criterios básicos que cubran los tipos existentes dentro de nuestro medio:

1.3.1. *Clasificación de las Subestaciones por su función dentro del sistema de potencia*

Subestación de Generación es la estación primaria de la energía producida por las plantas generadoras, su objetivo esencial es transformar el voltaje a niveles altos para lograr economía con la reducción de la corriente.

Subestación de Transmisión – su función es interconectar las diferentes líneas de transmisión de 5kV o 220kV. Éstas generalmente alimentan también tensiones de 34.5kV y/o 13.2kV.

Subestación de Subtransmisión – son aquellas que alimentan o interconectan líneas de nivel intermedio de tensión de 44kV ó 34.5kV, para transporte a distancias moderadas y de cargas no muy altas distribuidas a lo largo de la línea

Subestación de Distribución - su función es reducir la tensión a niveles de distribución de 13.2kV para enviarla a los centros de consumo industrial o residencial, donde los transformadores de distribución instalados a lo largo de los circuitos, se encargan de reducir los niveles a baja tensión (440V, 220V), para alimentar a los usuarios

1.3.2. Clasificación por su tipo de operación

Subestaciones de Transformación – son estaciones que transforman la tensión dentro del sistema de potencia a valores adecuados para su transporte o utilización

De acuerdo a su función de transformación que cumplan en el sistema de potencia se dividen en:

Subestación Elevadora – La tensión de salida es mayor que la tensión de entrada; éstas son las que permiten elevar los niveles de tensión desde los puntos de generación, hasta niveles más altos de transmisión, por ejemplo la subestación de generación.

Subestación Reductora – La tensión de salida es menor que la de entrada; éstas son las que permiten la reducción de niveles de tensión altos como la transmisión, hasta niveles mas bajos de subtransmisión o distribución, por ejemplo las subestación distribuidoras

Subestación de Maniobra – Su función es unir algunas líneas de transporte con otras de distribución, con el propósito de dar mayor confiabilidad y continuidad al servicio; el nivel de tensión es uno solo, por lo tanto no se utilizan transformadores de potencia que eleven o reduzcan voltaje.

1.3.3. Clasificación de las Subestaciones por la forma constructiva

Por su montaje

Subestaciones Interiores – donde sus elementos constitutivos se instalen en el interior de edificios apropiados

Subestaciones Exteriores o a la intemperie – sus elementos constitutivos se instalan a las condiciones ambientales

Por su tipo de equipo

Subestación Convencional – es del tipo exterior, pero la instalación de su equipo es abierta, sin que nada los proteja

Subestación encapsulada – es una subestación cuyas partes vivas y equipos que soportan tensión están contenidos dentro de envolventes metálicos. Por ejemplo las subestaciones Encapsulada en SF6.

Subestación Transportable – Se caracteriza porque todo el conjunto de equipos están instalados sobre un remolque. Su objetivo básico es de ser utilizado bajo circunstancias de emergencia o no, en cualquier punto del sistema.

El remolque usualmente puede ser un trailer ya sea camabaja o normal, básicamente el diseño del tipo de trailer que se utilizará depende fundamentalmente de las distancias eléctricas y de seguridad que se han tomado como base para las características de diseño y las especificaciones técnicas que requiere la subestación. También otra presentación de estas subestaciones Transportables es el tipo Skid que tal como su nombre lo

indica, es una unidad diseñada para arrastre sobre una superficie afirmada previamente, la cual es de fabricación similar a la del trailer, pero mas económica y de diferente procedimiento para movilizarla a otra ubicación.

En este trabajo de tesis, diseñaremos y analizaremos una subestación Eléctrica Transportable de distribución.

2. OBJETIVO

El objetivo de la siguiente tesis es dar a conocer los aspectos técnicos sobre la construcción de una subestación eléctrica transportable, además de plantear la utilización de Subestaciones transportables en las operaciones de Superficie Mina para que puedan ser aprovechadas a medida que cambian de ubicación las zonas de explotación del mineral. También demostrar los beneficios económicos de este avance tecnológico aplicado en la minería en el Perú, además de disminuir los costos en el proceso de fabricación y reducir los tiempos en la fabricación y ensamblaje.

3. ALCANCES

La presente tesis comprende el Proyecto de la Subestación eléctrica Transportable de 10 MVA, 69/7.2KV, Southern Perú – Cuajone, el diseño y fabricación de dicha subestación e implica la evaluación económica con el fin de realizar una comparación entre ésta y la alternativa del uso de una subestación convencional y poder ver los beneficios que se tienen.

4. CARGAS A CONSUMIR

La presente Subestación Eléctrica Transportable será utilizada para alimentar dos Switch Houses (equipos eléctricos que funcionan en media tensión, que sirven para alimentar a palas, perforadoras u otros equipos eléctricos de potencia que son fundamentales en la labores de extracción de mineral en la Mina; adicionalmente éstos, dividen la corriente principal de las salidas de la subestación en dos o mas salidas para alimentar a las cargas a consumir) que cuyas características eléctricas principales son 7200 VAC, 400 A, 60Hz, estos Switch Houses se encuentra en puntos estratégicos dentro del tajo abierto en la superficie de la mina y dan la suficiente protección y seguridad para el trabajo de los equipos de extracción de minera.

CAPITULO II

MEMORIA DESCRIPTIVA

1. DESCRIPCION GENERAL

En lo concerniente a la descripción tenemos lo siguiente:

Southern Perú es una de las principales minas a tajo abierto que existen en el Perú; La mina de cobre Southern Perú Copper Corporation – Cuajone se encuentra a una elevación de 3800 m.s.n.m. en el departamento de Moquegua; en el 2005 la producción de cobre fue de 163 659 toneladas.

Dado los proyectos de expansión que anualmente se realizan, la mina necesita mayores puntos de alimentación para distribución de la energía eléctrica, esto se da con el fin de llevar a cabo las labores de extracción y se requiere en distintos puntos de la mina (en simultaneo) puntos de distribución de energía donde se desea trabajar; éstos serán utilizados para el trabajo de las palas y perforadoras eléctricas que se encuentran funcionando o se va a adquirir de acuerdo al proyecto de expansión o al aumento de energía que se necesita por la operación en la mina.

2. FORMULACION DE ALTERNATIVAS

Debido a la reciente falta de energía en lugares estratégicos de la mina, cabe rescatar que de acuerdo a la expansión de la mina, en tajo abierto

principalmente (zona de explotación del mineral), se debe de dar las condiciones para que esta necesidad sea satisfecha.

Al respecto vamos a proponer ciertas alternativas

Alternativa #1

En esta tesis, como primera opción se propone la adquisición de nuevas subestaciones de distribución para poder contar con energía en estos lugares; junto con las subestaciones se necesitan puntos de abastecimiento de energía eléctrica los cuales se deben llevar a través de líneas de transmisión, por lo que se debe construir una cantidad considerable de subestaciones eléctricas convencionales de distribución.

Esta construcción se realizará cada cierto tiempo, debido a que cada vez que se avance en la exploración del tajo abierto una distancia considerable, se generará la necesidad de una subestación.

Conclusión

Se nota la necesidad obligatoria de la adquisición de subestaciones en los puntos en los cuales se necesita energía eléctrica.

El costo de la adquisición de subestaciones cada cierto periodo de tiempo encarecería los costos de mantenimiento debido a la probable construcción de subestaciones de manera consecutiva en periodos anuales tal como lo solicita Southern Perú, según sus necesidades en sus respectivas áreas.

Es una alternativa válida y para tomar en cuenta.

Alternativa #2

Debido a que necesariamente se debe construir subestaciones eléctricas nuevas proponemos la opción en que se considere subestaciones transportables debido a que cada cierto tiempo se pueda considerar un cambio de ubicación en la carga, o por que la operación en mina así lo necesita o lo requiere.

Conclusión

La adquisición de subestaciones transportables significaría un ahorro económico considerable debido a que se tiene la posibilidad de luego que de cierto tiempo cambiarla de ubicación para los fines que se crea conveniente. Se puede utilizar este tipo de subestaciones para cualquier emergencia que pueda suceder.

Se debe de investigar si resulta mas económico realizar una base de cemento para una subestación convencional y realizar el montaje de toda la misma en terreno versus cambiar la subestación por una base transportable y realizar el montaje de equipos en fábrica para que llegue al cliente como un paquete completo.

Según estas conclusiones previas, lo que vamos a demostrar en el trabajo que presento a continuación, son las ventajas entre adquirir una subestación eléctrica transportable versus una subestación eléctrica convencional.

3. **PREMISAS DE CALCULO**

Según la formulación de alternativas mencionadas, necesitamos una subestación eléctrica que sea flexible, confiable y segura.

Adicionalmente una de las características imprescindibles es que tenga la capacidad de cambiar de posición luego de cierto tiempo, debido a que el trabajo requerido por las cargas a alimentar va cambiando de ubicación; para esto necesitamos que la subestación esté sobre una base transportable. En este caso la colocaremos sobre un trailer camabaja para facilitar el movimiento en la zona de trabajo en los periodos que se requiera, también se puede realizar esta maniobra (cambio de posición de la subestación) sin la utilización de maquinaria pesada para este caso.

Se debe indicar que la subestación presenta una tensión de alimentación en alta tensión y otra de descarga en media tensión, así como también la potencia de diseño de la misma ha sido escogida de acuerdo a la carga que se ha considerado; es por esto que la subestación tendrá una potencia de 10 MVA.

CAPITULO III

CRITERIOS DE DISEÑO DE SUBESTACIÓN

En el presente proyecto Subestación Eléctrica Transportable, los criterios que se ha tomado para la construcción son los siguientes:

- Especificaciones Técnicas
- Niveles de aislamiento
- Niveles de tensión
- Distancia eléctrica y seguridad
- Capacidad de cortocircuito
- Elaboración de esquema unifilar
- Dimensiones y ubicación de los equipos eléctricos
- Requerimientos del cliente
- Evaluación económica

Los criterios de diseño has sido tomados en base a el “Código Nacional de Electricidad” de nuestro país, así como el NEC de USA, La IEEE, las normas ANSI y las Normas IEC. A su vez el cliente recomendó que los criterios para la construcción de esta Subestación sea basado en las normas antes mencionadas, así como la normas Neta, la cuales son de uso exclusivo para toda la parte

considerada por pruebas de equipos. (Ver Anexo 2 – 05-01010-PDP-01 Protocolo de pruebas)

1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Es la información técnica que el cliente o usuario brinda al proveedor donde se encuentran todos los estándares de uso, operación y requerimientos que debe de cumplir obligatoriamente cada proyecto en el cual se desea participar. Estas especificaciones técnicas se basan en las normas internacionales, nacionales y locales; además de los alcances que cada cliente requiere para su uso y comodidad.

2. NIVELES DE AISLAMIENTO

En el concepto de nivel de aislamiento, la tensión disruptiva en seco nominal del aislador o aisladores, cuando sean sometidos a pruebas de acuerdo con la norma ANSI C29.1, no deberá ser menor que la que se indica en la Tabla 273-1 del CNE (Código Nacional de Electricidad), a menos que esté basado en un estudio de ingeniería calificado. Se deberán utilizar niveles de aislamiento más altos que aquellos que se muestran en la Tabla 273-1, u otros medios efectivos, cuando existan fuertes descargas eléctricas, alta contaminación atmosférica u otras condiciones desfavorables.

3. NIVELES DE TENSIÓN

En este punto denominado como nivel de tensión nominal y operación, indicamos el tipo de aislador o aislamiento que debemos utilizar para las tensiones nominales que tenemos en esta subestación, las cuales son: 69kV, 7.2kV, 0.12kV.

En la Tabla del CNE Capítulos LII, podemos observar las tensiones nominales entre fases, así como el BIL típico (kV) que presenta cada tensión nominal.

La frecuencia, número de ciclos de la corriente alterna por segundo, aprobada es de 60Hz.

4. DISTANCIA ELÉCTRICA Y SEGURIDAD

Son necesarias para la ubicación, dimensionamiento y seguridad tanto en el diseño, la operación y mantenimiento de esta subestación, las cuales deben de cumplir con las distancias establecidas y permitidas en las normas antes mencionadas. A su vez también se ha tomado en cuenta la distancia mínima de separación que la norma ANSI presenta (minimum clearance of live part) (Ver Anexo 5: Minimum Clearance of Live parts)

5. CAPACIDAD DE CORTOCIRCUITO

La capacidad de cortocircuito es necesaria e imprescindible en el criterio del diseño de esta subestación, para lo cual los cálculos respectivos los podemos apreciar en la Tabla N° 1.2 del Capítulo V y éstos varían de acuerdo a la tensión utilizada y los msnm; en tanto la capacidad de cortocircuito nos la da el sistema al cual vamos a conectarnos y los equipos que utilizamos deben cumplir con esta capacidad.

6. ELABORACIÓN DEL ESQUEMA UNIFILAR

El esquema unifilar es la información básica y fundamental con la que comenzamos a representar el diseño del proyecto de nuestra subestación. (Ver Anexo 12: Planos y esquemas eléctricos)

7. DIMENSIONES Y UBICACIÓN DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS

Las dimensiones de los equipos que finalmente utilizemos serán determinantes al momento de ubicarlos organizadamente dentro de la subestación, ya que debemos encontrar la mejor posición de los mismos cumpliendo con los parámetros para los cuales fueron diseñados y lo que está contemplado dentro del CNE y las normas que los equipos recomiendan, garantizan y por tanto han sido probados. (Ver anexo 13: planos mecánicos y disposición de equipos)

8. REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE

Dentro de este proyecto, primero hemos tomado en consideración lo que las normas nos indican para poder diseñar esta subestación, segundo utilizamos los estándares de fabricación de anteriores subestaciones en los cuales he tenido la oportunidad de participar; paso siguiente la experiencia que hemos adquirido fabricando equipos parecidos; finalmente siempre debemos de considerar como muy importante los requerimientos del cliente, que va a ser el usuario final de esta subestación. Esta Subestación Eléctrica Transportable tiene que satisfacer en su mayoría las necesidades y deseo de mejoras en el diseño, operación y brindar facilidades para mantenimiento que ellos pueden observar. Debido a esto se les envían planos para aprobación, en la cual el cliente final puede realizar las correcciones u observaciones que crean conveniente; como parte final le entregamos unos planos e información para

construcción la cual, después de ser aprobados, empezamos con la fabricación de la subestación.

CAPITULO IV

DISEÑO ELECTROMECAÁNICO

1. PLANEACIÓN

Consiste en preparar un programa o cronograma antes de iniciar el proyecto, que involucre a las principales actividades del proyecto, inicio y finalización de eventos, los cuales son fechas a ser establecidas las cuales deben de cumplirse durante el desarrollo del proyecto y los programas de fabricación.

En la planeación no referimos directamente a prevenir etapas y procesos que se desarrollaran en el proyecto para poder preparar no solo los puntos críticos sino tener un costo y tiempo estimado del proyecto. (Ver anexo 14 05-01010-CRO-01 Cronograma de fabricación).

2. DISEÑO CONCEPTUAL

Basándose en los datos obtenidos de la planeación del proyecto, éste se inicia con el diseño de un diagrama unifilar preliminar de la Subestación y del sistema. En base al diagrama unifilar preliminar de la Subestación, la que tendrá unas medidas previas considerando las dimensiones de los equipos principales, se empieza a desarrollar un plano previo (bosquejo) de los equipos dentro de la Subestación Eléctrica Transportable. Estos equipos deben ser correctamente colocados tomando en consideración el orden en que irán ubicados dentro de

las subestación así se deberá presente las distancias mínimas de seguridad y la estética de la subestación.

3. ACTIVIDADES A CUMPLIRSE

Desarrollar los criterios eléctricos y estructurales a ser usados en el proyecto. Esto incluye las distancias eléctricas y las separaciones que se deben usar dentro de la subestación.

Considerar aspectos estéticos y las restricciones ambientales que se pueden dar.

Seleccionar en forma preliminar los equipos y la ampacidad de las barras basadas en los estudios de flujos de carga y de cortocircuito.

Desarrollar los esquemas de protección y control que se deben usar en la subestación.

No se debe olvidar de ubicar las señales respectivas estándares tanto de seguridad como de protección en lugares estratégicos y visibles de la Subestación eléctrica transportable.

4. DIAGRAMA UNIFILAR y ESQUEMAS GENERALES

4.1. Diagrama unifilar

Un diagrama unifilar es una representación esquemática de los elementos principales que constituyen un sistema de potencia eléctrica, o una parte específica de él. Los diagramas o esquemas unificares se elaboran con el

animo de dar una idea general, pero al mismo tiempo clara, acerca del funcionamiento del sistema y de sus partes integrantes. En esta tesis utilizaremos un diagrama unifilar simple que es aquél en el que se consigna una información básica acerca del sistema, su forma general de funcionamiento, y los equipos principales que intervienen. Podemos apreciar el diagrama Unifilar en (Ver Anexo 8: Planos y esquemas eléctricos).

4.2. Esquemas eléctricos

La conexión entre los elementos que integran la subestación en un diagrama esquemático, que conecta en forma simbólica y a través de distintos hilos, se denomina esquema eléctrico.

Básicamente existen dos tendencias generales en los tipos de esquemas, la europea o de conexión de barras y la americana o de conexión de interruptores. Las configuraciones de conexión de interruptores, son aquellas en las cuales los circuitos se conectan a las barras o entre ellas por medio de uno o más interruptores.

Las configuraciones de conexión de barras son aquellas en las cuales cada circuito tiene interruptor, con la posibilidad de conectarse a una o mas barras por medio de seccionadores.

En esta tesis hemos utilizado el modelo americano o de interruptores.

5. DISTANCIAS ELÉCTRICAS

La separación entre aparatos de instalación y la disposición física de los mismos, se efectúa a partir de un diagrama unifilar, seleccionando la capacidad

de la instalación y su tensión nominal. Estos factores no solo afectan el tamaño de los componentes, sino también las distancias a tierra y entre fases. La determinación de estas dimensiones se efectúa por medio del cálculo de las distancias eléctricas entre las partes vivas del equipo y entre éstas y las estructuras, rejillas y el suelo, que son:

Distancias entre fases. Entre partes vivas de fases diferentes

Distancias a tierra. Entre partes vivas (energizadas) y estructuras a tierra, muros, rejillas y tierra

Distancia de aislamiento. Entre las terminales de un aislador, o también entre conexiones a las terminales de un interruptor

Distancia entre secciones. Entre partes vivas y los límites de las zonas de mantenimiento. Los límites de la zona de mantenimiento pueden ser tierra o una plataforma sobre la cual trabajen los operarios

6. DISTANCIA DE SEGURIDAD

Las normas nacionales e internacionales recomiendan las denominadas distancias de seguridad basándose en los trabajos reportados por los comités de estudio, como el N° 23 de la IEC, en donde se hacen consideraciones relacionadas con la seguridad del personal para la operación y mantenimiento de una subestación eléctrica, partiendo de la base de que las denominadas partes vivas deben quedar siempre fuera del alcance del personal para lo que:

Las partes vivas se pueden colocar fuera del alcance del personal usando distancias de zonas de trabajo y circulación suficientemente grandes para evitar contactos eléctricos.

Las partes vivas se pueden hacer inaccesibles por medio del uso de barreras o cercas de aislamiento al equipo o partes vivas de la instalación como son el uso de equipos en el que las partes vivas queden encerradas.

La base para calcular estas distancias de seguridad se presentan en dos términos que son:

Distancia de fase a tierra, calculada de acuerdo con las fórmulas antes mencionadas. Estas distancias deben ser corregidas por altitud y temperatura en el lugar de la instalación, cuando se trate de condiciones distintas a las estándar.

El segundo término, se obtiene sumando la distancia de fase a tierra, una distancia que depende de aspectos fisiológicos como la talla de las personas y las características de los trabajos de mantenimientos y operaciones a realizar

Con toda esta información previamente consultada, hemos procedido a diseñar nuestra subestación

CAPITULO V
CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE EQUIPOS DE LA
SUBESTACIÓN

1. **DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE AISLAMIENTO**

Se determinará los niveles de aislamiento para la ampliación de la S. E. T. 60KV/7.2K.V.

Condiciones Geográficas y Climáticas de la Zona:

- a) Altitud promedio : 3800 m.s.n.m.
- b) Contaminación ambiente : Escasa.
- c) Descargas Atmosféricas : Con frecuencia.

1.1. **Efectos de la Altitud**

Según la publicación IEC N° 71-A, el factor de corrección de Incremento de la tensión de diseño de los equipos, es de 1,25% por cada 100 metros de exceso a partir de los 1000 m.s.n.m.

$$f_r = 1 + 0.0125 \left(\frac{msnm - 1000}{100} \right)$$

Las subestaciones están ubicadas en lugares cuyas alturas se encuentran en el promedio de 3800 msnm. Se tendrá la siguiente corrección por altura:

Para la tensión nominal de 69KV:

$$69KV \left[1 + 0.0125 \left(\frac{3800 - 1000}{100} \right) \right] = 93.15KV$$

Por lo tanto, la tensión de diseño normalizado es de 115KV.

Para la tensión nominal de 7.2 KV:

$$7.2KV \left[1 + 0.0125 \left(\frac{3800 - 1000}{100} \right) \right] = 9.72KV$$

La tensión de diseño normalizado es de 10 KV.

1.2. **Efectos de la Contaminación Ambiental**

En la zona del Proyecto, no se tiene gran contaminación ambiental por lo tanto no se considera ningún factor de corrección por este concepto.

Selección de los Niveles de Aislamiento

Niveles de Aislamiento Recomendado por la IEC

Según las Tablas I y III de la Publicación N° 71-3 se tiene:

a) Nivel de 69 KV

Para una tensión máxima del equipamiento de 115 KV le corresponde una tensión de resistencia a la onda de impulso de 450 KV pico.

NIVELES DE AISLAMIENTO NORMALIZADOS PARA EQUIPOS DE LA CATEGORIA B				
Tensión nominal del Sistema. KV eficaz	Tensión máxima de diseño KV eficaz	Nivel básico de Aislamiento nominal (NBI) de fase a tierra. Kvcresta	Nivel básico de Aislamiento nominal NBI de fase a fase. KV cresta	Tensión resistente nominal a 60Hz de fase a tierra. KV (eficaz).
52	52	250	250	95
69	72.5	325	325	140
		350	350	
115	123	450	450	185
		550	550	230
138	145	450	550	185
		550	550	230
		650	650	275
161	170	550	650	230
		650	650	275
		750	750	325
230	245	650	750	230
		750	850	275
		850	950	350
		950	1050	395
		1050	1125	460

Tabla N° 1.2 Niveles de Aislamiento

b) Nivel de 7.2 KV

Para una tensión máxima del equipamiento de 10 KV le corresponde una tensión de resistencia a la onda de impulso de 95 KV BIL

2. DIMENSIONAMIENTO DE LOS PARARRAYOS

Los pararrayos que se utilizarán, serán del tipo óxido de zinc.

Para la selección de la tensión nominal de los pararrayos se tiene que observar los siguientes conceptos:

Sobretensión Temporal (TOV): Tensión que excede a la tensión nominal del sistema y que se presentan debido a fallas.

$$TOV = K_e \frac{U_m}{\sqrt{3}}$$

Donde:

Ke = Factor de puesta a tierra

Ke = 1,4 para sistemas con neutro aterrado

Ke = $\sqrt{3}$ para sistemas aislados

Um = Tensión máxima de servicio

Tensión Máxima de Operación Continua (MCOV): Es la tensión máxima que puede aparecer en operación continua, en los terminales del pararrayos.

$$MCOV = K_e \frac{U_m}{\sqrt{3}}$$

Donde:

Ke = 1 para sistemas con neutro aterrado

Ke = $\sqrt{3}$ para sistemas aislados

Um = Tensión máxima de servicio

Nivel de 69KV

$$TOV = K_e \frac{U_m}{\sqrt{3}} = \sqrt{3} \frac{93.5}{\sqrt{3}} = 93.5$$

$$MCOV = \sqrt{3} \frac{93.5}{\sqrt{3}} = 93.5$$

De acuerdo a los catálogos de los fabricantes el pararrayo Polymer Intermediate Class que se acerca más a estos valores es un pararrayo ZIP090 con una tensión nominal de 90 kV. Debido al derating por la variación de la altura de trabajo.

Nivel de 7.2KV (sistema aterrado)

$$TOV = K_e \frac{U_m}{\sqrt{3}} = 1.4 \frac{9.72}{\sqrt{3}} = 7.85KV$$

$$MCOV = 1.0 \frac{9.72}{\sqrt{3}} = 5.61KV$$

De acuerdo a los catálogos de los fabricantes el pararrayo que se acerca más a estos valores es un pararrayo ZIP0006 con una tensión nominal de 6 kV.

Nivel de Protección de los Pararrayos

Tomando en cuenta la Tabla K1 de la Publicación IEC N°99-4 "Pararrayos de óxido de metal", se tiene un valor por unidad de 2.8 de la tensión nominal para la tensión residual máxima de los pararrayos.

Nivel de protección de los pararrayos al impulso por sobretensiones atmosféricas (N_p):

$$N_p = 2,8 \times 7.2 = 20.16 \text{ KV pico}$$

Coeficiente de Protección de los Pararrayos

El margen de protección o coeficiente de seguridad que ofrecen los pararrayos está dado por:

$$C_p = \frac{BIL}{N_p} \geq 1,2$$

- Nivel de 69 kV

BIL = 450 KV pico

$N_p = 193.2$ KV pico

$$C_p = \frac{BIL}{N_p} = \frac{450}{193.2} = 2.33 \geq 1.2$$

- Nivel de 7.2 kV (sistema aterrado)

BIL = 95 KV pico

$N_p = 20.16$ KV pico

$$C_p = \frac{BIL}{N_p} = \frac{95}{20.16} = 4.71 \geq 1.2$$

Distancia de Protección

$$L = \frac{BIL - NP}{2x \frac{de}{dt}} x V$$

Se considera:

$$V = 300 \frac{m}{\mu s} \text{ Velocidad de Propagación}$$

$$\frac{de}{dt} = 1000 \frac{KV}{\mu s} \text{ Pendiente del frenado de Onda}$$

Nivel de 69 kV

BIL = 450 KVp

NP = 193.2 KVp

$$L = \frac{BIL - NP}{2x \frac{de}{dt}} x V = \frac{450 - 193.2}{2x1000} x 300 = 38.52$$

Nivel de 7.2 kV

BIL = 95 KVp

NP = 20.16 KVp

$$L = \frac{BIL - NP}{2x \frac{de}{dt}} x V = \frac{95 - 20.16}{2x1000} x 300 = 11.23$$

Consideraremos dentro de los pararrayos un contador de descargas (CD) para poder asociar las descargas a uno de los contactos auxiliares de un relé de protección para poder llevar el control de los posibles sucesos.

3. DIMENSIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA

Según los datos solicitados por Southern Perú, para el transformador de Potencia de 10MVA tenemos:

Nivel de Aislamiento

En 69/7.2 KV

Aislamiento interno del transformador de potencia:

Vn (Tensión Nominal) (KV)	=	69	7.2
Vmax.sist. (1.05 Vn) (KV)	=	72.5	7.6
Vm (Tensión Máx.del Equipo) (KV)	=	123	10
BIL (KVp)	=	350	95

Aislamiento exterior del transformador de potencia

Para 3,800 m.s.n.m. Se requiere un factor de corrección de:

$$f_r = 1 + 0.0125 \left(\frac{msnm - 1000}{100} \right) = 1 + \frac{1.25}{100} \left(\frac{3800 - 1000}{100} \right) = 1.35$$

Por lo tanto, de los siguientes valores para altitud menor de 1000 m.s.n.m:

Tensión Nominal (kV)	=	69	7.2
----------------------	---	----	-----

Tensión de Sostenimiento al Impulso

Atmosféricas (BIL) (kVp)	=	350	95
--------------------------	---	-----	----

Para 3,800 m.s.n.m.:

Tensión Sost. el Impulso Atm. (BIL) (kVp)	=	450	95
---	---	-----	----

Tensión Sost. a la Frec. Industrial (kVp)	=	185	70
---	---	-----	----

Tensión Máxima del Equipo (kV)	=	123	10
--------------------------------	---	-----	----

4. DIMENSIONAMIENTO DE LOS TRANSFORMADORES DE MEDICIÓN

4.1. Transformadores de Corriente:

Según normas ANSI Standard Burden Sets (Voltaje and Current) tenemos lo siguiente:

Ratio es la relación de transformación, aquí tenemos que el estándar es tener la corriente de 5 Amp. en el secundario.

Accuracy es la precisión en porcentaje de la corrección que se haría para obtener una lectura verdadera.

Burden o potencia nominal, es la capacidad de carga que se puede conectar a un transformador, expresada en VA o en Ohms a un factor de potencia dado.

Clases de Precisión. Las clases de precisión normales para los transformadores de corriente son: 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.60, 1.20, 3.00 y 5.00 de acuerdo con las normas ANSI. En la Tabla siguiente se tienen las diferentes clases de precisión de los instrumentos normalmente conectados y las potencias comunes de sus bobinados.

CLASE	UTILIZACIÓN
0.10	Calibración.
0.20-0.30	Mediciones en Laboratorios, Alimentación de Integradores para Sistemas de Potencia.
0.50-0.60	Instrumentos de Medición e Integradores. Watthorímetros para Facturación
1.20-3.00	Amperímetros de Tableros. Amperímetros de Registradores. Vatímetros de Tableros. Watthorímetros Indicadores. Fasómetros Indicadores. Fasómetros Registradores Frecuencímetros de Tableros. Protecciones Diferenciales. Relevadores de Impedancia. Relevadores de Distancia, etc.
5.00	Relevadores de Protección en general.

Tabla 3.2.1 Precisiones de Transformadores

En los Transformadores de Corriente, su dimensionamiento se ajusta a los siguientes criterios:

Relación de transformación: La corriente del primario depende de la corriente nominal del transformador de potencia en sus lados correspondientes (69 /7.2 kV); La corriente del secundario del T.C. será normalizado de 1 a 9 Amp

La capacidad y precisión de los T.C. se ha de estandarizar en relación a la línea principal a:

Medición: 30 VA – CL 0,3, 1000:5A

Protección: 30 VA – CL C200; 1000:5A

En la parte de los dos alimentadores tendremos los siguientes TC:

Medición: 30 VA – CL 0,3, 600:5A

Protección: 30 VA – CL C200; 600-5A

En el caso que hemos presentado, tenemos que los transformadores de corriente que hemos seleccionado cumplen con ambas características y pueden ser usados tanto para protección como medición.

4.2. Transformadores de tensión

La tensión estándar inducida al secundario de los transformadores de tensión es de 120 VAC.

Las características del transformador que estamos usando es: 7200:120 VAC, 60Hz, 1.5 kVA voltage class 110kV BIL y está diseñado para una

precisión de 0.3 WXYM según normas ANSI. Los cuales llevarán fusibles de protección tanto en media como en baja tensión respectivamente; para esto hemos ofrecido la marca Ferraz Shawmut para proteger los transformadores tanto a la llegada como a la salida del equipo, los fusibles son previamente seleccionados, tomando en cuenta las cargas a alimentar y los criterios de selección adecuados.

5. DIMENSIONAMIENTO DE LOS INTERRUPTORES DE POTENCIA

El dimensionamiento de los Interruptores de Potencia se realiza principalmente mediante corriente nominal de los interruptores, la capacidad de cortocircuito, el voltaje nominal y máximo al que serán sometidos y también la tensión de Impulso.

Para la tensión de 7.2 kV. En principio por corrección de altura (sección 3.1) tenemos un valor de 10kV.

Se prevé un aumento en la carga de aproximadamente 25% por lo pronto para una corriente nominal de 500 A, se necesitaría seleccionar un interruptor para una corriente máxima de 625 A. además la corriente de cortocircuito es de

De estos datos y para la tensión a la cual estaremos trabajando tenemos:

En los alimentadores de 7.2 kV. Se ha considerado 95kV BIL, 15kA capacidad de interrupción. A la vez debemos de indicar que el interruptor presenta un seccionador de puesta a tierra ante la apertura del interruptor, bobinas de disparo para un sobre o bajo voltaje detectado.

En general, manteniendo los criterios de estandarización de equipos, la capacidad de los interruptores para soportar estos valores de cortocircuito han sido definidos a los siguientes valores:

Interruptor de 15 kV, 95kVBIL, 18 kA la marca a utilizar es LINE POWER

6. DIMENSIONAMIENTO DE LOS SECCIONADORES DE POTENCIA

Su función es dar aislamiento físico a los elementos en desconexión, operan sin carga y se aplican desde baja tensión hasta alta tensión; deberán ser del tipo seccionadores tripolares a una frecuencia de 60Hz de apertura horizontal en este caso y conectados a tierra, con operación manual.

Los seccionadores deben ser de tensión y capacidad en amperios apropiados para el circuito en que se instalen. De acuerdo con los datos obtenidos a 3800 m.s.n.m.

VN = 115 KV

BIL = 450 KV

In = 1200 A

De donde seleccionamos el siguiente equipo seccionador, de acuerdo a los datos del fabricante:

Seccionador (Outdoor airbreak switch), type RL-C, Un brazo de apertura lateral (single side break), tres polos (three pole), grupo de operación (group operated), 115 KV, 1200 Amp., 61 kA, 550 KV BIL. Para operación en altura.

7. SECCIONADOR FUSIBLE DE POTENCIA

Los seccionadores fusibles de expulsión llevarán un dispositivo que permita su apertura, éstos también podrán sustituirse por un seccionador, por lo tanto los seccionadores fusibles de expulsión deberán cumplir, en cuanto a la distancia de seccionamiento, las distancias mínimas de diseño. Estos fusibles están reconocidos internacionalmente por su magnífica protección de transformadores, líneas, cables en subestaciones de distribución y en alimentadores aéreos; estos mismos proveen protección para un amplio espectro de fallas. Los seccionadores fusibles detectan e interrumpen todas las fallas grandes, medianas y pequeñas (hasta la mínima corriente de fusión); con tensión de línea a línea o de línea a tierra, en el fusible; en esta oportunidad seleccionaremos la modalidad de montaje en postes.

Para elegir este seccionador fusible tenemos lo siguiente:

Tensión Nominal (KV)	=	69
Tensión de Sostenimiento al Impulso Atmosférico (BIL) (KVp)	=	350
Corriente nominal (A)	=	83.67

Para 3,800 m.s.n.m.:

Tensión Nominal (KV)	=	100
Tensión Sost. el Impulso Atm. (BIL) (KVp)	=	450
Corriente nominal (A)	=	83.67

De donde seleccionamos

POWER FUSE S&C VOLTS: 115KV, AMPERS: 100, Uso exterior montaje vertical, 45° - ángulo de apertura, de la marca FUSIBLE UNIT S&C

8. RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA DE NEUTRO DEL TRANSFORMADOR

Estas resistencias se conectan normalmente entre tierra y el punto neutro de transformadores de potencia y generadores.

Las resistencias para puesta a tierra del neutro son como los fusibles puesto que no operan sino hasta que algo falla en el sistema. Entonces, al igual que los fusibles, protegen contra daños al personal y a los equipos. Estos daños son proporcionales a la duración y la magnitud de la falla. Los relés de falla a tierra disparan rápidamente los interruptores limitando la duración de la falla mientras que las resistencias limitan su magnitud.

Para esta subestación estamos usando un transformador de Potencia cuyo tipo de conexión es DYN5 en donde la resistencia de puesta a tierra del neutro irá conectada al secundario

De donde tenemos lo siguiente para la selección de la resistencia:

Voltaje entre líneas en el secundario es 7200 V, voltaje de trabajo de resistencia es:

$$\frac{7200}{\sqrt{3}} = 4160V$$

En sistemas de medio y alto voltaje (superiores a 600V) se requiere de 1.0 Amp por cada 1000 KVA de la capacidad del transformador. En nuestro caso la corriente será de 10 Amp. para la resistencia. Como se ha considerado un relé de protección para el transformador, seleccionamos una resistencia de un rating de 10 segundos. Muchas veces la resistencia de neutro a tierra también se selecciona de acuerdo la recomendación que da el proveedor de transformadores y los requerimientos del cliente.

9. AISLADORES EN SUBESTACIONES

Los aisladores para los equipos o aparatos tipo exterior o intemperie, se usan en primer término para soportar buses rígidos y otros equipos eléctricos que operan sobre el valor potencial de tierra. Estos se fabrican normalmente en porcelana y eventualmente en vidrio. Los aisladores para los aparatos están disponibles con niveles básicos de aislamiento al impulso (tensión de aguante) en los valores dados en la siguiente tabla. El uso de los NBA para los voltajes nominales del sistema, debe permitir en forma adecuada la coordinación del aislamiento con el resto del aislamiento de la instalación y con los equipos de protección, para la mayoría de las condiciones de operación.

VOLTAJE NOMINAL DEL SISTEMA (KV)	NIVEL BASICO DE AISLAMIENTO DEL EQUIPO (TENSION DE AGUANTE) (KV)
14.4	110
23	150
34.5	200
46	250
69	350
115	550
138	650
161	750
230	900
230	1050

Tabla 3.7.1 cuadro de Tensiones

Tener presente que aquí también hemos procedido a tomar en cuenta el factor de corrección por altitud para equipos.

10. SELECCIÓN DE RELÉS DE PROTECCIÓN

Para iniciar la selección de los relés de protección lo primero que debemos de tomar en cuenta es que tipo de protección se está necesitando por la función que cumplen los equipos mas importantes dentro del esquema eléctrico que se desea proteger, así como cual ha sido el estudio de protección que el cliente previamente está solicitando, o que ellos manejan como estándar dentro de su sistema eléctrico.

Protección en Transformador de Potencia. La protección que se requiere en la protección del transformador de potencia son las siguientes:

- 50. Máxima corriente instantánea
- 51. Máxima corriente temporizada
- 50G. Sobreintensidad instantánea de tierra

51G. Sobreintensidad temporizada de tierra

49. Unidad de Imagen térmica

En cuanto a la referencia de equipos en esta parte hemos utilizado un relé de protección electrónico y de última generación como es el Relé MIG II PROTECCION DIGITAL DE GENERADOR (protección de tres fases y tierra para generadores y maquinas). Debido a que los equipos eléctricos que estamos utilizando en esta Subestación Eléctrica Transportable son de costos elevados, se debe tener equipos de protección con mucha precisión; entre las principales características que tenemos del equipo seleccionado tenemos:

- Reducidos costes de mantenimiento y resolución de problemas
- Registro de eventos y oscilografía analógica/digital
- Flexibilidad de diseño - lógica programable fácil de utilizar
- Acceso a la información - comunicaciones en ModBus RTU
- Fuente de alimentación CC/CA
- Compatible con EnerVista
- Puerto serie RS232 aislado

Protección en alimentadores. La protección que se requiere en la protección para los alimentadores son las siguientes:

27. Mínima tensión de línea

50. Máxima corriente instantánea

51. Máxima corriente temporizada

50G. Sobreintensidad instantánea de tierra

51G. Sobreintensidad temporizada de tierra

59. Máxima tensión de línea

En cuanto a la referencia equipos en esta parte hemos utilizado un relé de protección digital y de última generación como es el Relé 750 RELE DE PROTECCION DE ALIMENTADOR (protección y monitorización completa para alimentadores industriales y de línea); entre las principales características del equipo seleccionado tenemos:

Este equipo está especialmente diseñado para ofrecer un sistema de gestión de alimentadores económico, incorporando todos los requisitos de protección, control, medida, así como interfaces de usuario locales y remotas en un solo conjunto. De este modo, se elimina la necesidad de costosos componentes individuales.

El 750 proporciona una completa protección de sobreintensidad, el 750 puede ser configurado fácilmente para las aplicaciones específicas de cada usuario. El equipo incluye numerosas funciones de monitorización y medida. Dispone de una memoria interna que permite almacenar los últimos 128 eventos, las 10 últimas faltas, y un total de 256 ciclos de datos oscilográficos. El relé realiza funciones de autochequeo de respaldo mientras está funcionando. El modo simulación permite al usuario comprobar el funcionamiento del equipo sin necesidad de entradas externas de tensión e intensidad.

86F. relé de bloqueo. El relé de bloqueo utilizado para esta parte es el 7803F de Electros witch, que cumple con los requerimientos que en los esquemas eléctricos se necesitan.

Finalmente, se seleccionan los equipos menores de control, como son interruptores monofásicos, los equipos seleccionados de acuerdo a lo requerimientos de esta subestación se encuentra en el listado de materiales que se presenta en el Anexo 1: 05-01010-LMA-01. Aquí no solo se presentan los equipos menores sino la totalidad de equipos seleccionados como la cantidad, marca y código.

11. CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL TIPO DE BARRA DE COBRE

Los esfuerzos electrodinámicos generados por las corrientes de corto circuito ejercen fuerzas potencialmente peligrosas por su carácter destructivo sobre conductores, barras y soportes estructurales, por ello es de importancia el diseñar una subestación efectuando cálculos para corregir esfuerzos

Diseño barra 7.2KV

Para el diseño de las barras en 7.2KV se tendrá en cuenta lo siguiente aspectos fundamentales.

11.1. Corriente nominal (In)

Las barras deben ser capaces de soportar la In requerida en sus diversos estados de operación de forma continua con una determinada sobre elevación de Temperatura ambiental (35° C norma DIN estándar)

El cálculo de esta corriente se realiza de esta manera:

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

S: Potencia final de la subestación

V: tensión de barras

I: corriente en barras

De donde: $I = 801.90$ Amp.

Seleccionamos:

Pletina de Cu. $b = 10$; $h = 50$ de donde según tablas (DIN) (tablas) = 1020A

11.2. Esfuerzos electrodinámicos producidos por la corriente de cortocircuito

En la práctica, para este cálculo normalmente solo se cuenta con el nivel de cortocircuito trifásico en MVA, luego debemos de considerar un factor de seguridad que comprenda valores mayores a 2 ó 2.5.

Para efectos de cálculo se utiliza la fórmula para corto circuito bifásico, utilizando la corriente cortocircuito a partir del nivel de cortocircuito trifásico dado, ya que de esta manera consideramos la situación mas desfavorable:

$$F_{\max} = 13.265 \frac{L}{d} I_{cc}^2 \times 10^{-2} \text{ Kgf}$$

$$F_{\max} = 13.265 \frac{70}{25} (5.4)^2 \times 10^{-2} \text{ Kgf}$$

$$F \text{ max} = 7.736\text{Kg} - f$$

Fmax: Esfuerzo electrodinámico

L: distancia entre apoyos

d: distancia entre conductores

Icc: corriente de cortocircuito Icc=5.4

Barra de cobre:

Se considera como viga apoyada sobre apoyos (situación más desfavorable)

$$M = \frac{F \text{ max} \cdot L}{12} \text{Kg.cm}$$

$$M = \frac{7.736 \times 100}{12} \text{Kg.cm}$$

$$M = 64.47$$

Cálculo del Momento de Inercia (Jy)

$$Jy = \frac{b^3 h^4}{12} = \frac{5^3 \times 1^4}{12} = 10.42 \text{cm}$$

$$Jy = 10.42 \text{ cm}$$

El esfuerzo de flexión máximo estaría dado por lo siguiente:

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{Jy/C}$$

Jy : momento de inercia cm^4

C : distancia a eje muerto (cm.)

$\sigma < \sigma_{\max}$ (máximo)

$$\sigma_{\max} = \frac{64.47}{10.42/2.5} \quad \sigma_{\max} = 15.46 \text{Kg} / \text{cm}^2$$

Luego

$$\sigma_{\max} Cu = 1100 \text{Kg} / \text{cm}^2 > \sigma_{\max} = 15.46 \text{Kg} / \text{cm}^2$$

11.3. Efectos térmicos debido a Corriente nominal

Debido a la corriente nominal que pasa a través de las barras de cobre se tiene que la temperatura es de 71°C , aun así utilizaremos juntas flexibles en el empalme a la salida del transformador de potencia (lado de media tensión 7.2KV)

11.4. Resonancia

Cuando la frecuencia f_n con la que vibran las barras se encuentran muy cerca a ($\pm 10\%$) de la frecuencia estándar ($f_e=60\text{Hz}$) o a su doble se produce al fenómeno de resonancia.

Se debe cumplir que:

$$fn > 1.1 fe \text{ (66) } \acute{o}$$

$$fn > 0.9 fe \text{ (54) } \acute{o}$$

$$fn > 1.1 2fe \text{ (132) } \acute{o}$$

$$fn > 0.9 2fe \text{ (108) } \acute{o}$$

$$fn = \frac{112\sqrt{E.Jy}}{\sqrt{G.L^4}}$$

E = modulo de elasticidad Cu. = $1.25 \times 10^6 \text{Kg/cm}^2$

Jy = momento de inercia m^4

G = Peso de barra

L = longitud de barra

$$fn = \frac{112\sqrt{1.25 \times 10^6 \times 14.4}}{\sqrt{0.018 \times 100^4}}$$

Luego:

$$fn = 11200 \text{ciclos/s} > 132 \text{ciclos/s}$$

De donde vemos no produce resonancia

12. SELECCIÓN DE TIPO DE CABLES A USAR

Según la carga que se va a alimentar, se tiene que la carga a alimentar por cada salida es de 4900 KW a 7200 Volt, entonces tenemos:

$I_n = 500$ A, de donde se tiene que para seleccionar el cable adecuado se debe tener en cuenta un cable diseñado para 125% I_n , de donde se requiere un cable de 500 A, para 7200 Voltios; según recomendación y estándar de Southern Perú, debemos de usar cable flexible para conexiones temporales para tensiones hasta 15KV, para esto seleccionamos Jumper cable que se usa en ambientes donde el acceso no es permitido y el contacto con personal se da previamente aterrando los equipos:

El conductor es extraflexible, una semiconducción de corriente es aplicado sobre el conductor, por eso se debe de conducir de manera aislada.

Los conductores deben de aislarse por medio de aire y la tempera del conductor es de 90°C y a un ambiente de temperatura de 40° C y el voltaje es de 5/15kV.

En los cables concernientes a los circuitos de fuerza estamos utilizando dos calibres de cable Jumper:

Cable: Tiger Brand 1 cond. 350 MCM, 5/15 KV, non shielded, jumper cable 90°C.

Cable: Tiger Brand 1 cond. 1/0 AWG, 5/15 KV, non shielded, jumper cable 90°C.

En el cableado concerniente al control de equipos en bajo voltaje se selecciona cable 14 AWG gris Anixter Americano. Mientras en los circuitos de corriente en bajo voltaje se ha seleccionado cable 12 AWG negro.

En los cables de control en baja tensión, ha sido requerimiento del cliente que se compre cable SIS de la marca Anixter, que es el estándar de Southern Perú a temperatura de 90°C hasta 600V, cuyas aislamiento está basado en Cross-linked polyethylene (XLP), los cuales son especiales para trabajar en Switchboard y se encuentran en los requerimientos de UL (Underwriters Laboratories Inc.).

13. PLATAFORMA CAMABAJA

La plataforma camabaja es diseñada de acuerdo a las exigencias y los requerimientos del proyecto, debido a los pesos que genera principalmente el transformador de potencia, la celda de transformación y el Pórtico. La suma de sus pesos es de 20TN aproximadamente, para lo cual la empresa FAMECA diseña una plataforma camabaja de 12.5 metros de longitud con doble eje extra ancha de 4m de longitud. La fabricación esta realizada en base a cálculos estructurales de acuerdo a la ubicación de equipos y al estándar de fabricación de FAMECA.

Esta plataforma camabaja o semi-remolque camabaja, esta diseñado estructuralmente con (02) dos vigas W principales los cuales sostienen a (05) cinco vigas secundarias ubicadas estratégicamente bajo el pórtico, transformador de potencia y celda de control; adicionalmente en la parte frontal presenta un King Pin para ser acoplado al trailer.

14. PRUEBAS

Con respecto a las pruebas realizadas a la subestación eléctrica Transportable, se realizaron protocolos de prueba a la subestación en su conjunto, así como

pruebas en los equipos por cada uno de los fabricantes en sus respectivos locales.

Las pruebas realizadas a la subestación han sido previamente enviadas al cliente para su previa revisión y aprobación.

Estas pruebas han sido realizadas tomando en cuenta las normas NETA y las hemos agrupando de la siguiente manera:

- Inspección visual
- Inspección de fabricación
- Pruebas de continuidad eléctrica
- Pruebas de comando y de control
- Pruebas de aislamiento
- Pruebas en el transformador

Las pruebas de esta subestación eléctrica las podemos observar en el anexo 2 (05-01010-PDP-01 Protocolo de Pruebas).

CAPITULO VI

ANALISIS ECONÓMICO

Respecto al Análisis Económico realizado en esta Subestación Eléctrica Transportable, podemos dar a conocer los costos de fabricación en planta como en la importación de los equipos de importación para su ensamble y construcción en Lima de acuerdo a las especificaciones técnicas del cliente, así como también vemos la comparación entre la fabricación de una Subestación Transportable y una Subestación convencional

El Precio de venta de la subestación eléctrica Transportable es de US \$ 345 400.00 de donde se ha tenido que la utilidad ha sido fijada en 35% del precio de compra, de donde notamos que el Costo aproximado de la subestación eléctrica transportable es de US \$ 255 851.85, en donde no hemos tomado en cuenta los intereses bancarios ocasionados debido a los prestamos realizados para el financiamiento del proyecto. El banco considera un interés efectivo de 10% anual.

El Precio de venta de una subestación eléctrica convencional es de US \$ 354 400.00, en este caso de igual manera hemos considerado una utilidad del 35% del precio de compra que nos da un costo de US \$ 262 518.52.

Podemos ver esto viendo el Anexo 15 05-01010-CF-01, donde tenemos el precio de cada una de las actividades que se realizaron en el análisis de ambos casos. Con estos valores obtenidos vamos a proceder a realizar el análisis económico mediante el método VAN y TIR para analizar este proyecto.

Los costos por mantenimiento preventivo es aproximadamente 11200 US\$/año, pero como solo se analizará el primer año hasta cumplida la garantía, no consideraremos estos costos podemos verlos en los cuadros N° 2 y N° 4

Los costos por operación es de aproximadamente 9200 US\$/año, el cual no consideraremos para este análisis:

$$VAN = -F_0 + \frac{F_1}{(1+\alpha)} + \frac{F_2}{(1+\alpha)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+\alpha)^n}$$

$$TIR = \frac{F_1}{(1+\alpha)} + \frac{F_2}{(1+\alpha)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+\alpha)^n}$$

De aquí podemos apreciar los cuadros N° 6 y N° 8 donde vemos datos de ingresos y egresos para VAN y TIR realizados para cada alternativa, debemos de tomar en cuenta que este análisis fue realizado en base al fabricante y/o proveedor de la subestación eléctrica.

A continuación procederemos a ver los costos de operación y mantenimiento teniendo en cuenta los ingresos y egresos de estas subestaciones (Convencional y Transportable)

AÑO	COSTO (US\$/KwH)	ENERGIA	INGRESO
0	0.04500	0	0
1	0.04500	70080000	3153600
2	0.04500	70080000	3153600
3	0.04500	70080000	3153600
4	0.04500	70080000	3153600
5	0.04725	70080000	3311280
6	0.04725	70080000	3311280
7	0.04725	70080000	3311280
8	0.04725	70080000	3311280
9	0.04736	70080000	3319164
10	0.04736	70080000	3319164
11	0.04736	70080000	3319164
12	0.04736	70080000	3319164
13	0.04737	70080000	3319558
14	0.04737	70080000	3319558
15	0.04737	70080000	3319558

Cuadro 1: ingresos Subestación Eléctrica Transportable

AÑO	INVERSION	OP/MAN	TOTAL
0	-345400	0	-345400
1	0	20400	20400
2	0	20808	20808
3	0	21224.16	21224.16
4	0	21648.6432	21648.643
5	0	22081.61606	22081.616
6	0	22523.24839	22523.248
7	0	22973.71335	22973.713
8	0	23433.18762	23433.188
9	0	23901.85137	23901.851
10	0	24379.8884	24379.888
11	0	24867.48617	24867.486
12	0	25364.83589	25364.836
13	0	25872.13261	25872.133
14	0	26389.57526	26389.575
15	0	26917.36677	26917.367

Cuadro 2: Egresos Subestación Eléctrica Transportable

AÑO	COSTO (US\$/KwH)	ENERGIA	INGRESO
0	0.04500	0	0
1	0.04500	70080000	3153600
2	0.04500	70080000	3153600
3	0.04500	70080000	3153600
4	0.04500	70080000	3153600
5	0.04725	70080000	3311280
6	0.04725	70080000	3311280
7	0.04725	70080000	3311280
8	0.04725	70080000	3311280
9	0.04736	70080000	3319164
10	0.04736	70080000	3319164
11	0.04736	70080000	3319164
12	0.04736	70080000	3319164
13	0.04737	70080000	3319558
14	0.04737	70080000	3319558
15	0.04737	70080000	3319558

Cuadro 3: ingresos Subestación Eléctrica Convencional

AÑO	INVERSION	OP/MAN	TOTAL
0	-351400	0	-351400
1	0	28200	28200
2	0	28764	28764
3	0	29339.28	29339.28
4	0	29926.0656	29926.066
5	0	30524.58691	30524.587
6	0	31135.07865	31135.079
7	0	31757.78022	31757.78
8	0	32392.93583	32392.936
9	0	33040.79454	33040.795
10	0	33701.61044	33701.61
11	0	34375.64264	34375.643
12	0	35063.1555	35063.155
13	0	35764.41861	35764.419
14	0	36479.70698	36479.707
15	0	37209.30112	37209.301

Cuadro 4: Egresos Subestación Eléctrica Convencional

Tenemos los siguientes gastos realizados en el proceso de construcción:

P. VENTA	P. COSTO	COMPRAS	BANCO
345400.00	255851.85	243500.00	76700.00

Cuadro 5: Resumen de precios Subestación Eléctrica Transportable

MES	GASTOS	INGRESOS	DIFERENCIA
0	0.00	86350.00	86350.00
1	106000.00	0.00	-106000.00
2	8000.00	0.00	-8000.00
3	22000.00	86350.00	64350.00
4	50000.00	0.00	-50000.00
5	12000.00	0.00	-12000.00
6	20000.00	0.00	-20000.00
7	20000.00	0.00	-20000.00
8	500.00	0.00	-500.00
9	5000.00	0.00	-5000.00
10	76700.00	138160.00	61460.00
11	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.00	0.00
17	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00
19	0.00	0.00	0.00
20	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00
22	0.00	34540.00	34540.00

Cuadro 6: VAN y TIR Subestación Eléctrica Transportable

De donde tenemos:

TIR men= 5.0128%
VAN = 17987.5318
I(interés men) 0.92%

Tenemos los siguientes gastos realizados en el proceso de construcción:

P. VENTA	P COSTO	COMPRAS	BANCO
354400.00	262518.52	250500.00	79408.33

Cuadro 7: Resumen de precios Subestación Eléctrica Convencional

MES	GASTOS	INGRESOS	DIFERENCIA
0	0.00	88600.00	88600.00
1	111000.00	0.00	-111000.00
2	8000.00	0.00	-8000.00
3	22000.00	88600.00	66600.00
4	50000.00	0.00	-50000.00
5	12000.00	0.00	-12000.00
6	20000.00	0.00	-20000.00
7	20000.00	0.00	-20000.00
8	1500.00	0.00	-1500.00
9	6000.00	0.00	-6000.00
10	79408.33	141760.00	62351.67
11	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.00	0.00
17	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00
19	0.00	0.00	0.00
20	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00
22	0.00	35440.00	35440.00

Cuadro 8: VAN y TIR Subestación Eléctrica Convencional

De donde tenemos:

TIR men=	4.6140%
VAN =	17171.64
I(interés men)	0.92%

Notas:

1. Tomar en cuenta que se ha considerado como gasto en el décimo mes, el pago que se realizará al banco por el crédito otorgado para el financiamiento de la subestaciones eléctricas.
2. Considerar que en la negociación de la fabricación se ha realizado los pagos del cliente de 25% con el inicio del proyecto, 25% con la aprobación de planos e inicio de fabricación, resto con la puesta en servicio de la subestación; a su vez también considerar que quedara en garantía el 10% de la orden de compra hasta que se culmine con la garantía ofrecida que en este tipo de proyectos es de 1 año.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. CONCLUSIONES

- El megado de la Subestación eléctrica transportable es buena y arroja valores en Línea – masa superiores a 27 000 Mega Ohms y en línea – línea superiores a 33 000 Mega Ohms con interruptores cerrados; El megado de la Subestación eléctrica es buena y arroja valores en Línea – masa superiores a 39 000 Mega Ohms y en línea – línea superiores a 36 000 Mega Ohms con interruptores abiertos, esto quiere decir que ha sido bien trabajada (Ver Anexo 2 05-01010-PDP-01).
- Es más económica tanto para el fabricante como para el cliente la fabricación local además que el cliente puede inspeccionar el proceso de construcción e integración de la subestación.
- Debido a los valores obtenidos en el VAN Y TIR de la subestación eléctrica transportable, (VAN=17 987.53 Y TIR=60%) notamos que es mayor a la obtenida en la subestación eléctrica convencional, (VAN= 17 171.64Y TIR=55.37%) de donde podemos concluir que la primera opción es más económica y rentable que la segunda.

- En cuanto al mantenimiento que se va a realizar en el tiempo para el cual esta diseñada la Subestación Eléctrica Transportable es mas económica que la Subestación Eléctrica Convencional, tal como lo podemos apreciar en el cuadro N° 2 y N° 4.
- Con la construcción de una Subestación Eléctrica Transportable, podemos aprovechar la energía para la extracción de minerales a medida que cambian de posición en la superficie de mina.
- Damos a conocer que en la Mina Southern Perú, en otra unidad se encuentra funcionando otra subestación de 7MVA con un sistema de control distinto al presentado y con otra aplicación

2. **RECOMENDACIONES**

- Debido a las constantes ampliaciones realizadas en la minería y a la demanda de mineral requerido, se hace necesaria una mayor cantidad de subestaciones transportables a las que ahora se han estado requiriendo como promedio.
- Según los últimos informes técnicos, se nota que la demanda de energía esta muy próxima a la oferta otorgada por las generadoras, es por esto que recomendamos se realicen proyectos de implementar mayor cantidad de centrales generadoras que a su vez conlleven a la construcción de mayores subestaciones eléctricas.
- Según el periodo de cambio de posición de la Subestación Eléctrica Transportable, debemos de escoger el tipo de base móvil a utilizar, debido a que podríamos variar entre usar un trailer o un Skid para arrastre o una oruga.
- El proveedor antes de iniciar esta actividad debe de asegurar un buen crédito bancario para realizar proyectos como este debido a los costos que genera su realización.

BIBLIOGRAFIA

- **Diccionario Enciclopédico de términos técnicos Ingles – Español / Español – ingles en tres volúmenes** Javier L. Collazo Mc Graw – Hill
- **Líneas de Transporte de Energía**, 3era edicion Luis Maria Checa
- **Resistencia de materiales**, Pytel – Singer
- **Wire & cable catalog**, Anixter Redefining distribution SM.
- **Eaton Cutler Hammer**, 2006 consulting Application Guide
- **Esquemas de electricidad**, Jean Barry Boixareu Editores
- **Ge Power Management**, 2005 catalog Multilin
- **Nacional Electrical Code internacional electrical code series NEC 2002 Handbook**, Mark W. Earley, Joseph V. Sheehan, Jeffrey S. Sargent, John M. Caloggero, Timothy M. Croushore
- **Neutral Grounding Resistor Technical Information**, IPC resistor The power to protect
- **S&C Selection Guide Electric Company**, primary fuses for transformers
- **Código Eléctrico Nacional Capítulos: LII – LX 1955**
- **Código Nacional de Electricidad Suministro**

ANEXOS

- Anexo 1: 05-01010-LMA-04 Lista de Materiales
- Anexo 2: 05-01010-PDP-01 Protocolo de pruebas
- Anexo 3: Manual Current Transformer 137 Instrument Transformer
- Anexo 4: Manual Rele de proteccion 750 GE Multilin
- Anexo 5: Minimun Cleareance of live parts
- Anexo 6: Manual Rele de protección MIG GE Multilin
- Anexo 7: Manual de Indoor Voltage Transformer
- Anexo 8: Manual Seccionador Cleaveland price Inc
- Anexo 9: Manual de Fameca
- Anexo 10: Manual de Interruptor de Potencia
- Anexo 11: Manual de equipos menores
- Anexo 12: Planos eléctricos
- Anexo 13: Planos mecánicos y de disposición
- Anexo 14: 05-01010-CRO-01 Cronograma de fabricación
- Anexo 15: 05-01010-CF-01Cuadro de costos de fabricación
- Anexo 16: Fotos

Usted puede consultar lo anexos accediendo al formato físico de la tesis