



# Universidad Nacional Autónoma de México

---

---

Facultad de Ingeniería

**“Diseño de una subestación de  
distribución nivel industrial  
preconstruida y transportable”**

Tesis

Que para obtener el título de:  
Ingeniero Eléctrico Electrónico

Presenta:

Jorge Cabrera Cortés

Director de Tesis:  
Ing. Alfredo López Tagle



Ciudad Universitaria Octubre 2008



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*A MIS PADRES*

# *Agradecimientos*

Este trabajo este dedicado a mis padres; **Jorge Arturo Cabrera Mora** y **Ma. del Rosario Cortés Guzmán** a quienes les agradezco con mucho cariño el que me brindaran todo su apoyo para lograr una de las metas más importantes de mi vida y que para mi es la herencia más grande que me pudieron haber dado. Que a través de sus consejos y ejemplos lograron hacer de mí una persona de bien.

Agradezco a mis hermanos, **Nancy Cabrera Cortés** que aunque a veces mi actitud hacia mas difíciles las cosas siempre trato de apoyarme aunque sea con pequeños detalles, a **Paul Cabrera Cortés** en quien encontré un amigo que esta dispuesto a apoyarme en lo que sea necesario, a los dos muchas gracias por todo.

A mis abuelos Juan Cortés, Ofelia Guzmán, Ángel Cabrera y Georgina Mora, que cada quien a su forma se han preocupado por mi y me dieron ánimos para seguir adelante.

Con mucho cariño quiero agradecer a mi mejor amigo **Diego Aguirre Belmont** quien estuvo conmigo apoyándome en las buenas, las malas y las peores, y que a pesar de la distancia y el tiempo nuestra amistad se sigue haciendo más fuerte, ¡Gracias por estar cuando te necesito!

A todos mis amigos de la carrera con quienes pase muchas aventuras que siempre permanecerán en mi mente y en mi corazón; José Luis Mendoza, Diana Ivonne S. (gracias por ayudarme con los tramites), Eduardo Meneses, Felipe Montes de Oca, Abigail Trujillo, Luis Miguel Ortiz, Paola Soto, Vanessa Romero y todos los involucrados. Quiero agradecer especialmente a Armando Mondragón por haber sido parte fundamental para que lograra llegar a mi meta, también agradezco con especial cariño a mis hij@s Adolfo Ramírez y Mariano León con quienes compartí toda esta aventura y estuvieron en muchos momentos clave.

A Irene Caamaño que gracias a ti estoy en esta carrera que tanto me apasiona (este momento es de los dos).

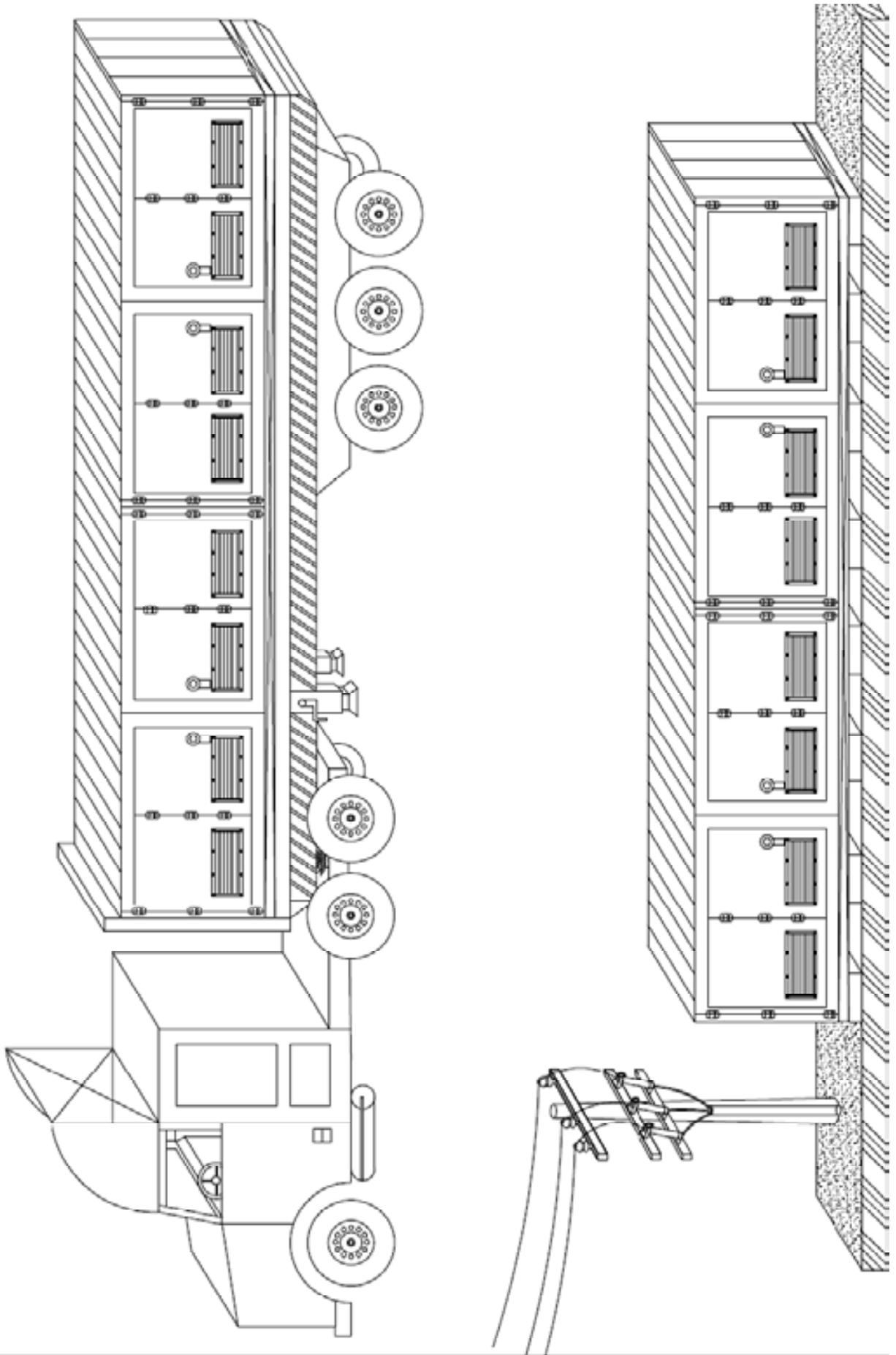
También quiero agradecer al Sr Leocadio Hernández por todo su apoyo y consejos (Creo que ya puedo subir de calificación).

Y por ultimo pero no por eso con menor importancia a todas las personas que me han apoyado y enseñado alguna lección que me ayudo a llegar a ser la persona que soy; Martin Aburto, Joel Olguín, Victoria Bedolla, Cuauhtémoc Castillo, Roberto Barrie Guillen, Rafael Ladrón de Guevara, Edur Barrera, Claudia Iliana López.

Y sobre todo quiero agradecer a mi ALMA MATER la **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO** en especial a su **FACULTAD DE INGENIERIA**, a mi director de tesis el Ing. Alfredo López Tagle y a todos los profesores que gracias a sus enseñanzas logre convertirme en un Ingeniero.

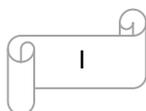
**POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU**

Ciudad Universitaria Octubre 2008

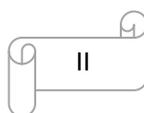


## Contenido

<b>Capítulo 1 Generalidades</b> -----	<b>1</b>
1.1 Introducción-----	1
1.2 Objetivo-----	1
<b>Capítulo 2 Diseño de la subestación</b> -----	<b>2</b>
2.1 Arreglo general-----	2
2.2 Distancias dieléctricas cm/KV-----	6
2.2.1 Distancia entre partes vivas-----	7
2.2.2 Distancias de seguridad-----	9
2.3 Capacidad de operación en KVA y Amperes-----	11
2.4 Transformador de distribución-----	13
2.5 Tablero B.T.-----	22
2.5.1 Arreglo-----	22
2.5.2 Dimensiones-----	24
2.6 Control-----	25
<b>Capítulo 3 Protección contra sobre corrientes</b> -----	<b>31</b>
3.1 Calculo de la corriente de corto circuito.-----	31
3.2 Ajuste de las protecciones-----	35
<b>Capítulo 4 Diseño de la red de tierras</b> -----	<b>40</b>
4.1 Limites de corriente tolerable por el cuerpo humano-----	40
4.2 Resistividad del terreno-----	41
4.3 Corrientes máximas de corto circuito a tierra-----	43
4.4 Dimensionamiento de la red de tierras-----	44
<b>Capítulo 5 Protección y medición</b> -----	<b>48</b>
5.1 Transformadores de Corriente (TC's)-----	48
5.2 Transformadores de Potencial (TP's)-----	51
5.3 Interruptor A.T.-----	52
5.4 Interruptor B.T.-----	55
5.5 Apartarrayos-----	57
<b>Capítulo 6 dispositivos de seguridad</b> -----	<b>59</b>
6.1 Acceso a la subestación-----	59



<b>Capítulo 7 Condiciones de transporte</b> .....	<b>60</b>
7.1 Tipo de contenedor .....	60
7.2 Medidas totales del contenedor .....	63
7.3 Carga máxima.....	65
<b>Capítulo 8 Costos</b> .....	<b>66</b>
8.1 Costo de componentes.....	66
8.2 Costo de mano de obra.....	76
8.2.1 Instalación y puesta en marcha .....	76
<b>Capítulo 9 Conclusiones</b> .....	<b>78</b>
<b>Capítulo 10 Bibliografía</b> .....	<b>79</b>



## ***Capítulo 1 Generalidades***

### ***1.1 Introducción***

Este trabajo se trata del diseño de una subestación de distribución a nivel industrial en 23 [KV] con una capacidad de 1500 [kVA] estandarizada pre construida en un contenedor de medidas estándar para poder ser transportable.

### ***1.2 Objetivo***

Debido a los problemas de falta de espacio que se tienen en la grandes ciudades como lo es la Ciudad de México y al desmedido crecimiento de la población hoy en día es muy importante utilizar el territorio disponible de una forma mas consiente, de aquí surge el problema de las empresas de hacer una mejor planeación de sus instalaciones así como reducir tiempo de puesta en operación y gastos de mantenimiento y operación, sobre todo en algo tan indispensable como lo es la instalación eléctrica, en particular las empresas que requieren de una subestación eléctrica debido a que su contrato con la compañía suministradora es en mediana tensión, esto provoca que la subestación sea algo imprescindible pero que muchas veces debido al diseño de la misma es muy estorbosa o su misma distribución hace muy complicadas las maniobras de mantenimiento preventivo y/o correctivo, además al proporcionarse una subestación pre construida de alta calidad se aumenta la confiabilidad al evitar defectos y errores de montaje y alambrado. Sumándose a estos problemas si tomamos en cuenta el problema ambiental que se vive actualmente se plantea el uso de transformadores en resina epóxica como alternativa a los que utilizan aceite como elemento dieléctrico, de igual forma se propone el uso de nuevas tecnologías para asegurar un mejor funcionamiento y protección del mismo sistema e inclusive del proceso de producción.

Podemos concluir de lo anterior que nuestro proyecto de la subestación alojada en un contenedor de medidas estándar es un diseño de subestación compacta que ahorrara superficie y tiempo de montaje pues se trasladará completa.

## Capítulo 2 Diseño de la subestación

### 2.1 Arreglo general

Para este diseño se tiene considerado la utilización de equipos con un gran avance tecnológico que nos permita:

- Tener una confiabilidad de operación más alta.
- Permitir el librar las fallas con mayor rapidez.
- Rastreo de la falla inclusive hasta el punto en donde se provoco.
- Obtener un registro y control del consumo de energía del proceso.
- Reducir el espacio requerido para cada uno de los equipos utilizados

Para fines de esta tesis y poder hacer el dimensionamiento del equipo se esta considerando la siguiente lista de cargas

Tipo de carga	Cantidad	Capacidad	KVA's por equipo	KVA's totales
Motor	1	0.75 Hp	9.15	9.15
Motor	3	25 Hp	28.27	84.80
Motor	3	50 Hp	54.04	162.12
Motor	3	100 Hp	103.09	309.27
Transformador de alumbrado	1	90 KVA	90	90
			<b>Total KVA's</b>	<b>655.34</b>

**Figura 1.** Tabla de cargas de la SE

Esto puede ser para una instalación completa o considerando una parte de un proceso de producción en una empresa grande pues para evitar grandes gastos y problemas en tendidos de cable muy grandes se puede optar por poner varias subestaciones de este tipo.

A partir de esto podemos hacer un diseño de distribución de nuestra subestación sobre todo por la cantidad de celdas necesarias para el Centro de Control de Motores (CCM) dándonos como resultado el siguiente diagrama unifilar.

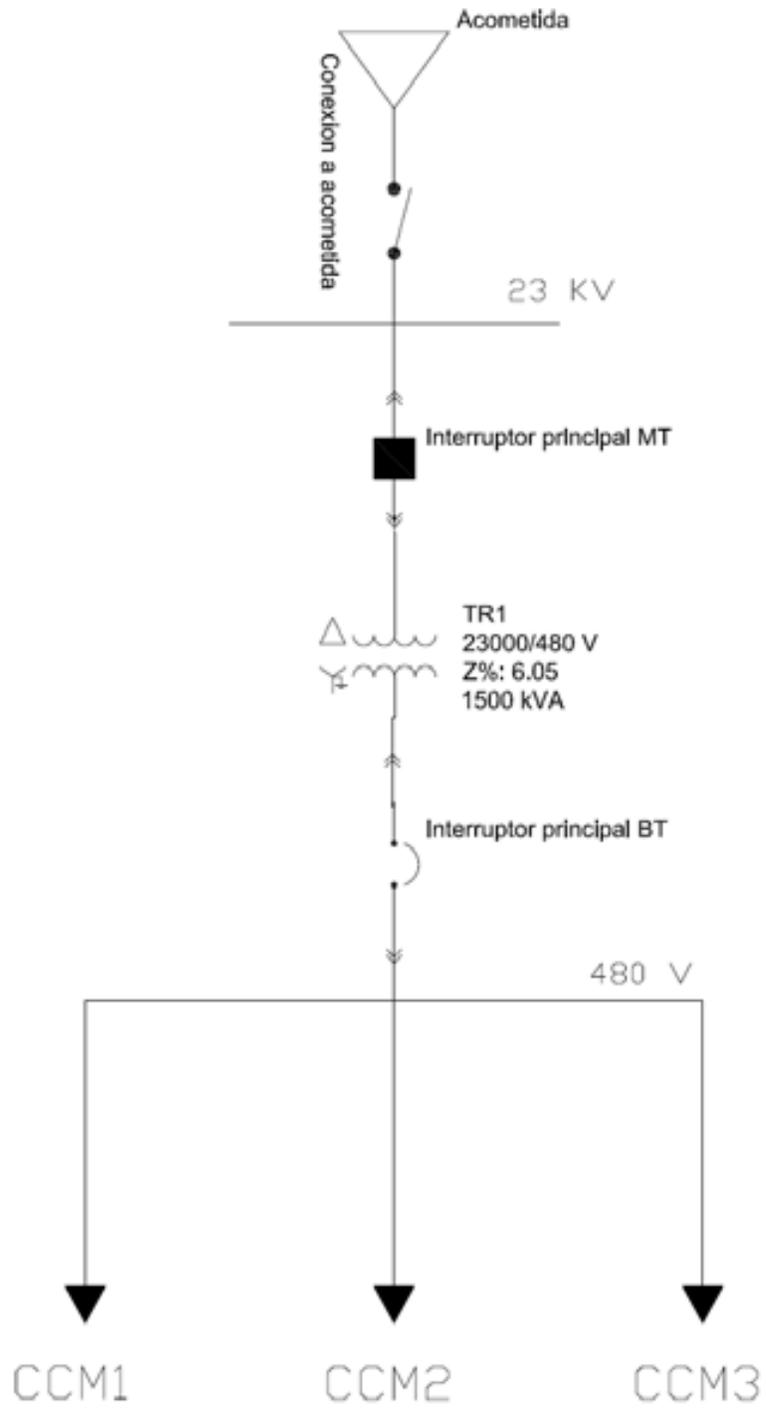


Figura 2. Unifilar general

En una forma más grafica la disposición de los equipos quedaría de la siguiente forma:

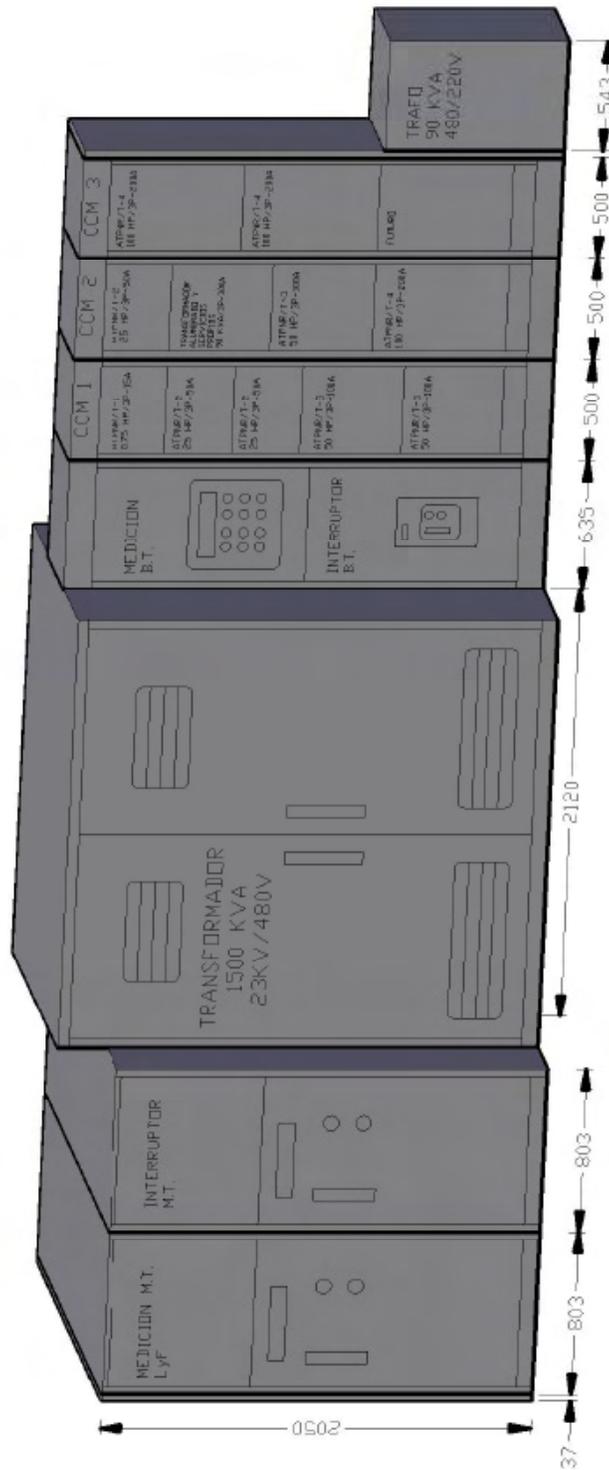


Figura 3. Disposición de los equipos.

Por el hecho de que va a ser una subestación transportable y se requiere que en campo se haga la menor cantidad posible de trabajos de puesta en marcha las conexiones de las barras en el lado de baja tensión entre secciones será flexible como se muestra en la siguiente imagen, esto con el fin de reducir lo mas posible los esfuerzos mecánicos q los que se podría someter el equipo durante la transportación.



**Figura 4.** Conexión flexible de barras de baja tensión.

## 2.2 Distancias dieléctricas cm/KV

En una subestación para tener una coordinación de aislamiento adecuada, se deben fijar las distancias a través del aire entre partes vivas de fases diferentes y, parte viva de fase a tierra. Para ello vamos a definir algunos conceptos que utilizaremos.

Tensión crítica de flameo (TCF) Se designa como tensión crítica de flameo a la tensión obtenida de forma experimental, que presenta una probabilidad de flameo del 50%

La relación entre la TCF y MBI para una probabilidad de falla del 10% viene dada por la expresión

$$TCF = \frac{NBI}{1.0 - 1.3\delta}$$

Donde

$\delta$  = Desviación permitida respecto a la TCF, 3% para sistemas menores de 300 KV, en los que predomina la descarga atmosférica (rayo).

Para el cálculo del factor de corrección de densidad de aire para la ciudad de México se consideren los siguientes datos: Presión barométrica de 58 cm de columna de mercurio Temperatura promedio de 25 °C

$$\delta = \frac{0.294 b}{273 + t} = \frac{3.92 (58)}{273 + 25} = 0.763$$

Por lo tanto

$$TCF = \frac{NBI}{1.0 - (1.3 \times 0.03)} = \frac{NBI}{0.961}$$

Para diseño se utiliza la  $(TCF)_{normal}$  corregida por altitud y humedad, por lo tanto, obtenemos:

$$(TCF)_{Diseño} = \frac{(TCF)_{normal} \times K_h}{\delta}$$

### 2.2.1 Distancia entre partes vivas

El punto de partida para obtener en aire la distancia mínima entre los conductores de un sistema trifásico, se inicia con el cálculo de la distancia mínima permitida para fase a tierra, la tensión nominal de la subestación en el lado de alta será

Para los sistemas con tensiones nominales inferiores a 200 KV tiene más importancia las sobre tensiones originadas por descargas atmosféricas, mientras que para los sistemas con tensiones superiores a 200 KV, las sobre tensiones que tienen mayor importancia son las originadas por los impulsos debidos a la operación de los interruptores de la subestación

Para la ciudad de México consideramos los siguientes datos:

$$NBI = 125$$

$$m.s.n.m = 2300$$

$$\delta = 0.763$$

Con estos valores obtenemos una Tensión Critica de Flameo corregida para una altitud de 2300 m.s.n.m.:

$$TCF = \frac{NBI(K_h)}{0.961(\delta)} = \frac{125(1)}{0.961(0.763)} = 170.47$$

Donde

$\delta =$  factor de densidad del aire

$K_h =$  factor de humedad atmosferica

$TCF =$  Tensión Critica de Flameo

$NBI =$  Nivel Básico de Impulso

Posteriormente obtenemos una distancia de fase-tierra:

$$d_{f,t} = \frac{170.47}{550} = 0.3099$$

Para obtener la distancia mínima entre partes vivas de fases diferentes de acuerdo con la norma CEI, sección 6.4 viene dada por

$$d_{ff} = 1.15(d_{ft})$$

Con lo cual obtenemos como resultado

$$d_{ff} = 1.15(30.99) = 0.356[m]$$

Del catalogo de LAPP Insulator GMBH Co. podemos comprobar en la imagen siguiente con un modelo comercial de aislador que se cumplen los valores calculados para las distancias entre partes vivas

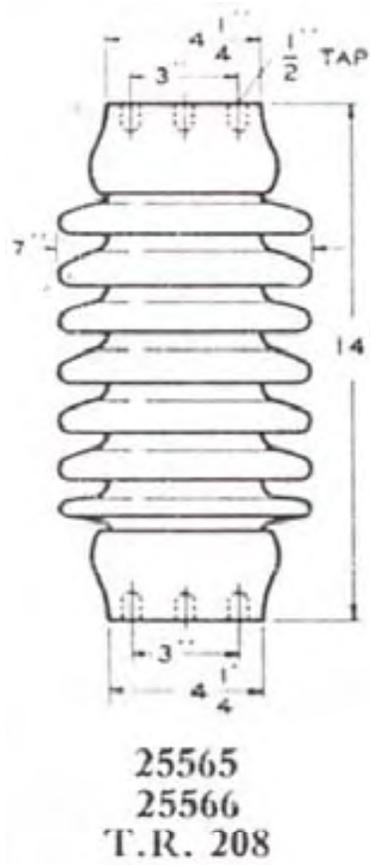


Figura 5. Dibujo del aislador.



Figura 6. Foto de un aislador de resina epóxica.

### 2.2.2 Distancias de seguridad

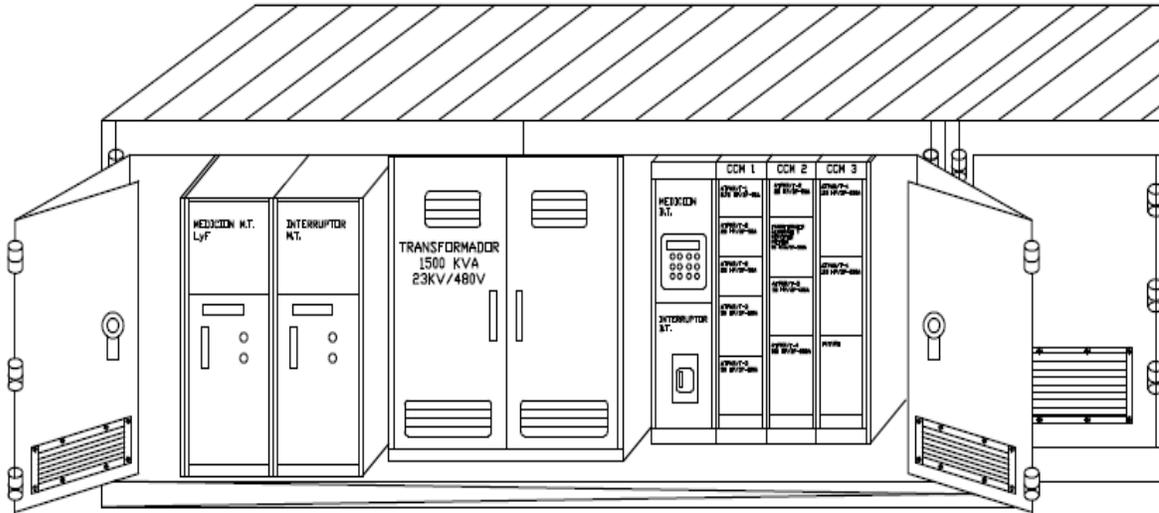
Son los espacios que permiten efectuar maniobras y circulación del personal de operación y mantenimiento sin riesgo para sus vidas. Para este caso por el tipo de subestación las distancias mínimas de seguridad consideran los siguientes conceptos:

- Circulación de personas

El tipo de tablero de media tensión propuesto es el Metal-Clad también conocido como tablero blindado, la característica de este tipo de tableros es que al presentarse un corto en cualquiera de sus compartimento de media tensión direcciona toda la fuerza de la explosión hacia el techo del mismo para evitar que alguna persona que este trabajando cerca del tablero resulte dañada, por esta característica el área de circulación de las personas no tiene que estar tan alejada de la subestación, es suficiente con que no tengan acceso a ella para que no accionen alguno de los interruptores y causen algún accidente. Para lograr un nivel de seguridad adecuado se tiene que hacer un buen sistema de tierras que logre resistir los valores de corto circuito de nuestra subestación.

- Zonas de trabajo

Para lograr un buen nivel de seguridad en las zonas de trabajo por norma se tienen que tener libres de cualquier obstáculo que impida el desalojamiento del personal que este laborando en el área, para lograr esto se planeo usar el siguiente diseño de puertas:



**Figura 7.** Dibujo del área de trabajo dentro de la subestación.

De esta forma podemos tener un completo acceso para poder trabajar directamente en los tableros y poder desalojar sin problemas en caso de alguna contingencia.

Para la realización de trabajos con la subestación energizada, aparte de que los trabajadores que vayan a realizar dichos trabajos deben de contar con su equipo de seguridad, que mínimo debe de constar de botas con suela dieléctrica y sin casquillo, guantes para trabajos eléctricos (ya sea de baja o alta tensión) y ropa de algodón, de preferencia camisa de manga larga, aparte de todo esto se debe de contar con tarima de plástico enfrente de todos los tableros, esto para tener un mayor aislamiento dieléctrico y que en caso de corto circuito al energizar la persona que este trabajando frente al tablero este aislado no cierre con su cuerpo el circuito del paso de la corriente hacia la tierra.

Es muy importante que al hacer trabajos de mantenimiento se mantengan condiciones de seguridad óptimas tanto al realizar trabajos de operación de la subestación como de mantenimiento, pues aunque se empleen las mejores tecnologías si el personal muestra negligencia ni el empleo de estas tecnologías no podrá evitar que suceda un accidente.

En caso de que se realicen trabajos en el lado de 23 KV se requiere la desenergización total de la subestación abriendo el interruptor de AT, así como las cuchillas del poste y aterrizando los la acometida que entra a la subestación conectándola directamente al sistema de tierras.

### 2.3 Capacidad de operación en KVA y Amperes

La capacidad nominal de un transformador se define como los KVA que su devanado secundario es capaz de operar por un tiempo específico o continuo, bajo condiciones de tensión y frecuencia de diseño, sin que la temperatura promedio de un devanado exceda de 65°C., sobre una temperatura promedio de 30°C., y máxima de 40°C. Es muy importante que el responsable de la instalación calcule en forma correcta los KVA de transformación que necesita, pues en caso contrario se llegará a la situación de tener capacidad ociosa, lo que representa valores altos de corriente de excitación y una capacidad no amortizable. Ambas cosas son pesos que representan pérdidas para el usuario.

El diseño de esta subestación esta hecho para poder operar en la ciudad de México, esto quiere decir que las condiciones son a un voltaje en el lado de Alta Tensión de 23 [KV], para Baja Tensión de 480 [V], a una altura de 2300 [msnm] y con un transformador de 1500 [KVA] que con las condiciones antes mencionadas tenemos que la subestación nos maneja un corriente de:

$$I = \frac{1500 \times 10^3}{\sqrt{3}(480)} = 1804 [A]$$

Debido que la mayor parte de la carga del transformador son motores se debe de tener en cuenta que el transformador debe soportar las corrientes de arranque de los motores para estar seguros que la selección de nuestro transformador es correcta utilizamos la siguiente formula

$$KVA_{trafo} \geq \Sigma Cargas + (6 \times KVA_{Motor \text{ mas grande}})$$

Al aplicar la formula a nuestro sistema tenemos:

$$\Sigma Cargas = 552.25 \text{ KVA}$$

$$KVA_{Motor \text{ mas grande}} = 103.09 \text{ KVA}$$

$$1500 \text{ KVA} \geq 552.25 \text{ KVA} + (6 * 103.09 \text{ KVA})$$

$$1500 \text{ KVA} \geq 552.25 \text{ KVA} + 618.54 \text{ KVA}$$

$$1500 \text{ KVA} \geq 1171 \text{ KVA}$$

Con esto comprobamos que el transformador puede soportar la carga si ningún problema pues solo esta al 78% de su capacidad nominal con lo cual obtenemos:

$$I = I_N \times 0.78 = 1804 \times 0.78 = 1407[A]$$

El resto de la capacidad se queda como reserva para ampliaciones posteriores.

Una gran ventaja que tenemos con este tipo de transformadores es que al agregar enfriamiento forzado podemos aumentar la capacidad hasta en un 50% con la limitante de que el porcentaje en que se aumente la capacidad aumentara la impedancia del transformador, esta opción nos es útil si en algún momento se conectan mas cargas que provoquen que al arrancar algún motor sobre todo de los mas grandes el transformador nos pueda seguir siendo útil al soportar las corrientes demandantes pues la ventilación forzada se activa a través de un termistor.

## 2.4 Transformador de distribución

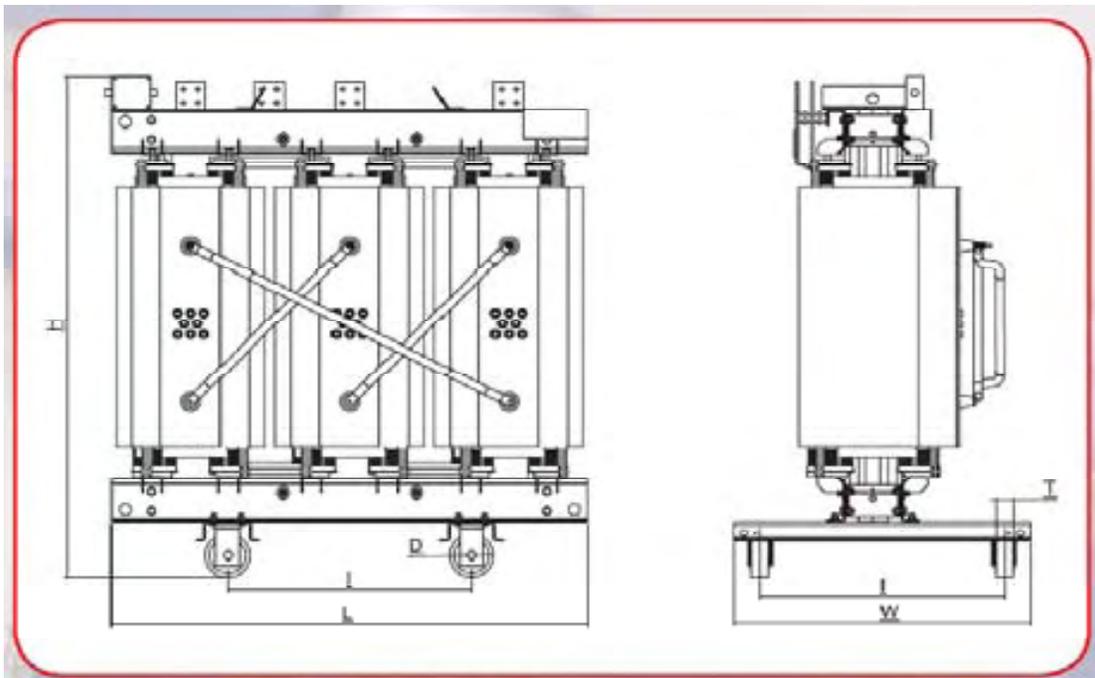
El transformador es una de las partes primordiales del proyecto tanto para cumplir los objetivos como para el lograr que la subestación sea transportable.

Se tiene considerado un transformador de 1500 KVA en resina epóxica el cual es superior en muchas características frente a un transformador convencional con aceite como material dieléctrico tanto de espacio, seguridad y menos dañino para el medio ambiente.

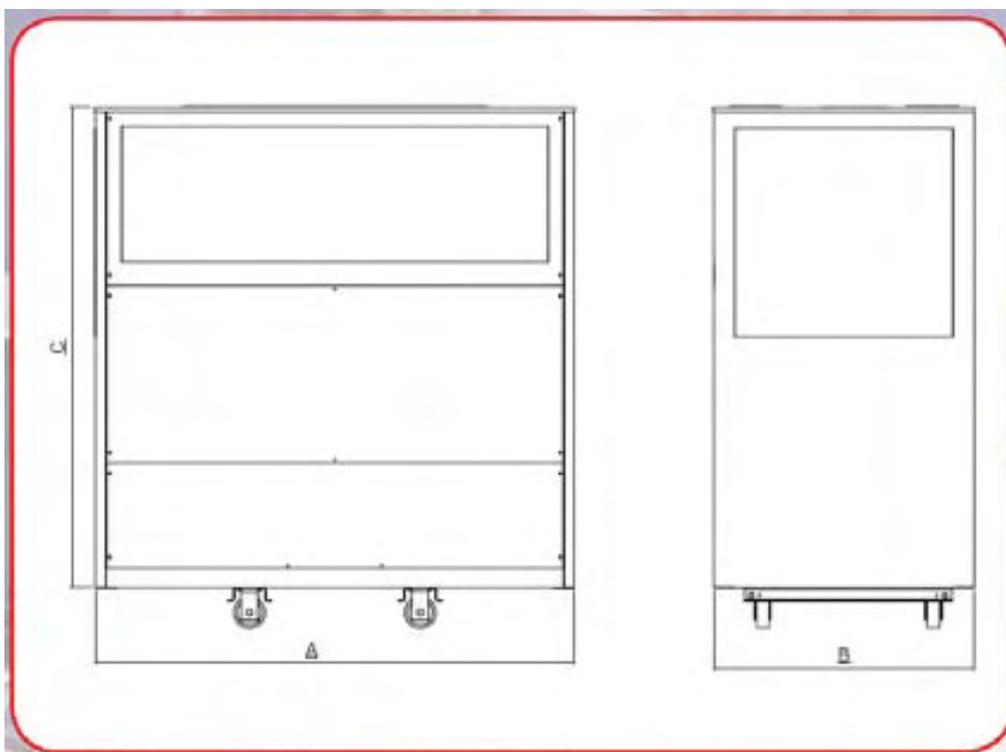
A continuación se hace un listado de por que se esta tomando la decisión de meter un transformador en resina epóxica y no uno en aceite

- **Dimensiones**

A parte de que un transformador en aceite es mucho mas pesado que el transformador en resina epóxica una de las principales características que nos permiten afirmar que nos conviene más este tipo de transformador son las dimensiones y la forma del equipo.

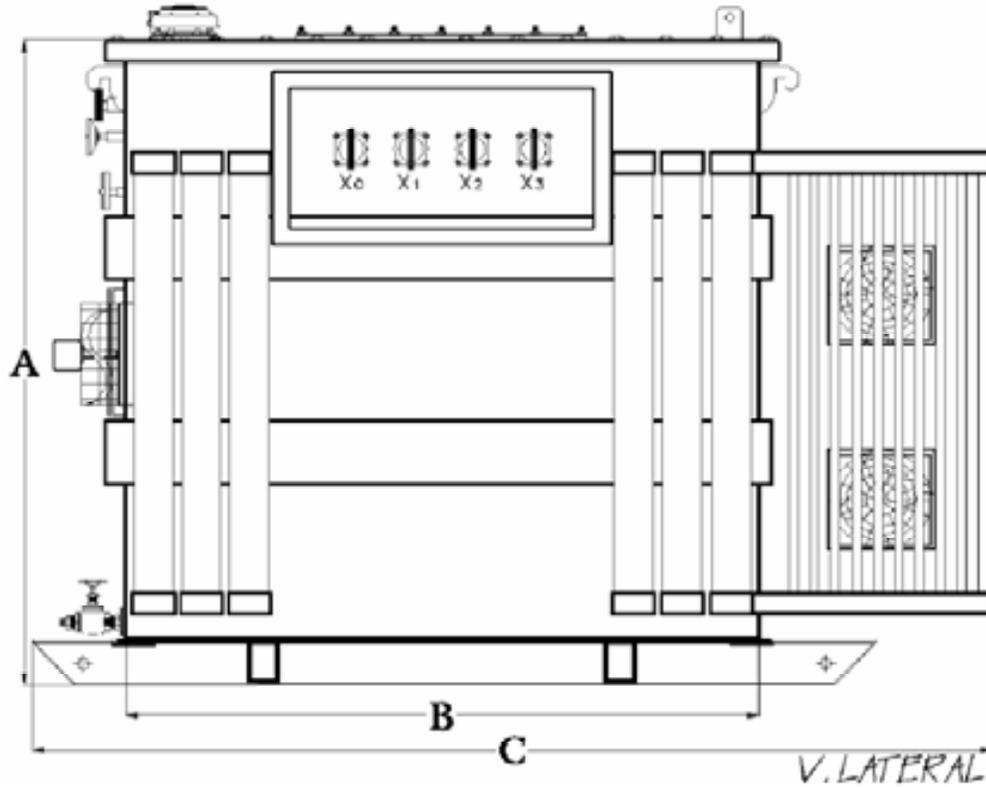


Transformador en resina epóxica.

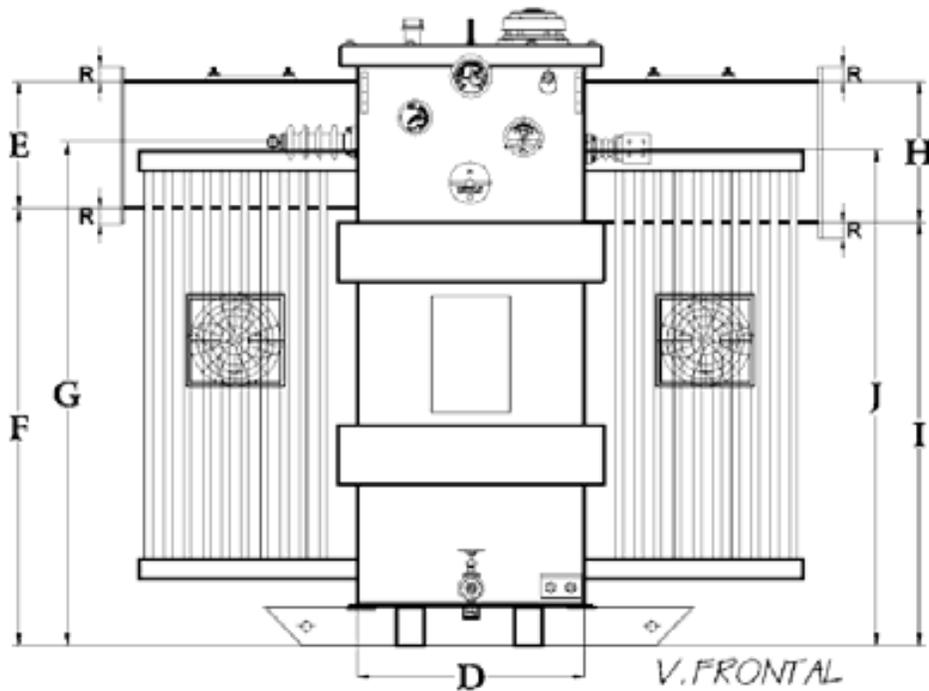


Dimensiones en mm	
<b>A</b>	2120
<b>B</b>	1500
<b>C</b>	2120
<b>H</b>	1830
<b>W</b>	995
<b>L</b>	1840

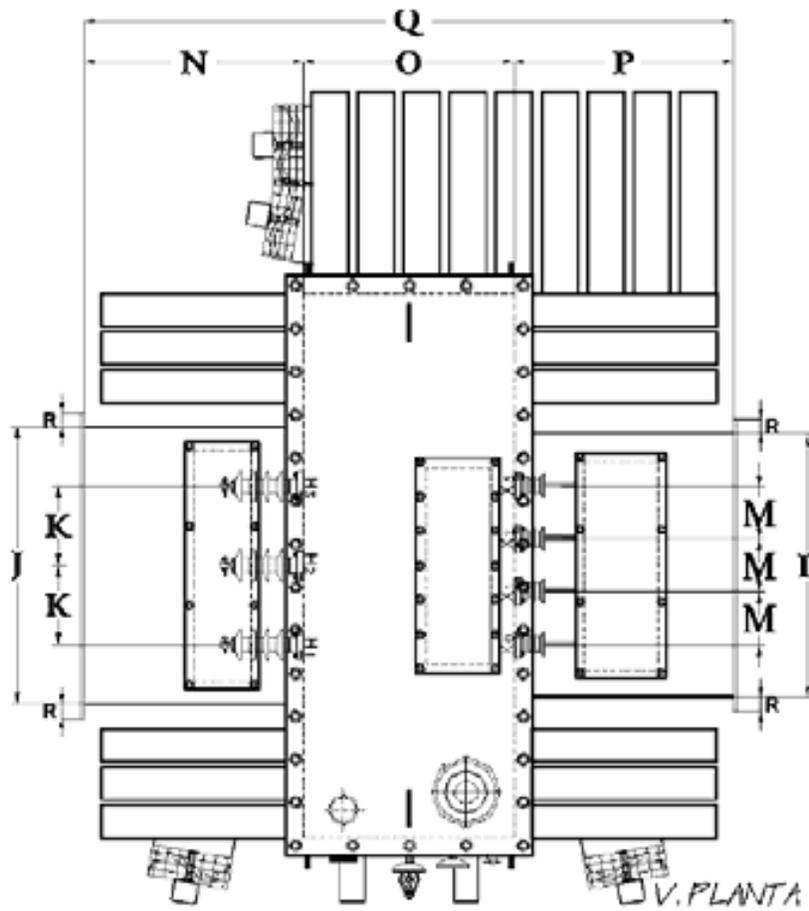
**Figura 8.** Dimensiones del transformador en resina epóxica.



Vista lateral de las dimensiones del transformador sumergido en aceite



Vista frontal de las dimensiones del transformador sumergido en aceite



DIMENSIONES (mm)	A	1720	L	240
	B	1630	M	800
	C	2405	N	160
	D	630	O	600
	E	360	P	630
	F	1257	Q	600
	G	1437	R	1830
	H	400	S	40
	I	1217	T	
	J	1417	U	
	K	840	V	

Figura 9. Dimensiones del transformador en aceite

- **Comportamiento en situaciones con fuego**

Resistencia a la combustión y capacidad se auto extinguirse cuando cesa la causa de la combustión debido a que el material aislante no es flamable a comparación del aceite utilizado normalmente el cual necesita de condiciones especiales para poder incendiarse pero una vez iniciado el fuego es muy difícil apagarlo



**Figura 10.** Foto de los devanados MT en resina epóxica.



**Figura 11.** Foto de los tambos de aceite dieléctrico

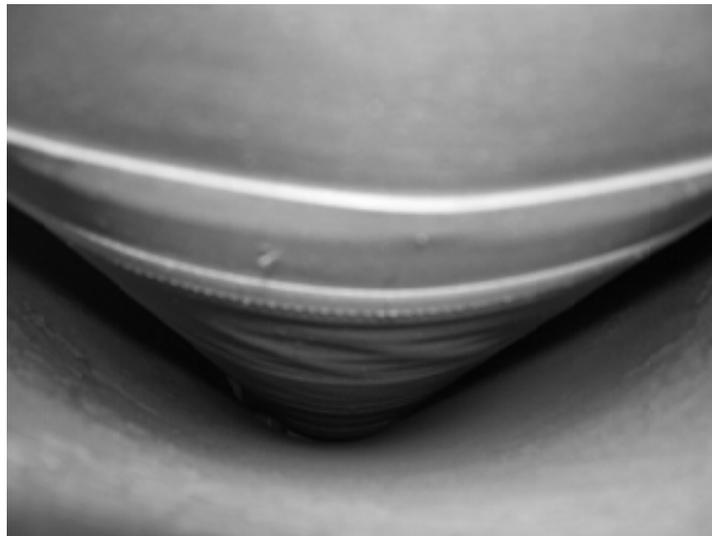
- **Tiempo y gastos de mantenimiento.**

Básicamente los procedimientos de mantenimiento de un transformador en resina son nulos comparados con los mantenimientos necesarios para uno en aceite

Para un transformador en resina solo se debe de hacer lo siguiente

El transformador no debe de estar en ambientes húmedos para evitar que los devanados absorban esta humedad, en caso de que esto suceda por alguna razón el transformador debe ser sometido a un proceso de secado y realizar una prueba de resistencia con un megaóhmetro, los valores obtenidos deben ser superiores a los 1000

Para el mantenimiento preventivo no se necesita equipo especial que sea muy caro, este puede ser realizado por personal técnico con una preparación adecuada pues solo se necesita utilizar aire comprimido y trapos secos para limpiar el polvo que puedan tener los devanados y principalmente los canales de refrigeración.



**Figura 12.** Imagen de los canales de refrigeración de una bobina de un transformador en resina epóxica (Espacio entre bobina de alta y baja tensión)

Para un transformador en aceite se necesitan equipos mas sofisticados para poder realizar el filtrado de aceite y quitarle la humedad que pueda haber absorbido, aparte que

dependiendo la capacidad del transformador el tiempo aproximado para un transformador de 1500 KVA esta alrededor de dos a tres horas de filtrado el cual por cuestiones de seguridad se debe realizar con el transformador desenergizado lo cual aumenta el tiempo en el que deja de operar el sistema. Este proceso se puede realizar sin hacer el corte de energía pero se expone a algún accidente causado por alguna disminución súbita en el nivel del líquido aislante dentro del transformador.



**Imagen 13.** Foto de una filtradora de aceite.

También es necesario considerar la ubicación del transformador para el mantenimiento pues a muchas veces este se encuentra en el techo de la construcción y es difícil llegar con este tipo de maquina complicando la maniobra.



**Figura 14.** Foto de filtradora trabajando.

Otra consideración muy importante es que si la rigidez dieléctrica del aceite es muy baja este tiene que ser sustituido, provocando un gasto muy grande pues lleva más de 1200 litros dependiendo del diseño del transformador, además del tiempo que tendrá que estar fuera de servicio para realizar la maniobra.

Pero uno de los puntos más importantes que hay que tomar en cuenta es que en estos tiempos tenemos que ser muy cuidadosos con el medio ambiente, el hecho de utilizar un transformador sumergido en aceite incluye el hecho de que en algún momento se tendrá que realizar el cambio del aceite dependiendo de las condiciones del sitio y las condiciones de operación este tiempo podrá ser muy corto o considerablemente largo, pero en algún momento se tendrán que sacar los más de 1000 litros de aceite el cual muchas veces no se le da el tratamiento adecuado para que no cause muchos daños al medio ambiente pues esto implica un costo más que muchos no están dispuestos a pagar

- **Condiciones de transporte**

Para poder cumplir el objetivo de hacer la subestación transportable tenemos que tomar en cuenta que un transformador en aceite requiere mas cuidados para su transportación pues debido a los esfuerzos mecánicos que puede estar sometido el tanque que contiene el aceite puede sufrir alguna fractura sin que nos percatemos, esto puede ocasionar una fuga de aceite que si no es reparada inmediatamente puede ocasionar un corto circuito provocando un daño irreparable o inclusive peligroso para alguien que este cerca de la subestación



**Figura 15.** Daños que se pueden presentar en el tanque del transformador

## **2.5 Tablero B.T.**

### **2.5.1 Arreglo**

Dadas las condiciones del voltaje que tenemos en la parte de baja tensión es difícil conectar cargas directamente a menos de que sean motores, maquinaria que opere a 480 V o transformadores para bajar el voltaje a 220 [V] entre fases, por este motivo en el diseño se tienen considerados 3 CCM's para controlar las cargas en baja tensión.

Estos CCM's están conectados al interruptor principal de B.T. a través de barras las cuales tienen una capacidad de 2000 [A] de bus principal, el arreglo se muestra en el siguiente diagrama unifilar.

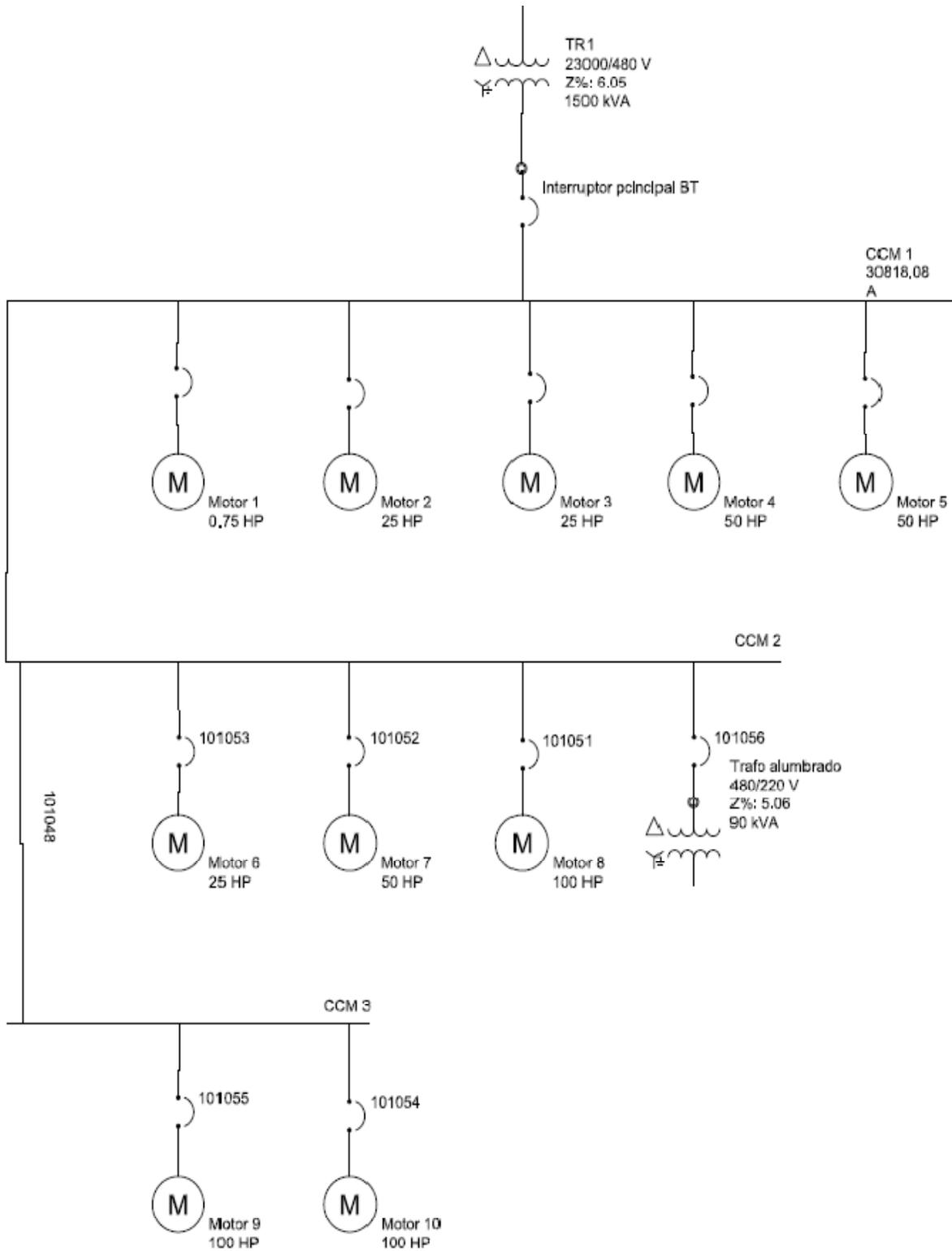
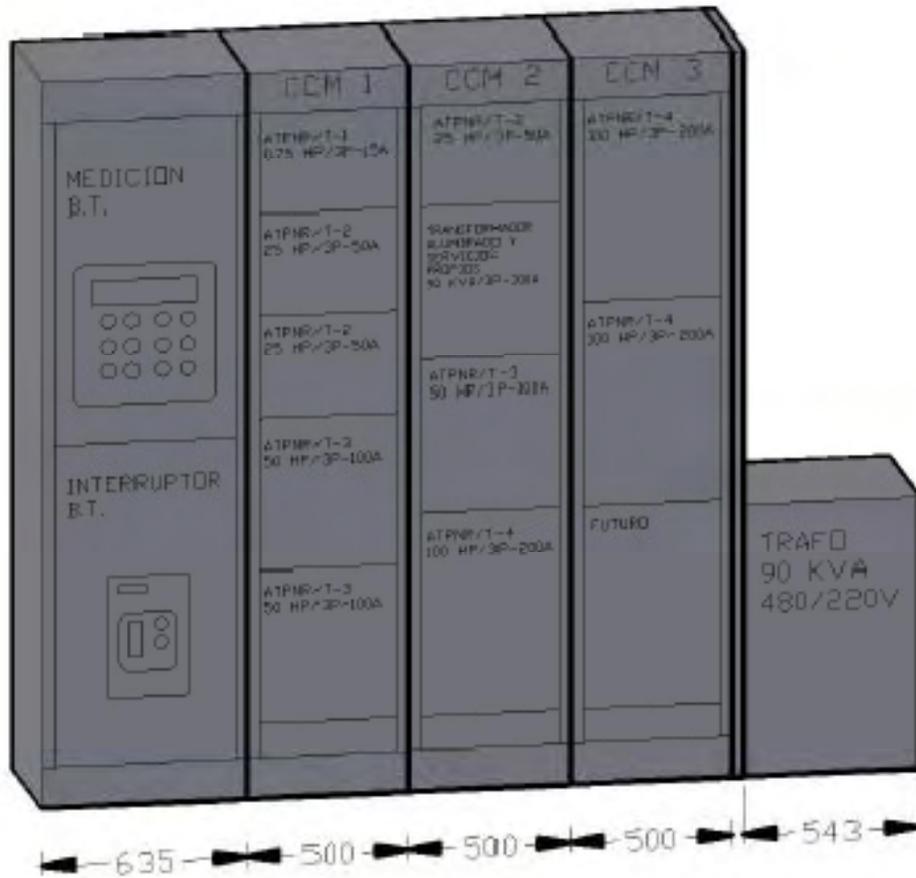


Figura 16. Unifilar Baja Tensión.

### 2.5.2 Dimensiones

A continuación se presenta un dibujo de los tableros de baja tensión, en este dibujo se presenta la distribución de equipo así como las dimensiones de los tableros, lo tablero tienen una altura de 2286 mm.



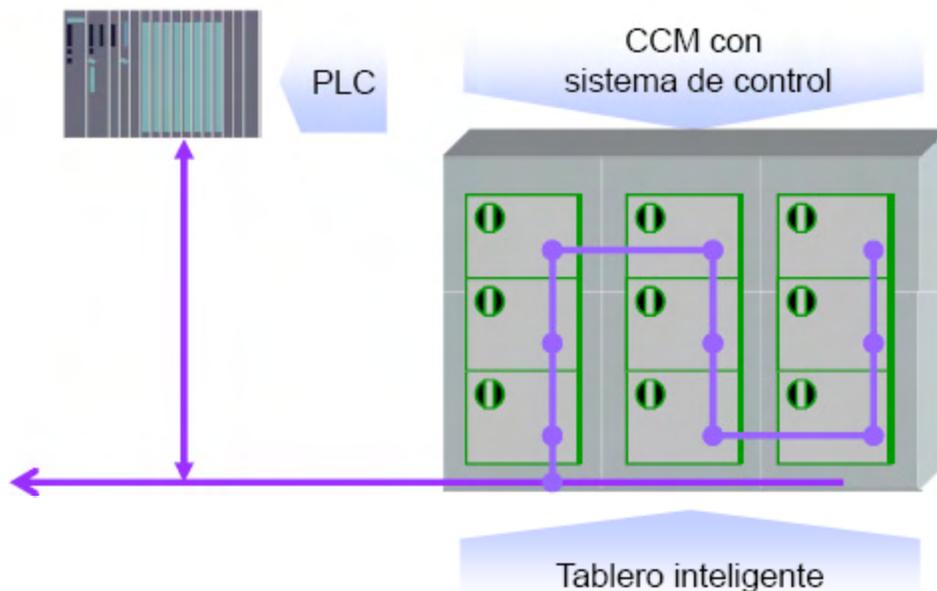
**Figura 17.** Dimensiones y distribución del equipo en BT (acotaciones en mm).

## 2.6 Control

Al realizar el diseño de esta subestación se está considerando aprovechar las nuevas tecnologías para lograr tener una instalación segura y confiable, para esto propongo que la subestación sea monitoreada y controlada remotamente teniendo un monitor de control dentro del mismo contenedor con la opción de llevar los datos a través de un protocolo de comunicación al cuarto central de control.

El fin de tener equipo de este tipo es primer punto el evitar lo mas posible tener personal laborando dentro de la subestación haciendo arranques o paros directamente en la subestación así como tener un mejor control de las licencias de mantenimiento de los equipos, otro punto muy importante es el que este sistema de control nos permite tener un monitoreo del estado del proceso y de los equipos permitiéndonos en caso de falla conocer mas a fondo y en algunos casos específicamente la causa del mismo y a la vez el sistema puede tomar la decisión de aislar la falla o detener todo el proceso para evitar mayores problemas.

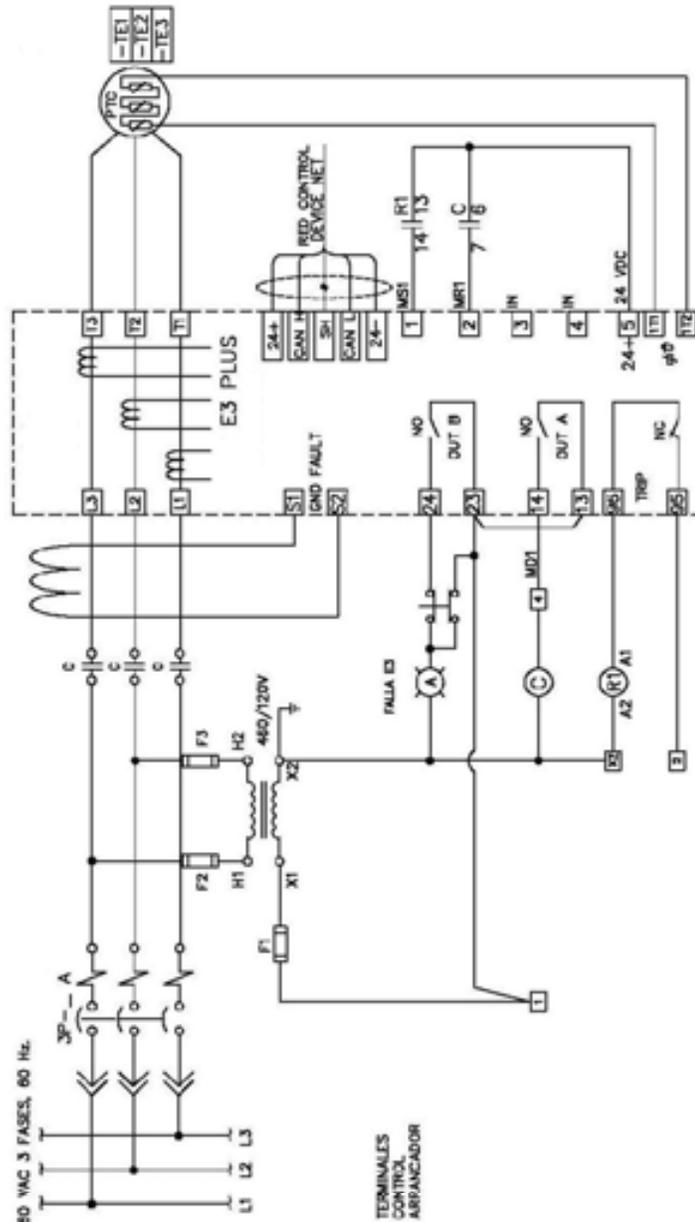
El equipo propuesto para el control del CCM nos permite tener una configuración como la siguiente



**Figura 18.** Forma de conexión del sistema de comunicación.

Con este tipo de comunicación se puede tener una conexión directa entre el centro de control y los equipos así como del PLC a los equipos, no como se utilizaba antes que se tenían que conectar todos los equipos al PLC y de ahí se realizaba la comunicación hacia el centro de control.

Para los arrancadores de los motores se esta proponiendo el siguiente típico de arrancador con sistema de monitoreo/control a distancia.



**Figura 19.** Típico de Arrancador a Tensión Plena No Reversible (ATPNR).

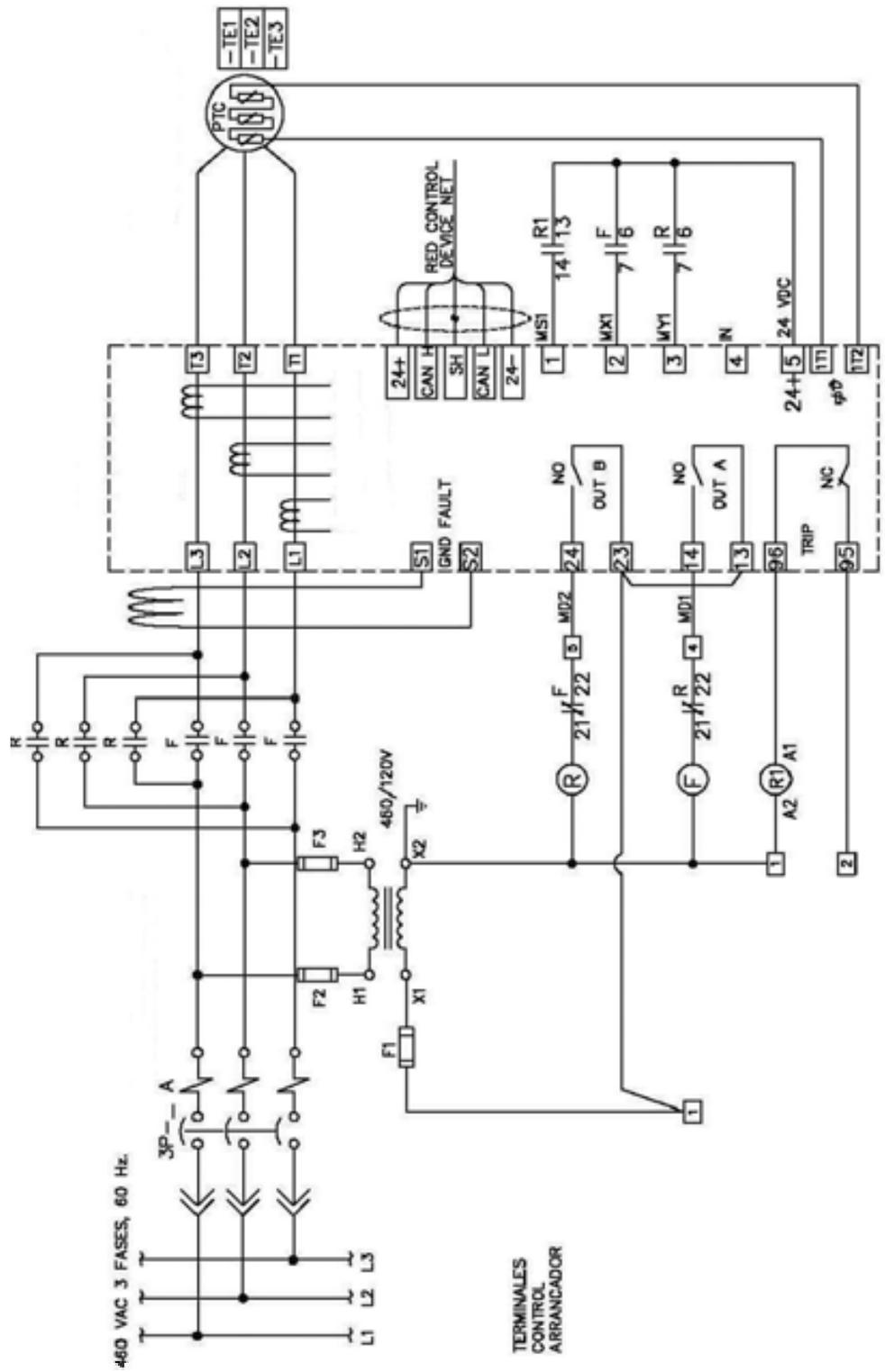
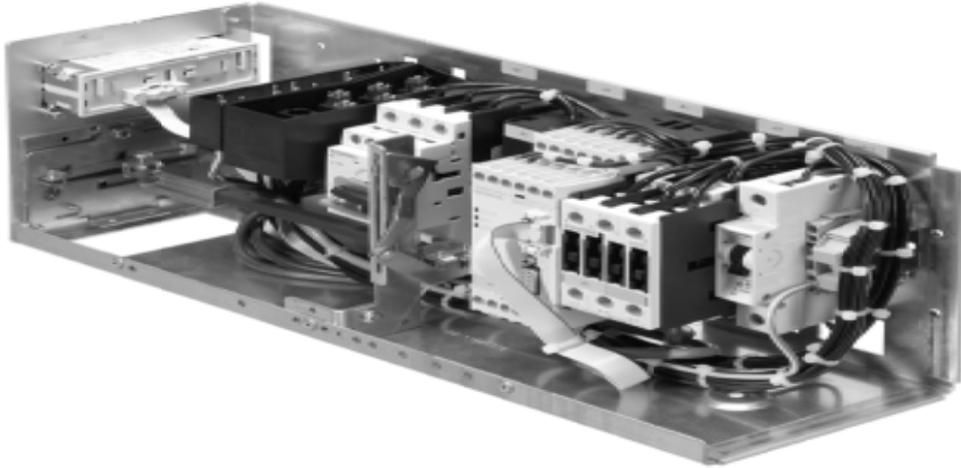
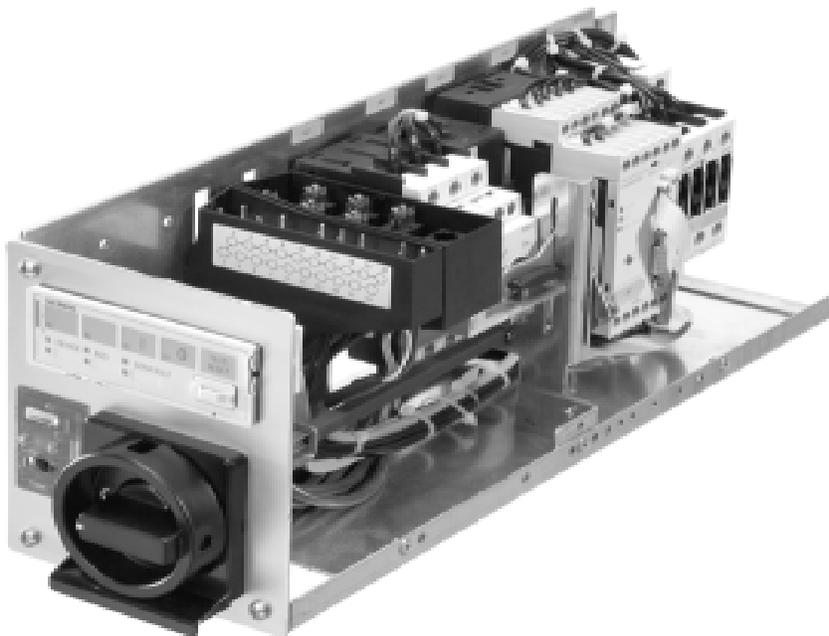


Figura 20. Típico de Arrancador a Tensión Plena Reversible (ATPR).

Si pasamos del diagrama unifilar a la práctica tenemos que un arrancador ensamblado nos queda de la siguiente forma:



**Figura 21.** Fotos de arrancadores tamaño NEMA 1.



**Figura 22.** Fotos de arrancadores tamaño NEMA 1.

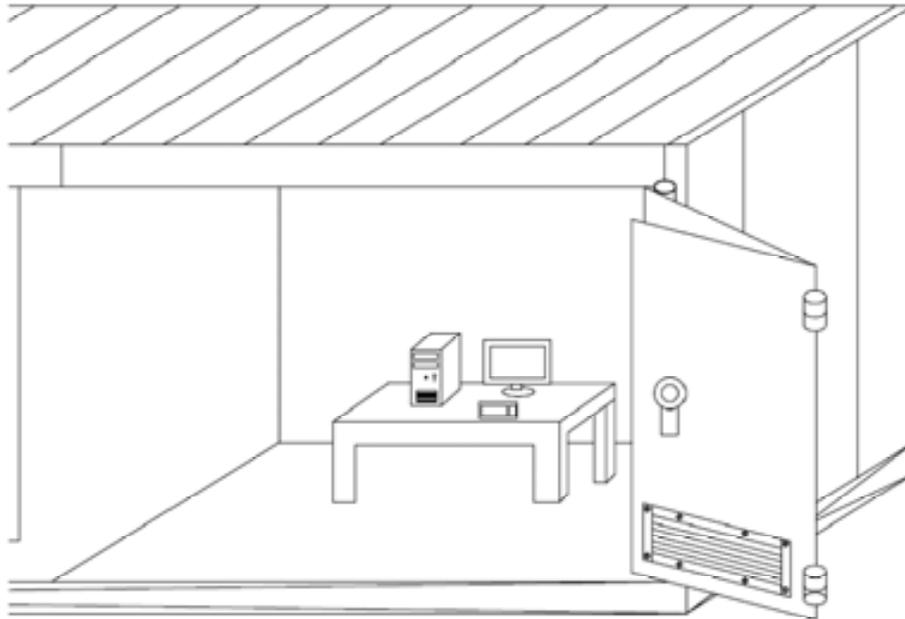
Los dispositivos anteriores estarán directamente en el CCM, con este tipo de dispositivos se puede tener acceso en forma local o remota, es decir, controlar el CCM desde un cuarto de control que

puede estar inclusive a varios kilómetros del equipo inclusive bajo ciertos criterios de seguridad se puede tener acceso al sistema vía internet estando en cualquier parte de mundo o directamente en el tablero, así mismo se pueden tener mediciones en tiempo real del equipo en cuestión.

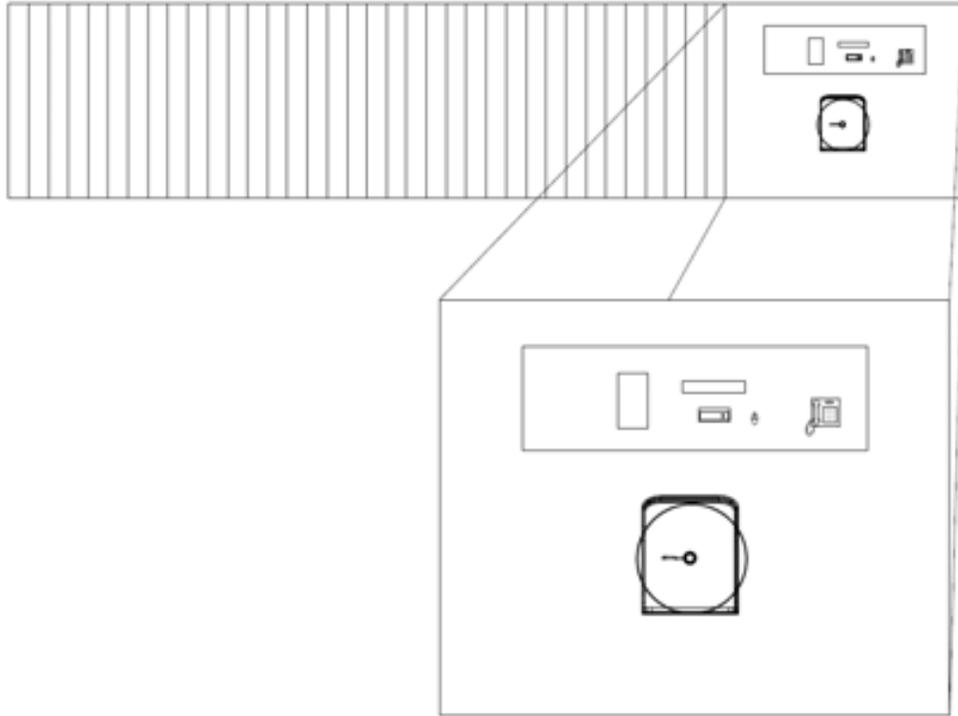
Para esta subestación se esta proponiendo un sistema de control intermedio, es decir, un sistema remoto que este dentro del mismo contenedor a parte del sistema del cuarto de control (en caso de contar con el).

Este sistema es básicamente una terminal de ubicada en un cuarto dentro del mismo contenedor pero separado de la subestación, esto permitirá al personal de campo hacer arranque o paro de los equipos de una forma casi local pero avisando al cuarto de control acerca del movimiento que se quiere realizar.

La ubicación del cuarto antes mencionado se esta proponiendo de la siguiente forma:



**Figura 23.** Cuarto con interfaz para control de la subestación.



**Figura 24.** Vista superior con zoom del cuarto de control.

## *Capítulo 3 Protección contra sobre corrientes*

### *3.1 Calculo de la corriente de corto circuito.*

El objetivo de un estudio de corto circuito es proporcionar información sobre corrientes y voltajes en un sistema eléctrico durante condiciones de falla.

Esta información se requiere para determinar las características de capacidad interruptiva y momentánea de los interruptores y otros dispositivos de protección localizados en el sistema, calcular los esfuerzos electrodinámicos en barras o buses de subestaciones y tableros, calcular redes de tierra, seleccionar conductores alimentadores, así como para diseñar un adecuado sistema de relevadores de protección los cuales deberán reconocer la existencia de la falla e iniciar la operación de los dispositivos de protección asegurando así la mínima interrupción en el servicio y evitando danos a los equipos.

Una corriente de corto circuito es aquella que circula en un circuito eléctrico cuando existe el contacto entre dos a más conductores al perderse el aislamiento entre ellos o entre ellos y tierra.

La magnitud de la corriente de corto circuito es mucho mayor que la corriente nominal o de carga que circula por el circuito.

Para el calculo de corto circuito aprovecharemos el uso de las nuevas tecnologías que nos facilitan la obtención de este tipo de valores esto lo haremos con el programa llamado EDSA el cual es una herramienta informática que nos ayuda a obtener el valor de corto circuito en cada uno de los puntos de nuestra subestación, a continuación se muestran los resultados que obtuvimos:

EDSA

3-Phase Short Circuit v6.00.00

Project No. : 1	Page : 1
Project Name: TESIS	Date : 01/31/2008
Title : CALC CC	Time : 09:06:49 pm
Drawing No. : 1	Company : UNAM
Revision No.: A	Engineer: JORGE CABRERA
Jobfile Name: CAPITULO 4	
Scenario : 1	

-----

Base MVA	:	100.000
System Frequency (Hz)	:	60
# of Total Buses	:	19
# of Active Buses	:	19
# of Total Branches	:	18
# of Active Sources	:	1
# of Active Motors	:	10
# of Active Shunts	:	0
# of Transformers	:	2
Reference Temperature(°C)	:	20.0
Impedance Displaying Temperature(°C)	:	25.0

Calculating All or Mult-Buses Fault with Fault Z = 0.00000 + j 0.00000  
Ohms

Classical Calculation

Complex Z for X/R and Fault Current  
Transformer Phase Shift is not considered.  
Base Voltages : Adjusted by Tap/Turn Ratio  
Prefault Voltages : Use System Voltages  
Use Only X to Calculate Results

Jobfile Name: JORGE

Page : 2

-----  
 Bus Results: 0.5 Cycle--Symmetrical--3P/LL/LG/LLG Faults  
 -----

Bus Name	Pre-Flt V	3P Flt. A	LL Flt. A	LG Flt. A	LLG Flt A	Thevenin Imped. Complex		
						Z+ (pu)	Zo (pu)	3P X/R
1	23000	8850	7661	8832	8841	0.2836	0.2852	19.767
101048	220	4413	3822	4512	4465	59.4615	55.5552	6.3223
Acometida	23000	8850	7661	8832	8841	0.2836	0.2852	19.767
CCM 1	480	30818	26689	30553	30688	3.9029	4.0042	7.6499
CCM 2	480	30815	26686	30550	30685	3.9033	4.0046	7.6451
CCM 3	480	30812	26683	30547	30682	3.9037	4.0050	7.6399
Motor 1	480	30784	26659	30520	30654	3.9073	4.0085	7.5938
Motor 10	480	30779	26655	30514	30649	3.9079	4.0094	7.5859
Motor 2	480	30784	26659	30520	30654	3.9072	4.0085	7.5943
Motor 3	480	30784	26659	30520	30654	3.9072	4.0085	7.5943
Motor 4	480	30784	26660	30520	30654	3.9072	4.0085	7.5948
Motor 5	480	30784	26660	30520	30654	3.9072	4.0085	7.5948
Motor 6	480	30781	26657	30517	30651	3.9076	4.0090	7.5895
Motor 7	480	30781	26657	30517	30651	3.9076	4.0090	7.5900
Motor 8	480	30782	26657	30518	30652	3.9075	4.0090	7.5909
Motor 9	480	30779	26655	30514	30649	3.9079	4.0094	7.5859

Al hacer la comprobación de parte de los datos haciendo el cálculo tradicional del corto circuito obtenemos lo siguiente:

$$S_{CC} = 500 \text{ [MVA]}$$

$$S_B = 10 \text{ [MVA]}$$

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \times V_{BT}} = \frac{10 \text{ [MVA]}}{\sqrt{3} \times 480 \text{ [V]}} = 12028$$

$$Z_{T-1} = 0.06 \times \frac{10000}{1500} = 0.4$$

$$\overline{S}_{cc} = \frac{S_{CC}}{S_B} = \frac{500 \text{ [MVA]}}{10 \text{ [MVA]}} = 50$$

$$Z_{TH} = \frac{1}{S_{CC}} = \frac{1}{50} = 0.02$$

$$I_{CC} = \frac{1}{0.02 + 0.4} = \frac{1}{.42} = 2.38$$

$$I_{CC} = 2.38 \times 12028 = 28638 [A]$$

También podemos utilizar el método de bus infinito para calcular de forma muy aproximada el nivel de corto circuito en la parte de Baja Tensión

$$MVA_{CC} = \frac{P_{Trafo}}{Z_{Trafo}} = \frac{1500 \text{ KVA}}{0.06} = 25 \text{ MVA}$$

$$I_{CC} = \frac{MVA_{CC}}{\sqrt{3} \times V_{f-f}} = \frac{25 \text{ MVA}}{\sqrt{3}(480 \text{ V})} = 30 \text{ 070 A}$$

De esta forma comprobamos que los valores obtenidos para nuestro cálculo son correctos.

### ***3.2 Ajuste de las protecciones***

El objetivo principal y primordial de todos los sistemas de potencia es el mantener en un alto nivel la continuidad del servicio, y que cuando ocurran condiciones intolerables, reducir el número de cortes de energía eléctrica. Las pérdidas de potencia, y sobre - voltajes ocurren de cualquier manera, porque es imposible y también poco práctico, poder evitar las consecuencias de eventos naturales y accidentes físicos; como son fallas del equipo, o mala operación debido a errores humanos. Muchas de estas fallas resultan de: descuidos, conexiones accidentales o "descargas" entre conductores de fase o de un conductor de fase a tierra.

Las causas naturales que pueden provocar cortos circuitos (fallas) son descargas atmosféricas (voltaje inducido o descarga directa en el conductor), viento, hielo, terremotos, fuego, explosiones, árboles caídos sobre las líneas, objetos voladores, contactos físico de animales y contaminación. Los accidentes incluyen las fallas resultantes de choques de vehículos con los postes o equipo vivo, así como el sabotaje por parte de las personas a las instalaciones y equipos del sistema eléctrico de potencia. Se hace un esfuerzo considerable para reducir los posibles daños, pero la eliminación de todos estos problemas semejantes aún no es posible.

Un ejemplo dramático de la necesidad e importancia de la protección de los sistemas de potencia es una espectacular descarga atmosférica (rayo), ocurrió en una ciudad durante una tormenta del mes de julio en una región donde hay gran incidencia de descarga por rayo. Las gráficas isoceraunicas de esta área del Pacífico Noroeste nos muestran la posibilidad de días con tormenta mediante una contabilidad de los rayos que caen a tierra, el nivel ceraunico es de 5 rayos por año. Mientras que unos 12,000 hogares pierden energía eléctrica durante ésta tormenta, los usuarios locales no experimentarían mayores daños ni cortes prolongados de energía. Afortunadamente la protección contra descargas atmosféricas y algunos relevadores operan para minimizar los problemas.

La mayoría de fallas en un sistema eléctrico de distribución con red de líneas aéreas son fallas de fase a tierra, producto de las descargas atmosféricas, que inducen un alto voltaje transitorio y dañan o flanean el aislamiento. En los sistemas aéreos de distribución, el contacto de árboles con líneas originado por viento es otra fuente de fallas. El hielo, nieve y viento durante tormentas severas pueden originar muchas fallas y daños, al equipo. En algunos casos la descarga originada por eventos de esta naturaleza, no causan daño permanente si el circuito es interrumpido rápidamente. Esta interrupción rápida es una práctica

común. Pero en muchos casos se produce una sobre - tensión en la tensión nominal del sistema causada por este corte momentáneo de energía. El tiempo promedio del corte de energía esta en el orden del  $\frac{1}{2}$  a 1 ó 2 minutos que es un buen tiempo en comparación con muchos minutos y horas que puede estar fuera el sistema. Las fallas originadas en el sistema no siempre suministra cambios significativos de las cantidades eléctricas del sistema que pueden ser usadas para distinguir las condiciones tolerables de las no tolerables por el sistema. Estos cambios cuantitativos, incluyen sobre - corriente, sobre o bajo voltaje, potencia, factor de potencia, dirección de la corriente, impedancia, frecuencia, temperatura, movimientos físicos y presión. También la acumulación de contaminación en el aislamiento es una fuente de falla muy común que es impredecible y que generalmente significa un incremento en la corriente, por lo que la protección de sobre - corriente es muy aplicada.

La protección es la ciencia, técnica o arte de aplicar y seleccionar relevadores y / o fusibles para proporcionar la máxima sensibilidad para la detección de las fallas o condiciones indeseables, y no obstante, evitar su operación en todas las condiciones permisibles o tolerables.

Es importante reconocer que la decisión del tiempo de respuesta en el sistema protegido es muy estrecha y cuando ocurre una falla, deberá verificarse la operación correcta de la coordinación de protecciones de los relevadores y los demás medios de protección en un Sistema Eléctrico de Potencia para comprobar su comportamiento o en su defecto corregir el ajuste tiempo - corriente.

Es vital que la decisión correcta sea hecha por el mecanismo de protección, sí la perturbación es intolerable y de esta manera demande una acción rápida, o si es una perturbación tolerable o situación transitoria que el sistema pueda absorber toman la decisión para que el dispositivo de protección opere si es necesario para aislar el área de perturbación rápidamente como sea posible y con un mínimo de disturbios en el sistema, este tiempo de perturbación es asociado a menudo de señales extrañas e la fuente, los cuales no deben "engañar" al dispositivo de protección que para que origine una incorrecta operación. Ambas, la operación por falla y la operación incorrecta pueden originar al sistema un problema mayor involucrando un aumento del daño al equipo, aumento en el riesgo para el personal, y una posible interrupción del servicio más larga. Estos requerimientos rigurosos hacen que los ingenieros de protección sean conservadores.

Por lo que un ingeniero de protección experimentado a menudo desea continuar usando equipos de protección que tengan un largo tiempo en el mercado y sea reconocido por su alto nivel confiabilidad.

Sin embargo pueden ocurrir problemas con el equipo de protección; ya que éste no es perfecto. Para minimizar los problemas potenciales y catastróficos que pueden resultar en el sistema de potencia en una falla en la protección, la práctica es el usar relevadores o sistemas de protección por relevadores operando en paralelo. Esto puede ser instalado en el mismo sitio, (protección primaria), en la misma estación (protección local), y / o en varias estaciones remotas (protección remota). Los tres sistemas de protección se pueden aplicar juntos en sistemas de muy alto voltaje este concepto es más rígido porque deben separarse las señales de corriente de la protección, ó sea que la medición sea separada y se logra por medio de arrollamientos independientes del T.C. Todos los dispositivos de protección deben coordinarse apropiadamente de tal forma que los relevadores primarios asignados para operar a la primera señal de disturbio en su zona de protección asignada operen primero. Si ellos fallarán, varios sistemas de respaldo deberán de ser capaces de conseguir la liberación del disturbio.

### **ESQUEMAS DE PROTECCIÓN CON RELEVADORES.**

Los diseños y presentaciones específicas varían mucho con los requerimientos de aplicación, las diferencias de construcción, y el tiempo de operación del diseño en particular. Originalmente, todos los relevadores de protección fueron del tipo electromagnético, y electromecánico que siguen estando en gran uso, pero los diseños de estado sólido están proliferando.

Los relevadores de estado sólido son usados en sistemas de protección de bajo voltaje donde el relevador y el circuito del interruptor automático son una unidad común. Aquí los relevadores electromecánicos fueron generalmente y relativamente inexactos, algunas veces insensibles, y difícilmente conservan las condiciones. Es en este caso donde los relevadores de estado sólido son hoy en día muy efectivos.

El estudio de la coordinación de protecciones es muy complejo y toda un área de estudio, por su complejidad en este trabajo no se va a profundizar más en este tema.



**Figura 26.** Imagen del relevador de protección para la parte de MT.



## Capítulo 4 Diseño de la red de tierras

### 4.1 Límites de corriente tolerable por el cuerpo humano

La conducción de altas corrientes a tierra en instalaciones eléctricas debidas a disturbios atmosféricos o a fallas del equipo, obliga a tener precauciones para que los gradientes eléctricos o las tensiones resultantes no ofrezcan peligro al personal que labora en el área. Intensidades del orden de miles de amperes producen gradientes de potencial elevados en la vecindad del punto de contacto a tierra, y si además se da la circunstancia de que algún ser vivo se apoye en dos puntos entre los cuales exista una diferencia de potencial debido al gradiente arriba indicado, puede sufrir una descarga que sobrepase el límite de su contractilidad muscular y provoque su caída. En tal situación la corriente que circula por el cuerpo aumenta, y si por desgracia esta pasa por algún órgano vital como el corazón, puede originar fibrilación ventricular y sobrevenir la muerte. Los efectos mas comunes de la corriente que circulan a través del cuerpo humano dependen de la magnitud, duración y frecuencia de esta.

En orden de magnitud son:

De 1 a 2 mA	Es el umbral de percepción (hormigueo)
De 2 a 9 mA	Contracción muscular involuntaria, pero se pueden soltar objetos
De 9 a 25 mA	Dolor. No se pueden liberar los objetos agarrados
De 25 a 60 mA	Se dificulta la respiración. Es el valor máximo que puede atravesar un corazón sano
De 60 a 100 mA	Produce fibrilación cardiaca y paro respiratorio.

Se pueden tolerar intensidades altas de corriente sin originar fibrilación, si la duración es muy corta y las frecuencias menores de 25 Hz o de corriente directa. La ecuación empírica que liga la intensidad de corriente tolerable y el tiempo que un organismo puede soportarla esta dada por la formula de Charles Dalziel

$$I_c^2 t = 0.0135$$

Despejando  $I_c$

$$I_c = \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$

## 4.2 Resistividad del terreno

La resistividad del terreno se obtiene a partir de la formula que calcula la resistencia de un cubo de tierra de volumen unitario, o sea, tiene un metro en cada uno de sus tres ejes, sabiendo que

$$R_T = \rho \frac{L}{A}$$

Y despejando  $\rho$  se tiene las dimensiones de esta

$$\rho = R_T \times \frac{A}{L} = \text{ohms} \times \frac{1m \times 1m}{1m}$$

Es decir sus unidades son

$$\rho = \text{ohms} \cdot m$$

Donde

$R_T$  Resistencia de la red de tierra en ohms

$\rho$  Resistividad del terreno

$A$  Área en  $m^2$  de la selección transversal

$L$  Longitud en m

Las mediciones de la resistividad deben incluir datos sobre temperatura y condiciones de humedad en el momento de efectuarlas, tipo de terreno, profundidad de la medición y tipo de sales disueltas en el suelo. La medición debe efectuarse en las peores condiciones posibles, es decir, en la época de secas haciendo mediciones en varios puntos de la subestación y hasta profundidades razonables que puedan permitir juzgar la homogeneidad y condiciones de humedad o nivel de aguas freáticas.

Tipo de terreno	Resistividad Ohms-m
Agua de mar	$10^0$
Tierra orgánica mojada	$10^1$
Tierra húmeda	$10^2$
Tierra seca	$10^3$
Concreto	$10^3$
Roca	$10^4$

La resistividad depende fuertemente del contenido de humedad, si esta es menor del 22% en peso, la resistividad crece bruscamente. En este caso se impone el uso de electrodos lo suficientemente largos para llegar a capas de mayor humedad e instalar los conductores de la red a mayores profundidades.

La grava o roca triturada colocada en la superficie ayuda tanto a evitar la evaporación del agua como a reducir la magnitud de los choques eléctricos, dada su alta resistividad.

La temperatura afecta a la resistividad del terreno. A menos de 0°C la resistividad crece bruscamente y a mayor temperatura decrece.

### ***4.3 Corrientes máximas de corto circuito a tierra***

Para determinar el valor correcto de la corriente de falla a tierra, que se utiliza en el cálculo de sistema de tierras, se necesita:

Determinar el tipo de falla posible a tierra que produzca el flujo máximo de corriente entre la malla del sistema de tierras y la tierra adyacente, que es el caso de la falla monofásica a tierra o bifásica y que produce, por tanto, gran elevación de potencial y mayores gradientes locales en el área de la subestación

Determinar por cómputo o por analizadores el valor efectivo máximo de la corriente asimétrica de falla a tierra "I" entre la malla de tierra y la tierra circundante en el instante de iniciarse la falla, esto se explica con el ejemplo del cálculo de la corriente de falla a tierra de esta subestación en el capítulo 3.

### 4.4 Dimensionamiento de la red de tierras

Para este tipo de subestación si es utilizada para emergencia se considera que será conectada al sistema de red de tierras existente en el sitio de instalación, aun así se propone un diseño que cumpla con los niveles de seguridad adecuados para el proyecto propuesto.

Longitud 28 m

Ancho 12 m

$I_{cc} = 30 \text{ KA}$

$\rho = 75 \Omega m$

$\rho_s = 2500 \Omega m$

$h = 0.5 \text{ m}$

$h_s = 4" = 0.102 \text{ m}$

$t = 0.5 \text{ s}$

$L_r = 3 \text{ m}$

$S_f = 0.6$

$D = 4 \text{ m}$

$K_f = 7.06$

$D_f = 1$

Se calcula el calibre del conductor a utilizar:

$$A_{kcmil} = IK_f \sqrt{t_c} = 30 [KA](7.06)\sqrt{0.5}$$

$$A_{kcmil} = 149 \text{ kcmil}$$

Este calibre seria entre 2/0 y 3/0 pero por norma el calibre mínimo que se puede utilizar es el 4/0 por lo tanto quedamos cubiertos

$$d = 0.0134 \text{ m}$$

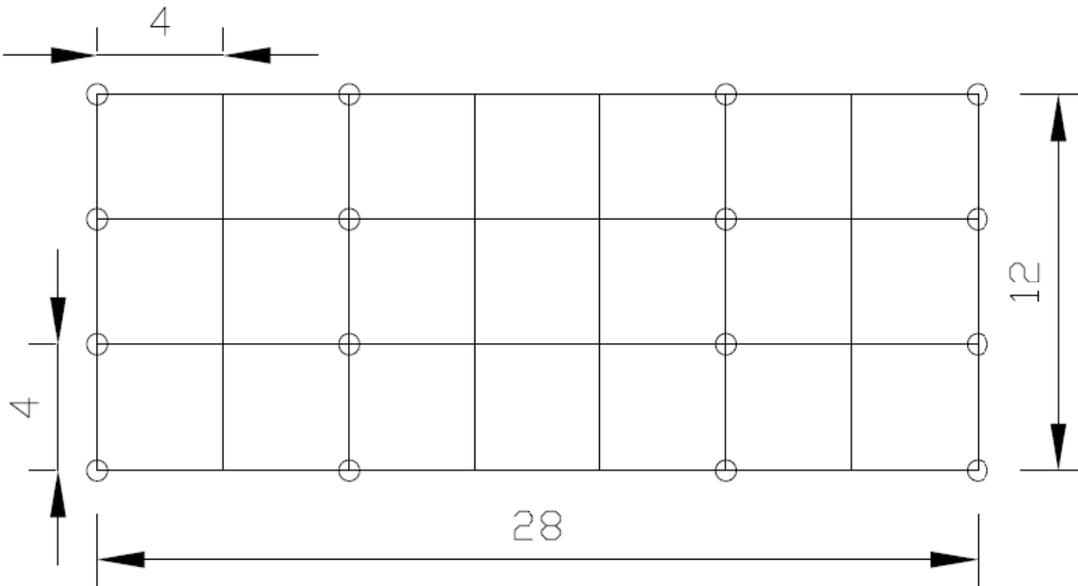
Ahora se calculo el potencial de paso y de contacto para una persona de 70 Kg

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2h_s + 0.09} = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{75}{2500}\right)}{2(0.102) + 0.09} = 0.71$$

$$E_{Paso\ 70} = \frac{(1000 + 6C_s\rho_s)0.157}{\sqrt{t_s}} = \frac{(1000 + 6(.71)2500)0.157}{\sqrt{0.5}} = 2,586.6 \text{ V}$$

$$E_{Contacto\ 70} = \frac{(1000 + 1.5C_s\rho_s)0.157}{\sqrt{t_s}} = \frac{(1000 + 1.5(.71)2500)0.157}{\sqrt{0.5}} = 813.2 \text{ V}$$

Como diseño inicial se propone una red de 28 x 12 m con una malla espaciada 4 m y 15 electrodos de 3 m cada uno distribuidos en la malla



**Figura 25.** Dimensiones de la red de tierras.

$$L_C = (28 \times 4) + (12 \times 8) = 208 \text{ m}$$

$$L_P = 28 + 28 + 12 + 12 = 80 \text{ m}$$

$$L_R = 16 \times 3 = 48 \text{ m}$$

$$L_T = 208 + 80 = 288 \text{ m}$$

$$A = 28 \times 12 = 336 \text{ m}^2$$

Ahora se calcula la resistencia de la red

$$R_g = \rho \left[ \frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20(A)}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] = 75 \left[ \frac{1}{288} + \frac{1}{\sqrt{20(336)}} \left( 1 + \frac{1}{1 + 0.5\sqrt{\frac{20}{336}}} \right) \right]$$

$$R_g = 1.99 \Omega$$

Se calcula el valor de la corriente que se va a utilizar para el dimensionamiento de la red

$$I_G = D_f S_f I_{cc} = 1(0.6)30000 = 18 \text{ KA}$$

Se calculan los factores para obtener la tensión de malla y el valor de n

$$n = n_a n_b n_c n_d$$

$$n_a = \frac{2L_c}{L_p} = \frac{2(208)}{80} = 5.2$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{A}}} = \sqrt{\frac{80}{4\sqrt{336}}} = 1.044$$

$$n_c = n_d = 1 \text{ para mallas rectangulares}$$

$$n = (5.2)(1.044)(1)(1) = 5.42$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left\{ \ln \left[ \frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D + 2h)^2}{8 \cdot D \cdot d} - \frac{h}{4 \cdot d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[ \frac{8}{\pi(2 \cdot n - 1)} \right] \right\}$$

En donde

$K_{ii} = 1$  para mallas con electrodos

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{0.5}{1}} = 1.225$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left\{ \ln \left[ \frac{4^2}{16(0.5)0.0134} + \frac{(4 + 2(0.5))^2}{8(4)0.0134} - \frac{0.5}{4(0.0134)} \right] + \frac{1}{1.225} \cdot \ln \left[ \frac{8}{\pi(2(5.42) - 1)} \right] \right\}$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \{ \ln[149.25 + 58.3 - 9.32] + 0.8163 \cdot \ln[0.2587] \}$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \{ \ln[198.3] - 1.103 \} = \frac{4.186}{2\pi} = 0.66$$

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot n = 0.644 + 0.148(5.42) = 0.95$$

Finalmente obtenemos  $E_m$

$$E_m = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_m \cdot K_i}{L_c + \left[ 1.55 + 1.22 \cdot \left( \frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] \cdot L_R}$$

$$E_m = \frac{75(18000)(0.66)(0.95)}{208 + \left[ 1.55 + 1.22 \cdot \left( \frac{3}{\sqrt{12^2 + 28^2}} \right) \right] \cdot 48}$$

$$E_m = \frac{846\,450}{208 + 80.17} = \frac{846\,450}{288.17} = 2937\,V$$

Como norma se toma el valor máximo de la tensión que puede soportar el cuerpo humano durante un tiempo de 1.2 segundos, que es de 150 V.

$$E_m \leq E_{Contacto}$$

$$2937 > 150$$

En este momento nuestra red es completamente insegura, una de las opciones para bajara este valor seria haciendo mas grande la red o enterrándola a mayor profundidad, pero este método es demasiado caro y tardado para implementar, por eso para este caso se opta por usar un método artificial para bajar la resistividad del terreno considerablemente, se propone la utilización de electrolito y compuesto GEM para bajar lo valores de resistividad considerablemente, con esto obtenemos:

$$E_m = \frac{(3.6)(18000)(0.66)(0.95)}{288 \cdot 17} = 140.99\,V$$

Por lo tanto

$$140.99\,V < 150\,V$$

Con lo que obtenemos una red de tierra segura para nuestra subestación.

## Capítulo 5 Protección y medición

### 5.1 Transformadores de Corriente (TC's).

La función de un transformador de corriente es la reducir a valores normales y no peligrosos, las características de corriente en un sistema eléctrico, con el fin de permitir el empleo de aparatos de medición normalizados, por consiguiente más económicos y que pueden manipularse sin peligro.

Un transformador de corriente es un transformador de medición, donde la corriente secundaria es, dentro de las condiciones normales de operación, prácticamente proporcional a la corriente primaria, y desfasada de ella un ángulo cercano a cero, para un sentido apropiado de conexiones.

El primario de dicho transformador está conectado en serie con el circuito que se desea controlar, en tanto que el secundario está conectado a los circuitos de corriente de uno o varios aparatos de medición, relevadores o aparatos análogos, conectados en serie.

Un transformador de corriente puede tener uno o varios devanados secundarios embobinados sobre uno o varios circuitos magnéticos separados.

Los TC's se pueden considerar en dos clases: medición y protección dependiendo la aplicación del transformador o inclusive hay algunos modelos que presentan el doble bobinado de los cuales uno se utiliza para medición y otro para protección.

Las clases de exactitud se designan de la siguiente forma:

Clase	Potencia en VA.	Tension secundaria en Volts.	Impedancia en Ohms.	Carga nominal de exactitud
C - 10	2.5	10	0.1	B0.1
C - 20	5.0	20	0.2	B0.2
C - 50	12.0	50	0.5	B0.5
C - 100	25.0	100	1.0	B1.0
C - 200	50.0	200	2.0	B2.0
C - 400	100.0	400	4.0	B4.0
C - 800	200.0	800	8.0	B8.0

La carga nominal de exactitud se esta referida a la siguiente tabla:

Cargas	Carga designada	VR	Inductancia en mH.	Impedancia en OHMS	Resistencia en OHMS	Factor de potencia
Medición.	80.1	2.5	0.116	0.1	0.09	0.9
"	80.2	5.0	0.232	0.2	0.18	0.9
"	80.5	12.5	0.580	0.5	0.45	0.9
"	81.0	25.0	1.040	0.9	0.81	0.9
"	82.0	50.0	2.080	1.8	1.62	0.9

Cargas	Carga designada	VR	Inductancia en mH.	Impedancia en Ohm's.	Resistencia en Ohm's.	Factor de potencia
Protección	81.0	25	2.3	1	0.5	0.5
"	82.0	50	4.6	2	1	0.5
"	84.0	100	9.2	4	2	0.5
"	88.0	200	18.4	8	4	0.5

Para los TC's se tienen las siguientes relaciones de transformación:

Doble relación con series paralelo primario	
25	50:5
50	100:5
100	200:5
200	400:5
400	800:5
600	1200:5
1000	2000:5
2000	4000:5

Relación Simple	
5:5	500:5
10:5	600:5
15:5	800:5
20:5	1000:5
25:5	1200:5
30:5	1500:5
40:5	1600:5
50:5	2000:5
75:5	2400:5
100:5	2500:5
150:5	3000:5
200:5	3200:5
250:5	3500:5
300:5	4000:5
400:5	5000:5

**Tipo de Transformador de Corriente.**

Existen tres tipos de TC según su construcción:

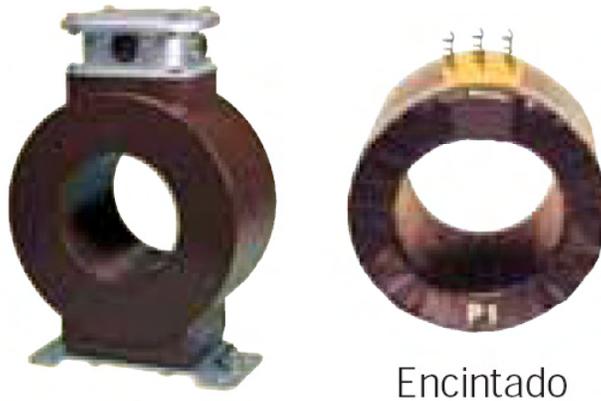
- a) Tipo devanado primario. Este como su nombre lo indica tiene mas de una vuelta en el primario. Los devanados primarios y secundarios están completamente aislados y ensamblados

permanentemente a un núcleo laminado. Esta construcción permite mayor precisión para bajas relaciones.

- b) Tipo Barra. Los devanados primarios y secundarios están completamente aislados y ensamblados permanentemente a un núcleo laminado. El devanado primario, consiste en un conductor tipo barra que pasa por la ventana de un núcleo.
- c) Tipo Boquilla (Ventana o Bushing). El devanado secundario está completamente aislados y ensamblado permanentemente a un núcleo laminado. El conductor primario pasa a través del núcleo y actúa como devanado primario.



**Figura 28.** Transformadores de corriente tipo barra y tipo boquilla para MT.



**Figura 29.** Transformadores de corriente tipo dona en resina epoxica y encintado para BT.

## 5.2 Transformadores de Potencial (TP's)

Este tipo de transformadores se usan generalmente en sistemas de MT, pues tienen como función el bajar el nivel de tensión de MT a niveles de 120 V establecido por norma, al hacer este cambio de tensión se puede conectar directo a un medidor o a algún relevador de protección sin la necesidad de tener que hacer muy robustos los aparatos y a la vez peligrosos para el personal que trabaje con ellos.



**Figura 30.** Transformadores de potencial para sistemas de MT.

### ***5.3 Interruptor A.T.***

Los relevadores de protección haciendo una comparación sobre el "cerebro" para censar disturbios, pero como mecanismo de baja energía no son capaces de interrumpir y aislar el área con problemas del sistema de potencia. Los interruptores de potencia en sus distintos tipos son el "músculo" que puede aislar la falla. De esta manera los relevadores de protección y los interruptores de potencia son los equipos necesarios para el rápido aislamiento de un área con problemas ó equipos dañados. Un relevador de protección sin un interruptor no tiene valor, excepto posiblemente para alarma. Así también, un interruptor sin relevadores tiene mínimo valor, éste podrá ser usado solamente para energizar o desenergizar manualmente el equipo o los circuitos.

Dentro de las tecnologías que podemos aplicar para la reducción de espacio de nuestra subestación así como para asegurar una mayor confiabilidad de operación en el lado de MT es la utilización del interruptor de potencia al vacío, este tipo de interruptores nos da ventajas como la disipación del arco eléctrico en un espacio mas reducido y seguro pues no hay forma de estar cerca de este al haber operación del mismo, también al utilizar este equipo se puede utilizar el tablero tipo metal-clad el cual nos da un rango de seguridad mucho mayor, este tipo de tablero esta diseñado para que en caso de que exista una falla trifásica que pueda provocar una explosión del equipo, este tablero tiene un diseño especial para dirigir la fuerza de la explosión de modo que no dañe al personal que pudiera estar trabajando en el área.



Figura 31. Tablero de MT ensamblado.

A continuación se muestran imágenes detalladas del interruptor en vacío.

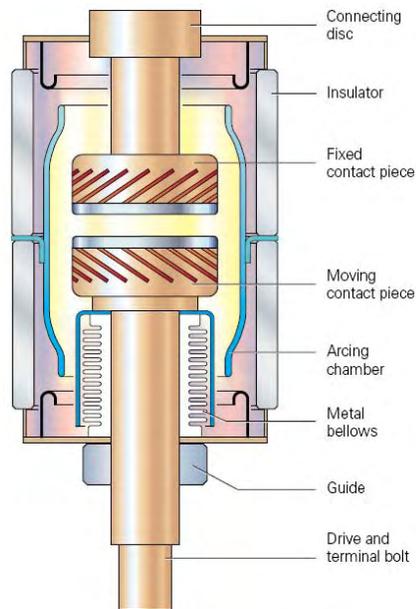
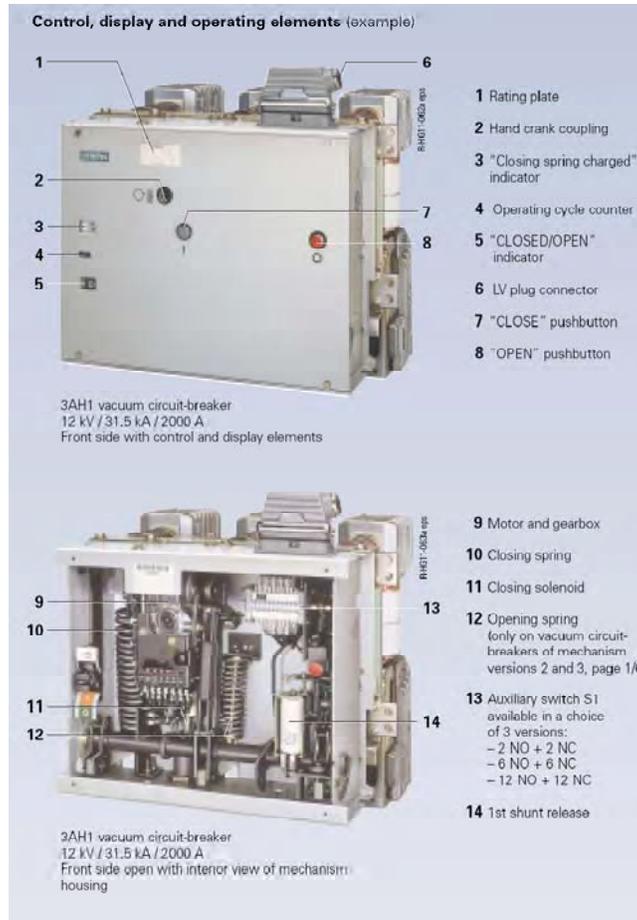
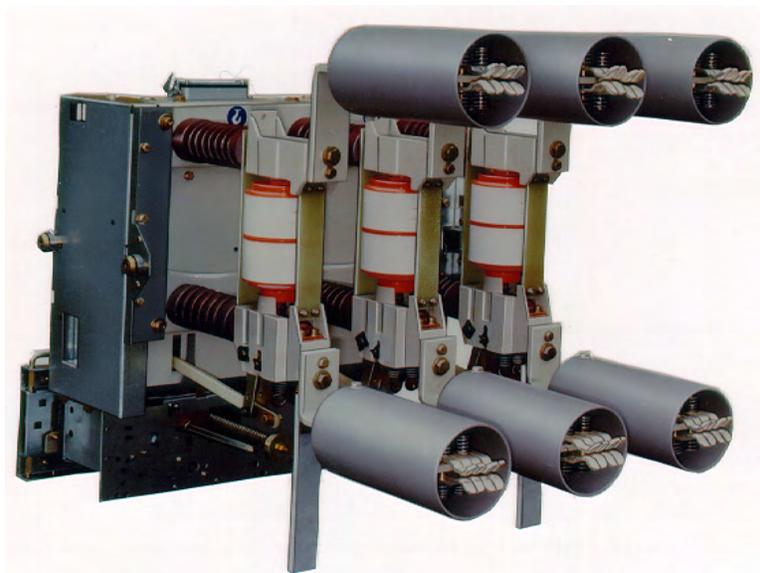


Figura 32. Tubos de vacío del interruptor MT



**Figura 33.** Imagen detallada del accionamiento mecánico.



**Figura 34.** Imagen de los tubos de vacío y los contactores del interruptor.

### 5.4 Interruptor B.T.

En circuitos de 600 volts o menos, el uso del interruptor en aire es general existiendo unidades hasta de más de 150,000 amperes de capacidad interruptiva. Esto se debe a que en aire los contactos tienen mayor vida que en aceite y siendo los voltajes bajos, resulta compacto y resistente el interruptor en aire, ya que las separaciones dieléctricas no son grandes



Figura 35. Imagen del interruptor BT



Figura 36. Foto de cómo se puede extraer el interruptor por medio de la silleta.

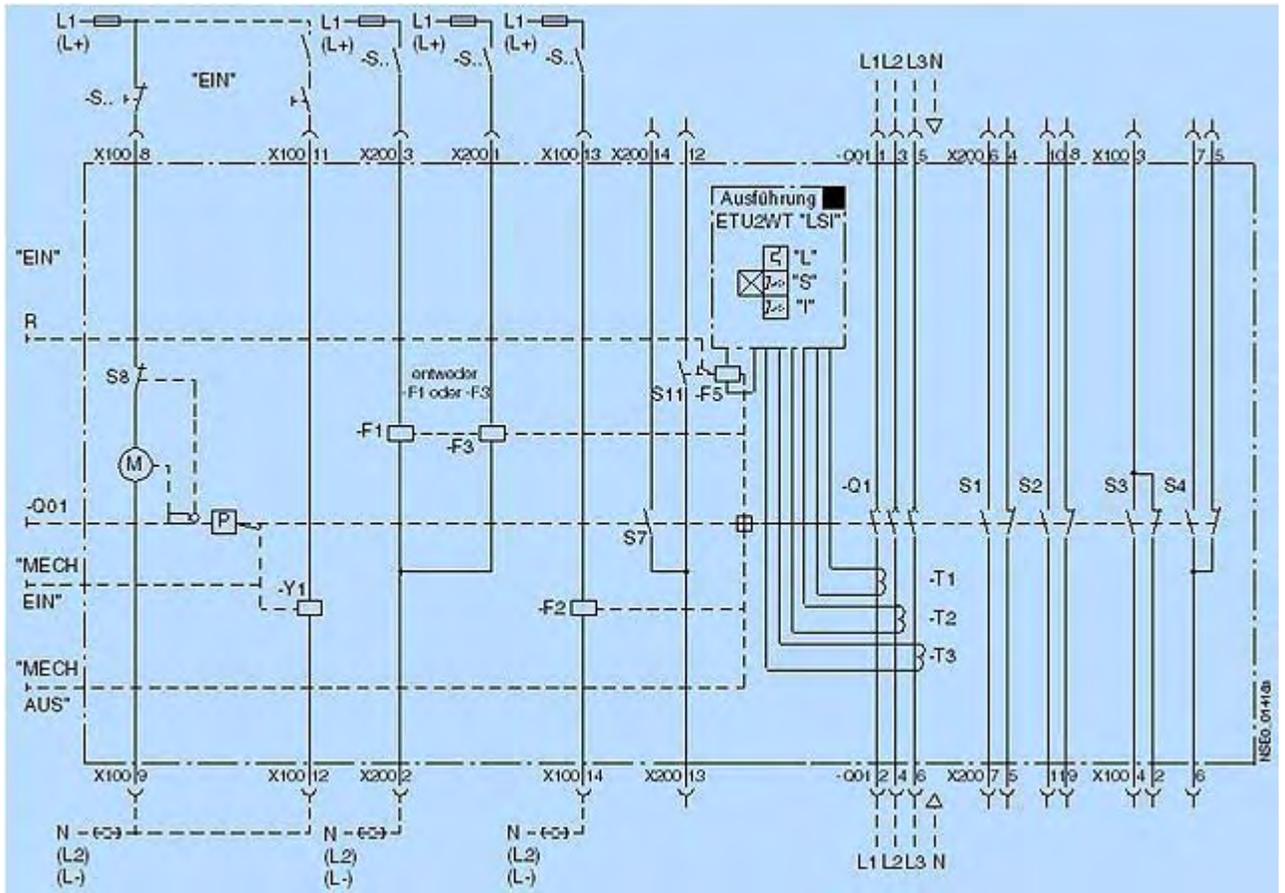


Figura 37. Diagrama eléctrico trifásico de la conexión del interruptor de BT.

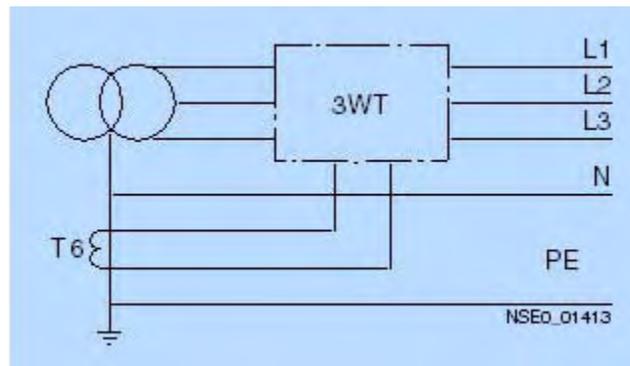


Figura 38. Diagrama trifilar simplificado del interruptor de BT.

### 5.5 Apartarrays

Los apartarrays son una pieza fundamental para la protección de nuestros equipos contra las descargas atmosféricas que pudieran afectar la línea, generalmente se empleas dos juegos trifásicos, los cuales van instalados antes y después del medio de seccionamiento de MT, por lo general el primer juego se instala en el poste después de las cuchillas seccionadoras, el otro juego se instala a la salida del medio de seccionamiento.

Los apartarrays deben de cumplir con las siguientes condiciones:

1. Deben comportarse como aislador cuando estén debajo de un nivel predeterminado.
2. Deben convertirse en un conductor al rebasarse ese nivel.
3. Conducir a tierra la corriente producida por la sobrecarga.
4. Debe de cortar la corriente de descarga a tierra una vez que desaparece la sobretensión.
5. No deben de operar con sobretensiones temporales a baja frecuencia.
6. La tensión residual debe de estar por debajo del nivel de tensión que resisten los aparatos a proteger.

Los apartarrays que se generalmente se comercializan están estandarizados de acuerdo a las normas vigentes y su selección se realiza a través de un catalogo con el valor de voltaje nominal de la línea de MT, como lo podemos ver en la siguiente tabla, la cual fue extraída de un catalogo de la marca Ohio Brass

PH4 Protective Characteristics



Ur (kV)	Uc (kV)	Max steep current impulse residual voltage at indicated current (1)	Max switching impulse residual voltage at indicated current		Max lightning impulse residual voltage at indicated current			
			0.5kA	2kA	5kA	10kA	20kA	40kA
		20kA	0.5kA	2kA	5kA	10kA	20kA	40kA
		kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV
24	19.2	67	45	48	53	56	61	68
30	24.0	84	57	61	66	70	76	85
33	26.4	92	62	67	72	77	84	93
36	28.8	101	68	73	79	84	91	102

Figura 39. Tabla de selección de apartarrays MT.

Este tipo de marcas tienes sus equipos estandarizados de acuerdo las normas y aceptados por los órganos reguladores, generalmente al seleccionar un apartarrays de esta forma se puede confiar en que se tiene el nivel de protección adecuado pero aun así es

recomendable hacer el cálculo para verificar que sea correcta nuestra selección.

El cálculo es muy sencillo y nos sirve para corroborar que estamos haciendo la selección correcta.

$$V_n = 0.8 V_{AB}$$

$$V_n = 0.8 \times 24 \text{ KV} = 19.2 \text{ KV}$$

$$V_n = \text{Voltaje nominal del apartarrayos}$$

$$V_{AB} = \text{Voltaje entre fases máximo del sistema}$$

De esta forma podemos comprobar de forma fácil que nuestra selección fue correcta.



**Figura 40.** Foto de un apartarrayos.

## Capítulo 6 dispositivos de seguridad

### 6.1 Acceso a la subestación

Existen muchas formas de restringir el acceso a una subestación, la mayoría se hace por medio de candados o cerraduras con tapa, este es un método muy económico y hasta cierto punto funcional, para el diseño de esta subestación podemos aprovechar el que contamos con un equipo de control mas sofisticado y dependiendo el nivel de seguridad que se quiera tener se pueden instalar sensores en las puertas de contenedor, que cuando entre una persona a la subestación tenga que pasar por el cuarto de control e identificarse en el sistema, en caso de que la persona que entro no se identifique se envíe una señal de aviso al cuarto de control central, otra función de estos sensores es para verificar que las puertas se encuentren cerradas, pues muchas veces se da el caso de que entran animales a las instalaciones debido a que sienten el calor que emanan los equipos y en algunos casos pueden causar fallas o inclusive morir electrocutados por morder los cables que encuentran.

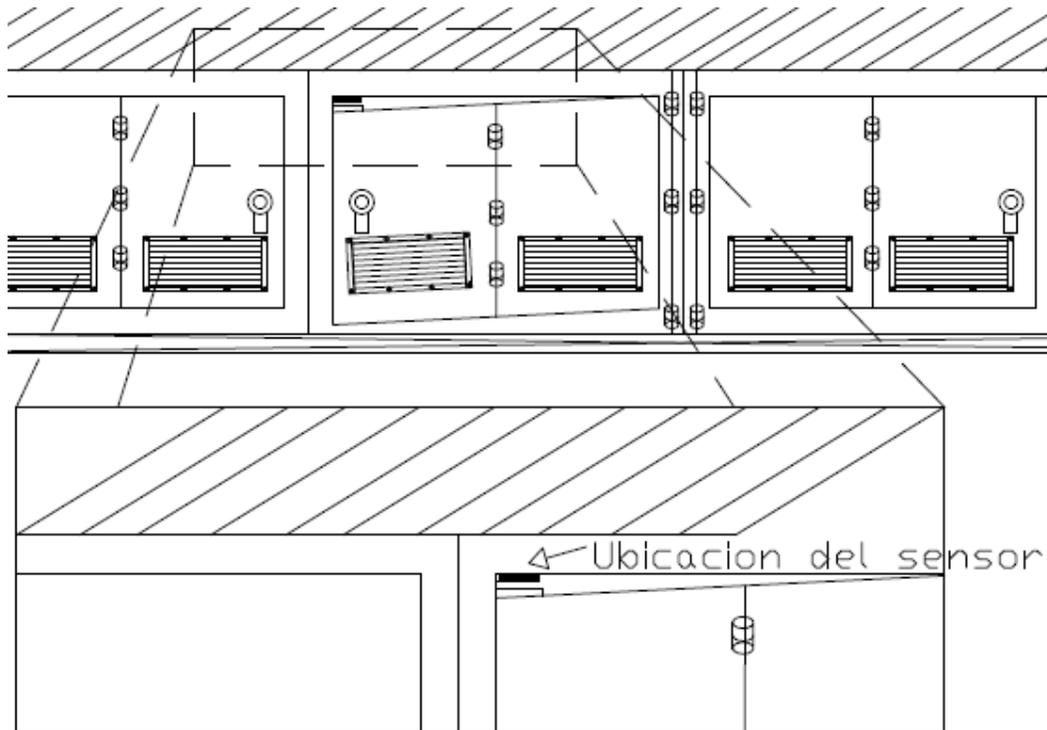
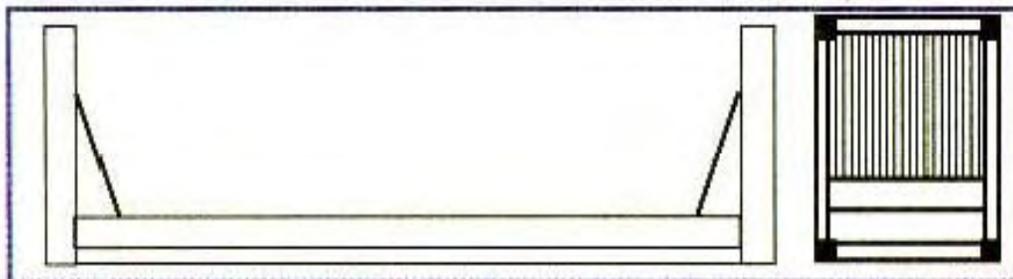


Figura 41. Proyección del sensor para las puertas.

## Capítulo 7 Condiciones de transporte

### 7.1 Tipo de contenedor

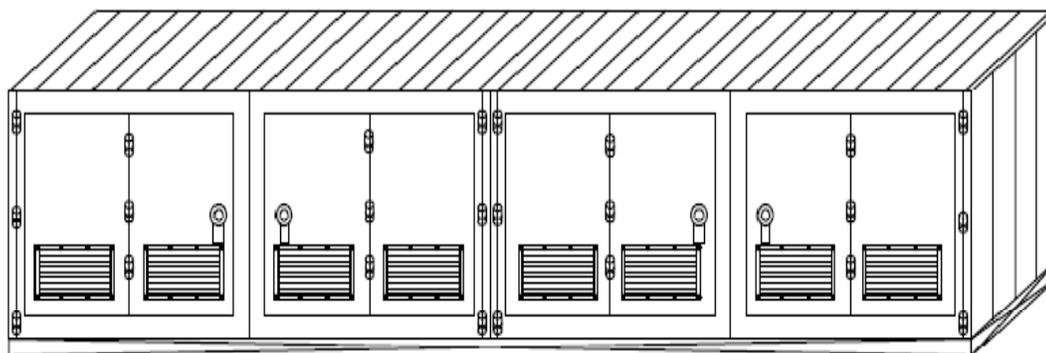
Para seguir con el cumplimiento del objetivo se tiene contemplado el uso de un contenedor tipo flat rack



**Figura 42.** Dibujo esquemático del contenedor.

Como se puede ver en la imagen mostrada el contenedor tiene solamente la base, los postes para soporte y orificios para su manejo y transportación, lo cual se adapta muy bien a nuestro diseño debido a que para cerrar el contenedor y tener una subestación cerrada, se colocaran puertas que permitan hacer maniobras de mantenimiento preventivo o correctivo de forma fácil, así como la sustitución de cualquiera de los equipos de forma fácil.

La distribución de las puertas se planea de la siguiente forma



**Figura 43.** Dibujo de las puertas del contenedor.

Como se puede ver en la imagen se planea utilizar 4 puertas de las cuales contando de izquierda a derecha las primeras 3 son para los equipos y en la cuarta puerta estaría ubicado el nodo para controlar la subestación de forma remota y el equipo de seguridad.

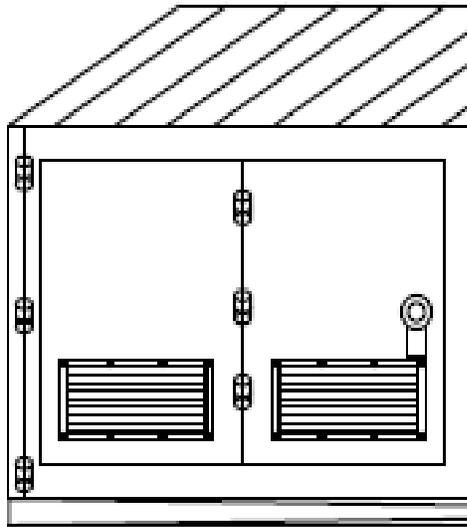


Figura 44. Detalle de la puerta.

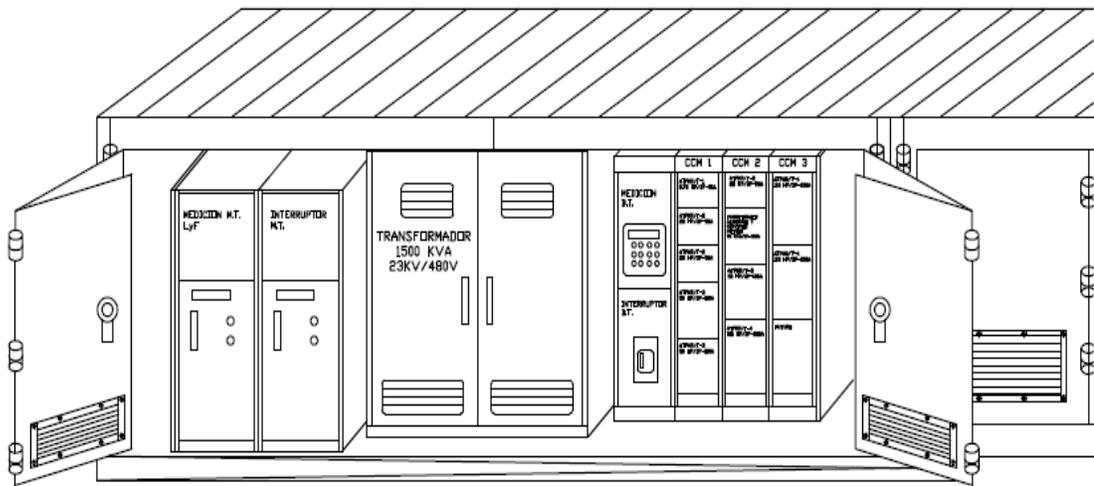
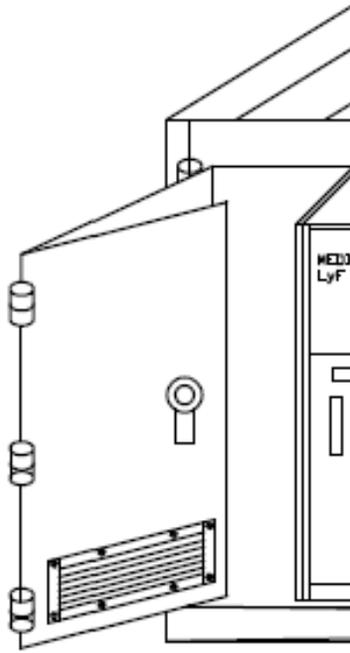


Figura 45. Detalle del contenedor con las puertas abiertas.

Es el dibujo anterior se puede ver mas a detalle como el tipo de puertas planeadas permite el acceso a los equipos de forma fácil lo cual nos permitiría hacer la sustitución de cualquiera de los equipo sin tener problemas de que estorbo algún objeto, el hecho de que las puertas se puedan abrir de esta forma nos permite que los trabajadores puedan alejarse muy rápidamente de la subestación en caso de alguna contingencia que requiera la rápida evacuación del personal que se encuentre en el área.



**Figura 46.** Detalle de las puertas abiertas.

## 7.2 Medidas totales del contenedor

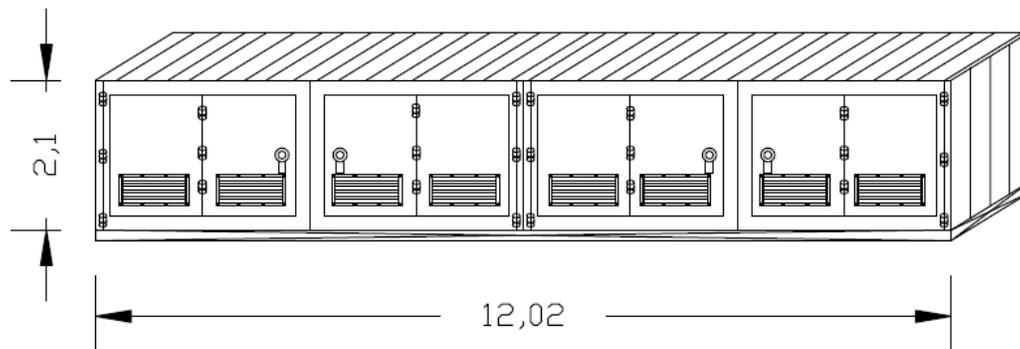
El contenedor debe tener en su exterior medidas estándar para poder ser transportada ya sea por vía terrestre o por vía marítima, el contenedor mencionado anteriormente cumple con estas características, pues el flat rack es utilizado comúnmente

Para poder obtener una distribución adecuada a nuestro diseño se seleccionó el flat rack de 40' las medidas de este contenedor son:

Alto: 2.103 [m]

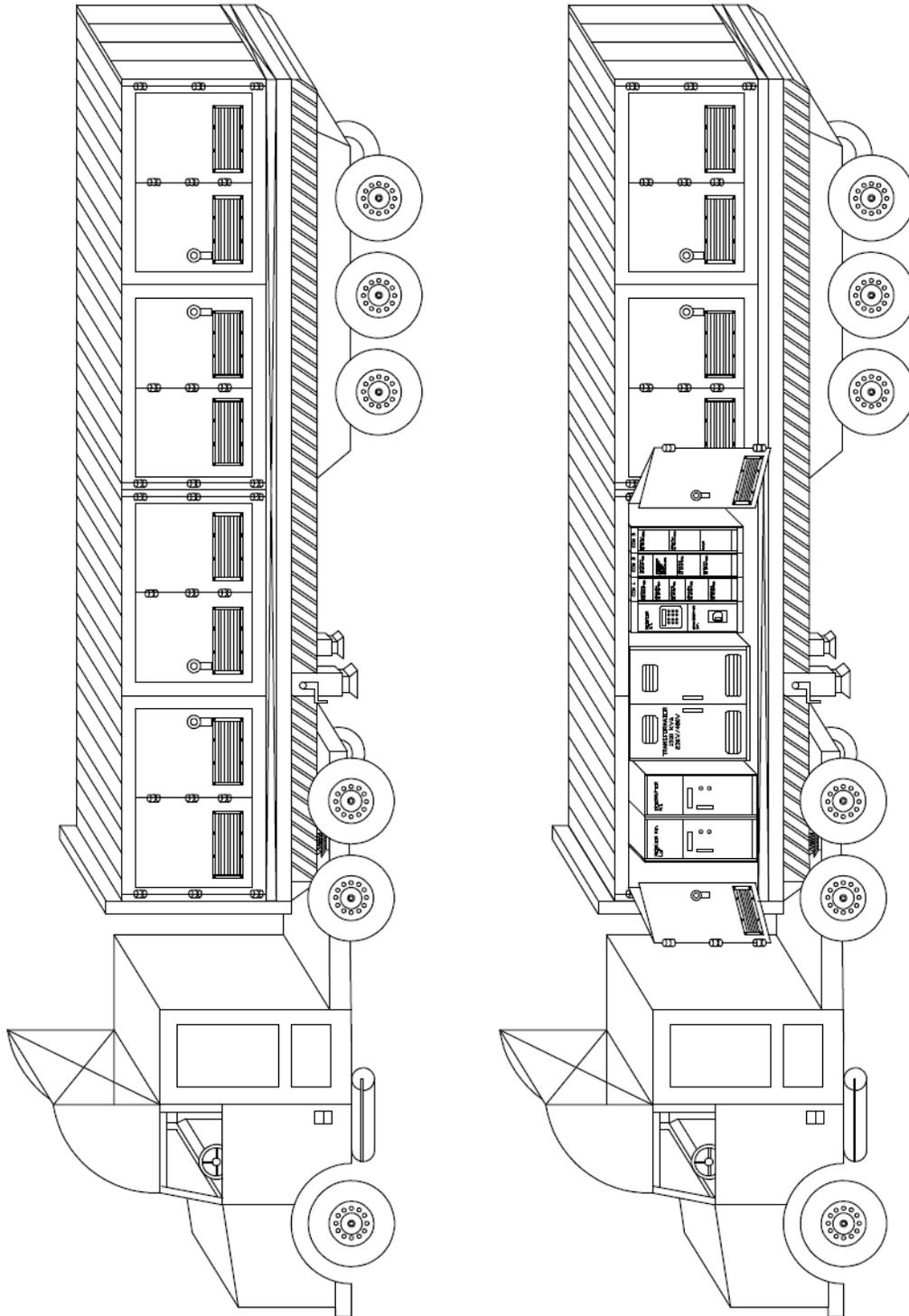
Ancho: 2.439 [m]

Largo: 12.02 [m]



**Figura 47.** Dibujo con las medidas del contenedor.

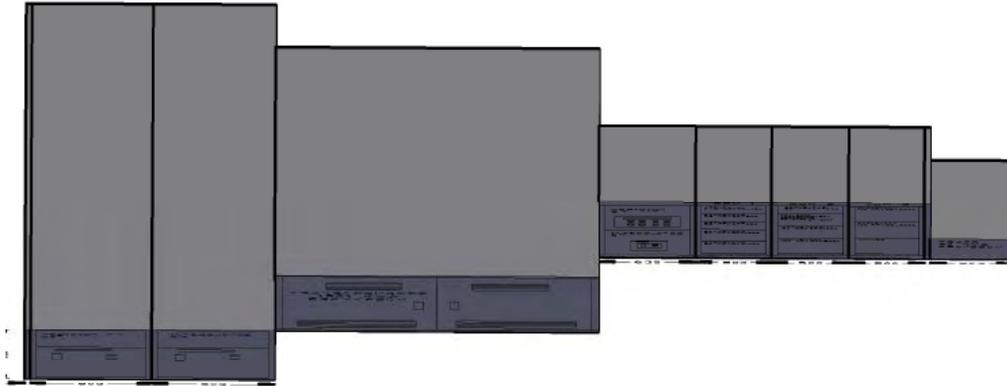
Por el tipo de contenedor utilizado prácticamente solo estamos limitados por el largo del mismo pues es la única pared fija que tenemos, a pesar de que prácticamente disponemos de espacio libre hacia arriba y a lo ancho, para el diseño específico de esta subestación se ajusta a las medidas de un contenedor estándar pues para cuestiones de transporte el hecho de estar sobre dimensionado hace que los costos de transporte se eleven de forma considerable, sobre todo si se requiere de transporte marítimo, aparte que las maniobras de carga y descarga son más complicadas.



**Figura 48.** Dibujo de la subestación montada en el transporte

### 7.3 Carga máxima

Este contenedor tiene un peso aproximado de 5,480 [Kg.] esto es el llamado peso de la tara y puede soportar una carga 39 [ton], para obtener una estabilidad mayor al momento del manejo y del transporte todo el equipo fue alineado tomando como referencia el eje central del contenedor.



**Figura 49.** Dibujo de la alineación de los equipos.

A continuación se da una lista de los pesos de cada tablero o equipo:

Tablero de MT Metal Clad **900 Kg**

Transformador de 1500 KVA **4500 Kg**

Tablero RCIIII con interruptor para BT **800 Kg**

Conjunto de los 3 CCM's **3000 Kg**

Equipo de Control **15 Kg**

Total de carga en el contenedor: **10.5 Ton** incluyendo la herrería de puertas y techo del contenedor, lo cual nos indica que estamos muy por debajo del peso máximo permitido para poder transportar nuestra subestación ya sea por barco o por tierra.

## *Capítulo 8 Costos*

### **8.1 Costo de componentes**

#### **TABLERO COMPLETO DE 23 TIPO 8BK20:**

##### **DESCRIPCION GENERAL**

Tablero blindado tipo Metal Clad para media tensión, formado por celdas tipo 8BK20 para servicio interior, construidos con partes de lámina de acero rolado en frío y estructura de perfiles laminados de acero que forman secciones verticales autosoportadas. Las partes que conforman las celdas son en su mayoría de lámina pintada mediante procesos de alta calidad que se aplica después de un tratamiento de limpieza, las partes no pintadas se fabrican de lámina galvanizada en caliente. Las celdas cuentan en la parte superior, con rejillas especiales de sobrepresión, que se encuentran calibradas para permitir la salida de gases y flamas, que se pueden producir en condiciones de corto circuito, brindándole seguridad al personal que circunda el tablero. Las celdas del tablero se encuentran divididas internamente con lámina de acero formando los siguientes compartimentos:

##### **Compartimento del Interruptor.**

Este compartimento se localiza al frente de la celda y se utiliza para alojar una unidad removible sobre la cual se monta un interruptor de Potencia en Vacío. La unidad removible se desliza sobre guías permitiendo que el interruptor cuente con tres posiciones Insertado-Prueba-Fuera. El frente del compartimento se cubre con una puerta con bisagras a través de la cual se puede insertar el mecanismo para operación manual del interruptor y para operación de la unidad removible lográndose las posiciones mencionadas sin necesidad de abrir esta puerta. Conforme a los requerimientos, en la unidad removible se pueden montar junto con el interruptor, dos transformadores de potencial en delta para circuitos de medición y/o protección.

##### **Compartimento de Barras Colectoras:**

En la parte posterior y superior se forma un compartimento que aloja las barras colectoras que conducen la energía del alimentador a los derivados. Las barras colectoras se montan sobre aisladores eléctricos que están diseñados para soportar los esfuerzos eléctricos y mecánicos de corto circuito. La parte posterior del compartimento se cubre con una placa desmontable, solo atornillada y que se utiliza para mantenimiento.

**Compartimento de Cables:**

El compartimento de cables se encuentra en la parte posterior e inferior de la celda y sirve para alojar los transformadores de corriente y las terminales de los cables de acometida. Conforme a requerimientos, en este compartimento se puede colocar una cuchilla de puesta a tierra.

**Compartimento de Baja Tensión:**

Al frente de la celda y sobre el compartimento del interruptor se localiza este espacio dedicado al montaje de los equipos de protección, medición y control.

**DATOS TECNICOS**

**CARACTERISTICAS NOMINALES DEL INTERRUPOR**

Tensión:	23 KV
Corriente:	2000 A
Capacidad Interruptiva Simétrica (1 seg.):	40 KA
Nivel Básico de Impulso:	95 KV BIL
Fases/hilos:	3/3
Frecuencia:	60 Hz.

Los valores nominales están referidos conforme a normas a 1000 m.s.n.m. y a 30 °C.

**CARACTERISTICAS PARTICULARES**

Tensión de Operación:	23 KV
Corriente de Operación:	2000 A
Clase de Protección:	IP50
Altura de operación:	2000 m.s.n.m.
Temperatura Ambiente:	40°C
Tipo de Ambiente:	Polvo
Aislamiento de Barras Colectoras:	INCLUIDO
Aislamiento de Barras Derivadas:	INCLUIDO
Uniones de Barras Colectoras y Derivadas:	PLATEADAS

**CARACTERISTICAS GENERALES**

Normas de fabricación:	IEC, VDE y ANSI
Barras Colectoras:	Cobre
Densidad de Corriente:	800 A/pulg <sup>2</sup>
Barra de Tierra:	Cobre desnudo
Aisladores:	Resina Epóxica
Tensión de Control:	125 V CD (suministro externo)
Tensión de Fuerza:	220 V CA (suministro externo)
Cable circuitos de control y fza:	14 AWG
Cable circuitos de medición:	14 AWG Tensión/12 AWG Corriente
Entrada/salida de cables:	Inferior
Proceso de pintura:	Adherencia Electroestática
Calibre de la Lámina:	12 USG en general, 10 USG piezas de soporte, 14 USG tapas y cubiertas

**TABLERO PRINCIPAL 23 KV, 2000 A, 60 HZ**

**Contenido:**

- 1 Interruptor de potencia en vacío tipo 3AH3, removible, 3 polos, tiro sencillo, operación eléctrica por medio de energía almacenada, con bobinas de cierre/disparo a 127 VAC, corriente nominal 2000 A, tensión de operación 24 KV, frecuencia 60 Hz, 40 KA de capacidad interruptiva.
- 3 Interruptores termomagnéticos, 2 polos, 4 y 6 A, para protección del circuito de control del interruptor, protección del motor y protección del circuito de calefacción, tipo FAZ.
- 1 Interruptor termomagnético, 3 polos, para protección de los transformadores de potencial lado secundario, tipo FAZ,
- 3 Transformadores de corriente tipo barra, X:5/5 A, con 1 núcleo, para protección y un núcleo para medición, nivel de aislamiento 24 KV
- 3 Transformadores de potencial relación 15000V/1.73:120V/1.73, ejecución removible, clase de aislamiento 24 kV, conectados en estrella, 60 Hz, con fusibles de MT para protección del devanado primario.
- 3 Lámparas indicadoras tipo LED de 7 elementos, color Roja, Verde y Amarilla con leyenda "Cerrar", "Abrir", "Falla", tipo PSD.
- 3 Apartarrayos capacidad adecuada.
- 1 Relevador electrónico trifásico para protección con puerto de comunicación para conexión a sistema superior de control y supervisión.
- 1 Conmutador de 3 posiciones "Cierre-0-Disparo" para servicio pesado y con manija tipo pistola.
- 3 Contactores auxiliares 120 Volts, 60 Hz.
- 1 Resistencia calefactora con guarda, 150 W, 220 VCA, 60 Hz.
- 1 Termostato con ajuste 10-40 °C.
- 1 Juego de zapatas tipo compresión para cable calibre xx KCM (4XFase).
- 1 Lote de clemas terminales debidamente marcadas.
- 1 Lote de zapatas mecánicas para cable de cobre para tierras calibre 4/0 AWG.
- 1 Juego de cuchillas de puesta a tierra operación en grupo adecuadas a la capacidad del tablero.

**El costo por este tablero de MT es:**

**\$ 427,000.00 MXN**

**TRANSFORMADOR 1500 KVA 23/0.480 KV**

No. de Fases 3
Potencia ( AN / AF ) kVA 1500
Carga % 100
Tensiones en vacío kV 24/ 0.480
Regulaciones % $\pm 2 \times 2.5$ -
Clase de aislamiento kV 24
Nivel básico de impulso kV 95
Material devanados - Cobre Cobre
Tipo de aislamiento - Encapsulado Impregnado
Clase de aislamiento - F F
Perdidas en vacío kW 3.3
Perdidas en carga @75°C kW 10.2
Impedancia % 6
Grupo de conexión - Dyn5
Frecuencia Hz 60
Descargas parciales pC < 20
Refrigeración - AN
Instalación - Interior
Altura de instalación m < 2300
Temperatura ambiente °C 40
Protección IP 21
Peso kg 4500
Color gabinete RAL 7030
Espesor promedio pintura micron 40
Eficiencia @plena carga, PF=1 % t.b.a.

**El costo por el transformador es de:**

**\$ 855,000.00 MXN**

**Tablero de distribución de BT, tipo RCIII**

**CELDA TIPO RCIII PARA INTERRUPTOR DE BT**

El tablero de distribución de baja tensión tipo RCIII, es usado en sistemas de distribución de energía eléctrica, para el control y protección de circuitos y equipos. El tablero está diseñado para alojar interruptores de potencia electromagnéticos removibles en baja tensión. Cada sección vertical puede alojar hasta cuatro interruptores independientemente compartimentados. Los compartimentos son dimensionados para proveer alturas uniformes en todos los ensambles.

**Sección de Distribución.**

El tablero RC está diseñado para alojar en su interior unidades removibles con interruptores electromagnéticos de potencia de baja tensión del tipo RL. Estas unidades son montadas individualmente en su propio cubículo.

**Seguridad**

El interruptor RL puede ser movido de la posición "servicio" a través de la posición de "prueba" a la de "fuera" sin abrir la puerta. O de forma remota a través del sistema de comunicación.

**DATOS TECNICOS**

**CARACTERISTICAS NOMINALES**

Tensión:	480 V
Corriente:	2000 A
Capacidad Interruptiva Simétrica (1 seg.):	31.5 KA
Rigidez Dieléctrica:	2000 V
Fases/hilos:	3/3
Frecuencia:	60 Hz.

Los valores nominales están referidos conforme a normas a 1000 m.s.n.m. y a 30 °C.

**CARACTERISTICAS GENERALES**

Normas de fabricación:	NOM, ANSI
Barras Colectoras:	Cobre plateado
Densidad de Corriente:	1000 A/pulg <sup>2</sup>
Barra de Tierra:	Cobre desnudo
Aisladores:	Resina Epoxica
Tensión de Control:	125 V CA
Cable circuitos de control y fza:	14 AWG
Cable circuitos de medición:	14 AWG Tensión/12 AWG Corriente
Entrada/salida de cables:	Inferior
Ventana para Termografia	Incluida
Calibre de la Lámina:	12 USG marcos, 14 USG tapas y cubiertas

**VOLUMEN DE SUMINISTRO**

**CANT: 1 CELDA 2000 A**

- 1 Interruptor electromagnético montaje removible, 3 polos, 2000 A., de operación eléctrica por medio de energía almacenada con sensores hasta 2500 A., con módulo de disparo LSIG., con una capacidad de 31.5 KA., en 480 VCA. 60HZ.
- 3 Transformadores de corriente.
- 2 Transformadores de Potencial
- 1 Medidor Multifuncional PQM con medicion de A,V,Hz ,KW,KVA,KWH.
- 1 Resistencia Calefactora
- 1 Termostato
- 1 Placa leyenda Lamicoid Fondo Negro Letras Blancas

**El costo por este tablero es:**

**\$ 128,000.00 MXN**

**CENTROS DE CONTROL DE MOTORES DE BAJA TENSION EN 480 V**

**DATOS TECNICOS**

**CARACTERISTICAS NOMINALES**

Tensión:	600 V
Corriente bus Principal:	2000 A
Corriente bus Derivado	400 A
Capacidad Interruptiva Simétrica (1 seg.):	31.5 KA
Rigidez Dieléctrica:	2000 V
Fases/hilos:	3/3
Frecuencia:	60 Hz.

Los valores nominales están referidos conforme a normas a 1000 m.s.n.m. y a 30 °C.

**CARACTERISTICAS GENERALES**

Normas de fabricación:	NOM, NEMA
Barras Colectoras:	Cobre
Densidad de Corriente:	1000 A/pulg <sup>2</sup>
Barra de Tierra:	Cobre desnudo
Tensión de Fuerza:	480 VCA
Cableado	Clase I, Tipo B, con bus de comunicación.
Cable circuitos de control y fza:	14 AWG
Cable circuitos de medición:	14 AWG Tensión/12 AWG Corriente
Entrada/salida de cables:	Inferior
Proceso de pintura:	Adherencia Electroestática
Calibre de la Lámina:	12 USG marcos, 14 USG tapas y cubiertas

**3 Celdas conteniendo el siguiente equipo:**

**Arrancadores a tensión plena no reversible**

- 1 Combinaciones de interruptor termomagnético - contactor magnético montaje removible para tensión plena, no reversible, para motor de inducción jaula de ardilla de 0.75 HP. Tamaño NEMA-1. 3 P. 480 V. 60 HZ.
- 3 Combinación de interruptor termomagnético - contactor magnético montaje removible para tensión plena, no reversible, para motor de inducción jaula de ardilla de 25 HP. Tamaño NEMA-2. 3 P. 480 V. 60 HZ.
- 3 Combinación de interruptor termomagnético - contactor magnético montaje removible para tensión plena, no reversible, para motor de inducción jaula de ardilla de 50 HP. Tamaño NEMA-3. 3 P. 480 V. 60 HZ.
- 1 Combinaciones de interruptor termomagnético - contactor magnético montaje removible para tensión plena, no reversible, para motor de inducción jaula de ardilla de 100 HP. Tamaño NEMA-4. 3 P. 460 V. 60 HZ.

**Arrancador a tensión plena reversible con variador de frecuencia**

- 2 Combinaciones de interruptor termomagnético - variador de frecuencia montaje removible para tensión plena, reversible, para motor de inducción jaula de ardilla de 125 HP. Tamaño NEMA-1. 3 P. 460 V. 60 HZ.

**Interruptor de distribución con protecciones en Estado Sólido.**

- 1 Interruptor termomagnético en silleta removible para alimentador, con capacidad interruptiva de 300 A. Tamaño NEMA-4. 3 P. 480 V. 60 HZ. Con sistema de operación remota

**Equipo eléctrico considerado en cada combinación de Interruptor-Arrancador a tensión plena no reversible**

- 1 Interruptor termomagnético de tamaño y capacidad adecuada, 3 P. 480 V. 60 HZ.
- 1 Contactor magnético con contactos 2NA + 2NC., de tamaño y capacidad adecuada, 3 P. 480 V. 60 HZ.

- 1 Relevador de sobrecarga de estado sólido para protección y mando con ajuste al tamaño y capacidad adecuada, tipo E3 Plus. 3 P. 480 VCA. 60 HZ.
- 1 Contactor Auxiliar con bloque de contactos
- 1 Lámpara con capuchón transparente con Led's de 7 elementos de color rojo 120 VCA. con placa leyenda "Falla".
- 1 Botón de color rojo, con elementos de contacto 1NA + 1NC. 10 A.

**Equipo eléctrico considerado en cada combinación de interruptor variador de velocidad para tensión plena reversible.**

- 1 Interruptor termomagnético de tamaño y capacidad adecuada, 3 P. 480 V. 60 HZ.
- 2 Contactores magnético con contactos 2 NA + 2 NC., de tamaño y capacidad adecuada, 3 P. 480 V. 60 HZ.
- 1 Variador de Velocidad de tamaño y capacidad adecuada, tipo MICROMASTER 440. 3 P 480 V. 60 HZ.
- 1 Contactor Auxiliar con bloque de contactos
- 1 Reactancia de entrada para VDF. 3 P. 480 V. 60 HZ.
- 3 Fusibles de capacidad adecuada al arrancador electrónico tipo 3NA.
- 3 Bases portafusibles de 1 polo, tipo 3NH.

**Equipo eléctrico considerado en cada silleta de interruptor de distribución.**

- 1 Interruptor termomagnético de tamaño y capacidad adecuada, 3 P. 460 V. 60 HZ. Con comunicación para apertura y cierre remoto

**El costo por el paquete de los CCM's es de:**

**\$ 534,000.00 MXN**

El costo por todo el equipo tanto eléctrico como de control que ira montado en el contenedor es de:

**\$ 1,944,000.00 MXN**

El costo de la subestación completa dentro del contenedor es de:

**\$ 2,905,000.00 MXN**

## 8.2 Costo de mano de obra

### 8.2.1 Instalación y puesta en marcha

Para los trabajos de instalación de la subestación se consideran los siguientes puntos:

- Instalación de la red de tierras

En esta etapa se realizan los trabajos del tendido de cable de tierra siguiendo los parámetros del diseño de la mencionada red, en este punto se pueden empezar a hacer las trincheras para la entrada y salida de cable.

- Preparación de las trincheras y base para la subestación

En esta etapa se hace el recubrimiento con concreto para las trincheras y se hace la base en la que estará la subestación.

- Conexión de los cables de fuerza

En este punto se puede considerar tanto el tendido como la conexión a los tableros de todo el cableado de fuerza que requiera estar conectado a la subestación.

- Pruebas FAT (Field Acceptance Test) y puesta en marcha

Las pruebas FAT son las pruebas que se realizan a los equipos para asegurar su buen funcionamiento antes de energizarlo y evitar algún accidente, la puesta en marcha es básicamente la parametrización y prueba de los dispositivos de protección así como el energizar el tablero y verificar su correcto funcionamiento.

Para las celdas de media tensión con interruptor en vacío podemos dividir las pruebas en tres grupos principales; inspección, ajustes y pruebas, comúnmente dentro de este grupo se realizan las siguientes pruebas o ajustes:

#### **INSPECCION**

Pintura

Nivelación:

Cableado de Control:

Cableado de Fuerza:

Aisladores:

Aterrizamiento

#### **AJUSTES**

Par de Apriete en Conexiones de Control:

Ajuste Mecánico de Carros:

Entrada y Salida de Carro:

Contacto de Brazo vs. Bus:  
Ajuste Contactores en Vacío según Altitud:  
Ajuste Mecánico de Seccionadores:

**PRUEBAS**

Pruebas Mecánicas y Eléctricas (Int., Cont., Secc.):  
Prueba de Inyección de Corriente al Equipo de Protección  
Bloqueos Mecánicos ( Interruptores, Contactores,  
Seccionadores):  
Pruebas de Bloqueos Eléctricos entre Celdas:  
Pruebas de Señalización:  
Pruebas de Relación de Transformación en TP's y TC's:  
Pruebas de Relación de Transformación en Eq. de Medición:  
Pruebas de Circuitos de Corriente y Potencial:  
Resistencia de aislamiento  
Conexiones (megger)

Este tipo de trabajos es básicamente lo mismo que para una subestación ordinaria, aproximadamente por la realización de estos trabajos con una empresa reconocida en el medio es de:

**\$428,000.00 MXN**

## *Capítulo 9 Conclusiones*

Después de haber hecho el desarrollo de este trabajo puedo concluir que la utilización de las tecnologías más recientes nos puede ayudar en muchos aspectos a hacer las cosas más fáciles y seguras, en el caso de esta subestación la tecnología nos permite entre otras cosas la reducción del espacio necesario para instalar los equipos, ya que si comparamos una subestación compacta con seccionador tripolar de cuchillas ocupa un poco menos de la mitad de espacio del contenedor y su nivel de seguridad es mucho menor que el de un tablero con interruptor de potencia al vacío.

También puedo concluir que la realización de la subestación propuesta es factible tanto técnica como económicamente, debido a que una gran parte de la industria ya está utilizando como equipo normal muchos de los equipos propuestos, tales como los interruptores en vacío y los sistemas de control y protección, de los equipos propuestos el único que aún no es muy utilizado debido al costo inicial es el transformador en resina epóxica aunque a largo plazo es más económico que un transformador en aceite, lo único que se podría considerar como costo extra al de la construcción de una subestación en un cuarto eléctrico convencional es el contenedor.

La utilización de la subestación propuesta nos puede dar múltiples beneficios como lo es el disminuir el tiempo que normalmente se utiliza en montar cada uno de los equipos en campo, debido a que generalmente los tableros de MT de este tipo se envía por celdas y a veces los CCM's se envían en secciones de dos tableros, y en esta subestación solo hay que hacer las conexiones del cableado.

También nos puede ser útil en el caso de que se haya tenido algún problema en la subestación y esta este fuera de servicio por reparaciones mayores, se puede utilizar la subestación propuesta para que la planta pueda seguir funcionando y que no se ocasionen pérdidas.

Los tableros propuestos es solo una de las múltiples combinaciones que se pueden instalar, ya que se podrían tener únicamente tableros de MT o inclusive unir dos contenedores para tener una subestación más grande.

## *Capítulo 10 Bibliografía*

Diseño de Subestaciones Eléctricas

José Raúl Martín

Facultad de Ingeniería

IEEE Guide for Safety in AC Grounding

IEEE Std 80-2000

Fundamentos de protección de sistemas eléctricos por  
relevadores

Gilberto Enrique Harper

Limusa Noriega Editores

Maquinas Eléctricas y Transformadores

Irving L. Kosow

Pearson Prentice Hall

Redes Eléctricas

Leopoldo Silva Bijit

Pearson Prentice Hall

LAPP Insulators

LAPP Insulator Co., Inc

Electric Power Stations

T. H. Carr

Análisis de Corto Circuito en sistemas Eléctricos  
Industriales

Ing. Rodolfo Lorenzo Bautista

Manual Eléctrico

Conelec

HV/LV Distribution Transformers Catalog

Schneider Electric

Memoria Técnica Transformadores

Voltran

3AH Vacuum Circuit-Breakers

Siemens

Catalogo Baja Tensión

Siemens

Low Voltage Control and Distribution

Siemens

Sentron WL  
Siemens

8PX200 Motor Control Center  
Siemens

Surge Arresters  
Ohio Brass

Transformadores de Corriente y Potencial para  
Instrumentos  
Equipos Eléctricos Core

NOM-001-SEDE-2005

Apuntes Subestaciones Eléctricas  
Alfredo López Tagle  
2006

<http://www.syse.com.mx/cordinacionprotecciones.shtm>

<http://www.ieiisa.com/Estudios.htm>

<http://www.siemesn.com>

<http://www.schneider-electric.com.mx/>

<http://www.abb.com/Product/seitp321/c71a051c4e5715afc12570070034c3d9.aspx?productLanguage=es&country=MX>