



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ**

**INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**REPORTE DE RESIDENCIA**

**OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE 7 MVA**

**ASESOR  
JORGE DIAZ HERNANDEZ**

**ALUMNO  
LUIS GILBERTO LÓPEZ PÁEZ**

**TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS, 14 DE SEPTIEMBRE DE 2015**

## Índice

<b>1.</b>	<b>Introducción</b> .....	1
<b>1.1</b>	<b>Antecedentes</b> .....	1
<b>1.2</b>	<b>Estado del Arte</b> .....	2
<b>1.3</b>	<b>Justificación</b> .....	2
<b>1.4</b>	<b>Objetivos</b> .....	2
<b>1.5</b>	<b>Metodología</b> .....	3
	Diagramas a Bolques.....	3
<b>2.</b>	<b>Fundamento Teórico</b> .....	4
<b>2.1</b>	<b>Equipos en Subestación Eléctrica 7 MVA</b> .....	4
	Transformadores .....	4
	Tablero de Distribución en Media Tensión Metálico Blindado .....	5
	Tablero Autosoportado de Distribución 1 .....	6
	Tablero Autosoportado de Distribución 2 y 3.....	7
<b>2.2</b>	<b>Procedimientos de operación de interruptores</b> .....	9
	Instrucción para la libranza, puesta a tierra y puesta en marcha en interruptores de media tensión “sm6”.....	9
<b>2.3</b>	<b>Pruebas a equipos de la subestación Eléctrica</b> .....	15
	Calculo de corto circuito para los buses principales.....	15
<b>2.4</b>	<b>Análisis de Riesgos en Actividades de Subestación Eléctrica</b> .....	21
	Anexo A.....	26
	Diagrama Unifilar.....	26

# 1. Introducción

## 1.1 Antecedentes

La compañía Nestlé fabrica Coatepec es una empresa dedicada a la elaboración de leches en polvo y leche condensada azucarada con más de 400 empleados. Con más de 50 años ha sido una de las fabricas Nestlé más competitivas de México a nivel mundial. La compañía Nestlé tiene como objetivo mantenerse como el líder en salud, nutrición y bienestar el mercado de alimentos.

La razón de este proyecto deriva de la construcción de una subestación eléctrica de 7 MVA en la Compañía Nestlé Fabrica Coatepec. Esto fue una modernización de la subestación eléctrica antigua la cual consta de cuatro transformadores tres de aceite y uno seco alimentados a 13,800 volts todos ellos con una capacidad de 1500 KVA reduciendo el voltaje a tableros de distribución de 440 volts, muchos de los equipos llevan más años de lo sugerido en operación.

La nueva subestación eléctrica la cual fue reubicada en un nuevo cuarto eléctrico consta de cuatro transformadores secos dos de ellos con capacidades de 1500 KVA, uno de 2000 KVA y el transformador seco que la empresa ya tenía modifico su configuración para pasarse de 1500 KVA a 2100 KVA.

Esto es el inicio de muchos proyectos a futuros de modernización del sistema eléctrico de la planta, sin embargo es necesario realizar un plan de operación de los equipos y del mantenimiento que estos requieran. La operación de estos equipos es delicada para la planta así también puede llegar a ser riesgoso para el operador. Por normas internas de la planta debemos de contar con un mínimo de controles para la ejecución de actividades eléctricas, por lo tanto, es de suma importancia estandarizar los lineamientos de operación y mantenimiento de la subestación eléctrica con el mínimo de riesgos y sin dejar de lado las normas de seguridad eléctrica.

## **1.2 Estado del Arte**

En el 2013 en la planta Nestlé Nutrition, Querétaro dio inicio el proyecto de una subestación de 2.3 MVA la cual sirvió como referencia en el proyecto actual de la subestación en fabrica Coatepec para la implementación de equipos principalmente.

La planta de Nestlé Querétaro recibe 13 200 V en su acometida la cual se distribuye en un Tablero de Distribución en Media Tensión Blindado con tres interruptores derivados HVX de 630 A hacia tres transformadores dos de 1000 KVA y uno de 300 KVA, estos reducen la tensión a 440 V hacia tres Tableros Autosoportados de Distribución con interruptores con una capacidad de 2000 A.

A pesar de que la subestación en Nestlé Querétaro está por debajo de la potencia de la subestación en Nestlé Coatepec fue de suma importancia las referencias otorgadas por este proyecto, asegurando un mejor desempeño del servicio.

## **1.3 Justificación**

La fábrica existía una subestación eléctrica la cual lleva varios años en servicio y en la actualidad sus equipos se encuentran obsoletos y apenas soportaban la densidad de la carga. La construcción de una subestación eléctrica nueva cuenta con equipos de primer nivel capaces de soportar la carga total de la planta a un 75% de su potencia máxima de operación y con posibilidades de expansión.

Anteriormente se contaban con dispositivos seccionadores de aire dentro de tableros poco resistentes. La subestación eléctrica actual cuenta con interruptores de potencia instalados en gabinetes resistentes al arc-flash, lo cual brinda una mayor seguridad para los equipos y los operadores.

La Subestación eléctrica antigua fue ubicada en el centro de la planta debido a que el diseño de la planta así lo requería, sin embargo, en la actualidad diversas normas han adquirido mayor seriedad por lo que se consideró que la subestación se encontraba próxima a un área potencialmente explosiva. Por estos hechos se decidió reubicar la subestación en un área más segura para las instalaciones y el personal.

## **1.4 Objetivos**

- Implementar el plan de operación y mantenimiento de una subestación eléctrica de 7 MVA

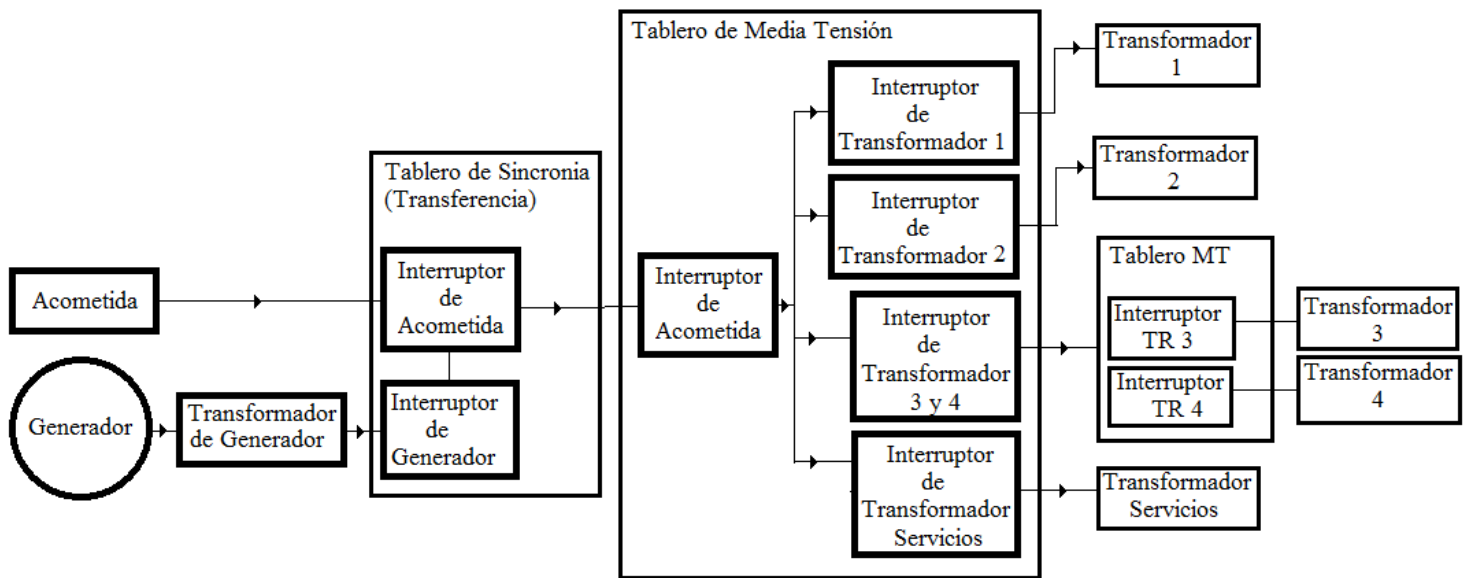
### Objetivos específicos

- Monitorear y estandarizar en condiciones de operación normales los parámetros de voltaje, cargas y potencias en los equipos.
- Realizar instrucciones y procedimientos de operación de los equipos.
- Realizar planes de mantenimiento de cada equipo que incluya: procedimiento, intervalos de tiempo entre mantenimientos, criticidad del equipo y refacciones.

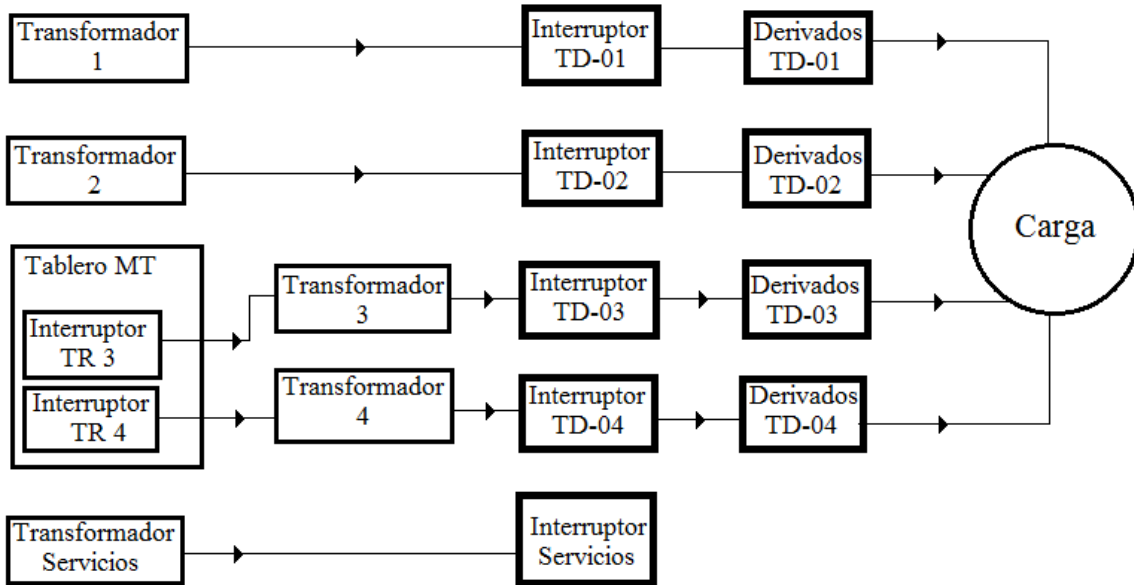
## 1.5 Metodología

### Diagramas a Bolques

Diagrama a Bloques del Sistema Eléctrico de Media Tensión



## Diagrama a Bloques de sistema Eléctrico de Baja Tensión



## 2. Fundamento Teórico

### 2.1 Equipos en Subestación Eléctrica 7 MVA

#### Transformadores

Transformador 1 – 1500 KVA

Voltaje Nominal	BT 440 V	HT 13800 V
Corriente Nominal	BT 1968.2 A	HT 62.8 A
Tipo de enfriamiento	AN (Air Natural)	
Frecuencia Nominal	60 Hz	
Numero de Fases	3 $\emptyset$	
	Clase de aislamiento H	

Transformador 2 – 1500 KVA

Voltaje Nominal	BT 440 V	HT 13800 V
Corriente Nominal	BT 1968.2 A	HT 62.8 A
Tipo de enfriamiento	AN (Air Natural)	
Frecuencia Nominal	60 Hz	
Numero de Fases	3 $\emptyset$	
	Clase de aislamiento H	

Transformador 3 – 2000 KVA

Voltaje Nominal	BT 440 V	HT 13800 V
Corriente Nominal	BT 2624.3 A	HT 83.7 A
Tipo de enfriamiento	AN (Air Natural)	
Frecuencia Nominal	60 Hz	
Numero de Fases 3 Ø	Clase de aislamiento H	

#### Transformador 4 – 1500/2100 KVA

Voltaje Nominal	BT 440 V	HT 13800 V
Corriente Nominal	BT 2758.8 A	HT 87.9 A
Tipo de enfriamiento	AN (Air Natural)	
Frecuencia Nominal	60 Hz	
Numero de Fases 3 Ø	Clase de aislamiento H	

#### Transformador Servicios – 30 KVA

Voltaje Nominal	BT 220 V	HT 440 V
Corriente Nominal	BT 78.8 A	HT 39.4 A
Tipo de enfriamiento	AN (Air Natural)	
Frecuencia Nominal	60 Hz	
Numero de Fases 3 Ø	Clase de aislamiento H	

#### Tablero de Distribución en Media Tensión Metálico Blindado

##### Características Eléctricas Tableros en 13.8 kV,

Voltaje nominal:	17.5 kV
Voltaje de operación:	13.8 kV
Frecuencia nominal:	60 Hz
Voltaje nominal a frecuencia industrial:	50 kV
Nivel básico de aislamiento al impulso:	50 kV @ 1,000 MSNM
	125 kV @ 1,200 MSNM
Corriente nominal de corto circuito (rms):	25 kA – 3s.
Corriente nominal:	1250 A.

##### Secciones que conforman el Tablero

1. Una sección de entrada para Interruptor Principal de Acometida y Equipo de Medición homologado por CFE; con entrada de cables por la parte inferior. Esta es la 1° sección.
2. Cuatro secciones de salida para Interruptor Derivado con entrada de cables por la parte inferior. Estas serán las secciones 2, 3, 4 y 5.

El tablero de distribución de media tensión contiene el siguiente equipo.

- Equipamiento de la sección de Interruptor Principal y cuatro derivados de Acometida y Medición (1° sección únicamente):
  - Corriente de operación: 630 A
  - Corriente en el bus principal: 1250 A
- 3 Transformadores de corriente de fase para Medición Relación 600/5 A Precisión 30 VA, 0.2. 1° Sección únicamente.
- 4 Interruptores HVX
- 3 Transformadores de corriente de fase para Protección Relación 600/5 A Precisión 30 VA, 0.2. Por sección.
- 3 Apartarrayos de 12kV. 1° Sección únicamente.
- 3 Transformadores de potencial Para medición 13,200 V (Primario), 120 V (Secundario). 1° Sección únicamente.
- 5 Relevador de sobrecorriente con funciones ANSI 50/51, 50N/51N, 26, 27, 86 y 87; con funciones de medición I, V, W, VAR, W-H, VAR-H, incluye mímico digital, con protocolo Ethernet. Uno por sección.

#### Tablero Autosoportado de Distribución 1

- Gabinete tipo NEMA I, servicio interior usos generales con empaque.
- Pintura: color Blanco RAL 9001.
- Tensión de operación: 440/254 Volts.
- Capacidad de corriente del sistema de 4,000 Amperes.
- Sistema: 3 Fases; 4 Hilos.
- Barras generales de cobre con acabado plateado, dimensionadas por elevación de temperatura, diseñadas para soportar 65 kA simétricos de corto circuito en la estructura.
- Corriente de falla disponible de 42 kA.
- Estructura de gabinete fabricado en lamina de acero rolado en frio, calibre 12 USG, con puertas de cristal y tapas calibre (14 USG).
- Juego de barras horizontales (X-BUS) de 4,000 A, a todo lo largo del tablero.
- Disponibilidad del tablero izquierda – derecha.
- Placas leyenda en los derivados.
- Todas las celdas de las secciones que conformen el tablero estarán diseñadas para soportar una falla de arco interno, trifásica, a tensión nominal y con la corriente de corto circuito nominal.

#### Contiene:

- 3 Transformador de corriente 2000/5 A para Medición.
- 6 Transformador de corriente 2000/5 A para Protección.
- Equipo de medición.



- 1 interruptor electromagnético de 3 Polos - 2,500 A; 42 KA, con módulo AD, montaje fijo, operación manual; con unidad de disparo de tiempo largo, corto, instantáneo y falla a tierra ajustable LSIG y amperímetro.

#### Sección derivada

- 2, interruptor electromagnético derivado de 3 Polos - 1,000A; con módulo AD, montaje removible, operación manual; con unidad de disparo de tiempo largo, corto, instantáneo y falla a tierra ajustable LSIG y amperímetro.
- 2, interruptor electromagnético derivado de 3 Polos - 630A; con módulo AD, montaje removible, operación manual; con unidad de disparo de tiempo largo, corto, instantáneo y falla a tierra ajustable LSIG y amperímetro.
- 2, Interruptor electrónico, trifásico con la siguiente capacidad 3 Polos - 400 AM/AD, con unidad de disparo LIS.
- 3, Interruptor electrónico, trifásico con la siguiente capacidad 3 Polos - 200 AM/AD, con unidad de disparo LIS.

#### **Tablero Autoportado de Distribución 2 y 3**

- Gabinete tipo NEMA I, servicio interior usos generales con empaque.
- Pintura: color Blanco RAL 9001.
- Tensión de operación: 440/254 Volts.
- Capacidad de corriente del sistema de 4,000 Amperes.
- Sistema: 3 Fases; 4 Hilos.
- Barras generales de cobre con acabado plateado, dimensionadas por elevación de temperatura, diseñadas para soportar 65 kA simétricos de corto circuito en la estructura.
- Corriente de falla disponible de 42 kA.
- Estructura de gabinete fabricado en lamina de acero rolado en frio, calibre 12 USG, con puertas de cristal y tapas calibre (14 USG).
- Juego de barras horizontales (X-BUS) de 4,000 A, a todo lo largo del tablero.
- Disponibilidad del tablero izquierda – derecha.
- Placas leyenda en los derivados.
- Todas las celdas de las secciones que conformen el tablero estarán diseñadas para soportar una falla de arco interno, trifásica, a tensión nominal y con la corriente de corto circuito nominal.

#### Contiene:

- 3 Transformador de corriente 3000/5 A para Medición.
- 6 Transformador de corriente 3000/5 A para Protección.
- Equipo de medición.
- 1 interruptor electromagnético de 3 Polos – 3,200 A; con módulo AD, montaje fijo, operación manual; con unidad de disparo de tiempo largo, corto, instantáneo y falla a tierra ajustable LSIG y amperímetro.

### Sección derivada

- 1 interruptor electromagnético de 3 Polos – 3,200 A; con módulo AD, montaje fijo, operación manual; con unidad de disparo de tiempo largo, corto, instantáneo y falla a tierra ajustable LSIG y amperímetro.
- Tablero Autosoportado de distribución 4
  - Gabinete tipo NEMA I, servicio interior usos generales con empaque.
  - Pintura: color Blanco RAL 9001.
  - Tensión de operación: 440/254 Volts.
  - Capacidad de corriente del sistema de 4,000 Amperes.
  - Sistema: 3 Fases; 4 Hilos.
  - Barras generales de cobre con acabado plateado, dimensionadas por elevación de temperatura, diseñadas para soportar 65 kA simétricos de corto circuito en la estructura.
  - Corriente de falla disponible de 42 kA.
  - Estructura de gabinete fabricado en lamina de acero rolado en frio, calibre 12 USG, con puertas de cristal y tapas calibre (14 USG).
  - Juego de barras horizontales (X-BUS) de 4,000 A, a todo lo largo del tablero.
  - Disponibilidad del tablero izquierda – derecha.
  - Placas leyenda en los derivados.
  - Todas las celdas de las secciones que conformen el tablero estarán diseñadas para soportar una falla de arco interno, trifásica, a tensión nominal y con la corriente de corto circuito nominal.

### Contiene:

- 3 Transformador de corriente 3000/5 A para Medición.
- 9 Transformador de corriente 3000/5 A para Protección.
- Equipo de medición.
- 2 interruptor electromagnético de 3 Polos – 2,500 A; con módulo AD, montaje fijo, operación manual; con unidad de disparo de tiempo largo, corto, instantáneo y falla a tierra ajustable LSIG y amperímetro.

### Sección derivada

- 1 interruptor electromagnético de 3 Polos – 2,500 A; con módulo AD, montaje fijo, operación manual; con unidad de disparo de tiempo largo, corto, instantáneo y falla a tierra ajustable LSIG y amperímetro.

## 2.2 Procedimientos de operación de interruptores

### Instrucción para la libranza, puesta a tierra y puesta en marcha en interruptores de media tensión “sm6”

#### Objetivos

- Contar con un método específico de operación para puesta a tierra de interruptores de media tensión “sm6”
- Realizar la desconexión de puesta a tierra en interruptores de media tensión “sm6” previo a la re-energización.

#### Alcance

La instrucción presenta la forma correcta para realizar la libranza, puesta a tierra y desconexión de la puesta a tierra en un interruptor de media tensión “sm6”, esto con el fin de crear una condición segura para trabajos eléctricos en el equipo o en las líneas del mismo.



## Método

### A) Para libranza y puesta a tierra de interruptor de media tensión “sm6”

se debe contar con el equipo de protección personal adecuado uniforme de arc-flash de 40  $Cal/cm^2$ , zapatos dieléctricos, guantes de tela, latex, carnaza, careta y gafas; debe haber dos personas para esta operación, el que hace la operación y una persona para supervisión.

Asegurarse de tener a la vista rutas de evacuación, como salidas de emergencia despejadas, conocimiento de la ubicación de lamparas de emergencia y portátiles, así también localizar extintor y botiquin (colocarlos en el area de trabajo de ser necesario).



Nota: verificar que el interruptor del gabinete se encuentre abierto estado “0”.

4.1. Presionar y mantener el botón rojo “off” al mismo tiempo girar la llave del interruptor “master pack” en sentido contrario a las manecillas del reloj.



4.2. Retirar la llave y soltar botón rojo “off”.

4.3. Con la llave del interruptor, introducirla en la cerradura del gabinete que se encuentra libre y que está junto a una llave seccionadora y girar ambas llaves en sentido de las manecillas del reloj.



4.4. Al haber girado las llaves abrirán dos ranuras forma circular para poder introducir la manivela una de alimentación de la acometida eléctrica y otra para la puesta a tierra.

4.5. Introducir manivela metálica y girar hacia la posición “0” para desconectar acometida eléctrica.



4.6. Una vez desconectada la alimentación de la acometida eléctrica, retirar manivela y colocarla en la ranura de posición a tierra.

4.7. Girar manivela en sentido de las manecillas del reloj para conectar equipo a tierra física (posición 1).



4.8. Retirar manivela y colocar en su lugar. Retirar llaves de interruptor y resguardarlas en un lugar seguro.

B) para la puesta en marcha de interruptor de media tensión “sm6”

4.1. Introducir las dos llaves (la del interruptor y la seccionadora) en el gabinete de conexión a acometida eléctrica, girarlas en sentido contrario a las manecillas del reloj para permitir la desconexión de la puesta a tierra.



4.2. Introducir la manivela en la ranura de puesta a tierra y girar en sentido contrario a las manecillas del reloj hasta asegurar la desconexión de puesta a tierra. Retirar la manivela.



4.3. Introducir la manivela en la ranura del gabinete de acometida eléctrica, la cual debe estar en "0" o desconectada, girar en sentido contrario a las manecillas del reloj hasta realizar la conexión con la acometida eléctrica.



4.4. Girar la llave del interruptor en sentido contrario a las manecillas del reloj y retirar, dejar la llave seccionadora puesta.

4.5. Introducir la llave en el interruptor y girar en sentido de las manecillas del reloj, dejar la llave en esa posición.



4.6. Revisar la correcta aplicación de esta instrucción, a partir de este punto ya es posible energizar el equipo.

5.- periodos de verificación

Para los interruptores “sm6” de transferencia y subestación secundaria planta baja existe un periodo entre mantenimientos de máximo 12 meses

6.- documentación

La presente instrucción es complemento de una instrucción para energizar y desenergizar la sub estación eléctrica de planta.



## 2.3 Pruebas a equipos de la subestación Eléctrica

### Calculo de corto circuito para los buses principales

Datos para el cálculo de corto circuito	
Transformador 1	1500 KVA
Transformador 2	1500 KVA
Transformador 3	2000 KVA
Transformador 4	2100 KVA
Transformador Servicios Propios	30 KVA
% Impedancia Transformador 1 ( $Z_{TR1}$ )	8.0 %
% Impedancia Transformador 2 ( $Z_{TR2}$ )	8.0 %
% Impedancia Transformador 3 ( $Z_{TR3}$ )	7.20 %
% Impedancia Transformador 4 ( $Z_{TR4}$ )	6.40 %
% Impedancia CFE ( $Z_{CFE}$ )	1.0 %
% Impedancia de Equipos ( $Z_{EQ}$ )	25 %
Voltaje de Acometida	13.8 V
Voltaje de Operación	0.48 V

#### Transformador 1

Datos:

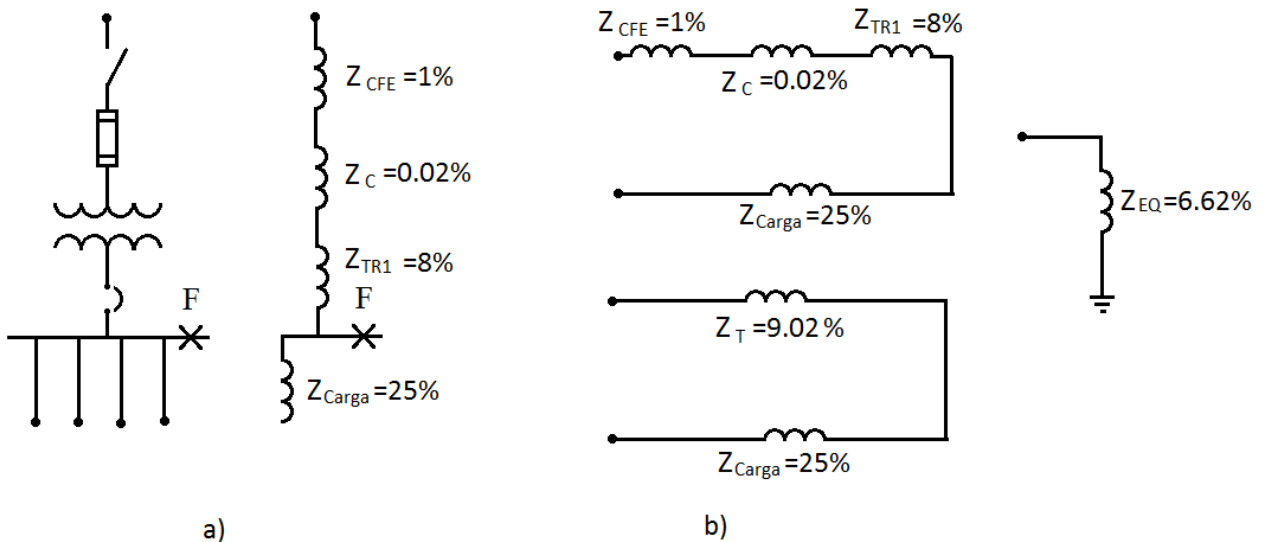
Calibre: 500 kcmil

Resistencia del conductor:  $0.2346 \Omega/km$

Reactancia Inductiva del conductor:  $0.2966 \Omega/km$

Longitud: 0.150 km

Diagrama de impedancias Tr1



La impedancia del cable es calculada como

$$Z = R + XL = 0.2346 + 0.2966 = 0.5312\Omega/km$$

Para 150 m la impedancia es

$$Z = (0.5312)(0.150) = 0.0798\Omega$$

Para tres conductores en paralelo se obtiene

$$Z_c = \frac{0.0798}{3} = 0.02656\Omega$$

La impedancia en forma porcentual se obtiene de la siguiente manera

$$Z\% = (Z_c(KVA))/(V_{CFE}^2 \times 10)$$
$$\frac{((0.02656)(1500))}{13.8^2 \times 10} = 0.02\%$$

La impedancia equivalente es de acuerdo al diagrama de impedancias Tr1 b)

$$Z_{eq} = (Z_T)(Z_{carga})/(Z_T + Z_{carga})$$
$$Z_{eq} = \frac{(9.02)(25)}{9.02 + 25} = 6.62\%$$

Calculo de la corriente de corto circuito

$$I_{CC} = 100 \times KVA/\sqrt{3} \times Z_{eq} \times V_{op}$$
$$I_{CC} = \frac{100 \times 1500}{\sqrt{3} \times 6.62 \times 0.48} = 27273A$$

Potencia de cortocircuito

$$P_{CC} = (100 \times KVA)/Z_{eq}$$
$$P_{CC} = \frac{100 \times 1500}{6.62} = 22659$$

Transformador 2

Datos:

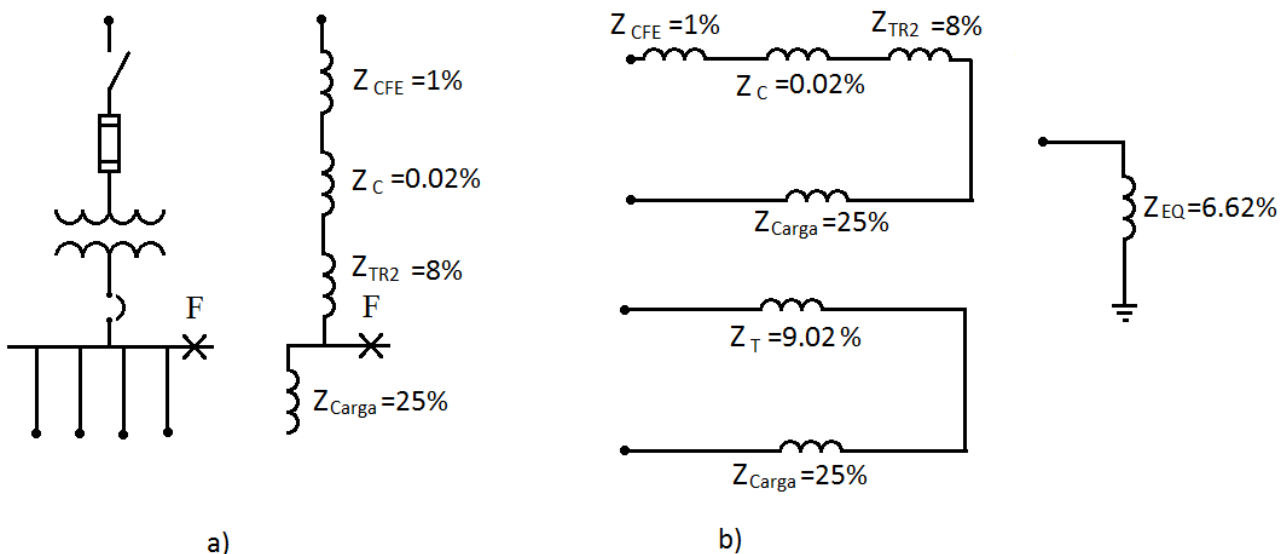
Calibre: 500 kcmil

Resistencia del conductor:  $0.2346\Omega/km$

Reactancia Inductiva del conductor:  $0.2966 \Omega/km$

Longitud: 0.150 km

### Diagrama de impedancias Tr2



La impedancia del cable es calculada como

$$Z = R + XL = 0.2346 + 0.2966 = 0.5312\Omega/km$$

Para 150 m la impedancia es

$$Z = (0.5312)(0.150) = 0.0798\Omega$$

Para tres conductores en paralelo se obtiene

$$Z_c = \frac{0.0798}{3} = 0.02656\Omega$$

La impedancia en forma porcentual se obtiene de la siguiente manera

$$Z\% = (Z_c(KVA)) / (V_{CFE}^2 \times 10)$$

$$\frac{((0.02656)(1500))}{13.8^2 \times 10} = 0.02\%$$

La impedancia equivalente es de acuerdo al diagrama de impedancias Tr2 b)

$$Z_{eq} = (Z_T)(Z_{Carga}) / (Z_T + Z_{Carga})$$

$$Z_{eq} = \frac{(9.02)(25)}{9.02 + 25} = 6.62\%$$

Calculo de la corriente de corto circuito

$$I_{CC} = 100 \times KVA / \sqrt{3} \times Z_{eq} \times V_{op}$$

$$I_{CC} = \frac{100 \times 1500}{\sqrt{3} \times 6.62 \times 0.48} = 27273A$$

Potencia de cortocircuito

$$P_{CC} = (100 \times KVA)/Z_{eq}$$

$$P_{CC} = \frac{100 \times 1500}{6.62} = 22659 KVA$$

Transformador 3

Transformador 1

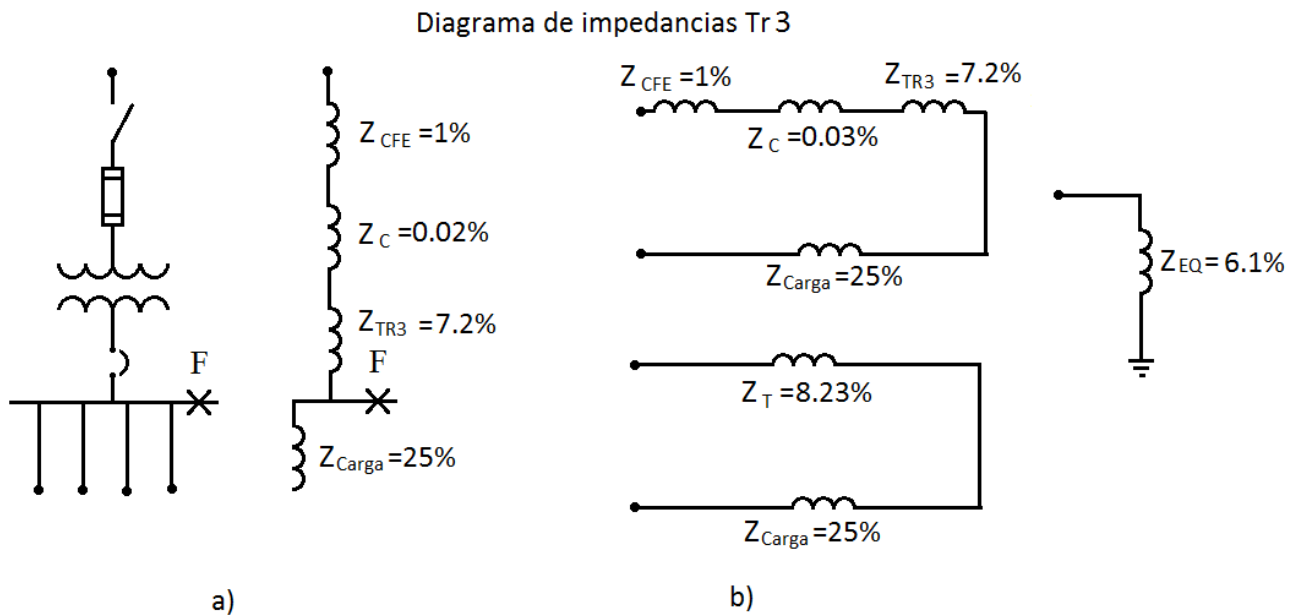
Datos:

Calibre: 500 kcmil

Resistencia del conductor:  $0.2346 \Omega/km$

Reactancia Inductiva del conductor:  $0.2966 \Omega/km$

Longitud: 0.150 km



La impedancia del cable es calculada como

$$Z = R + XL = 0.2346 + 0.2966 = 0.5312 \Omega/km$$

Para 150 m la impedancia es

$$Z = (0.5312)(0.150) = 0.0798 \Omega$$

Para tres conductores en paralelo se obtiene

$$Z_C = \frac{0.0798}{3} = 0.02656 \Omega$$

La impedancia en forma porcentual se obtiene de la siguiente manera

$$Z\% = (Z_C(KVA))/(V_{CFE}^2 \times 10)$$

$$\frac{((0.02656)(2000))}{13.8^2 \times 10} = 0.028 \approx 0.03\%$$

La impedancia equivalente es de acuerdo al diagrama de impedancias Tr3 b)

$$Z_{eq} = (Z_T)(Z_{Carga}) / (Z_T + Z_{Carga})$$

$$Z_{eq} = \frac{(8.23)(25)}{8.23 + 25} = 6.1\%$$

Calculo de la corriente de corto circuito

$$I_{CC} = 100 \times KVA / \sqrt{3} \times Z_{eq} \times V_{op}$$

$$I_{CC} = \frac{100 \times 2000}{\sqrt{3} \times 6.1 \times 0.48} = 39448A$$

Potencia de cortocircuito

$$P_{CC} = (100 \times KVA) / Z_{eq}$$

$$P_{CC} = \frac{100 \times 2000}{6.1} = 32787KVA$$

Transformador 4

Datos:

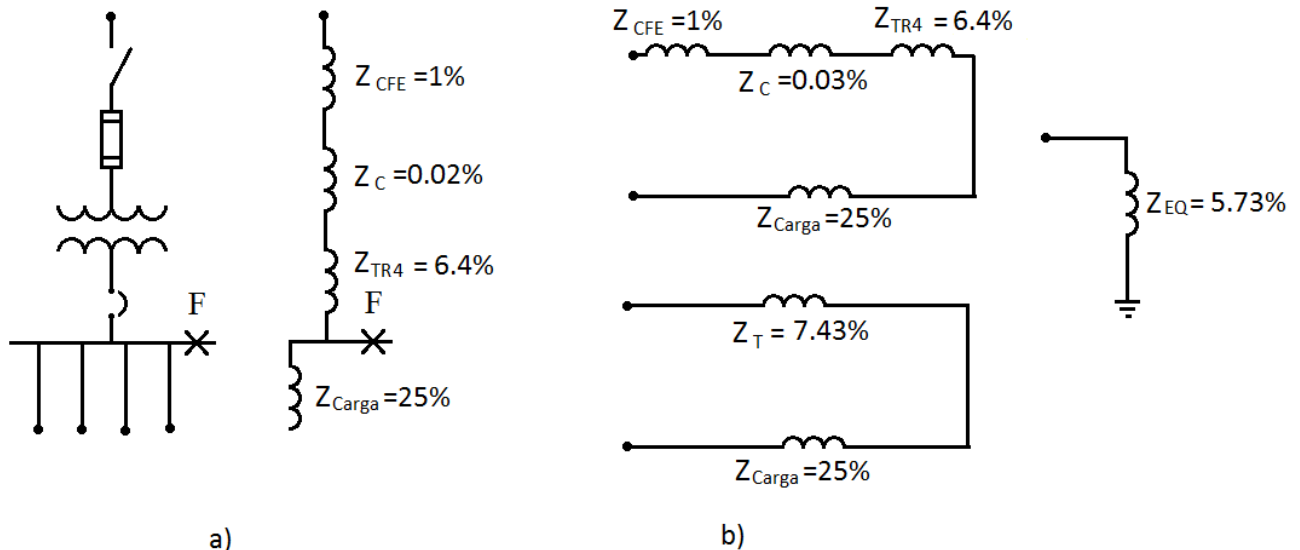
Calibre: 500 kcmil

Resistencia del conductor:  $0.2346 \Omega/km$

Reactancia Inductiva del conductor:  $0.2966 \Omega/km$

Longitud: 0.150 km

Diagrama de impedancias Tr 4



La impedancia del cable es calculada como

$$Z = R + XL = 0.2346 + 0.2966 = 0.5312 \Omega/km$$

Para 150 m la impedancia es

$$Z = (0.5312)(0.150) = 0.0798\Omega$$

Para tres conductores en paralelo se obtiene

$$Z_c = \frac{0.0798}{3} = 0.02656\Omega$$

La impedancia en forma porcentual se obtiene de la siguiente manera

$$Z\% = (Z_c(KVA))/(V_{CFE}^2 \times 10)$$

$$\frac{((0.02656)(2100))}{13.8^2 \times 10} = 0.029 \approx 0.03\%$$

La impedancia equivalente es de acuerdo al diagrama de impedancias Tr4 b)

$$Z_{eq} = (Z_T)(Z_{carga})/(Z_T + Z_{carga})$$

$$Z_{eq} = \frac{(7.43)(25)}{7.43 + 25} = 5.73\%$$

Calculo de la corriente de corto circuito

$$I_{CC} = 100 \times KVA/\sqrt{3} \times Z_{eq} \times V_{op}$$

$$I_{CC} = \frac{100 \times 2100}{\sqrt{3} \times 5.73 \times 0.48} = 44134A$$

Potencia de cortocircuito

$$P_{CC} = (100 \times KVA)/Z_{eq}$$

$$P_{CC} = \frac{100 \times 2100}{5.73} = 36649KVA$$

## 2.4 Análisis de Riesgos en Actividades de Subestación Eléctrica

Descripción de la actividad	Riesgo	Controles operacionales	Barreras y/o defensas
Limpiar Edificio	Choque por contacto eléctrico por tocar envolventes.	1.- Procedimiento de Limpieza para cuartos eléctricos. 2.- Respetar distancias de aproximación. 3.- Uso de materiales para limpieza adecuados (no conductores: madera, plástico).	1.- Mantener gabinetes cerrados 2.- Uso de EPP contra choque eléctrico 3.- Realizar limpieza en seco con equipo aterrizado y sin partes metálicas expuestas 4.- Si se requiere limpieza húmeda deberá ser controlada. 5.- Utilizar tapates aislantes o dieléctricos frente a centros de carga o interruptores de cuchillas para proteger de un shock eléctrico o una electrocución
Limpiar exterior de equipos	Choque por contacto eléctrico por tocar envolventes.	1.- Procedimiento de Limpieza. 2.- Respetar distancias de aproximación. 3.- Uso de materiales para limpieza adecuados.	1.- Mantener gabinetes cerrados 2.- Uso de EPP contra choque eléctrico 3.- Realizar limpieza en seco con equipo aterrizado y sin partes metálicas expuestas 4.- Si se requiere limpieza húmeda deberá ser controlada. 5.- Utilizar tapates aislantes o dieléctricos frente a centros de carga o interruptores de cuchillas para proteger de un shock eléctrico o una electrocución
Monitorear de Parámetros de operación	Choque por contacto eléctrico	1.- Procedimiento de operación del equipo. 2.- Respetar frontera de protección contra relámpago de arco. 3.- Capacitación en Operación de tableros. 4.- Respetar frontera de aproximación restringida. 5.- Actividad categorizada como 0 de acuerdo a la tabla 130.7c clasificación de categorías peligro-riego de la NFPA 70 E.	1.- Mantener gabinetes cerrados 2.- Uso de EPP contra relámpago de arco de la capacidad adecuada (cal/cm <sup>2</sup> ), de acuerdo a la Tabla 130.7(C)(16) Protective Clothing and Personal Protective Equipment (PPE) de la NFPA 70E 3.- Para el caso de categoría "0" la ropa deberá ser 100% de fibra Natural p.ej. Algodón

Operar interruptores derivados BT (apertura, cierre o restablecimiento)	Quemadura por relámpago de arco	<p>1.- Procedimiento de operación del equipo.</p> <p>2.- Respetar frontera de protección contra relámpago de arco.</p> <p>3.- Capacitación en Operación de tableros.</p> <p>4.- Respetar frontera de aproximación restringida.</p> <p>5.- Actividad categorizada como 2 de acuerdo a la tabla 130.7c clasificación de categorías peligro-riesgo de la NFPA 70 E</p>	<p>1.- Mantener gabinetes cerrados</p> <p>2.- Uso de EPP contra relámpago de arco de la capacidad adecuada (cal/cm<sup>2</sup>), de acuerdo a la Tabla 130.7(C)(16) Protective Clothing and Personal Protective Equipment (PPE) de la NFPA 70E</p> <p>3.- Utilizar tapates aislantes o dieléctricos frente a centros de carga o interruptores de cuchillas para proteger de un shock eléctrico o una electrocución</p>
	Golpes por ráfaga de arco	<p>1.- Procedimiento de operación del equipo.</p> <p>2.- Respetar frontera de protección contra relámpago de arco.</p> <p>3.- Capacitación en Operación de tableros.</p> <p>4.- Respetar frontera de aproximación restringida.</p> <p>5.- Actividad categorizada como 2 de acuerdo a la tabla 130.7c clasificación de categorías peligro-riesgo de la NFPA 70 E</p>	<p>1.- Mantener gabinetes cerrados</p> <p>2.- Uso de EPP contra relámpago de arco de la capacidad adecuada (cal/cm<sup>2</sup>), de acuerdo a la Tabla 130.7(C)(16) Protective Clothing and Personal Protective Equipment (PPE) de la NFPA 70E</p> <p>3.- Utilizar tapates aislantes o dieléctricos frente a centros de carga o interruptores de cuchillas para proteger de un shock eléctrico o una electrocución</p>
	Choque eléctrico	<p>1.- Procedimiento de operación del equipo.</p> <p>2.- Respetar frontera de protección contra relámpago de arco.</p> <p>3.- Capacitación en Operación de tableros.</p> <p>4.- Respetar frontera de aproximación restringida.</p> <p>5.- Actividad categorizada como 2 de acuerdo a la tabla 130.7c clasificación de categorías peligro-riesgo de la NFPA 70 E</p>	<p>1.- Mantener gabinetes cerrados</p> <p>2.- Uso de EPP contra relámpago de arco de la capacidad adecuada (cal/cm<sup>2</sup>), de acuerdo a la Tabla 130.7(C)(16) Protective Clothing and Personal Protective Equipment (PPE) de la NFPA 70E</p> <p>3.- Utilizar tapates aislantes o dieléctricos frente a centros de carga o interruptores de cuchillas para proteger de un shock eléctrico o una electrocución</p>



Operar interruptores principales BT (apertura, cierre o restablecimiento)	Quemadura por relámpago de arco	<p>1.- Procedimiento de operación del equipo.</p> <p>2.- Respetar frontera de protección contra relámpago de arco</p> <p>3.- Capacitación en Operación de tableros.</p> <p>4.- Respetar frontera de aproximación restringida.</p> <p>5.- Actividad categorizada como 2 de acuerdo a la tabla 130.7c clasificación de categorías peligro-riesgo de la NFPA 70 E</p>	<p>1.- Mantener gabinetes cerrados</p> <p>2.- Uso de EPP contra relámpago de arco de la capacidad adecuada (cal/cm<sup>2</sup>), de acuerdo a la Tabla 130.7(C)(16) Protective Clothing and Personal Protective Equipment (PPE) de la NFPA 70E</p> <p>3.- Utilizar tapates aislantes o dieléctricos frente a centros de carga o interruptores de cuchillas para proteger de un shock eléctrico o una electrocución</p>
	Golpes por ráfaga de arco	<p>1.- Procedimiento de operación del equipo.</p> <p>2.- Respetar frontera de protección contra relámpago de arco.</p> <p>3.- Capacitación en Operación de tableros.</p> <p>4.- Respetar frontera de aproximación restringida.</p> <p>5.- Actividad categorizada como 2 de acuerdo a la tabla 130.7c clasificación de categorías peligro-riesgo de la NFPA 70 E</p>	<p>1.- Mantener gabinetes cerrados</p> <p>2.- Uso de EPP contra relámpago de arco de la capacidad adecuada (cal/cm<sup>2</sup>), de acuerdo a la Tabla 130.7(C)(16) Protective Clothing and Personal Protective Equipment (PPE) de la NFPA 70E</p> <p>3.- Utilizar tapates aislantes o dieléctricos frente a centros de carga o interruptores de cuchillas para proteger de un shock eléctrico o una electrocución</p>
	Choque eléctrico	<p>1.- Procedimiento de operación del equipo.</p> <p>2.- Respetar frontera de protección contra relámpago de arco.</p> <p>3.- Capacitación en Operación de tableros.</p> <p>4.- Respetar frontera de aproximación restringida.</p> <p>5.- Actividad categorizada como 2 de acuerdo a la tabla 130.7c clasificación de categorías peligro-riego de la NFPA 70 E</p>	<p>1.- Mantener gabinetes cerrados</p> <p>2.- Uso de EPP contra relámpago de arco de la capacidad adecuada (cal/cm<sup>2</sup>), de acuerdo a la Tabla 130.7(C)(16) Protective Clothing and Personal Protective Equipment (PPE) de la NFPA 70E</p> <p>3.- Utilizar tapates aislantes o dieléctricos frente a centros de carga o interruptores de cuchillas para proteger de un shock eléctrico o una electrocución</p>

Operar interruptor principal MT (apertura, cierre o restablecimiento)	Quemadura por relámpago de arco	<p>1.- Procedimiento de operación del equipo.</p> <p>2.- Respetar frontera de protección contra relámpago de arco.</p> <p>3.- Capacitación en Operación de tableros.</p> <p>4.- Respetar frontera de aproximación restringida.</p> <p>5.- Actividad categorizada como 2 de acuerdo a la tabla 130.7c clasificación de categorías peligro-riego de la NFPA 70 E</p>	<p>1.- Mantener gabinetes cerrados</p> <p>2.- Uso de EPP contra relámpago de arco de la capacidad adecuada (cal/cm2), de acuerdo a la Tabla 130.7(C)(16) Protective Clothing and Personal Protective Equipment (PPE) de la NFPA 70E</p> <p>3.- Utilizar tapates aislantes o dieléctricos frente a centros de carga o interruptores de cuchillas para proteger de un shock eléctrico o una electrocución</p>
	Golpes por ráfaga de arco	<p>1.- Procedimiento de operación del equipo.</p> <p>2.- Respetar frontera de protección contra relámpago de arco.</p> <p>3.- Capacitación en Operación de tableros.</p> <p>4.- Respetar frontera de aproximación restringida.</p> <p>5.- Actividad categorizada como 2 de acuerdo a la tabla 130.7c clasificación de categorías peligro-riego de la NFPA 70 E</p>	<p>1.- Mantener gabinetes cerrados</p> <p>2.- Uso de EPP contra relámpago de arco de la capacidad adecuada (cal/cm2), de acuerdo a la Tabla 130.7(C)(16) Protective Clothing and Personal Protective Equipment (PPE) de la NFPA 70E</p> <p>3.- Utilizar tapates aislantes o dieléctricos frente a centros de carga o interruptores de cuchillas para proteger de un shock eléctrico o una electrocución</p>
	choque eléctrico	<p>1.- Procedimiento de operación del equipo.</p> <p>2.- Respetar frontera de protección contra relámpago de arco.</p> <p>3.- Capacitación en Operación de tableros.</p> <p>4.- Respetar frontera de aproximación restringida.</p> <p>5.- Actividad categorizada como 2 de acuerdo a la tabla 130.7c clasificación de categorías peligro-riego de la NFPA 70 E</p>	<p>1.- Mantener gabinetes cerrados</p> <p>2.- Uso de EPP contra relámpago de arco de la capacidad adecuada (cal/cm2), de acuerdo a la Tabla 130.7(C)(16) Protective Clothing and Personal Protective Equipment (PPE) de la NFPA 70E</p> <p>3.- Utilizar tapates aislantes o dieléctricos frente a centros de carga o interruptores de cuchillas para proteger de un shock eléctrico o una electrocución</p>

Aterrizar equipos	Quemadura por relámpago de arco	<p>1.- Procedimiento de operación del equipo.</p> <p>2.- Respetar frontera de protección contra relámpago de arco.</p> <p>3.- Capacitación en Operación de tableros.</p> <p>4.- Respetar frontera de aproximación restringida.</p> <p>5.- Actividad categorizada como 2 de acuerdo a la tabla 130.7c clasificación de categorías peligro-riego de la NFPA 70 E</p> <p>6.- P.FCO.95.058-1 Procedimiento de Seguridad para la Subestación Eléctrica</p>	<p>1.- Mantener gabinetes cerrados</p> <p>2.- Uso de EPP contra relámpago de arco de la capacidad adecuada (cal/cm<sup>2</sup>), de acuerdo a la Tabla 130.7(C)(16) Protective Clothing and Personal Protective Equipment (PPE) de la NFPA 70E</p> <p>3.- Utilizar tapates aislantes o dieléctricos frente a centros de carga o interruptores de cuchillas para proteger de un shock eléctrico o una electrocución</p>
	Golpes por ráfaga de arco	<p>1.- Procedimiento de operación del equipo.</p> <p>2.- Respetar frontera de protección contra relámpago de arco.</p> <p>3.- Capacitación en Operación de tableros.</p> <p>4.- Respetar frontera de aproximación restringida.</p> <p>5.- Actividad categorizada como 2 de acuerdo a la tabla 130.7c clasificación de categorías peligro-riego de la NFPA 70 E</p> <p>6.- P.FCO.95.058-1 Procedimiento de Seguridad para la Subestación Eléctrica</p>	<p>1.- Mantener gabinetes cerrados</p> <p>2.- Uso de EPP contra relámpago de arco de la capacidad adecuada (cal/cm<sup>2</sup>), de acuerdo a la Tabla 130.7(C)(16) Protective Clothing and Personal Protective Equipment (PPE) de la NFPA 70E</p> <p>3.- Utilizar tapates aislantes o dieléctricos frente a centros de carga o interruptores de cuchillas para proteger de un shock eléctrico o una electrocución</p>
	choque eléctrico	<p>1.- Procedimiento de operación del equipo.</p> <p>2.- Respetar frontera de protección contra relámpago de arco.</p> <p>3.- Capacitación en Operación de tableros.</p> <p>4.- Respetar frontera de aproximación restringida.</p> <p>5.- Actividad categorizada como 2 de acuerdo a la tabla 130.7c clasificación de categorías peligro-riego de la NFPA 70 E</p>	<p>1.- Mantener gabinetes cerrados</p> <p>2.- Uso de EPP contra relámpago de arco de la capacidad adecuada (cal/cm<sup>2</sup>), de acuerdo a la Tabla 130.7(C)(16) Protective Clothing and Personal Protective Equipment (PPE) de la NFPA 70E</p> <p>3.- Utilizar tapates aislantes o dieléctricos frente a centros de carga o interruptores de cuchillas para proteger de un shock eléctrico o una electrocución</p>

# Anexo A

## Diagrama Unifilar