

25-11-2015

# DISEÑO DE SUBESTACIÓN

Proyecto de curso



Grupo 1  
IEM-611



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SANTO DOMINGO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA**

**Tema:**

*Proyecto de curso, diseño de subestación*

**Sustentantes:**

<i>Onésimo Sánchez Tejada</i>	<i>AB-7100</i>
<i>Kramer Segura</i>	<i>BH-6967</i>
<i>Joseant Bello Medina</i>	<i>BF-8166</i>
<i>Jhulius Castillo Suarez</i>	<i>EI-5178</i>
<i>Edward Alcântara</i>	<i>AD-2549</i>

**Asignatura:**

*Plantas y Subestaciones II (IEM-611)*

**Profesor:**

*Cervantes Hernández*

**Semestre:**

*2015-2*

<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>1-REQUISITOS BÁSICOS DE DISEÑO .....</b>	<b>6</b>
1.1- CONDICIONES AMBIENTALES DE LA REPÚBLICA DOMINICANA .....	6
1.2- CARACTERÍSTICA BÁSICA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA REPUBLICA DOMINICANA .....	6
1.2.1- <i>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS FUNDAMENTALES PARA EL DISEÑO DE LOS EQUIPOS DE AT SEGÚN EL NIVEL DE TENSIÓN</i> .....	7
1.2.1.1- <i>Nivel de tensión 345 KV</i> .....	7
1.2.1.2- <i>Nivel de tensión 138 KV</i> .....	7
1.2.1.3- <i>Nivel de tensión 69 kV</i> .....	8
1.2.2- <i>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS FUNDAMENTALES PARA EL DISEÑO DE LOS EQUIPOS DE MT</i> .....	8
1.2.2.1- <i>Nivel de tensión 34.5 kV</i> .....	8
1.2.2.2- <i>Nivel de tensión 12.5 kV</i> .....	8
1.2.3- <i>SISTEMAS DE SERVICIOS AUXILIARES CA/CC</i> .....	8
1.3- CONDICIONES PARA EL DISEÑO.....	9
<b>2- SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL TIPO DE CONFIGURACIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>3- SELECCIONAR EL TIPO DE AISLAMIENTO DE LA SUBESTACIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>4- CALCULO DE DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD .....</b>	<b>12</b>
4.1- TENSIÓN CRITICA DE FLAMEO ( $V_{50\%}$ ) .....	12
4.2- TENSIÓN DE FLAMEO CORREGIDA POR HUMEDAD Y TEMPERATURA ( $V_{50\% c}$ ).....	12
4.3- DISTANCIA DE FASE A TIERRA.....	12
4.4- DISTANCIA DE FASE A FASE ( $D_{F-F}$ ) .....	13
4.5- DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD PARA EL PERSONAL .....	13
4.5.1- <i>DISTANCIA HORIZONTAL</i> .....	13
4.5.2- <i>DISTANCIA VERTICAL</i> .....	13
4.6- DISTANCIAS MÍNIMAS PARA CIRCULACIÓN DE VEHÍCULOS.....	13
4.6.1- <i>DISTANCIA HORIZONTAL</i> .....	13
4.6.2- <i>DISTANCIA VERTICAL</i> .....	13
4.7- DISTANCIAS DE SEGURIDAD PARA ÁREA DE TRABAJO.....	13
4.7.1- <i>ALTURA DE LA PARTE VIVA DEL QUIPO</i> .....	14
4.7.2- <i>ALTURA DE LA BARRA</i> .....	14
4.7.3- <i>ALTURA DE LA LÍNEA DE TRASMISIÓN</i> .....	14
4.8- COMPARACIÓN DE LAS DISTANCIAS CALCULADAS Y LAS DISTANCIAS NORMALIZADAS DE ACUERDO CON LA NORMA IEC-60071-2.....	14
<b>5- SELECCIÓN EL TIPO DE SISTEMA DE BARRAS: FLEXIBLE O RÍGIDO EN FUNCIÓN DE LAS CORRIENTES NOMINALES Y DE CORTO CIRCUITO.....</b>	<b>14</b>

5.1- EVALUACIÓN DE CARGAS.....	17
5.1.1- CARGA DEBIDA A LOS EFECTOS DE CORTOCIRCUITO .....	17
5.1.3- CARGA DE PESO PROPIO.....	17
<b>6- SELECCIÓN DE LA DISPOSICIÓN FÍSICA SUBESTACIÓN (ALTO O BAJO PERFIL) .....</b>	<b>18</b>
<b>7- SELECCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DE LA SUBESTACIÓN.....</b>	<b>18</b>
7.1- SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS MAYORES DE LA INSTALACIÓN .....	19
7.1.1- AISLADORES.....	19
7.1.2- ACOPLER TERMINALES DE LOS AISLADORES .....	19
7.1.3-SECCIONADORES .....	20
7.1.4- INTERRUPTORES .....	21
7.1.5- TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTOS .....	23
7.1.6- TRANSFORMADOR DE TENSIÓN PARA BARRAS .....	25
7.1.7- PARARRAYOS .....	27
7.1.7.1- La tensión continua de operación .....	27
7.1.7.2- La sobretensión temporal .....	27
7.2- DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	29
7.2.1- CABLES DE GUARDA.....	29
7.2.2- PUNTAS FRANKLIN .....	29
7.3- DISEÑAR EL SISTEMA DE TIERRA DE LA INSTALACIÓN .....	30
<b>8- DIMENSIONAMIENTO DE LA CASETA DE CONTROL Y PROTECCIÓN. 35</b>	
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>36</b>
<b>BIBLIOGRAFÍAS.....</b>	<b>37</b>
LIBROS Y NORMAS.....	37
PÁGINAS WEBS.....	37

## Índice de Tablas

Tabla 1- Condiciones ambientales Republica Dominicana	6
Tabla 2- Niveles de tensión en República Dominicana	7
Tabla 3- Nivel de tensión 345 kV	7
Tabla 4- Nivel de tensión 138 kV	7
Tabla 5- Nivel de tensión 69 kV	8
Tabla 6- Nivel de tensión 34.5 kV	8
Tabla 7- Nivel de tensión 34.5 kV	8
Tabla 8- Condiciones para el diseño	9
Tabla 9- Comparación de las distintas configuraciones	11
Tabla 10- Comparación de las distancias de seguridad con la IEC-60071-2	14
Tabla 11- Características técnicas aisladores	19
Tabla 12- Características acoples terminales de los aisladores	19
Tabla 13- Características técnicas de los seccionadores	20
Tabla 14- Dimensiones de los seccionadores	20
Tabla 15- Dimensión de los seccionadores (sobre estructura)	21
Tabla 16- Características técnicas de los interruptores	22
Tabla 17- Dimensiones de los interruptores	22
Tabla 18- Características técnicas de los TC	23
Tabla 19- Dimensiones de los TC	24
Tabla 20- Características técnicas de los PT	24
Tabla 21- Dimensiones de los PT	25
Tabla 22- Características Técnicas de los SSVT	26
Tabla 23- Dimensiones de los SSVT	26
Tabla 24- Características técnicas de los pararrayos	28
Tabla 25- Datos de la red de tierra	33
Tabla 26- Tipo de soldadura	34

## Introducción

Una subestación es el desarrollo de un nodo del sistema. En esencia es un conjunto de equipos utilizados para dirigir el flujo de energía en un sistema de potencia y garantizar la seguridad del mismo. En las siguientes páginas se desarrollará el diseño de una subestación de maniobra o conmutación, a la cual llegan seis líneas de transmisión de 138kV.

El proyecto se enfoca en todos los aspectos que se deben tomar en cuenta a la hora de diseñar una subestación eléctrica, desde las condiciones climáticas hasta el dimensionamiento del área de la subestación. Proporcionando las memorias de cálculo realizadas para obtener los distintos valores de importancia a la hora de seleccionar los equipos de la subestación.

En el mismo, se tomaran en cuenta normas IEC-60071 y la IEEE 80-2000, para realizar los cálculos correspondientes en conformidad con las mismas. Además de que se han tomado en cuenta textos fidedignos en materia de diseño y construcción de subestaciones eléctricas.

## 1-Requisitos Básicos de diseño

En esta sección se mostrara parte de la información general básica requerida para el diseño de subestaciones en la Republica Dominicana. Basándose en las condiciones ambientales y características eléctricas del sistema eléctrico nacional interconectado.

### 1.1- Condiciones Ambientales de la República Dominicana

A continuación (tabla 1.1) se presentan los datos generales básicos relativos a las condiciones ambientales en la República Dominicana:

Descripción	Unidad	Valores establecidos
<b>Temperatura diaria promedio</b>	°C	25
<b>Temperatura máxima diaria</b>	°C	34
<b>Temperatura extrema del metal expuesta al sol</b>	°C	70
<b>Temperatura mínima diaria promedio</b>	°C	16
<b>Precipitación anual promedio</b>	mm	1,400
<b>Humedad relativa:</b>		
Máxima	%	90
Mínima	%	80
<b>Promedio</b>	%	84
<b>Nivel isoceráunico (Nº de tormentas al año)</b>	-	130
<b>Aceleración sísmica</b>		
Horizontal	g	0.2
Vertical	g	0.3
<b>Velocidad del viento para el diseño base</b>	Km/h	120 (f.s. 2.5)
<b>Velocidad del viento para el diseño extremo</b>	Km/h	180-220 (f.s. 1.1)

Tabla 1- Condiciones ambientales Republica Dominicana

### 1.2- Característica básica del sistema eléctrico de la Republica Dominicana

Se indica a continuación las principales características del sistema eléctrico del País, en la tabla se muestran las distintas tensiones de transmisión, media tensión y baja tensión.

Niveles de Tensión en RD		
Descripción	Unidad	Valores
Transmisión	KV	69
	KV	138
	KV	345
Media Tensión	KV	7.2
	KV	12.5
	KV	34.5
Baja Tensión	V	120
	V	240
	V	208
	V	480

Tabla 2- Niveles de tensión en República Dominicana

1.2.1- Características técnicas fundamentales para el diseño de los equipos de AT según el nivel de tensión

1.2.1.1- Nivel de tensión 345 KV

Descripción	Unidad	Valores
Tensión Máxima de Servicio	kV	362
Tensión de Servicio	kV	345
Frecuencia	Hz	60
Tensión no disruptiva de impulso (NBI)	kV	1175-1050
Tensión no disruptiva a frecuencia de servicio (NBC)	kV	950
Tipo de conexión del neutro		A tierra directo
Temperatura del suelo a 1 m de profundidad	°C	20

Tabla 3- Nivel de tensión 345 kV

1.2.1.2- Nivel de tensión 138 KV

Descripción	Unidad	Valores
Tensión Máxima de Servicio	kV	145
Tensión de Servicio	kV	138
Frecuencia	Hz	60
Tensión no disruptiva de impulso (NBI)	kV	650
Tensión no disruptiva a frecuencia de servicio (NBC)	kV	275
Tipo de conexión del neutro		A tierra directo
Temperatura del suelo a 1 m de profundidad	°C	20

Tabla 4- Nivel de tensión 138 kV

### 1.2.1.3- Nivel de tensión 69 kV

Descripción	Unidad	Valores Requeridos
<b>Tensión Máxima de Servicio</b>	kV	72.5
<b>Tensión de Servicio</b>	kV	69
<b>Frecuencia</b>	Hz	60
<b>Tensión no disruptiva de impulso (NBI)</b>	kV	325
<b>Tensión no disruptiva a frecuencia de servicio (NBC)</b>	kV	140
<b>Tipo de conexión del neutro</b>		A tierra directo
<b>Temperatura del suelo a 1 m de profundidad</b>	°C	20

Tabla 5- Nivel de tensión 69 kV

### 1.2.2- Características técnicas fundamentales para el diseño de los equipos de MT

#### 1.2.2.1- Nivel de tensión 34.5 kV

Descripción	Unidad	Valores Requeridos
<b>Tensión Máxima de Servicio</b>	kV	36
<b>Tensión de Servicio</b>	kV	34.5
<b>Frecuencia</b>	Hz	60
<b>Tensión no disruptiva de impulso (NBI)</b>	kV	170
<b>Tensión no disruptiva a frecuencia de servicio (NBC)</b>	kV	70
<b>Tipo de conexión del neutro</b>		A tierra directo
<b>Temperatura del suelo a 1 m de profundidad</b>	°C	20

Tabla 6- Nivel de tensión 34.5 kV

#### 1.2.2.2- Nivel de tensión 12.5 kV

Descripción	Unidad	Valores Requeridos
<b>Tensión Máxima de Servicio</b>	kV	17.5
<b>Tensión de Servicio</b>	kV	12.5
<b>Frecuencia</b>	Hz	60
<b>Tensión no disruptiva de impulso (NBI)</b>	kV	95
<b>Tensión no disruptiva a frecuencia de servicio (NBC)</b>	kV	38
<b>Tipo de conexión del neutro</b>		A tierra directo
<b>Temperatura del suelo a 1 m de profundidad</b>	°C	20

Tabla 7- Nivel de tensión 12.5 kV

### 1.2.3- Sistemas de servicios auxiliares CA/CC

La subestación dispondrá de un sistema de servicios auxiliares de corriente alterna (CA) y de un sistema de servicios auxiliares de corriente continua (CC). El sistema de servicios auxiliares de CA se destina a la alimentación de cargas de iluminación, y toma corrientes normales de instalaciones industriales.

El sistema de CC alimentará todos los sistemas auxiliares de CC, control de protección de los campos de AT, y además los circuitos de iluminación de emergencia.

Tensiones nominales de servicios auxiliares: 120 Vca, 125 Vcc para protección y medición, y 48 Vcc para comunicación.

### 1.3- Condiciones para el diseño

A continuación se presenta los datos relacionados a las condiciones para el diseño.

Descripción	Unidad	Valores
<b>Nivel isoceráunico (Nº de tormentas al año)</b>	-	130
<b>Nivel de Contaminación Atmosférica</b>	-	(25 mm/kv)
<b>Aceleración sísmica</b>		
Horizontal	g	0.2
Vertical	g	0.3
<b>Velocidad del viento</b>		
Velocidad del viento para el diseño base	Km/h	120
Velocidad del viento extremo	Km/h	220
<b>Altitud</b>	m	<1000 m
<b>Corriente de corto circuito</b>		
Trifásica	kA	31.5
monofásica	kA	16
<b>Factor de tensión del sistema</b>		1.4

Tabla 8- Condiciones para el diseño

## 2- Selección y justificación del tipo de configuración

A continuación se muestra un análisis comparativo entre las configuraciones de subestaciones más comunes, a partir del cual ha de ser seleccionada la configuración que más se acerque a las exigencias de la subestación a diseñar.

Se debe tener presente que la subestación a diseñar es una subestación de maniobra, a la cual llegan tres líneas y salen tres líneas, haciendo un total de seis campos de línea.

Tipo de Configuración	Ventajas	Desventajas
<b>Barra sencilla</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Configuración más sencilla.</li> <li>➤ De fácil maniobra y fácil ejecución de la protección.</li> <li>➤ La más económica.</li> <li>➤ Menor cantidad de equipos y menor área.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Una falla en el sistema de barras pone fuera de servicio la subestación.</li> <li>➤ No es posible dar mantenimiento a interruptores y mantener el servicio al mismo tiempo.</li> <li>➤ Pérdida total del servicio en caso de mantenimiento a barra.</li> <li>➤ Falta de confiabilidad,</li> </ul>

		seguridad y flexibilidad.
<b>Barra principal más barra de transferencia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Se puede dar mantenimiento al interruptor de línea sin perder la alimentación.</li> <li>➤ No se pierde la alimentación del alimentador en caso de mantenimiento a un interruptor.</li> <li>➤ Buena confiabilidad en interruptores.</li> <li>➤ Bajo costo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Falla en barra saca de servicio la subestación.</li> <li>➤ Baja seguridad.</li> </ul>
<b>Arreglo de doble barra</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Permite dar mantenimiento a una de las barras sin interrupción del servicio.</li> <li>➤ Permite la operación separada de las dos barras.</li> <li>➤ Confiabilidad en barra.</li> <li>➤ En caso de falla en la barra de trabajo se puede restablecer el servicio rápidamente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ En caso de falla en barra la subestación sale de servicio momentáneamente.</li> <li>➤ Si están ambas barras energizadas y hay una falla en barra solo se pierde el 50% de la carga.</li> <li>➤ Elevado número de seccionadores.</li> <li>➤ Operación compleja</li> <li>➤ En caso de mantenimiento a interruptor, se pierde la alimentación del circuito.</li> <li>➤ Ocupa un área considerable.</li> </ul>
<b>Arreglo de doble barra con bypass.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ En caso de fallo en barra se puede reestablecer el servicio mediante la otra barra.</li> <li>➤ Permite dar mantenimiento a interruptores, sin perder la alimentación del circuito.</li> <li>➤ Buena confiabilidad.</li> <li>➤ Mantenimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ En caso de falla en barra, la subestación queda fuera de servicio momentáneamente.</li> <li>➤ Si están ambas barras energizadas y hay una falla en barra solo se pierde el 50% de la carga.</li> <li>➤ Ocupa un área considerable.</li> <li>➤ Operación compleja.</li> <li>➤ En caso de mantenimiento de interruptores se pierde la protección de servicio.</li> </ul>

<p><b>Doble barra más barra de transferencia</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Flexible para barras y para líneas.</li> <li>➤ Permite dar mantenimiento a barras e interruptores sin pérdida del servicio de energía de los circuitos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Muy alto costo.</li> <li>➤ Se requiere de una tercera barra.</li> <li>➤ Ocupa un área grande.</li> <li>➤ Operación compleja</li> </ul>
<p><b>Arreglo en anillo</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Flexible</li> <li>➤ Bajo costo</li> <li>➤ Es segura.</li> <li>➤ Permite dar mantenimiento a interruptores sin perder el servicio de energía.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cada alimentador está conectado a dos interruptores.</li> <li>➤ Por consideraciones prácticas se ve limitada a un máximo de seis salidas.</li> <li>➤ Para la ampliación se requiere sacar de servicio la subestación.</li> <li>➤ Compleja coordinación de protección.</li> </ul>
<p><b>Arreglo interruptor y medio.</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Permite dar mantenimiento a cualquiera de los interruptores sin necesidad de interrumpir el servicio.</li> <li>➤ Flexible para línea y para barra.</li> <li>➤ Alta confiabilidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Protección compleja debido a que cada alimentador debe ser desconectado con ayuda de dos interruptores.</li> <li>➤ En caso de falla en uno de los interruptores extremos cuando el otro está en mantenimiento los alimentadores quedan sin servicio.</li> <li>➤ Muy costosa</li> </ul>

Tabla 9- Comparación de las distintas configuraciones

Después de observar y analizar cuidadosamente las ventajas y desventajas que nos ofrecen las distintas configuraciones, hemos decidido utilizar **Barra principal más barra de transferencia**, por su bajo costo y alta confiabilidad en línea. Además de su baja complejidad de operación y protección en relación con otras configuraciones, la cual se adapta perfectamente a nuestra subestación debido a la ubicación de la misma.

### 3- Seleccionar el tipo de aislamiento de la subestación

Para nuestro diseño **seleccionamos una subestación aislada en aire (AIS)**. Esto se justifica por el espacio disponible que se posee para la construcción de la misma y el menor costo que estas presentan en comparación con las GIS.

Además de que no hay ningún factor climático o de contaminación que amerite la utilización de una subestación aislada en gas.

## 4- Calculo de distancias mínimas de seguridad

Son las distancias mínimas que deben considerarse en subestaciones a la intemperie, con el objeto de garantizar un nivel de aislamiento adecuado entre las partes energizadas, y seguro hacia las personas y equipos, tomando en cuenta las condiciones atmosféricas sitio.

### 4.1- Tensión critica de flameo ( $V_{50\%}$ )

$$V_{50\%} = \frac{BIL}{0.961} \quad (\text{kV})$$

Donde:

**BIL:** Nivel de aislamiento al impulso tipo atmosférico, igual a 650 kV para una tensión de trabajo máxima de 145 kV.

$$V_{50\%} = \frac{650 \text{ kV}}{0.961} = 676.38 \text{ kV}$$

### 4.2- Tensión de flameo corregida por humedad y temperatura ( $V_{50\% c}$ )

$$V_{50\% c} = \frac{V_{50\%} * k_1}{k_2}$$

Donde:

**k<sub>1</sub>:** Factor de corrección por densidad del aire de acuerdo con la altura y temperatura.

**k<sub>2</sub>:** Factor de corrección por la humedad.

**k<sub>1</sub>** y **k<sub>2</sub>** iguales a uno, para alturas menores de 1000m.

Por tanto:

$$V_{50\% c} = V_{50\%}$$

### 4.3- Distancia de fase a tierra

$$D_{f-t} = \frac{V_{50\% c}}{k}$$

Donde:

**k:** gradiente de tensión Kv/m.

$$D_{f-t} = \frac{676.38 \text{ kV}}{550 \text{ kV/m}} = 1.23 \text{ m}$$

#### 4.4- Distancia de fase a fase ( $D_{f-f}$ )

Desplazamiento horizontal del conductor en C.C. ( $Y_k$ )

$$Y_k = 1.2 \sin 40^\circ \cdot Y_o$$

Donde:

$Y_o$ : Longitud de la flecha,

$$Y_o = 0.03 * L$$

Para una longitud de vano:

$$L=30m$$

$$Y_k = 0.7713Y_o = 0.7713 * (0.03 * 30)$$

$$Y_k = 0.694m$$

Conociendo este valor la distancia de fase a fase será:

$$D_{f-f} = D_{f-t} + 2Y_k$$

$$D_{f-f} = 1.23m + 2 * 0.694m$$

$$D_{f-f} = 2.618m$$

#### 4.5- Distancias mínimas de seguridad para el personal

##### 4.5.1- Distancia horizontal

$$D_h = D_{f-t} + 0.9m$$

$$D_h = 1.30 + 0.9m = 2.20m$$

##### 4.5.2- Distancia vertical

$$D_v = D_{f-t} + 2.25m$$

$$D_v = 1.30 + 2.25 = 3.55m$$

#### 4.6- Distancias mínimas para circulación de vehículos

##### 4.6.1- Distancia horizontal

$$D_h = (D_{f-t} + 0.7m) + 0.9m$$

$$D_h = (1.30m + 0.7m) + 0.9m = 2.90m$$

##### 4.6.2- Distancia vertical

$$D_v = (D_{f-t} + 0.7m) + 2.25m$$

$$D_v = (1.30m + 0.7m) + 2.25m = 4.25m$$

#### 4.7- Distancias de seguridad para área de trabajo

$$D_h = (d_{f-t} + 1.75m) + 0.9m$$

$$D_h = (1.30m + 1.75m) + 0.9m = 3.95m$$

$$D_v = (D_{f-t} + 1.25m) + 0.9m$$

$$D_v = (1.30\text{m} + 1.25\text{m}) + 2.25\text{m} = 4.80\text{m}$$

#### 4.7.1- Altura de la parte viva del quipo

$$D_e = 2.30\text{m} + 0.0105V_{\text{max}}$$

$$D_e = 2.30\text{m} + 0.0105 * 145\text{kV} = 3.82\text{m}$$

#### 4.7.2- Altura de la barra

$$h_b = 5\text{m} + 0.0125V_{\text{max}}$$

$$h_b = 5\text{m} + 0.0125 * 145\text{kV} = 6.81\text{m}$$

#### 4.7.3- Altura de la línea de transmisión

$$h_{LT} = 5 + 0.006V_{\text{max}}$$

$$h_{LT} = 5 + 0.006 * 145 = 5.87\text{m}$$

### 4.8- Comparación de las distancias calculadas y las distancias normalizadas de acuerdo con la norma IEC-60071-2

	Distancias Calculadas (m)	Distancias Seleccionadas (m)
Distancia Fase-Tierra	1.23	1.3
Distancia Fase-Fase	2.618	2.5
Distancia horizontal	2.20	2.2
Distancia vertical	3.55	3.6
Distancia horizontal para la circulación de los vehículos dentro de la subestación.	2.90	3.0
Distancia vertical para la circulación de los vehículos dentro de la subestación	4.25	4.5
Distancias de seguridad para área de trabajo Horizontal:	3.95	4.0
Distancias de seguridad para área de trabajo Vertical:	4.80	5.0
Altura de la parte viva del quipo	3.82	4.0
Altura de la barra	6.81	7.0
Altura de la línea de transmisión	5.87	6.0

Tabla 10- Comparación de las distancias de seguridad con la IEC-60071-2

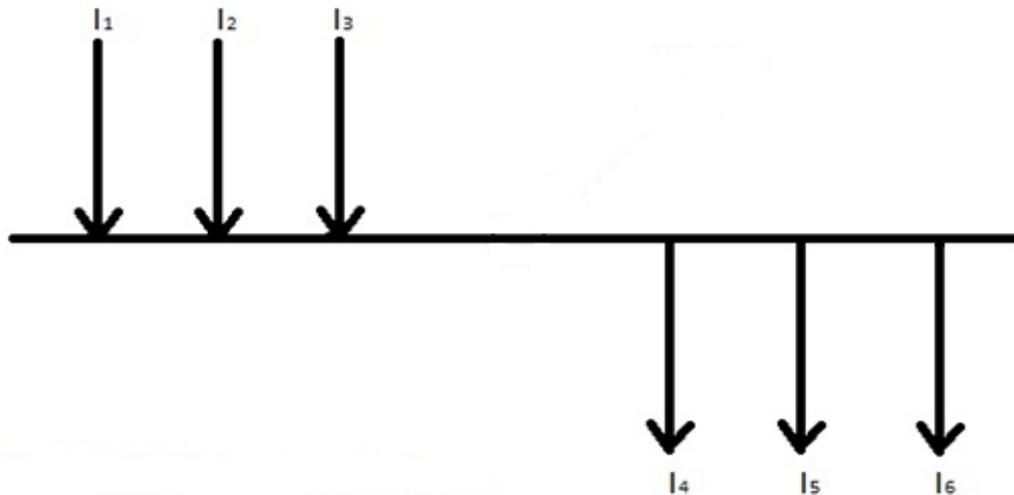
## 5- Selección el tipo de sistema de barras: flexible o Rígido en función de las corrientes nominales y de corto circuito

La subestación a diseñar es una subestación de interconexión, con una configuración de barra principal más transferencia. La misma cuenta con seis campos de línea. Las líneas que entraran o saldrán de la subestación están conformadas con un conductor, DARIEN 559.5MCM, por fase.

Para la selección del sistema de barra se ha analizado el caso más crítico de operación de la barra, en el cual se encuentran tres líneas suministrando energía a la barra y tres retirando.

La corriente por fase máxima que manejara cada línea será el 80% del valor de corriente que soporta el conductor DARIEN 559.5 MCM.

**Caso más crítico:**



*Fig. 5. 1*

Aplicando la ley de corrientes de Kirchhoff:

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5 + I_6$$

Conductor DARIEN 559.5 MCM, ampacidad del conductor 663 A. Para fines de diseño se asumirá que el conductor transporta esta misma corriente.

$$I_{\text{línea}} = 663 \text{ A}$$

Corriente máxima a través de la barra:

$$I_{\text{barra}} = I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5 + I_6 = 3 * I_{\text{línea}}$$

$$I_{\text{barra}} = 3 * 663 \text{ A}$$

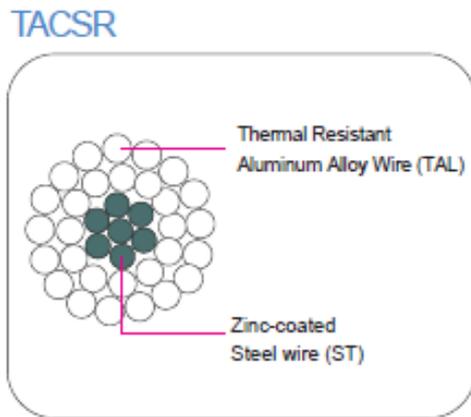
Por tanto:

$$I_{\text{barra}} = 1989 \text{ A}$$

En función de la corriente de barra obtenida y las ventajas que ofrece, hemos llegado a la conclusión de que es más factible un sistema de barras flexibles para la subestación en cuestión.

Entre las ventajas que nos brinda esta selección están:

- Nos permite utilizar cables de guarda para la protección contra descargas atmosféricas, reduciendo así los costos de la subestación.
- Permite usar claros mayores, reduciendo el número de uniones.



Para la subestación en cuestión se ha decidido utilizar un conductor **TACSR (Thermal Resistant Alloy Conductors, Steel Reinforced)**. Este está bajo los estándares IEC, ASTM, LSC standard y JEC 3406.

Este conductor tiene núcleo de acero y puede trabajar a temperaturas de hasta 150 °C.

De acuerdo a la corriente de barra y utilizando un solo conductor por fase, el calibre del **conductor a utilizar es el TACSR de 810 mm<sup>2</sup>** mostrado en la tabla siguiente:

Conductor Size (mm <sup>2</sup> )	Stranding (Nos./mm)		Min. Breaking Load (kgf)	Reference												
				Cross-Sectional Area (mm <sup>2</sup> )			Overall Diameter (mm)		Weight (kg/km)			DC Resistance at 20°C (Ω/km)	Modulus of Elasticity (kgf/mm <sup>2</sup> )	Coefficient of Linear Expansion (10 <sup>-6</sup> /°C)	Standard Length (m)	Current Carrying Capacity (A)
	TAL	ST		Total	TAL	ST	TAL	ST	Total							
58	6/3.5	1/3.5	1,980	57.73	9.621	67.35	10.5	3.5	158.1	75.04	233.1	0.505	8,400	18.9	1,000	343
80	6/4.2	1/4.2	2,770	83.10	13.85	96.95	12.6	4.2	227.5	108.0	335.5	0.350	8,400	18.9	1,000	430
95	6/4.5	1/4.5	3,810	95.40	15.90	111.3	13.5	4.5	261.2	124.0	385.2	0.306	8,400	18.9	1,000	478
80	15/2.6	4/2.6	4,720	79.64	21.24	100.9	13.0	(7.8)	219.2	166.5	385.7	0.368	9,390	17.6	2,000	448
100	15/2.9	4/2.9	5,580	99.08	26.42	125.5	14.5	(8.7)	272.8	207.1	479.9	0.296	9,390	17.6	2,000	517
120	15/3.2	4/3.2	5,550	120.6	32.17	152.8	16.0	(9.6)	332.2	252.2	584.4	0.243	9,390	17.6	2,000	590
120	30/2.3	7/2.3	5,540	124.7	29.09	153.8	16.1	6.9	345.7	228.0	573.7	0.237	9,080	18.0	2,000	598
160	30/2.6	7/2.6	6,980	159.3	37.16	196.5	18.2	7.8	441.5	291.3	732.8	0.185	9,080	18.0	2,000	706
200	30/2.9	7/2.9	8,640	198.2	46.24	244.4	20.3	8.7	549.3	362.4	911.7	0.149	9,080	18.0	2,000	816
240	30/3.2	7/3.2	10,210	241.3	56.29	297.6	22.4	9.6	668.9	441.3	1,110	0.122	9,080	18.0	2,000	932
330	26/4.0	7/3.1	10,950	326.8	52.84	379.6	25.3	9.3	905.4	414.2	1,320	0.0904	8,360	19.0	2,000	1,128
410	26/4.5	7/3.5	13,910	413.4	67.35	480.8	28.5	10.5	1,145	527.9	1,673	0.0714	8,360	19.0	2,000	1,322
480	45/3.7	7/2.47	11,260	483.8	33.54	517.34	29.6	7.41	1336.1	262.9	1,599	0.0610	7,250	20.8	2,000	1,425
520	54/3.5	7/3.5	15,600	519.5	67.35	586.9	31.5	10.5	1,441	527.9	1,969	0.0569	7,990	19.5	1,600	1,504
610	54/3.8	7/3.8	18,350	612.4	79.38	691.8	34.2	11.4	1,698	622.2	2,320	0.0481	7,990	19.5	1,600	1,682
680	54/4.0	7/4.0	19,810	678.8	87.99	766.8	36.0	12.0	1,882	689.8	2,572	0.0436	7,990	19.5	1,600	1,797
680	45/4.4	7/2.9	15,580	684.5	46.24	730.7	35.1	8.7	1,898	362.4	2,260	0.0431	7,250	20.8	1,600	1,787
810	45/4.8	7/3.2	18,480	814.5	56.29	870.8	38.4	9.6	2,259	441.3	2,700	0.0363	7,250	20.8	1,600	2,004
1,160	84/4.2	7/4.2	27,830	1,163	96.95	1,260	46.2	12.6	3,236	759.8	3,996	0.0254	7,430	20.5	1,200	2,573
1,520	84/4.8	7/4.8	36,390	1,520	126.7	1,647	52.8	14.4	4,228	993.3	5,222	0.0195	7,430	20.5	1,200	3,035

## 5.1- Evaluación de cargas

### 5.1.1- Carga debida a los efectos de cortocircuito

La fuerza electromagnética depende del tipo de conductor y su cálculo es como se indica a continuación, según la CIGRÉ:

$$w_{cs} = 0.15 \frac{(I_{k3})^2 (1 + m)}{a}, N/m$$

Donde:

$w_{sc}$ : Fuerza unitaria electromagnética, N/m

$I_{k3}$ : Corriente de cortocircuito simétrica trifásica, kA.

$a$ : Separación entre fases.

$m$ : calor de disipación debido a la componente de corriente directa en sistemas trifásicos o monofásicos.

Sustituyendo los valores calculados en puntos anteriores:

$$w_{cs} = 0.15 \frac{(31.5kA)^2 (1 + 0.2)}{3m}$$

$$w_{cs} = 59.54N/m$$

$$T_{max} = w_{cs} * L = 59.54 \frac{N}{m} * 10m$$

$$T_{max} = 594N = 60.55kg_f$$

### 5.1.3- Carga de peso propio

La carga de peso propio está conformada por el peso del conductor, de los dispositivos de amortiguamiento de vibraciones y de las cargas centrales. Esta carga es igual:

$$w_G = n \cdot w_c \cdot L$$

Donde:

$w_g$ : Carga gravitacional sobre el conductor.

$w_c$ : Peso del conductor.

$n$ : Número de conductores.

$$\text{Peso del conductor} = 2700 \frac{kg}{km} * \frac{9.8 m/s^2}{1000 m/km} = 26.46 N/m$$

Para un conductor por fase:

$$w_G = 26.46 \frac{N}{m} * 10m$$

$$w_G = 264.6N = 26.97kg_f$$

De los cálculos anteriores nos damos cuenta que el conductor seleccionado para la barra principal, el **TACSR de 810 mm<sup>2</sup>**, es capaz de soportar los esfuerzos mecánicos y electromecánicos a los que será sometido.

Para el conductor de la barra transferencia se ha de utilizar el mismo conductor de las líneas de transmisión, un conductor por fase **DARIEN 559.5 MCM**.

## 6- Selección de la Disposición Física Subestación (Alto o Bajo Perfil)

### **Disposición Física:**

Es el ordenamiento de los diferentes equipos constitutivos de un patio de conexiones de una subestación para cada uno de los tipos de configuraciones.

Considerando los puntos establecidos hasta el momento:

- La configuración seleccionada
- Las Corrientes Nominales y de Cortocircuito
- Las Distancias Mínimas y de Seguridad

Contamos un **área de 160x60 metros cuadrados**, donde los **accesos y posibles orientaciones de las líneas** no cuentan con ninguna restricción de espacio, más sin embargo al tomar en cuenta el espacio requerido para brindar mantenimiento a la subestación es preferible utilizar una configuración que ahorre espacio y permita el tránsito de camiones, por tal motivo:

### **Seleccionamos una Subestación de Alto Perfil**

Con esto proveemos **la llegada de las líneas a la instalación** y la **posible salida de los circuitos** a ambos lados de la barra, a la vez que se consigue un ahorro sustancial en los conductores de barra.

## 7- Selección de la configuración de la subestación

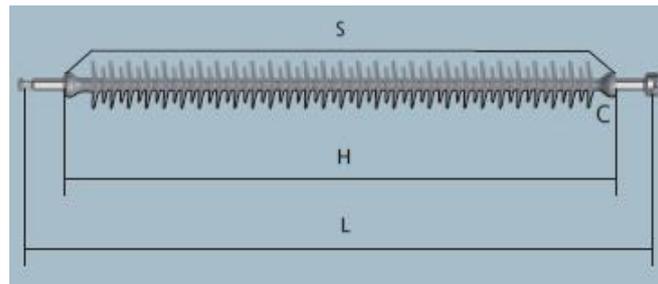
En este punto se configurará la subestación teniendo en cuenta los equipos que la conforman y su disposición en la misma. Además del diseño del apantallamiento y red de tierra de subestación en cuestión. Se consideran todos los equipos a ser requeridos y la realización de los diagramas, requeridos, para la total comprensión del diseño.

## 7.1- Selección de los equipos mayores de la instalación

### 7.1.1- Aisladores

Características técnicas		
	Unidad	Valor
Tensión máxima del equipo (Um)	kV	145
Tensión típica del sistema	kV	138
Tensión soportada nominal al impulso tipo rayo	kV	650
Tensión soportada nominal al frecuencia industrial, 1 min	kV	275
Distancia de contorneo (S)	mm	1214
Línea de fuga (C)	mm	3625
Longitud de revestimiento (H)	mm	1178
Longitud total de conexión (con rótula y alojamiento) (L)	mm	1386
Carga mecánica garantizada (SML)	kN	120
Carga mecánica de rutina (RTL)	kN	60
Diámetro de pantalla (D)	mm	260
Peso (con rótula y alojamiento) (w)	Kg	6.1

Tabla 11- Características técnicas aisladores

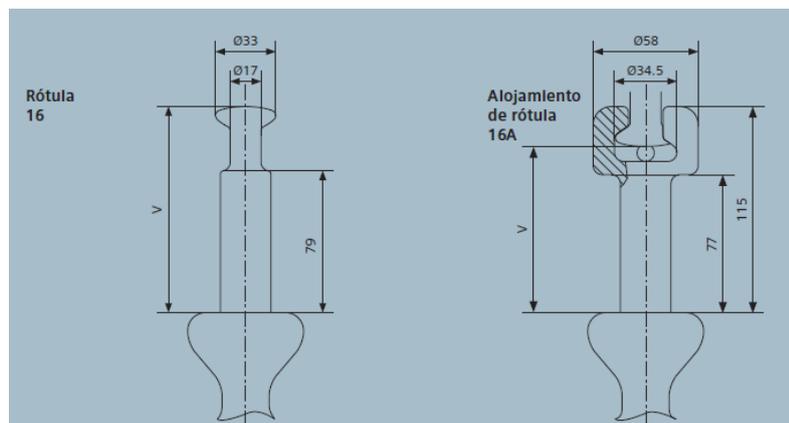


### 7.1.2- Acoples terminales de los aisladores

El acople a terminal a utilizar es un acople de rótula 16 de conformidad con la norma IEC 60120.

Acople terminal	
Nombre/tamaño	Rótula 16
Carga mecánica garantizada (SML)	120 KN
Longitud (V)	102 mm

Tabla 12- Características acoples terminales de los aisladores



### 7.1.3-Seccionadores

Se han seleccionado para las líneas seccionadores de montaje horizontal con apertura central, de accionamiento motorizado.

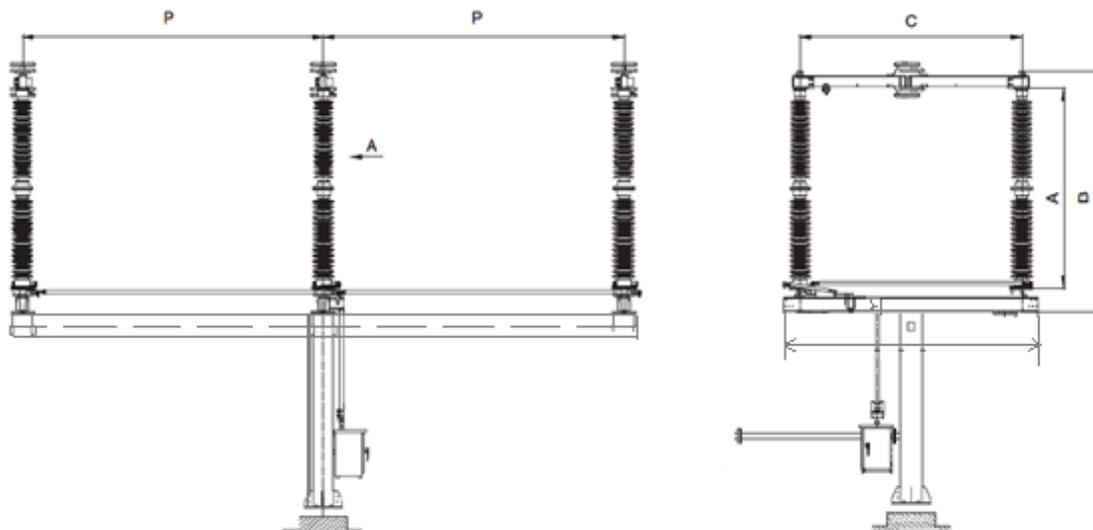
Seccionador			
		Unidad	Valor
<b>Tensión nominal (Ur)</b>		kV	145
<b>Frecuencia nominal (fr)</b>		Hz	60
<b>Corriente nominal (Ir)</b>		A	≤3150
<b>Corriente de corto circuito soportada (Ik)</b>		kA	40
<b>Duración del cortocircuito (tk)</b>		s	4
<b>Corriente pico soportada (Ip)</b>		kA	100
<b>Sobre tensión a frecuencia Industrial soportada por 1 minuto</b>	A tierra y entre polos	kV	275
	A través de distancia de aislamiento	kV	315
<b>Impulso tipo rayo soportado</b>	A tierra y entre polos	kV	650
	A través de distancia de aislamiento	kV	750
<b>Mecanismo de operación</b>		motorizado	
<b>Tipo de apertura</b>		Apertura central	

Tabla 13- Características técnicas de los seccionadores

Para el seccionador que ha de instalarse en la tierra:

Dimensiones (mm)	
<b>A</b>	1500
<b>B</b>	1915
<b>C</b>	1650
<b>D</b>	2100
<b>P</b>	3000

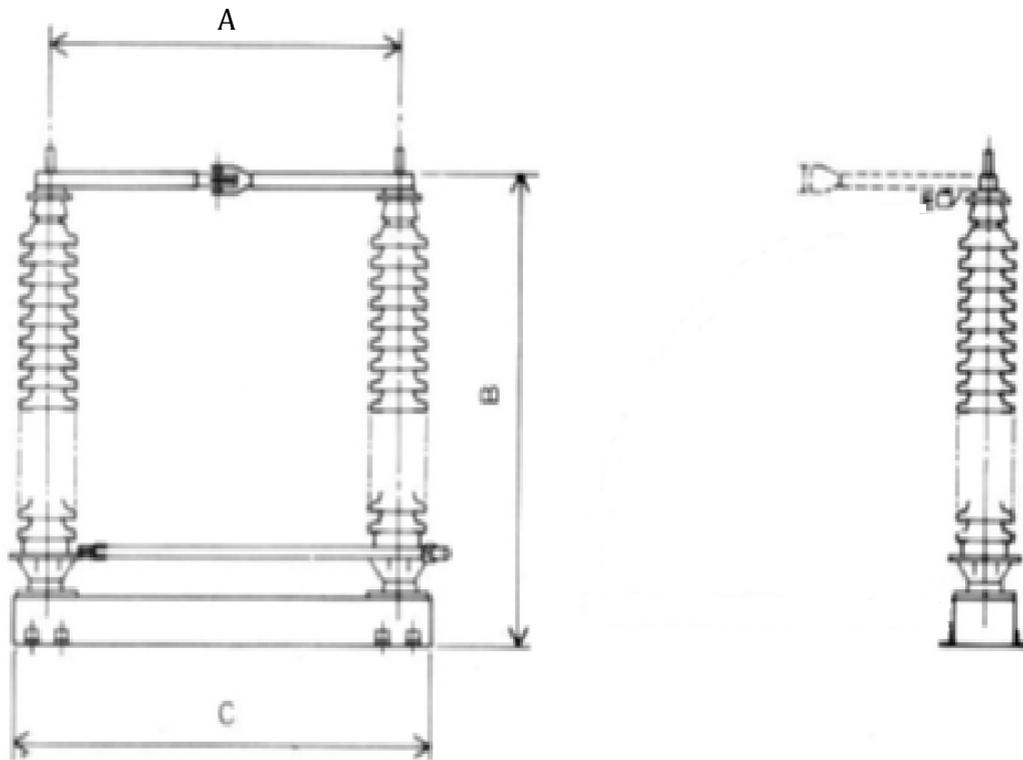
Tabla 14- Dimensiones de los seccionadores



Para el seccionador que ha de instalarse sobre la estructura:

Dimensiones (mm)		
A	B	C
1620	1850	1940

Tabla 15- Dimensión de los seccionadores (sobre estructura)



#### 7.1.4- Interruptores

Datos técnicos de acuerdo con la IEEE:

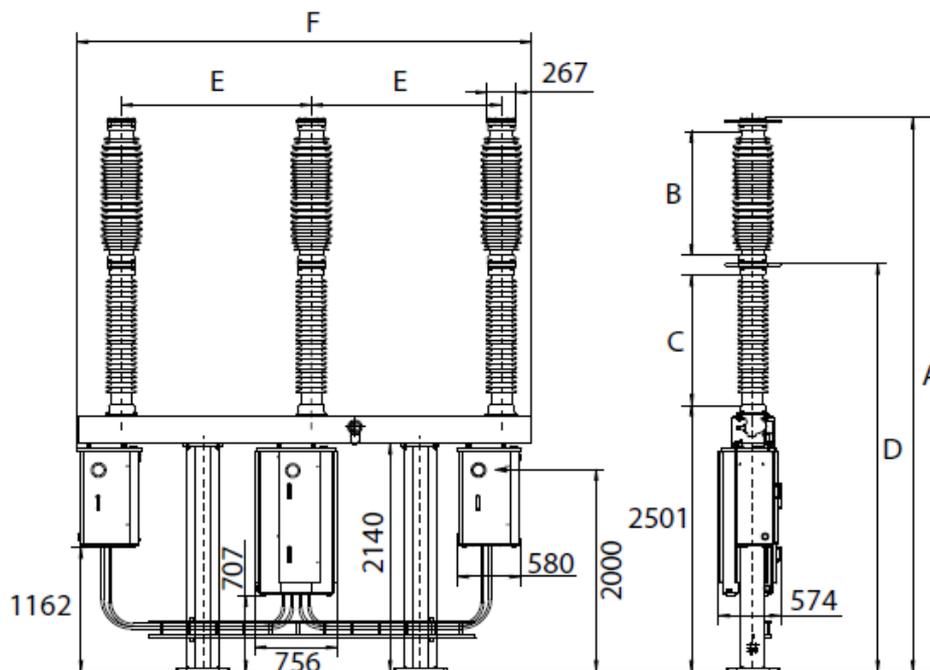
Interruptor			
		Unidad	Valor
<b>Numero de interruptores por polo</b>		-	1
<b>Tensión nominal</b>		kV	145
<b>Frecuencia nominal</b>		Hz	60
<b>Sobretensión a frecuencia Industrial soportada</b>	<b>A tierra (seco/mojado)</b>	kV	310/275
	<b>Entre polos (seco/mojado)</b>	kV	310/275
<b>Sobre tensión Impulso tipo rayo soportada</b>	<b>A tierra</b>	kV	650
	<b>Entre polos</b>	kV	650
<b>Sobretensión instantánea soportada</b>	<b>A tierra (2μs)</b>	kV	838
	<b>Entre polos (2μs)</b>	kV	838
<b>Sobretensión de maniobra</b>	<b>Continua corriente nominal</b>	A	3000
	<b>Corriente cortocircuito</b>	kA	40
	<b>Factor de primer polo</b>	-	1.5

	<b>Cresta de corriente de cierre</b>	kA	104
	<b>Duración del cortocircuito</b>	S	3
	<b>Tiempo de cierre</b>	ms	<40
	<b>Tiempo de apertura</b>	ms	22
	<b>Tiempo de interrupción</b>	ms	40
	<b>Tiempo muerto</b>	ms	300
<b>Condiciones de servicio</b>	<b>Temperatura ambiente</b>	°C	-30 a +40
	<b>Altura de diseño</b>	m	1000
<b>Aislamiento</b>		SF6	
<b>Aislamiento exterior</b>		Porcelana	
<b>Mecanismo de operación</b>		Resorte cargado	
<b>Tipo de operación</b>		Monopolar	

Tabla 16- Características técnicas de los interruptores

Dimensiones (mm)					
A	B	C	D	E	F
5197	1164	1220	3833	1750	4630

Tabla 17- Dimensiones de los interruptores



## 7.1.5- Transformadores de Instrumentos

Para las líneas se han seleccionado los siguientes transformadores de corriente y tensión:

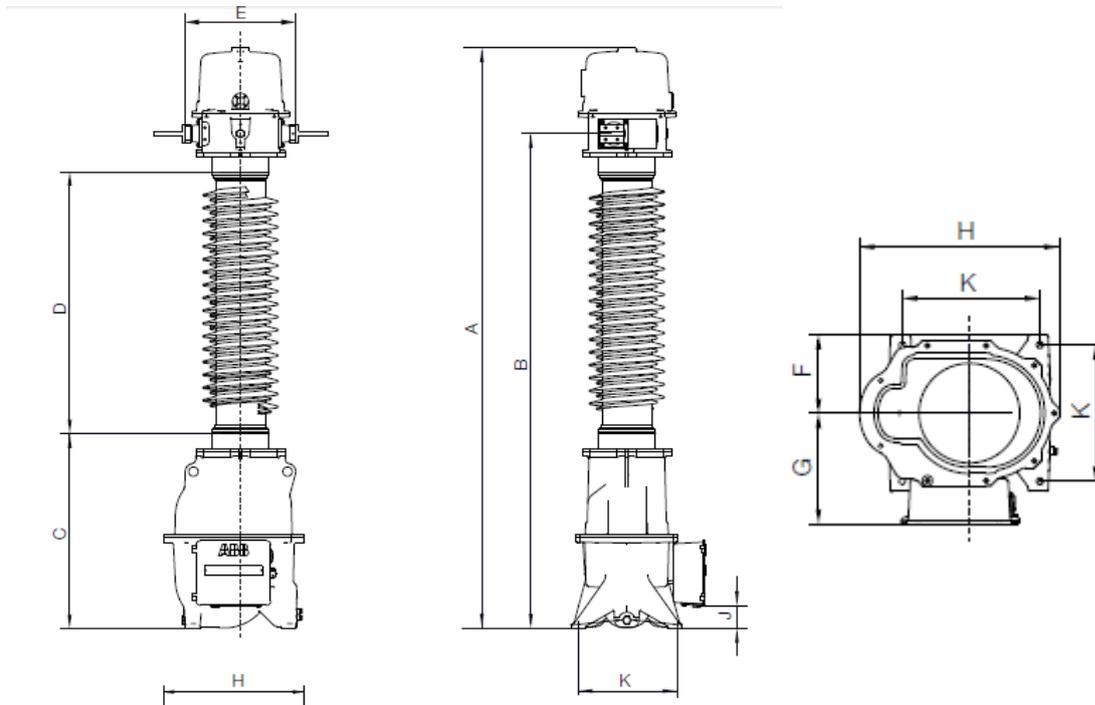
Transformador de corriente			
		Unidad	Valor
<b>Máxima corriente primaria continua y corriente de cortocircuito</b>	<b>Corriente normal</b>	A	1200
	<b>I<sub>max</sub> de cortocircuito (1s)</b>	kA	40
	<b>I<sub>max</sub> de cortocircuito (3s)</b>	kA	40
	<b>Máxima corriente dinámica</b>	kA	108
<b>Distancia de fuga a 25mm/kV</b>	<b>Distancia de flashover</b>	mm	1120
	<b>Distancia de fuga total</b>	mm	3625
	<b>Distancia de fuga protegida</b>	mm	1400
<b>Prueba de tensión IEC 61869-2</b>	<b>Tensión max. Del equipo (U<sub>m</sub>)</b>	kV	145
	<b>Prueba AC, 1min, seco/húmedo</b>	kV	275/275
	<b>Impulso tipo rayo 1.2/50 µs</b>	kV	650
	<b>Prueba RIV</b>	kV	92
	<b>Max. Nivel RIV</b>	µV	2500
	<b>Sobretensión a frecuencia industrial</b>	kV	275
	<b>Prueba AC mojado, 10s</b>	kV	275
	<b>Impulso tipo rayo</b>	kV	650
	<b>Impulso instantáneo</b>	kV	750
	<b>Prueba RIV</b>	kV	84
	<b>Nivel máximo RIV</b>	µV	200
<b>Condiciones de servicio</b>	<b>Temperatura ambiente</b>	°C	-30 a +40
	<b>Altura máxima</b>	M	1000
<b>Clase de precisión según IEC61869-2</b>	<b>Medición comercial</b>	10 VA - 0.2	
	<b>Medición de grado industrial</b>	15 VA - 1.0	
	<b>Protección</b>	30 VA - 5P10	
	<b>Protección</b>	30 VA - 5P10	
<b>Aislamiento</b>	Aceite-papel-cuarzo		
<b>Aislamiento externo</b>	Porcelana		
<b>Factor de tensión</b>	1.4		

Tabla 18- Características técnicas de los TC

Dimensiones (mm)		
<b>Altura total</b>	A	2490
<b>Altura al conductor primario</b>	B	2125
<b>Altura del nivel de tierra</b>	C	840
<b>Distancia de flashover</b>	D	1120
<b>Distancia al bushing del terminal primario</b>	E	470
	F	235
<b>Dimensiones del tanque</b>	G	335
	H	595

<b>Altura a la caja de conexiones</b>	J	110
<b>Espacio para agujeros de montaje</b>	K	410

Tabla 19- Dimensiones de los TC

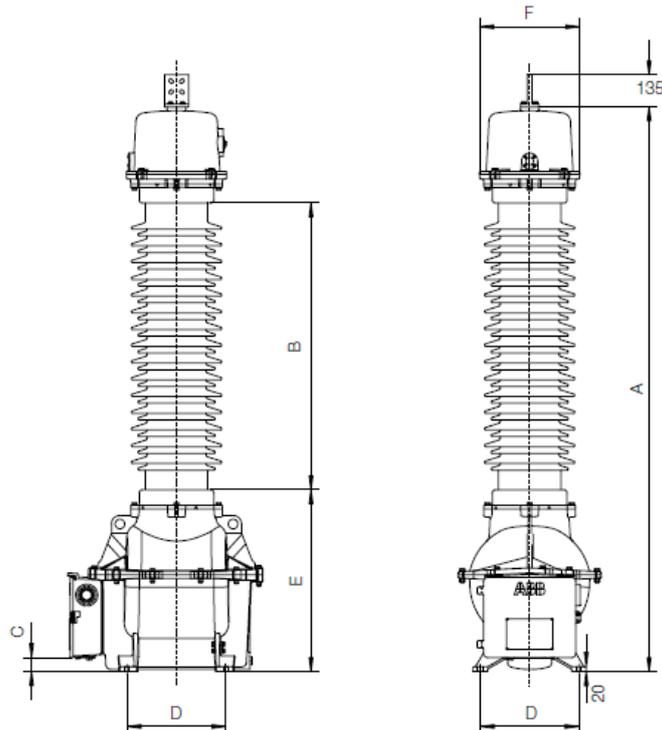


Transformador de tensión		Unidad	Valor
<b>Distancia nominal de flashover y de fuga</b>	Distancia flash-over	mm	1200
	Distancia de fuga	mm	3625
	Distancia de fuga protegida	mm	1400
<b>Prueba de voltaje IEC 61869-3</b>	Tensión máxima de trabajo (Um)	kV	145
	A un 1min mojado/seco	kV	275
	Impulso tipo rayo	kV	650
	Prueba RIV	kV	92
	Nivel RIV	μV	2500
<b>Condiciones de servicio</b>	Temperatura ambiente	°C	-30 a +40
	Altura de diseño	m	≤1000
<b>Clase de precisión</b>	Medición Comercial	50VA clase 0.2	
	Medición interna	100VA clase 1.0	
	Protección	100VA clase 3P	
<b>Factor de tensión</b>			
<b>Aislante exterior</b>	Porcelana		
<b>Aislamiento</b>	Aceite-papel-cuarzo		
<b>Tipo</b>	Inductivo		
<b>Relación de transformación</b>	$\frac{138000}{\sqrt{3}} \text{ V}$ 115-115-115		

Tabla 20- Características técnicas de los PT

Dimensiones (mm)		
Altura total	A	2360
Distancia de Flash-over	B	1200
Altura de la caja de conexiones	C	65
Dimensión de los agujeros de montaje	D	410X410
Altura del nivel de tierra	E	760
416Expansión vessel diámetro	F	416

Tabla 21- Dimensiones de los PT



### 7.1.6- Transformador de tensión para barras

Para las barras se ha seleccionado un station service voltage transformer (SSVT), para poder medir la tensión en barras a la vez que podemos alimentar los equipos de servicios auxiliares del mismo.

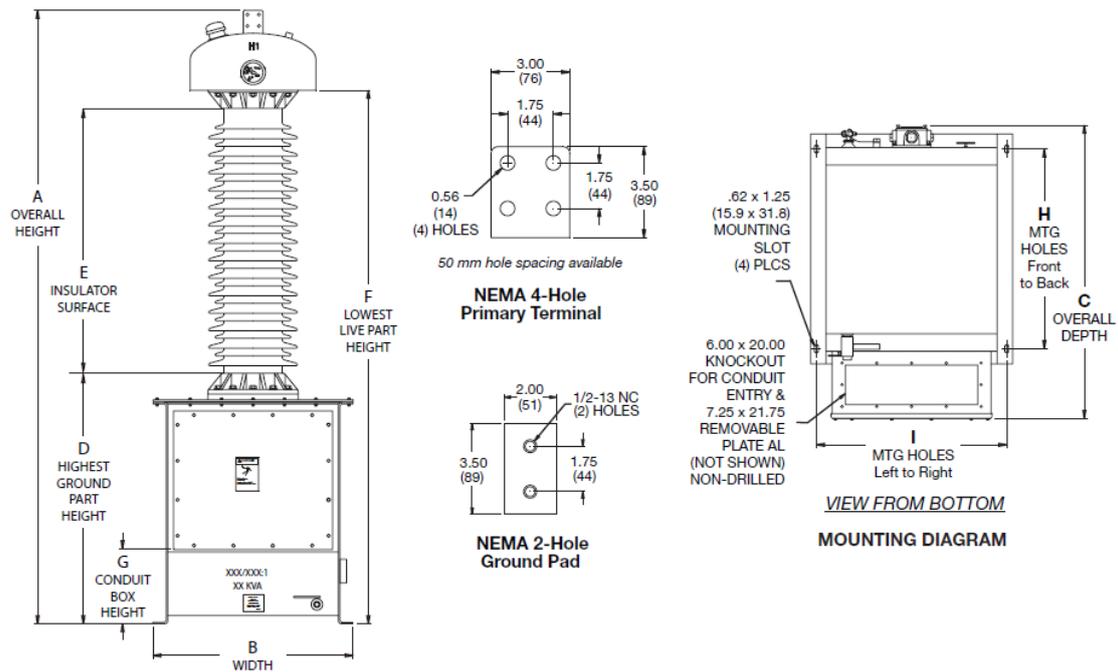
SSVT			
		Unidad	Valor
Tensión nominal del sistema (NSV)		kV	138
Máxima tensión del sistema (MSV)		kV	145
BIL		kV	650
Máxima tensión de trabajo continuo (MCOV)		%	115
MCOV (potencia + medida)		%	140
MCOV (potencia)- por un minuto		%	125
MCOV (potencia + medida)- por un minuto		%	173
Sobre tensión a frecuencia industrial	Seco- 1min	kV	275
	Mojado- 10 sec	kV	275
Descarga parcial		kV	109

<b>HO bushing</b>		kV	5
<b>HO bushing BIL</b>		kV	30
<b>HV bushing</b>	Distancia de fuga	mm	3734
	strike	mm	1245
<b>Potencia</b>		kVA	50
<b>Clase de precisión</b>	Medición	-	1
	Protección	-	3P

Tabla 22- Características Técnicas de los SSVT

Dimensiones (mm)		
	Unidad	valor
<b>A - Altura</b>	mm	2584
<b>B - Ancho</b>	mm	787
<b>C - Profundidad</b>	mm	1244
<b>D - Parte a tierra más alta</b>	mm	894
<b>E - Longitud de aislador</b>	mm	1210
<b>F - Parte viva más baja</b>	mm	2273
<b>G - Altura de caja de conexiones</b>	mm	311
<b>H - Agujeros de montaje frente y atrás</b>	mm	883
<b>I - Agujeros de montaje izquierda-derecha</b>	mm	733

Tabla 23- Dimensiones de los SSVT



### 7.1.7- Pararrayos

Teniendo en cuenta que nuestro sistema es sólidamente aterrizado, el factor de tensión será:

$$K_e = 1.4$$

#### 7.1.7.1- La tensión continua de operación

La tensión continua de operación será:

$$TCO = \frac{V_{max}}{\sqrt{3}} = \frac{145kV}{\sqrt{3}} = 83.72kV$$

#### 7.1.7.2- La sobretensión temporal

$$TOV = K_e \times TCO = 1.4 \times 83.72kV = 117.208kV$$

Considerando una corriente de descarga según la norma IEEE 62.22, tenemos:

$$I_d = 10kA$$

Para la tensión nominal tenemos:

$$U_{r1} = 1.25 \times TCO = 1.25 \times 83.72kV = 104.65kV$$

$$U_{r2} = \frac{TOV}{K_t} = \frac{117.208kV}{1.15} = 101.92kV$$

Dónde:

$K_t$  Es la capacidad del pararrayo contra sobre tensiones temporales para 1 segundo.

Seleccionamos la tensión nominal del pararrayo:

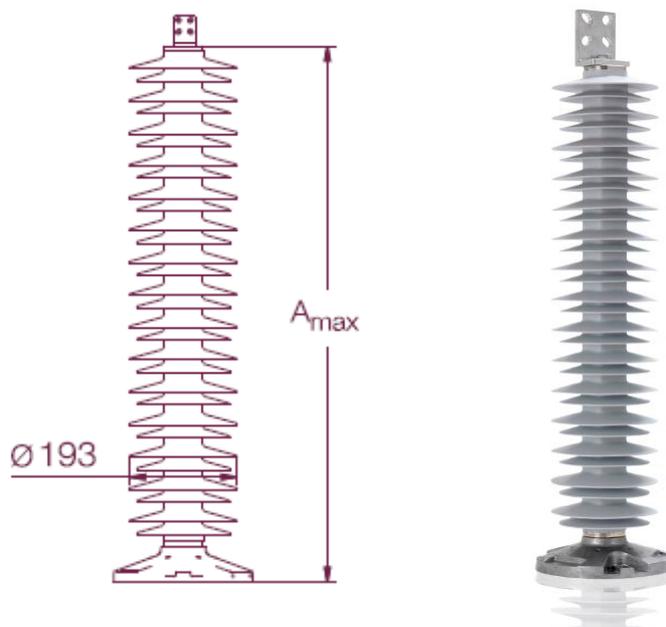
$$U_{r1} = 104.65kV$$

A partir de estos valores se selecciona el siguiente pararrayo:

Pararrayo			
Tensión máxima del sistema		145 kV	
Tensión nominal (Ur)		108 kV	
Tensión de operación permanente (Uc)		86 kV	
Sobretensión temporal (TOV)	1s	124 kV	
	10s	118 kV	
Valores máximos para tensiones residuales con corrientes de descarga	30/60µs	0.5kA	223 kV
		1kA	231 kV
		2kA	242 kV
	8/20 µs	5kA	264 kV

<b>de los siguientes impulsos</b>	<b>10kA</b>	280 kV
	<b>20kA</b>	314 kV
	<b>40kA</b>	359 kV
<b>Corriente nominal de descarga</b>		10 kA
<b>Máxima corriente de descarga soportada</b>	<b>Alta corriente 4/10 <math>\mu</math>s</b>	100 kA
	<b>Baja Corriente 2000 <math>\mu</math>s</b>	600 A
<b>Corriente de corto circuito/Alivio de Presión</b>		40 kA
<b>Capacidad de absorción de energía</b>		5.1 kJ/kV (Ur)
<b>Clase de descarga (IEC)</b>		Clase 2
<b>Esfuerzo mecánico</b>	<b>SLL</b>	800 Nm
	<b>SSL</b>	1300 Nm
<b>Condiciones de servicio</b>	<b>Temperatura Ambiente</b>	-50 °C a +45°C
	<b>Altitud de diseño</b>	Max. 1000 m
	<b>Frecuencia</b>	15 – 62 Hz
<b>Revestimiento</b>		ZH 145
<b>Distancia de fuga</b>		3628 mm
<b>Aislamiento externo</b>	<b>1.2/50 <math>\mu</math>s (seco)</b>	553 kV
	<b>60 Hz (mojado 10 s)</b>	278 kV
	<b>250/2500 <math>\mu</math>s (mojado)</b>	422 kV
<b>Dimensiones</b>	<b>Masa</b>	24 kg
	<b>A<sub>max</sub></b>	995 mm

Tabla 24- Características técnicas de los pararrayos



## 7.2- Diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas

Se conoce con los nombres de **apantallamiento o blindaje**, al proceso de diseño y cálculo de la protección contra descargas atmosféricas integrada por un conjunto de elementos para este fin.

Los elementos utilizados para el apantallamiento en nuestra subestación serán: Cables de Guarda y una Punta Franklin para la caseta de control aplicando el **Método de los Ángulos Fijos**.

### 7.2.1-Cables de Guarda

$$X = (H - A) \tan \alpha$$

$X$  = distancia horizontal de protección

$H$  = altura del pórtico incluyendo

$\alpha$  = ángulo fijo ( $30^\circ$ )

$A$  = altura del equipo más alto del patio de conexiones

$$X = (19.4m - 5.17m) \tan 30^\circ$$

$$X = 8.2m$$

Utilizamos un **ángulo fijo de  $30^\circ$**  recomendado para instalaciones con **altura de equipos a proteger mayor de 15m**.

### 7.2.2-Puntas Franklin

$$X = (H_{total} - A) \tan \alpha$$

$X$  = distancia horizontal al punto medio de la caseta de control desde el borde = 7m

$H$  = altura de la punta franklin = 3m

$\alpha$  = ángulo fijo ( $45^\circ$ )

$A$  = altura vertical de la caseta = 3m

Altura de antena de comunicación = 6m

$H_{total}$  =  $H + A +$  altura de la antena de comunicación = 11m

$$X = (12m - 3m) \tan 45^\circ$$

$$X = 9m$$

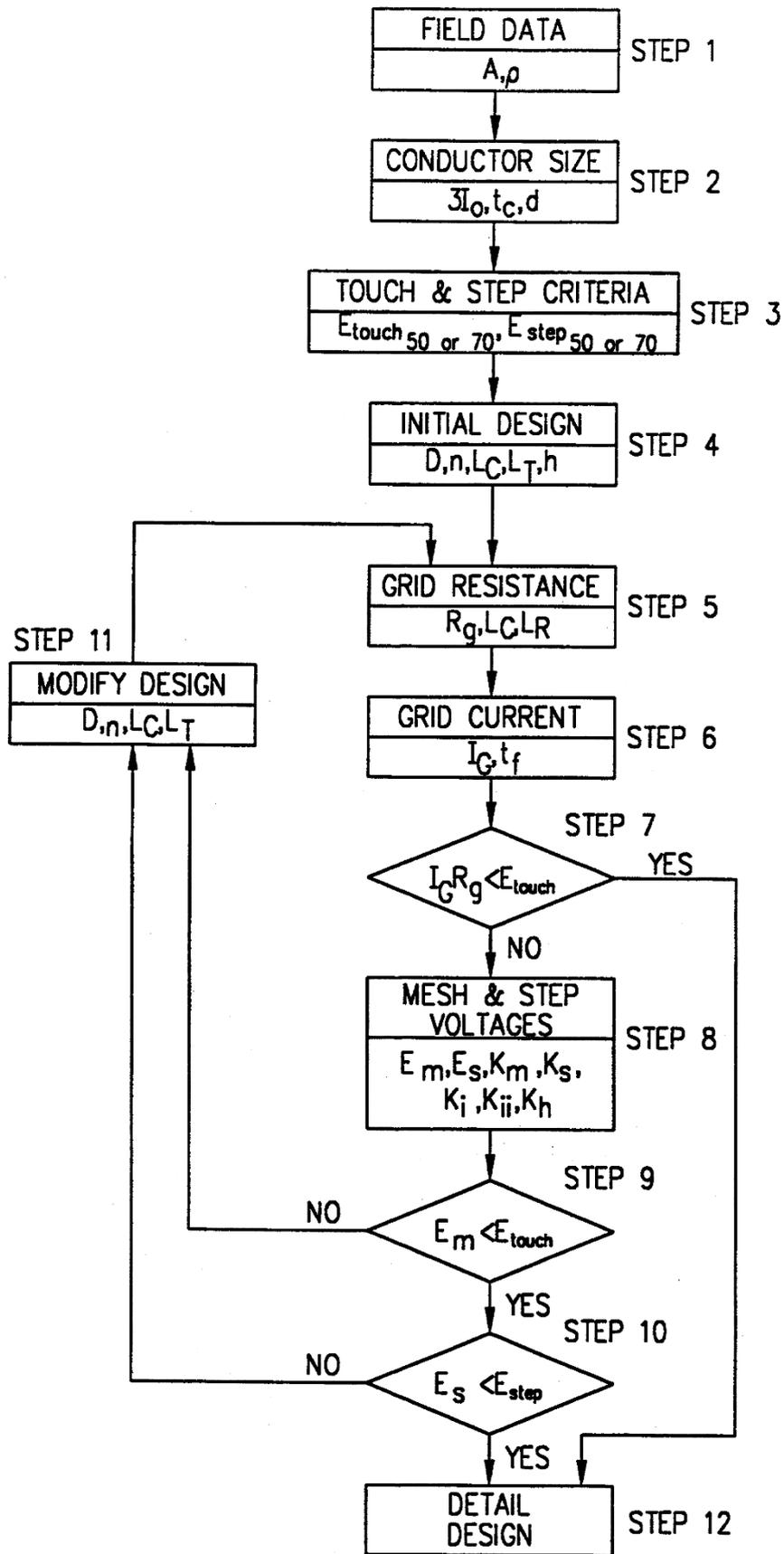
Con este valor aseguramos la protección a la caseta, ya que nuestra **distancia horizontal desde el punto medio del techo de la caseta es de 7m**, utilizamos un **ángulo fijo de 45°** recomendado para instalaciones con **altura de equipos a proteger menor de 15m**.

### 7.3- Diseñar el sistema de tierra de la instalación

La red de tierra fue calculada en base a la norma IEEE 80-2000, siguiendo los siguientes pasos:

- 1- Se miden los datos de campo, el área y la resistividad del terreno. En nuestro caso fueron valores dados.
- 2- Se determina el tamaño del conductor de la malla, teniendo en cuenta la corriente de falla monofásica, la máxima corriente y tiempo que perdure la falla.
- 3- Se determinan las tensiones máximas tolerables de contacto y paso.
- 4- Hacer un diseño preliminar, en el cual se asume una separación cualquiera entre los conductores de la red de tierra.
- 5- Del diseño preliminar se calculan la resistencia de la red y la longitud del conductor enterrado y la longitud total de las varillas de tierra utilizadas.
- 6- Se calcula la corriente de malla.
- 7- Se calcula el GPR y se compara con la tensión tolerable de contacto. Si el GPR es menor la red de tierra cumple, en caso contrario hay que seguir con los cálculos.
- 8- Se calcula la tensión de malla y la tensión de paso.
- 9- Se compara el valor de la tensión de malla con la tensión tolerable de contacto. Si la tensión de malla es menor se deben modificar los valores de diseño, en caso contrario se puede seguir con los cálculos
- 10- Se compara la tensión de paso con la tensión tolerable de paso. Si la tensión de paso es menor se deben modificar los valores iniciales del diseño preliminar, en caso contrario el diseño está bien.

A continuación se muestra el proceso de cálculo en un diagrama de flujo.



A continuación se muestran los resultados de los cálculos realizados conforme a la norma.

Red de Tierra			
<b>Datos de la red:</b>			
Símbolo	Descripción	Unida	Valor
$L_x$	Largo de la malla de tierra	m	158
$L_y$	Ancho de la malla de tierra	m	58
$\rho$	Resistividad del terreno	$\Omega m$	100
$\rho_s$	Resistividad de la capa de acabado de la superficie	$\Omega m$	1800
$h_s$	Espesor de la capa de cascajo	m	0.1
$h$	Profundidad del cable	$m^2$	0.8
$A$	Área de la red de tierra	$m^2$	9164
$D$	Separación de los cables paralelos	m	7
$t_s$	Duración de la corriente de choque	s	0.5
$n_o.$	Cantidad de varillas de tierra		0
$l_r$	Longitud de varillas de tierra	m	3
$n$	Numero de estructuras conectados a la red		93
$l$	longitud conductor de conexión de estructuras	m	1.5
$I$	Corriente eficaz	kA	16
$S_f$	Factor de división de corriente	%	38
$D_f$	Factor de decremento		1.026
$T_a$	Temperatura Ambiente	$^{\circ}C$	25
Sección transversal del conductor de tierra			
<b>Datos conductor de cobre recocido:</b>			
$T_m$	Temperatura máxima permitida	$^{\circ}C$	1083
$T_r$	Temperatura de referencia para el materia	$^{\circ}C$	25
$\alpha_r$	coeficiente térmico de resistividad a la temperatura $T_r$	$1/^{\circ}C$	0.00393
$\rho_r$	resistividad del conductor de tierra a la temperatura de referencia $T_r$	$\mu\Omega cm$	1.72
$K_0$	$1/\alpha_0$	$^{\circ}C$	234
$t_c$	tiempo que fluye la corriente	s	0.5
TCAP	Capacidad térmica por unidad de volumen	$J/(cm^3 oC)$	3.42
$A_c$	Sección del conductor	$mm^2$	39.44
Voltaje de contacto y Voltaje de paso			
$C_s$	Coeficiente de reflexión		0.706897
<b>Para una persona de 50 kg:</b>			
$V_{cont50}$	Voltaje de contacto	V	477.1557
$V_{paso50}$	Voltaje de paso	V	1416.476

<b>Para una persona de 70 kg:</b>			
$V_{\text{cont}70}$	Voltaje de contacto	V	645.8055
$V_{\text{paso}70}$	Voltaje de paso	V	1917.127
<b>Diseño Preliminar</b>			
$L_c$	Longitud total de cable	m	2973.786
$L_R$	Longitud total de varillas enterradas	m	0
L	Longitud efectiva de conductor de malla	m	2973.786
<b>Resistencia de la Red</b>			
$R_g$	Resistencia de la red	$\Omega$	0.492379
<b>Máxima corriente de la red</b>			
$3I_0$	Corriente de secuencia cero	kA	16
$I_g$	Corriente simétrica de malla	kA	6.08
$I_G$	Corriente máxima de falla	A	6238.08
GPR	Elevación del potencial de tierra	V	3071.501
<b>GPR &gt; <math>V_{\text{cont}}</math>, Seguir calculando</b>			
<b>Voltaje de malla</b>			
$n_a$			13.76753
$n_b$			1.062162
$n_c$			1
$n_d$			1
n	Factor geométrico		14.62334
$h_0$	Profundidad de referencia	m	1
$L_p$	Longitud perimetral		432
$A_{\text{cond}}$	Sección del conductor	mm <sup>2</sup>	120
d	Diámetro del conductor	m	0.012361
$K_m$	Factor de espacio para voltaje de malla		0.773824
$K_i$	Factor de corrección para geometría de la red		2.808254
$K_{ii}$	Factor de corrección de la geometría de la red		0.630214
$K_h$	Factor correctivo del peso que enfatiza los efectos de la profundidad de la red		1.341641
$L_M$	Longitud efectiva de la tensión de malla		2973.786
$E_m$	Voltaje de malla	V	455.8475
<b><math>E_m &lt; V_{\text{cont}}</math>, Se puede seguir calculando</b>			
<b>Voltaje de paso</b>			
$K_s$	Factor de espaciamiento para la tensión de paso		0.285218
$L_s$	Longitud efectiva de $L_c + L_R$ para la tensión de paso	m	2230.339
$E_s$	Tensión de paso	V	224.0236
<b><math>E_s &lt; V_{\text{paso}}</math>, El diseño está bien.</b>			

Tabla 25-Datos de la red de tierra

Para la red de tierra en cuestión se ha seleccionado realizar soldaduras exotérmicas para la unión de los conductores de la red de tierra. A partir de los cálculos realizados se obtuvo una distancia de separación de los conductores de 7m, lo cual arroja lo siguiente:

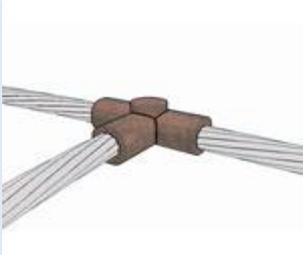
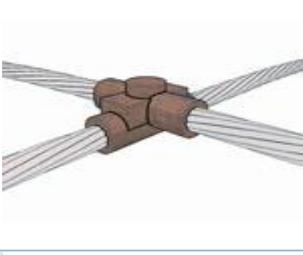
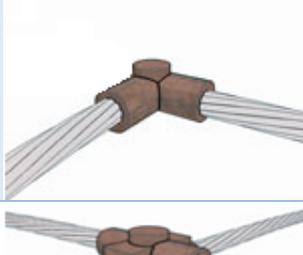
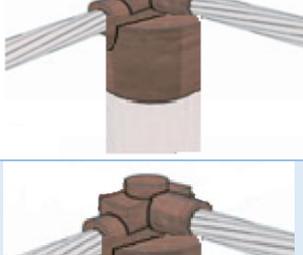
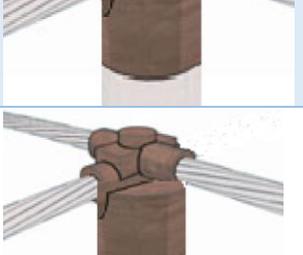
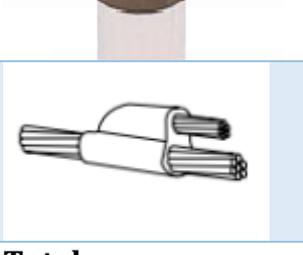
Imagen	Soldadura	Cantidad
	Soldadura en T horizontal de cable pasante de 240mm <sup>2</sup> y cable terminal de 120 mm <sup>2</sup> .	26
	Soldadura en cruz de cable de 120mm <sup>2</sup> sobre cable de 120mm <sup>2</sup> de sección	152
	Soldadura en L de sección de 120mm <sup>2</sup> .	4
	Soldadura en cruz con varilla vertical, con secciones de 120mm <sup>2</sup>	24
	Soldadura en L con varilla vertical, con secciones de 240mm <sup>2</sup>	4
	Soldadura en T horizontal con varilla vertical de cable pasante de 240mm <sup>2</sup> y cable terminal de 120 mm <sup>2</sup> .	34
	Soldadura para conexión al exterior.	87
<b>Total</b>		<b>331</b>

Tabla 26- Tipo de soldadura

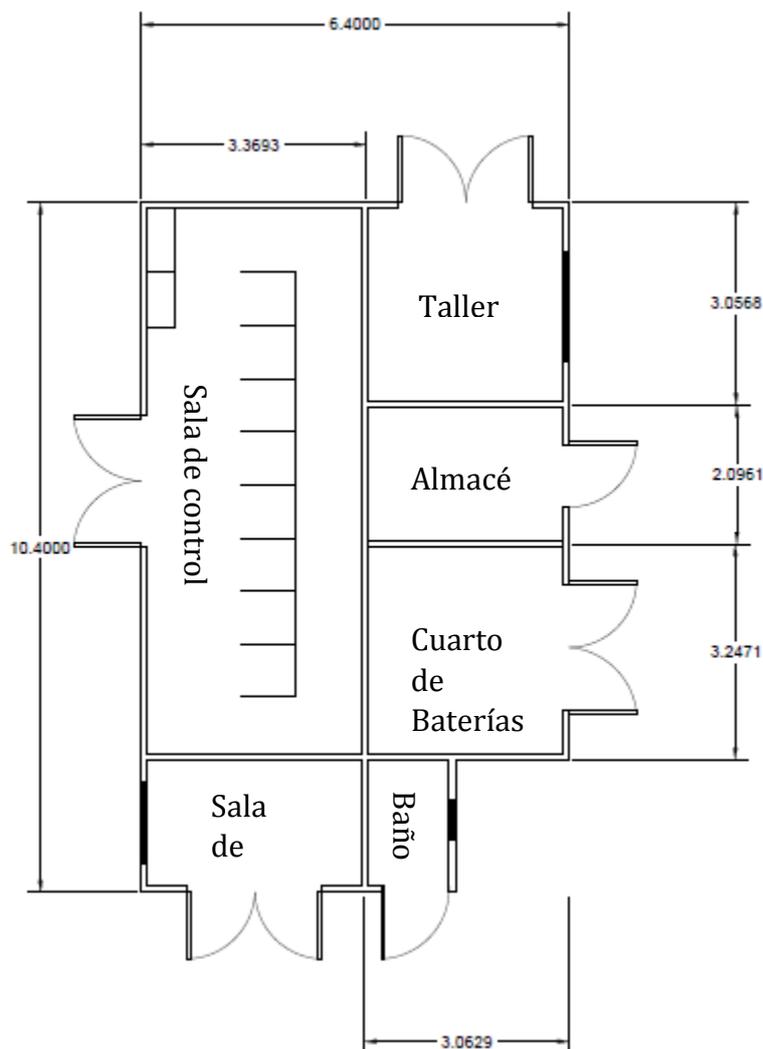
## 8- Dimensionamiento de la caseta de control y protección

El dimensionamiento de la caseta de control y protección está basado en el número de campos que posee la subestación y de las necesidades de la misma.

En esta tendremos un total de siete paneles de control y protección, uno para campo de línea y para el campo de seccionamiento. La misma contará con un pequeño baño, sala de estar, cuarto de control, cuarto de baterías y un área que puede fungir tanto como taller o almacén.

Esta caseta cuenta con un área total de 63.16 m<sup>2</sup> de los cuales 28.31 m<sup>2</sup> corresponden al área de control, la cual albergará siete paneles de protección y medición, un panel de distribución DC y un Panel de distribución AC, además de espacio suficiente para la libre circulación del operador a través de la misma.

A continuación se muestra la caseta sus respectivas dimensiones en metros.



## Conclusiones

En el diseño de una subestación es de suma importancia analizar las condiciones ambientales y el entorno en el cual será construida, teniendo en cuenta los niveles de contaminación y el impacto visual que esta ha de dar en la zona. Viéndolo desde un punto de vista técnico, las condiciones ambientales en combinación con las características del sistema eléctrico, son las que determinan el nivel de aislamiento requerido, estableciéndose con esto las distancias de seguridad y las dimensiones de los componentes aislantes y de todo el campo de conexiones de la subestación.

A la hora de seleccionar la configuración de la subestación se debe tomar en cuenta las características del sistema de potencia del cual ha de formar parte teniendo bien claro cuál será el papel que ha de jugar la subestación en el sistema, es decir su función e importancia, para poder determinar de forma objetiva los niveles de seguridad, confiabilidad y flexibilidad que debe poseer y con esto poder seleccionar la configuración más idónea para satisfacer las necesidades del sistema.

En todo diseño se debe tener presente la parte más importante de una subestación, las personas, y se debe buscar la forma de que estas estén seguras al circular por dentro y fuera de la misma, por lo cual se tiene que realizar un análisis minucioso para establecer las distancias de seguridad y para diseñar una red de tierra que proteja a las persona al menor costo (con una menor cantidad de materiales). Además de proteger al personal, se debe buscar proteger los equipos de todos los posibles daños a los cuales estos se puedan verse sometidos, ya sean de carácter natural o de carácter humano (vandalismo).

## Bibliografías

### Libros y normas

- Subestaciones de alta y extra alta tensión, segunda edición. Mejía Villegas.
- Elementos de diseño de subestaciones eléctricas, Enríquez Harper.
- Diseño de subestaciones eléctricas, primera edición. Rifaldi, Alfredo.
- Diseño de subestaciones eléctricas. Raúl Martín José.
- Norma IEEE 80-2000

### Páginas webs

- <http://necesitoprecios.com/2011/10/equivalencias-awgmcm-a-mm2/>
- <http://www.abb.cl/product/es/9AAC710000.aspx>
- <http://www.energy.siemens.com/hq/en/power-transmission/high-voltage-products/>