

**SEPTIEMBRE 2013**

**MEMORIA DE CÁLCULO DE PUESTA A TIERRA.  
SUBESTACIÓN PUERTO AYACUCHO 115/13.8 KV. (AMPLIACIÓN  
RED DE PUESTA A TIERRA, ASOCIADO A LA INSTALACIÓN DE  
LA TURBOGENERADORA DE 15 MVA).**



**UNIDAD DE PROYECTOS DE ADECUACIÓN Y MEJORAS SUR. (PAMS).**

## ÍNDICE

	Pág.
<b>1. OBJETIVO.</b>	3
<b>2. NORMAS.</b>	3
<b>3. PREMISAS ADOPTADAS.</b>	3
<b>4. ANÁLISIS.</b>	4
<b>5. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE CÁLCULO.</b>	4
<b>6. DESARROLLO DEL CÁLCULO.</b>	6
6.1 Determinación de los coeficientes $k_m$ , $k_i$ , y $k_s$ .	7
6.2 Cálculo del Conductor de la Malla.	8
6.3 Resistencia de la Malla.	9
6.4 Fórmula para calcular la resistencia de un cable horizontal.	9
6.5 Cálculo de RPAT según el Método de Laurent y Niemann.	9
6.6 Cálculo de Resistencia de Puesta a Tierra según el Método de Dwight.	10
6.7 Cálculo de la Resistencia de Puesta a Tierra de una Varilla.	10
6.8 Resistencia del Conjunto de Mallas.	11
6.9 Distribución de las Corrientes.	11
6.10 Cálculo de la Tensión de Paso.	12
6.11 Cálculo de la Tensión de Contacto.	12
6.12 Cálculo en la Periferia Interior de la malla. Potenciales de Tierra (GPR).	13
6.13 Cálculo del Potencial máximo de la malla (GPR).	13
<b>7. EJEMPLO DE APLICACIÓN (RESUMEN DEL DISEÑO DE LA MALLA).</b>	14
7.1 Datos.	14
7.2 Resultados.	14
<b>8. CONCLUSIONES.</b>	15
<b>9. BIBLIOGRAFÍA.</b>	16
<b>ANEXO A:</b> Tensiones de Toque y Paso	
<b>ANEXO B:</b> Potenciales de Tierra	
<b>ANEXO C:</b> Compuestos Químicos	
<b>ANEXO D:</b> Diagrama de Conexión de la Red de PAT	
<b>ANEXO E:</b> Cálculo de Malla de Puesta a Tierra	

**MEMORIA DE CÁLCULO DE PUESTA A TIERRA  
SUBESTACIÓN PUERTO AYACUCHO 115/13.8 KV. (AMPLIACIÓN RED DE PUESTA A  
TIERRA, ASOCIADO A LA INSTALACIÓN DE LA TURBOGENERADORA DE 15 MVA.  
ING. RAMÓN RODRÍGUEZ GUEVARA.**

**1. OBJETIVO**

El objetivo de la presente Memoria de Cálculo, es dimensionar y verificar el Sistema de Puesta a Tierra (PAT) en la Planta de Turbo-Generación de 15 MVA, ubicada en la Subestación Puerto Ayacucho 115 kV/13.8 kV, Ciudad de Puerto Ayacucho, Estado Amazonas.

**2. NORMAS**

Para este cálculo se han seguido los lineamientos de las siguientes normas:

- VDE 0141: Earthing Systems in A. C.
- ANSI / IEEE STD. 80-2000: IEEE Guide for Safety in A.C. Substation Grounding.

**3. PREMISAS ADOPTADAS**

- a- Como sistema de protección se adoptara una malla circular de conductores de cobre desnudo.
- b- Para el cálculo de la malla mencionada en **a**, se adoptó una corriente de cortocircuito a tierra de: Corriente de Falla a Tierra *I<sub>f</sub>* Lado AT: 14.5 KA; Corriente de Falla a Tierra *I<sub>f</sub>* Lado BT: 102.38 KA.
- c- El valor de falla a tierra en media tensión (36 KV), no se ha adoptado para el diseño, debido a que el centro de estrella del transformador reductor, se encontrara rígidamente conectado a la malla de la planta, por lo que ante una falla, la circulación de corriente se realizara en forma galvánica y no a través de tierra.
- d- De acuerdo al tipo de suelo predominante en la zona, arcillas compactas, arena arcillosa y rocas. Se adoptó un valor de resistividad del suelo de 900 ohm / m.
- e- Se adopta el criterio de vincular la nueva malla de puesta a tierra, con la malla existente en la Subestación.
- f- Todos los equipos de la nueva planta se deberán conectar rígidamente a la malla de puesta a tierra existente en la Subestación Puerto Ayacucho y mantenerlos a un mismo potencial de tierra ( $V=0$ ).

#### 4. ANÁLISIS

El sistema de puesta a tierra de las instalaciones se realiza con el objeto de limitar los sobrevoltajes transitorios debido a descargas atmosféricas o limitar los voltajes en caso de contacto accidental del sistema de alimentación con líneas de voltaje superior y estabilizar el voltaje de alimentación con respecto a tierra.

Aparte, es importante destacar que las razones más frecuentes para tener un sistema de puesta a tierra efectivo se realiza con la finalidad de:

- La seguridad para las personas.
- Protección de las instalaciones.
- Mejoras de la calidad de servicio (alta calidad y eficiencia eléctrica).
- Establecimiento y permanencia de un potencial de referencia (equipotencialidad efectiva).
- Limitar la diferencia de potencial que, en un momento dado, puede presentarse entre estructuras metálicas y tierra.
- Posibilitar la detección de defectos de tierra y asegurar la actuación y coordinación de las protecciones eliminando o disminuyendo, así, el riesgo que supone una avería para los equipos de potencia y comunicaciones.
- Limitar las sobretensiones internas (de maniobra, transitorias y temporales) que pueden aparecer en la red eléctrica, en determinadas condiciones de operación.
- Maximiza la confiabilidad de la operación del sistema eléctrico, en el caso de condiciones anormales, tales como: Ondas de Sobretensión, Descargas Atmosféricas, y Fallas a Tierra del Sistema.

#### 5. DESCRIPCION DEL METODO DE CÁLCULO

##### 5.1 Solicitaciones térmicas del conductor para el cálculo de la sección del conductor.

Se aplicara la formula siguiente.

$$S \text{ min (mm}^2\text{)} = \frac{1000 \times I_s \times \sqrt{t}}{\sqrt{(9.64 \times \frac{c \times g}{P \times a} \times \log(1 + a \times (T_g - T_1)))}} \quad (\text{KCMIL})$$

<b>Is (KA)</b>	= Valor eficaz de la corriente de cortocircuito promedio durante el tiempo <b>t</b>
<b>t</b>	= Duración del cortocircuito
<b>c (cal/g x °C)</b>	= Calor específico del cobre
<b>g (g / cm3.)</b>	= Peso específico del cobre
<b>P (Ω x mm2 / m)</b>	= Resistividad del cobre a temperatura T1
<b>Tg</b>	= Temperatura final del conductor (se adopta Tg= 450 °C)
<b>T1</b>	= Temperatura inicial del conductor (se adopta T1= 35 °C)
<b>a</b>	= 0.004

## 5.2 Calculo de la Resistencia de la Malla

$$R_m = \frac{0.318 \times \rho \times (2.303 \times \log 2 \times L_m + K1 \times LM - K2)}{LM \sqrt{\phi c \times 0.5} \sqrt{A}}$$

$R_m$  = Resistividad de la malla en (ohm).

$\rho$  = Resistividad media del terreno (Ω x m).

$LM$  = longitud total de los conductores enterrados (m).

$\phi c$  = Diámetro del conductor de la malla (m).

$h$  = Profundidad de implantación, se adopta  $h = 0.5mt$ .

$A$  = Área de la malla (m<sup>2</sup>).

$K1$  y  $K2$  = Coeficientes obtenidos en los gráficos que pertenecen a la Norma IEEE.

Fórmula para calcular la resistencia de un cable horizontal

$$R = (\rho / 3.14 L) * \ln (2 L/d) \quad L = \text{largo del cable}; d = \text{diámetro del cable}$$

## 5.3 Distribución de las Corrientes

$$\text{Malla en Estudio, } I_m = \frac{I_s \times R_T}{R_m}$$

La corriente de falla se drenara en partes proporcionales, según el valor de resistencia de la malla existente, conectada rígidamente entre sí.

$$I_{mA} = \frac{I_s \times R_T}{R_{ma}}$$

#### 5.4 Tensión de Paso

$$U_p = \frac{0.16 \times \rho \times I_m}{L_m \times h} \quad (V)$$

#### 5.5 Tensión de Contacto

$$U_c = \frac{0.7 \times \rho \times I_m}{L_m} \quad (V)$$

#### 5.6 Gradiente en la Periferia Interior de la malla

$$U_g = \frac{4 \times \rho \times I_m}{D^2} \quad (V / m)$$

### 6. DESARROLLO DEL CÁLCULO

Se calculará el valor de la resistencia de la Malla de Puesta a Tierra, adoptando una longitud de 108 mts de Cable de Cobre, Trenzado y Desnudo, Calibre N° 4/0 AWG, enterrado a una profundidad de 0.5 m en forma de anillo. Conectados a su vez con soldaduras exotérmicas en barras tipo Copperweld= (12 unidades); Longitud= 2.44 m, Diámetro= 16 mm (5/8"), y ocho (08) Barras Químicas de longitud igual a 2.44 m, colocadas en tanquillas de inspección y agregados químicos para disminuir la resistividad aparente del suelo de la Subestación Puerto Ayacucho (900 ohmios-metros). Este arreglo de Malla Circular, tienen que estar conectados en al menos en dos (02) extremos de la malla existente utilizando soldaduras exotérmicas tipo TE, de conductor 4/0 AWG a 4/0 AWG.

El área equivalente adoptada es de 504 m².

## **DISEÑO DE UNA MALLA A TIERRA:**

El diseño de una malla a tierra está afectado por las siguientes variables:

- Tensión permisible de Paso.
- Tensión Permisible de Contacto.
- Resistividad del terreno.
- Tiempo máximo de despeje de la falla.
- Conductor de la malla.
- Profundidad de instalación de la malla.

## **RESISTIVIDAD DEL TERRENO**

Es la propiedad del terreno que se opone al paso de la corriente eléctrica, la resistividad varía de acuerdo a las características del terreno.

Para éste cálculo se adopta un modelo de suelo uniforme cuyo valor de resistividad esté dado por el valor de resistividad más alto encontrado en las mediciones, que constituye la condición más desfavorable para el diseño.

$$\rho = 900 (\Omega - m).$$

### **6.1 Determinación de los coeficientes km, ki, y ks.**

Elección de la malla:

A = Longitud de la malla (m) = (42 m).

B = Ancho de la malla (m) = (12 m).

L = Longitud total del conductor (m) ( $L = nxA + mxB$ ) =  $(2 \times 42) + (2 \times 12) = 108$  m.

n = Número de conductores en paralelo de longitud A = (2).

m = Número de conductores en paralelo de longitud B = (2).

D = Espacio entre conductores (m) = (5 m).

h = Profundidad de enterramiento (m) = (0.5 m).

d = Diámetro del conductor (m) = (0.0134 m).

Por lo tanto:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \left[ \frac{D^2}{16hd} \right] + \frac{1}{\pi} \ln \left[ \frac{3}{4} \times \frac{5}{6} \times \frac{7}{8} \dots \right]; \quad n-2 \text{ términos}$$

ki es:

$$k_i = 0.65 + 0.172n \quad n \leq 7;$$

$$k_i = 2.0 \quad n > 7;$$

ks es:

$$k_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \dots \right]$$

Dónde:

$$K_m = \frac{1}{2(3.1416)} \ln \left[ \frac{(5)^2}{16 \times 0.5 \times 0.0134} \right] + \frac{1}{3.14 \cdot 16} \ln \left[ \frac{3}{4} \times \frac{5}{6} \times \frac{7}{8} \dots \right] =$$

$$K_m = 0.679.$$

$$k_i = 0.65 + (0.172 \times 2) =$$

$$k_i = 0.994.$$

$$k_s = \frac{1}{3.1416} \left[ \frac{1}{2 \times 0.5} + \frac{1}{5 + 0.5} + \frac{1}{2 \times 5} + \frac{1}{3 \times 5} + \dots \right] =$$

$$k_s = 0.432.$$

## 6.2 Cálculo del Conductor de la Malla:

$$S_{\min} (\text{mm}^2) = \frac{1000 \times 14500 \times \sqrt{0.5}}{\sqrt{(9.64 \times (0.0925 \times 8.9)) \times \log(1 + 0.004 \times 415))}} \quad (\text{KCMIL})$$
$$0.019 \times 0.004$$

$$S_{\min} (\text{mm}^2) = 31.05 (\text{mm}^2) \quad (\text{Equivale a un conductor de Calibre 250 MCM}).$$

**Nota:** Se adopta una sección de trabajo de  $S = 107.22 \text{ mm}^2$  por razones mecánicas para el montaje (El calibre mínimo a usar en las mallas de tierra es de 4/0 AWG).



### 6.3 Resistencia de la Malla:

Es la resistencia que nos ofrece el terreno hacia la corriente en un sistema de puesta a tierra, esta resistencia depende de la resistividad del terreno y área de los conductores.

$$R_m = 0.318 \times \frac{900}{108} \times \left[ 2.303 \times \log \left( \frac{2 \times 108}{\sqrt{0.0134 \times 0.5}} \right) + \frac{1.03 \times 108}{\sqrt{504}} - 5.03 \right]$$

$R_m = 21.60 (\Omega) > 5 (\Omega).$  (Valor calculado de la Resistencia de los Conductores a la malla).

### 6.4 Fórmula para calcular la resistencia de un cable horizontal

$$R = (\rho / 3.1416 L) * \ln (2 L/d) \quad L = \text{largo del cable}; d = \text{diámetro del cable}$$

$$R = (900/3.1416 \times 108 \times \ln (2 \times 108/0.0134))$$

$$R = (2.65 \times \ln(16.11)) = (2.65 \times 9.68) = 25.68 (\Omega).$$

$$R = 25.68 (\Omega).$$

### 6.5 Cálculo de Resistencia de Puesta a Tierra según el Método de Laurent y Niemann

$$R = 0.443\rho \left[ \frac{1}{\sqrt{A\gamma}} + \frac{1}{L} \right];$$

Dónde:

R = Resistencia en ohmios (ohm)

$A\gamma$  = Área de la malla de puesta a tierra (m<sup>2</sup>.)

$\rho$  = Resistividad del suelo ( $\Omega$  - m)

L = Longitud total del conductor (m).

**NOTA:** Esta ecuación es una aproximación y su resultado siempre es mayor que el valor real.

Calculamos:

$$R = 0.443 \times 900 \left[ \frac{1}{\sqrt{504}} + \frac{1}{108} \right] = (398.7 \times 0.05) =$$

$$R = 21.63 \Omega.$$

## 6.6 Cálculo de Resistencia de Puesta a Tierra según el Método de Dwight

Este método es mucho más largo pero es mucho más exacto que el anterior.

El primer paso consiste en hallar la resistencia de un conductor de la malla.

$$R_s = \frac{\rho}{2\pi L'} \left[ \ln \left[ \frac{2L'}{r} \right] + \ln \left[ \frac{L'}{h} \right] + \frac{2h}{L'} \frac{h^2}{(L')^2} - 2 \right];$$

Dónde:

$R_s$  = Resistencia de puesta a tierra de un solo conductor en ohmios ( $\Omega$ ).

$\rho$  = Resistividad del suelo en ( $\Omega$  - m).

$L'$  = Longitud total del conductor (m).

$h$  = Profundidad de enterramiento del conductor (m)

$r$  = Radio del conductor en (m).

Calculamos:

$$R_s = \frac{900}{2(3.1416)(108)} \left[ \ln \left[ \frac{2(108)}{6.65} \right] + \ln \left[ \frac{108}{0.5} \right] + \frac{2(0.5)}{108} \frac{(0.5)^2}{(108)^2} - 2 \right]$$

$$R_s = 13.31 (8.85 - 2)$$

$R_s = 91.17 \Omega.$
-----------------------

## 6.7 Cálculo de la Resistencia de Puesta a Tierra de una Varilla

La resistencia de una varilla enterrada a una profundidad comprendida entre 0.5 y 1 m, se calcula por:

$$R_v = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln \left[ \frac{4L}{r} \right] - 1 \right];$$

Dónde:

$R_v$  = Resistencia de una varilla en  $\Omega$ .

$L$  = Longitud total de la varilla (m).

$r$  = Radio de la varilla en (m).

Calculamos:

$$R_v = \frac{900}{2(3.1416)(108)} \left[ \ln \left[ \frac{4(108)}{8} \right] - 1 \right] =$$

$$R_v = (1.32) \times (2.99)$$

$$R_v = 3.95 \, \Omega.$$

## 6.8 Resistencia del Conjunto de Mallas

Las dos (02) mallas se interconectarán entre sí, mediante dos contrapesos de 107,22 mm<sup>2</sup> de Conductor de Cobre, Trenzado y Desnudo. Calibre 4/0 AWG, unidos en Conexiones Exotérmicas.

Se adopta una resistencia de 1.45 (Ω), para la malla existente de la Subestación Puerto Ayacucho.

Calcularemos el paralelo de las dos mallas:

$$1 / R_t = 1 / R_{mA} + 1 / R_{mB}$$

$$1 / R_t = 1 / 1.45 + 1 / 21.60 = 0.69 + 0.046$$

$$R_t = 0.74 \, (\Omega)$$

## 6.9 Distribución de las Corrientes

$$I_{mA} = \frac{I_s \times R_t}{R_{mA}} = \frac{14500 \times 0.74}{1.45} = 7.40 \, (KA)$$

$$I_{mA} = 7.40 \, (KA)$$

$$I_m = I_{mB} = \frac{I_s \times R_t}{R_m} = \frac{14500 \times 0.74}{21.60} = 0.496 \, (KA)$$

## 6.10 Cálculo de la Tensión de Paso

Es la diferencia de potencial, que experimenta una persona entre sus pies, cuando los mismos están separados a 1 m y la persona no está haciendo contacto con ningún otro elemento puesto a tierra.

Aplicaremos el valor de corriente que drena la malla en estudio = 0.496 (KA).

$$U_p = \frac{0.16 \times 1000 \times 496}{108 \times 0.7} = \boxed{1049,73 \text{ (V)}}$$

Este valor debe ser menor al máximo admisible que se calcula con la siguiente formula:

$$E_{c70} = (1000 + 1.5 \times 900) \times \frac{(0.157)}{\sqrt{t}}$$

Siendo t: El tiempo probable de actuación de las protecciones eléctricas del sistema.

Este tiempo es contemplativo para protecciones directas o indirectas, y también para fusibles NH.

$$E_{c70} = (1000 + 1.5 \times 900) \times \frac{(0.157)}{\sqrt{0.1}} = \boxed{1152.97 \text{ (V)}}$$

Es decir  $U_p < E_{c70}$ , se verifica y cumple con el cálculo.

### 6.11 Cálculo de la Tensión de Contacto

Es la diferencia de potencial que se presenta entre el alza de potencial del arreglo de puesta a tierra involucrado y el potencial superficial en el punto donde una persona está parada, cuando al mismo tiempo está tocando con una de sus manos un elemento puesto a tierra.

$$V_c = \frac{0.7 \times \rho \times I_m}{108} = \frac{0.7 \times 900 \times 496}{108}$$

$$\boxed{V_c = 2893,33 \text{ (V)}}$$

Este valor debe ser menor al máximo admisible, que se calcula con la siguiente formula de la Norma IEEE Std. 80-2000:

$$E_{p70} = (1000 + 6 \times \rho) \times \frac{0.157}{\sqrt{t}} = 3140 \text{ (V)}$$

$$E_{p70} = (1000 + 6 \times 900) \times \frac{0.157}{0.1} = \boxed{3140 \text{ (V)}}$$

De esta manera  $U_p < E_{p70}$ , se verifica la hipótesis de cálculo.

### 6.12 Cálculo en la Periferia Interior de la malla. Potenciales de Tierra (GPR)

$$U_g = \frac{4 \times \rho \times I_m}{D^2} = \frac{4 \times 900 \times 496}{(70)^2} = 364.41 \text{ (V / m).}$$

$U_g < U_p$ , se verifica la hipótesis de cálculo.

### 6.13 Cálculo del Potencial máximo de la malla (GPR).

Para éste cálculo se tomó en cuenta el valor de la resistencia total, obtenida por la resultante de la operación en paralelo de la resistencia mutua que se conectaran entre sí a la malla de puesta a tierra de la Subestación, utilizando la siguiente ecuación:

$$V \text{ (GPR)} = R_t \times I_g;$$

Donde;

$R_t$  = Resistencia de puesta a tierra total del paralelo entre las dos (02) mallas ( $\Omega$ ).

$I_g = I_m$  = Máxima corriente de falla a tierra (Amp).

Se tiene:

$$V \text{ (GPR)} = R_t \times I_g = 0.74 \times 496$$

$$V \text{ (GPR)} = 367 \text{ V (GPR).}$$

## **7. EJEMPLO DE APLICACIÓN (RESUMEN DEL DISEÑO DE LA MALLA)**

### **7.1 DATOS:**

CORRIENTE MAXIMA DE FALLA= 14500 A

NIVEL DE TENSION= 115 KV

RESISTIVIDAD DEL SUELO= 900 OHMIOS

RESISTIVIDAD SUPERFICIAL= 1000 OHMIOS

TIEMPO MAXIMO DE FALLA= 0.5 SEG

CONDUCTOR ELEJIDO= 4/0 AWG

LONGITUD TOTAL DEL CONDUCTOR= 108 MTS

ESPACIAMIENTO ENTRE CONDUCTORES= 5 MTS

NUMERO DE CONDUCTORES PARALELO a A= 2

NUMERO DE CONDUCTORES PARALELO a B= 2

PROFUNDIDAD DE ENTERRAMIENTO= 0.5 MTS

### **7.2 RESULTADOS:**

KM= 0.679

KS= 0.432

RESISTENCIA DE LA MALLA SEGUN LAURENT Y NIEMAN= 21.63

RESISTENCIA DE LA MALLA SEGUN DWIGHT= 91.17

VALORES PERMISIBLES DE EP Y ET=

TENSION DE PASO = 1049.73 VOLTIOS

TENSION DE CONTACTO= 2893.33 VOLTIOS

VALORES REALES DE EP Y ET

TENSION DE PASO= 1570.00 VOLTIOS

TENSION DE CONTACTO = 576.49 VOLTIOS.

POTENCIAL MÁXIMO DE LA MALLA (GPR)= 367 VOLTIOS.

## 8. CONCLUSIONES

- a.- Los valores obtenidos en los diferentes cálculos, satisfacen los rangos permitidos para este tipo de mallas de puesta a tierra.
- b.- Para obtener los valores máximos, se utilizó un tiempo de actuación de las protecciones de 0.1 seg. Si los Tableros de Alimentación del Sistema 220/120 VCA, no tuvieran protecciones muy sensibles para fallas monofásicas, el tiempo se considerara en 0.4 seg.

Con este tiempo los máximos serán de:

$$E_c 70 = 576.49 \text{ (V)}.$$

$$E_p 70 = 1570 \text{ (V)}.$$

Referidos a personas que pesan 70 kg aprox.

- c.- La Malla ha sido diseñada correctamente, acorde al Estándar IEEE Std. 80-2000, por la cual no requiere modificación.
- d.- Se concluye que el diseño del Sistema de Puesta a Tierra propuesto para la PLANTA TURBOGENERADORA DE 15 MVA A SER INSTALADA EN LA SUBESTACIÓN PUERTO AYACUCHO 115/13.8 KV, UBICADA EN EL ESTADO AMAZONAS, presenta una resistencia de puesta a tierra de valor menor a un (5) Ohm, por lo que se cumple con el requerimiento de diseño solicitado. La resistencia a tierra de la configuración es de 0.74 Ohm.
- e.- De los resultados obtenidos se aprecia que los valores calculados de tensiones de toque y paso descritos en RESUMEN DE RESULTADOS, son inferiores a los valores máximos tolerables, por lo que podemos asegurar que la red de tierra diseñada es segura para las personas.

## 9. **BIBLIOGRAFÍA**

[1] Norma ANSI/IEEE Std. 80-2000.

[2] Programa de Cálculo de la Malla de Puesta a Tierra Basado en la Norma IEEE Std. 80-2000 "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding".



## **ANEXO A: Tensiones de Toque y Paso**

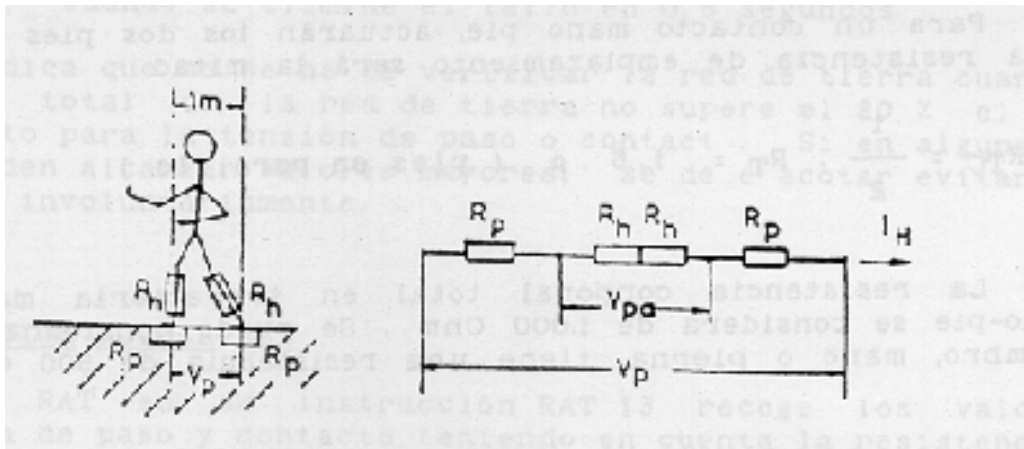


Figura 1. Tensión de Paso.

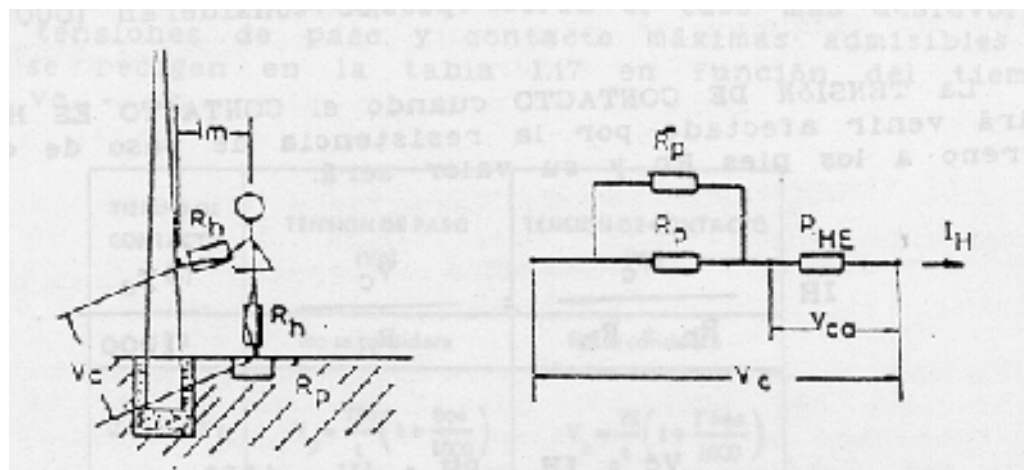


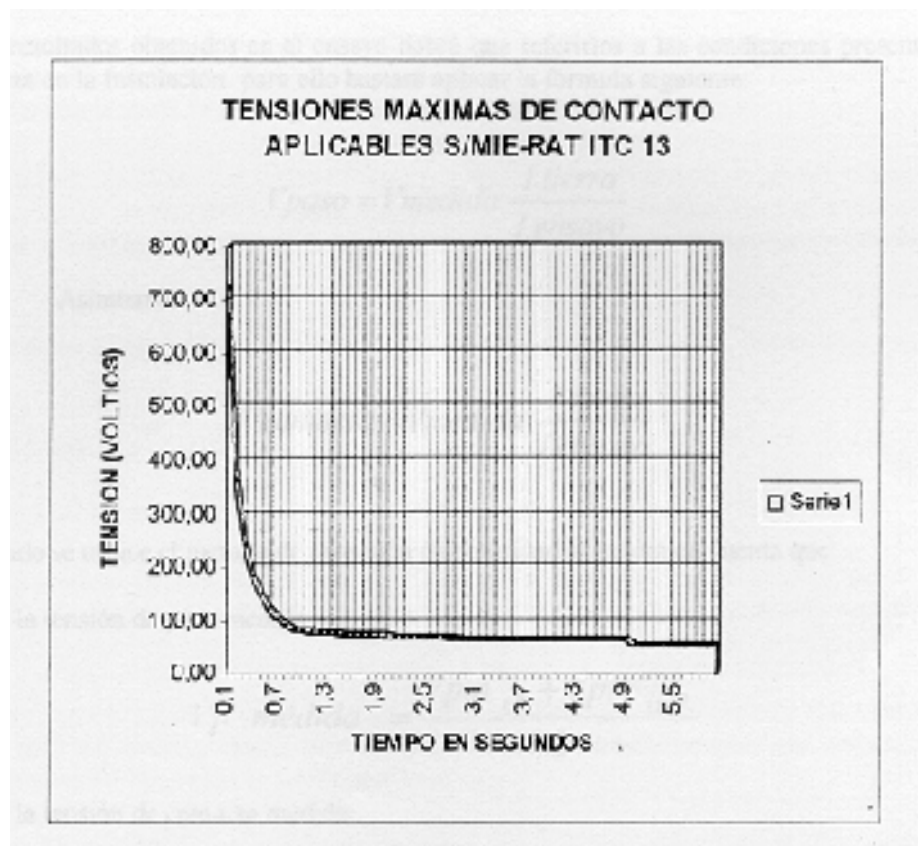
Figura 2. Tensión de Contacto.

## Puestas a tierra en Subestaciones Tensión de Paso y Contacto

La tensión máxima (V), que se puede aceptar se determina en función del tiempo de duración del defecto.

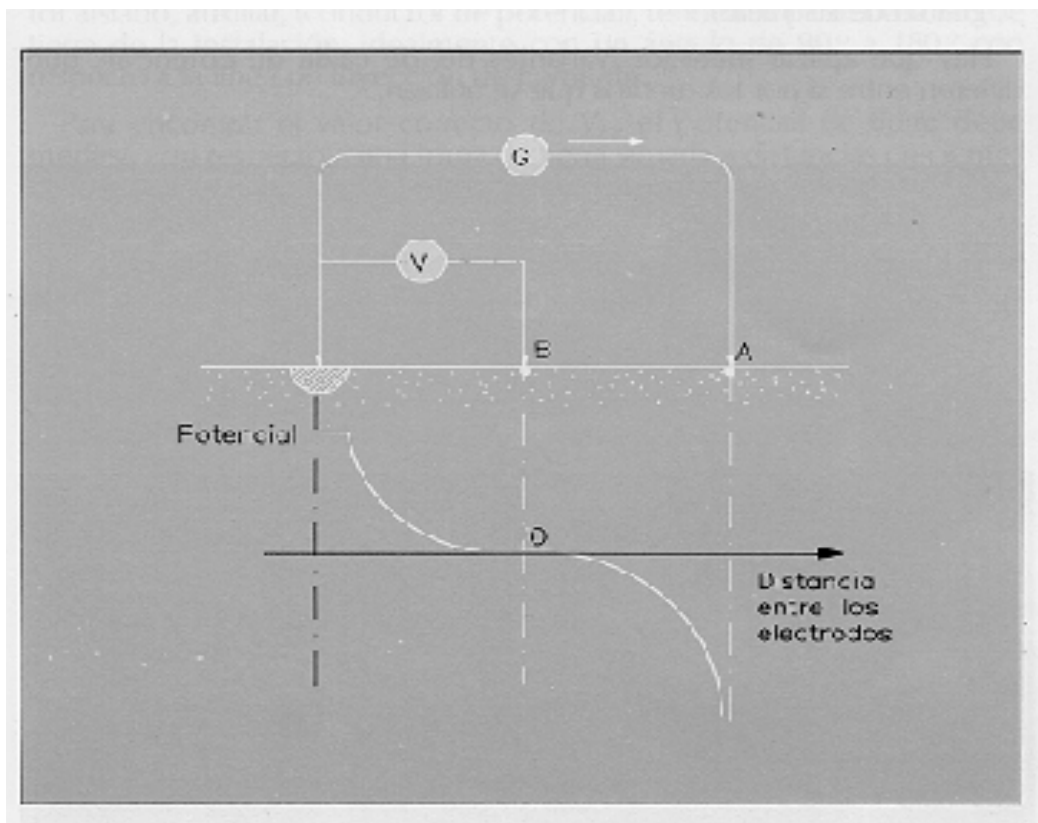
$$V_c = \frac{K}{t^n}$$

TIEMPO DE CONTACTO + (s)	TENSION DE PASO O CONTACTO APLICADAS (V)
< 0'1	No se considera
0'1 ≤ t < 0'9	720 a 80 (V = 72/t)
0'9 ≤ t < 3	80 a 60 (V = 78'5/t <sup>0'18</sup> )
3 ≤ t ≤ 5	64
> 5	50



t (seg.)	contacto	paso
0.1	720.00	7200.00
0.2	360.00	3600.00
0.3	240.00	2400.00
0.4	180.00	1800.00
0.5	144.00	1440.00
0.6	120.00	1200.00
0.7	102.88	1028.57
0.8	90.00	900.00
0.9	80.00	800.00
1	76.50	765.00
1.1	77.10	771.05
1.2	75.97	759.66
1.3	74.66	746.79
1.4	73.85	738.87
1.5	72.97	729.76
1.6	72.13	721.32
1.7	71.35	713.49

## **ANEXO B: Potenciales de Tierra**



**Figura 3. Potencial de Tierra**

## MAXIMA ALZA DE POTENCIAL EN FUNCION DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

FALLA MONOFASICA

$$Z_1 = R_1 + jX_1 = 0.59 + j0.25 \text{ (OHM)}$$

$$Z_2 = R_2 + jX_2 = 6.58 + j6.25 \text{ (OHM)}$$

$$Z_0 = R_0 + jX_0 = 12.94 + j15.25 \text{ (OHM)}$$

$$V_{\text{ser}} = 12.4 \text{ kV}$$

$$I_0 = V_{\text{ser}} / (Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R)$$

$$I_{\text{cc}} = I_0$$

$$\text{MAP} = R \times I_{\text{cc}}$$

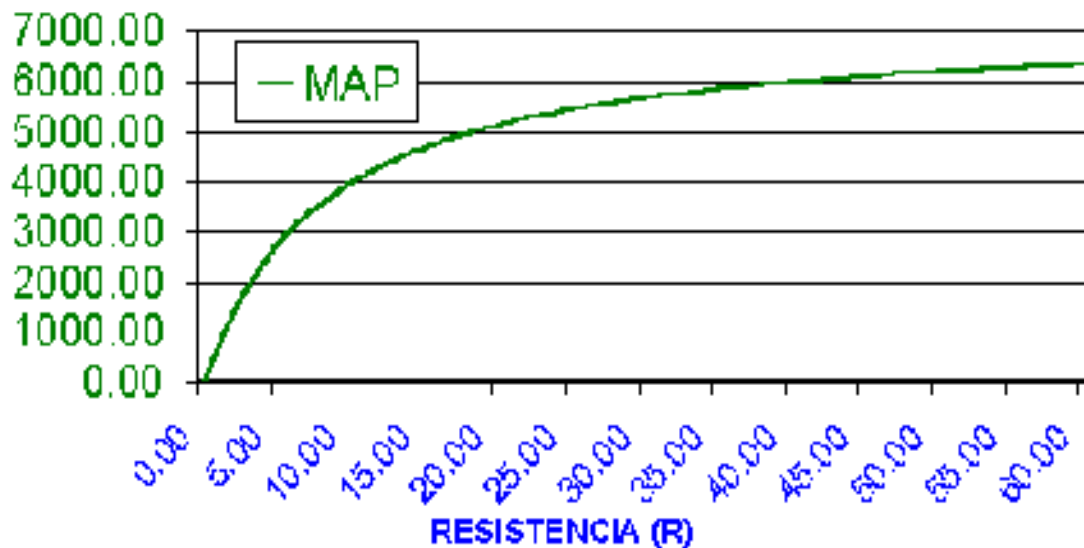
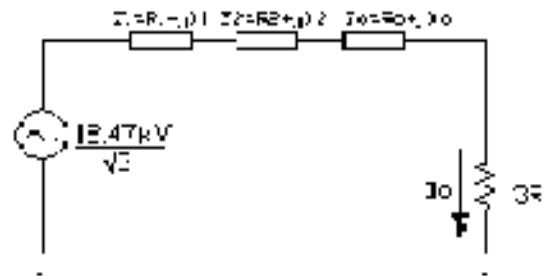


Figura 4. Máxima alza de Potencial de Tierra

## **ANEXO C: Compuestos Químicos**



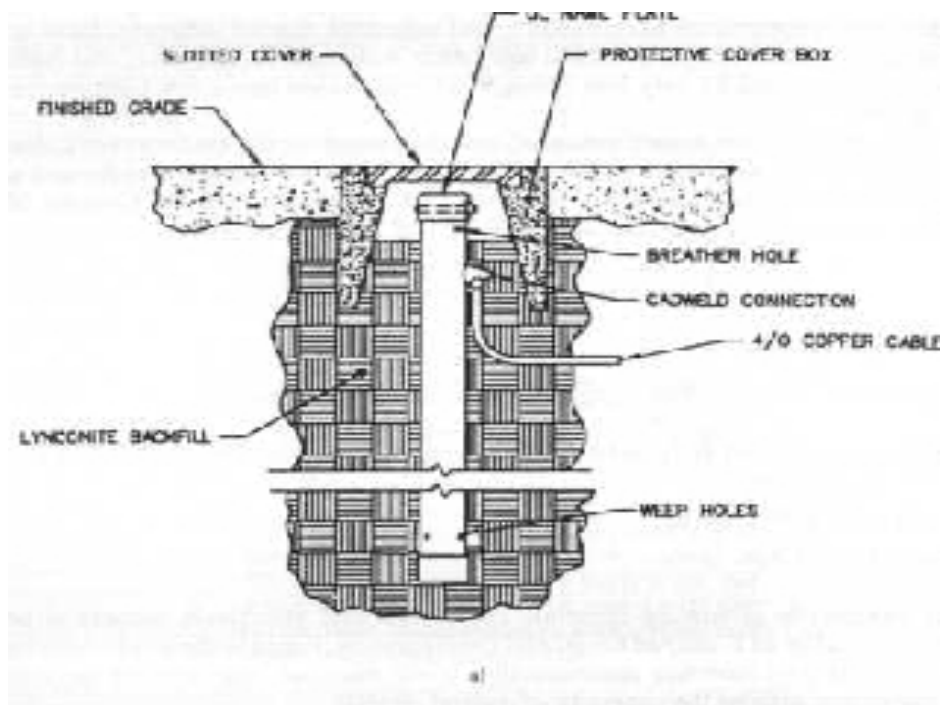


Figura 5. Barras químicas

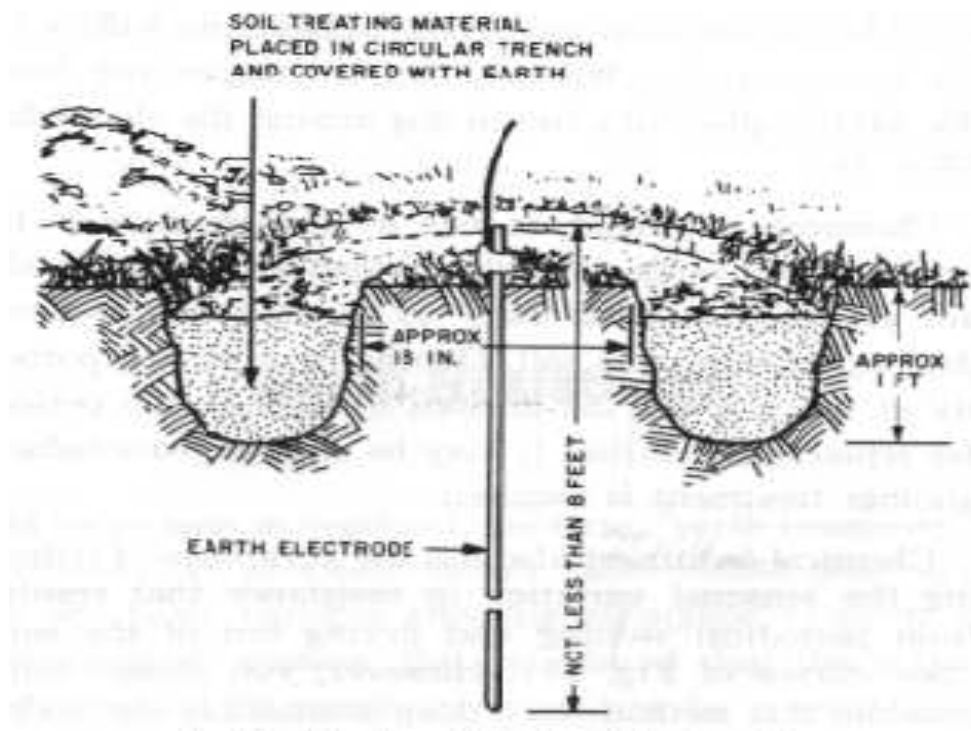


Figura 6. Agregados químicos en suelos con electrodos de puesta a tierra.

## **ANEXO D: Diagrama de Conexión de la Red de PAT**

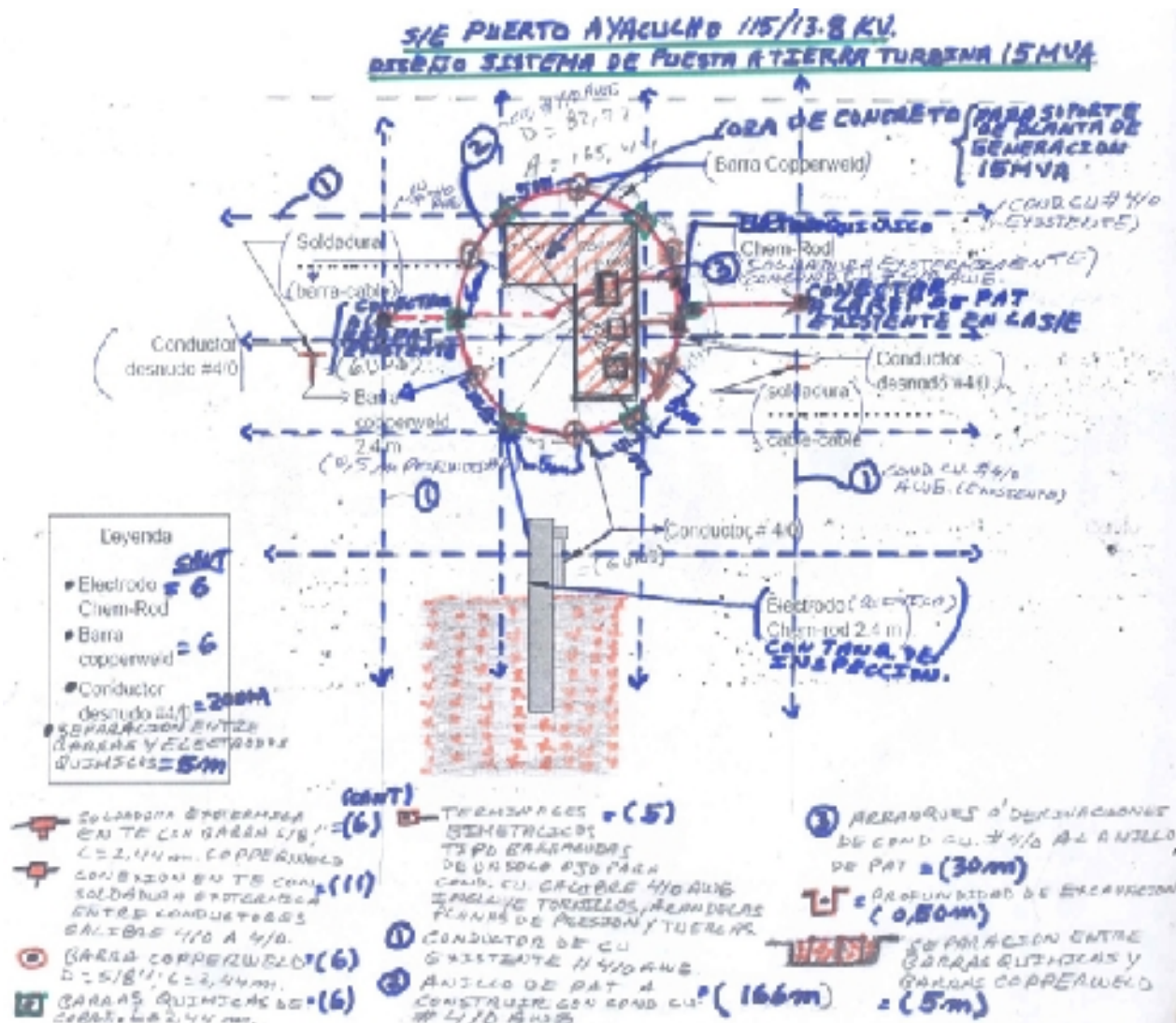


Figura 7. Diseño de Malla de Puesta a Tierra de la Turbogeneradora de 15 MVA, Subestación Puerto Ayacucho 115/13.8 kV.

## **ANEXO E: Cálculo de Malla de Puesta a Tierra**