



CENTRAL DE GENERACION MATAVERI MALLA DE PUESTA A TIERRA MEMORIA TECNICA

Ing. Estudio Proyecto:

Adolfo Rojas C.
Ingeniero Civil Eléctrico
Universidad de Concepción

Marco Antonio Arcos G.
Ingeniero (E) Electricidad
Universidad de la Frontera

ENERO DE 2020

INDICE

1.- Objetivos	4
2.- Objetivos específicos.....	4
3.- Alcances	4
4.- Normativa de referencia	4
5.- Antecedentes	4
6.- Corriente de cortocircuito.....	5
7.- Obtención Rho (ρ) del terreno.....	5
8.- Voltajes de Paso y Contacto Límites.	5
9. Mallas de Tierra Existentes.	5
9.1. Malla de Tierra de central Mataveri I.....	5
9.2. Malla de Tierra de central Mataveri II.....	5
10. Resultados para Malla Tierra Existentes.....	6
10.1 Malla de Tierra central Mataveri I.....	6
10.1.1 Resistencia de Malla.....	6
10.1.2 Corriente de falla a tierra que afecta a la Malla de Tierra.	6
10.1.3 Tensiones de Malla.....	6
10.1.4 Gráficos con resultados para Malla Tierra existente.	6
10.2 Malla de Tierra central Mataveri II.....	8
10.2.1 Resistencia de Malla.....	8
10.2.2 Corriente de falla a tierra que afecta a la Malla de Tierra.	8
10.2.3 Tensiones de Malla.....	8
10.2.4 Gráficos con resultados para Malla Tierra existente.	8
11.0. Malla de puesta a Tierra mejorada.	10
11.1. Resultados para Malla de Tierra mejorada.....	10
11.2. Resultados Gráficos para Malla Tierra Proyectada	10
12.0. Análisis y Conclusiones para Malla de Tierra Proyectada.	12
ANEXO Nº 1 MEDICION DE RESISTIVIDAD DE TERRENO	14
ANEXO Nº 2 MODELO DE SUELO.....	16
ANEXO Nº 3 MALLAS DE TIERRA EXISTENTES.....	17
ANEXO Nº 4 MALLA DE TIERRA PROYECTADA.....	18



ANEXO № 5 FORMULAS	19
ANEXO № 6 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA POR MALLAS EXISTENTES.	21
ANEXO № 7 CÁLCULO DE CALIBRE MINIMO DE CONDUCTOR.....	21

1.- Objetivos

Efectuar estudio de los parámetros eléctricos de las mallas de puesta a tierra existentes en el recinto de la central térmica Mataveri (I y II) ubicada en la localidad de Mataveri, Isla de Pascua, Quinta región de Chile.

2.- Objetivos específicos

- a) Registro de resistividad del terreno donde se ubican las mallas de tierra.
- b) Determinar la resistividad equivalente del terreno según modelo de dos capas.
- c) Modelar las mallas de tierra existentes.
- d) Determinar el voltaje de contacto y paso de las mallas de tierra existentes y verificar si cumplen con los voltajes máximos permitidos (contacto y paso).
- e) Proponer mejoras a las mallas de tierra existentes y evaluar sus parámetros asociados.

3.- Alcances

Los alcances de la presente memoria técnica son los límites del terreno asociado a la central térmica Mataveri I y II.

4.- Normativa de referencia

La normativa a considerara en la presente memoria técnica es:

- ANSI / IEEE STD. 80 - 2000: IEEE Guide for safety in A.C. Substation Grounding.
- Modelación de la malla de tierra existente y proyectada mediante software CYMGrd.

5.- Antecedentes

Se realizo visita técnica a las instalaciones de la central térmica Mataveri, la cual está constituida por dos instalaciones denominadas Mataveri I y Mataveri II, en la cual se procedió a efectuar lo siguiente:

- a) Obtención de planos con disposición y detalles de las mallas de tierra existente.
- b) Reconocimiento e inspección de mallas de tierra existente.
- c) Verificación de calibre de conductor de mallas de tierra.
- d) Verificación de nivel de tensión de operación en MT.
- e) Lecturas de resistividad de terreno en las inmediaciones de la central Mataveri.
- f) Obtención de las magnitudes de corriente de cortocircuito en MT en barra de 6,6 [KV] de la central térmica Mataveri. (Antecedentes Aportados por Mandante)

En base a la información recogida en terreno, sumado a los planos de planta y los niveles de cortocircuito en central térmica Mataveri, se procedió a modelar las mallas de tierra existentes y efectuar los cálculos para determinar la respectiva resistencia de puesta a tierra y sus niveles de voltaje de contacto y paso.

6.- Corriente de cortocircuito.

La magnitud de la corriente de cortocircuito Bifásica a Tierra en la barra de 6,6 [KV] de la central térmica Mataveri alcanza los 3283 [Amp]. Dato proporcionado por el cliente.

7.- Obtención Rho (ρ) del terreno.

Según los datos capturados en terreno, utilizando el método de WENNER (ver anexo Nº 1), y utilizando un software computacional se obtiene la curva modelo de terreno (anexo Nº 2) y de esta sus respectivos valores de Rho (ρ_1 y ρ_2) y profundidad (h_1) para una modelación de dos capas.

$$\begin{aligned} \rho_1 &= 40,88 \quad [\Omega\text{-mt}] \\ h_1 &= 1,18 \quad [\text{mts}] \\ \rho_2 &= 323,64 \quad [\Omega\text{-mt}] \\ h_2 &= \infty \end{aligned}$$

8.- Voltajes de Paso y Contacto Límites.

Parámetro	Valor	Referencia
Factor Cs	0,81933	Ver anexo Nº 5
Voltaje Limite Contacto [V]	904,22	Ver anexo Nº 5
Voltaje Limite Paso [V]	2950,79	Ver anexo Nº 5

9. Mallas de Tierra Existentes.

9.1. Malla de Tierra de central Mataveri I.

La Malla de Tierra existente en CT Mataveri I está constituida por 305,0 [mts] de cable de Cu Nº 2/0 AWG, sin barras de Cobre/Acero. Para los cálculos se considera que el conductor de la malla está enterrado a una profundidad de 0,6 [mt] y su superficie debe estar cubierta por una capa de gravilla de 0,20 [mt] de espesor en toda su extensión.

La topología de la Malla de Tierra Existente se presenta en anexo Nº 3.

9.2. Malla de Tierra de central Mataveri II.

La Malla de Tierra existente en CT Mataveri II está constituida por 718,0 [mts] de cable de Cu Nº 2/0 AWG, sin barras de Cobre/Acero. Para los cálculos se considera que el conductor de la malla

está enterrado a una profundidad de 0,6 [mt] y su superficie está cubierta por una capa de gravilla de 0,20 [mt] de espesor en toda su extensión.

La topología de la Malla de Tierra Existente se presenta en anexo Nº 3.

10. Resultados para Malla Tierra Existentes.

Los resultados son los obtenidos mediante software CYMGrd.

10.1 Malla de Tierra central Mataveri I.

10.1.1 Resistencia de Malla

	Malla Existente
Resistencia Malla [Ohm]	3,82

10.1.2 Corriente de falla a tierra que afecta a la Malla de Tierra.

La corriente de falla a tierra que afecta a la malla de tierra de central Mataveri I corresponde a (ver anexo Nº 6).

$I_{cc2\phi-T} = 2232,0 \text{ [Amp].}$

10.1.3 Tensiones de Malla

	Malla Existente	Limite	Observación
Rmalla [Ohm]	3,82	10	Cumple
V _{paso} Máxima de Malla [V]	729,28	2950,79	Cumple
V _{contacto} Máxima de Malla [V]	1427,6	904,22	NO Cumple

10.1.4 Gráficos con resultados para Malla Tierra existente.

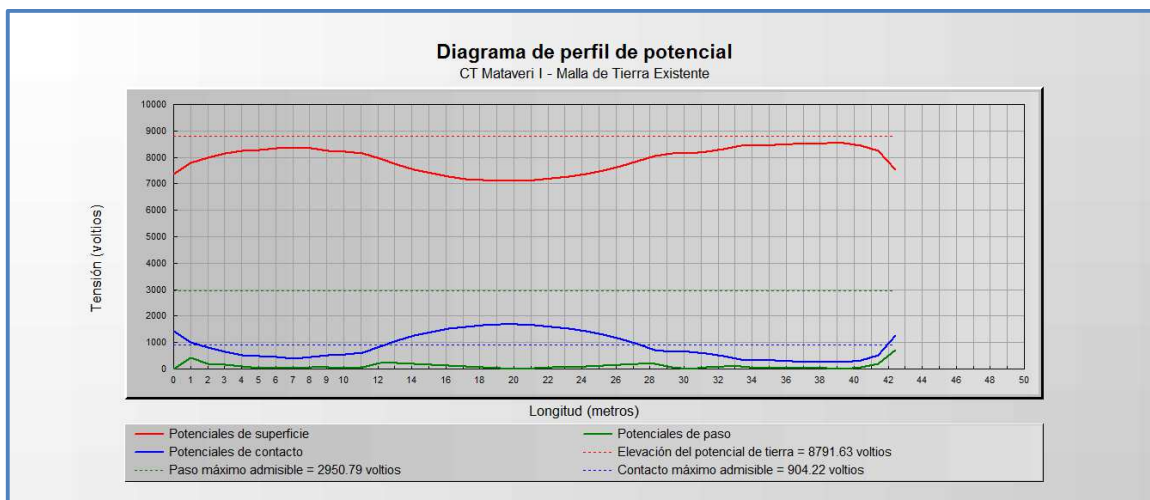


Fig. No 1. Diagrama de perfil de potencial para malla de tierra Mataveri I existente.

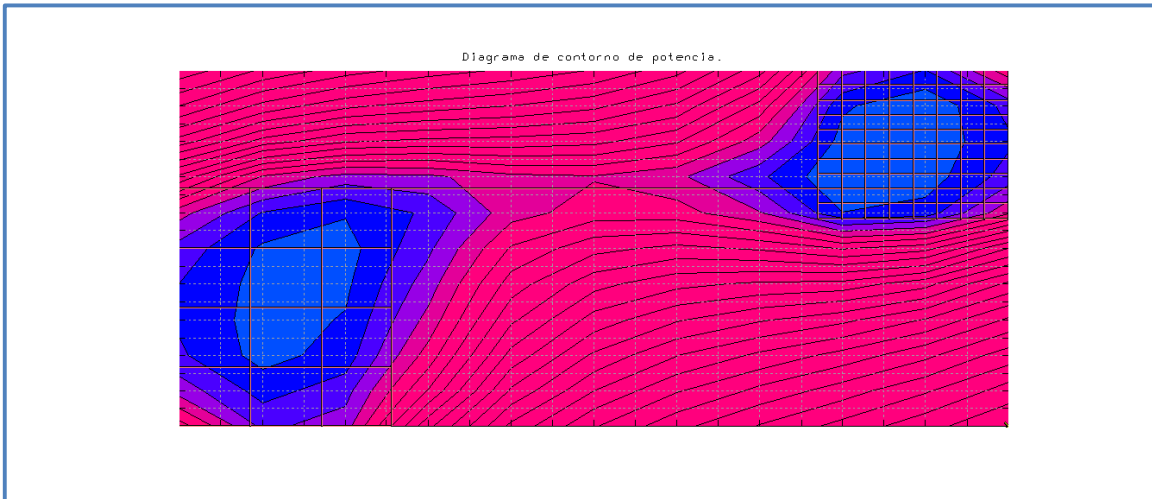


Fig. No 2. Diagrama de contorno de potencial para malla de tierra Mataveri I existente.

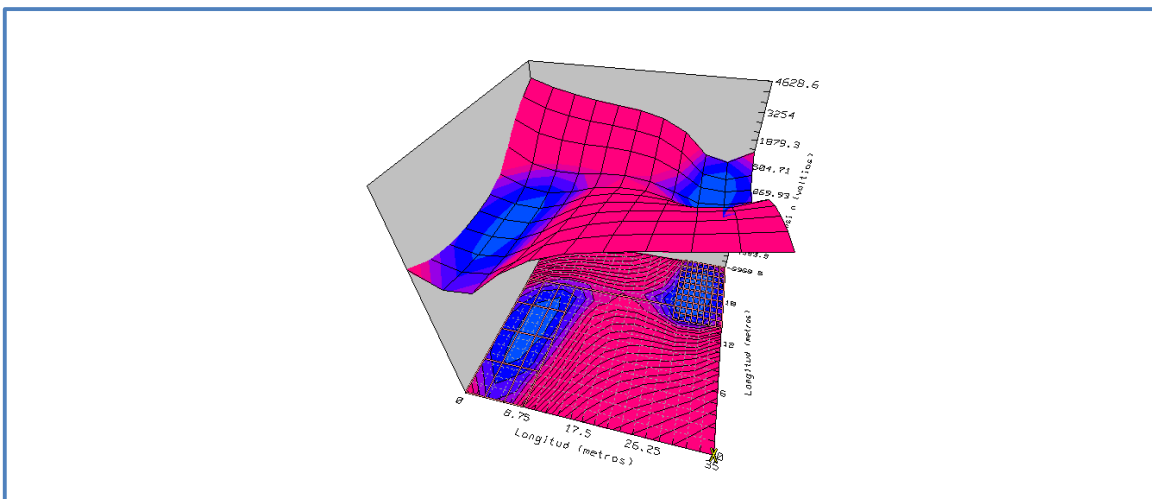
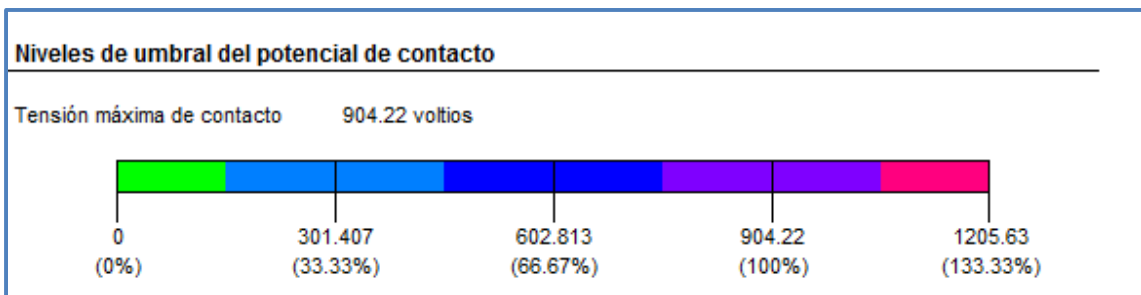


Fig. No 3. Diagrama de contorno de potencial 3D para malla de tierra existente.

Se aprecia que hay zonas cubiertas por la malla de tierra existente en la cual el voltaje de contacto (V_c) está muy cercano a su valor límite (color ■); y zonas en la periferia de la malla donde el valor de V_c supera el valor límite (color ■). Se requiere corregir este último comportamiento.

10.2 Malla de Tierra central Mataveri II.

10.2.1 Resistencia de Malla

	Malla Existente
Resistencia Malla [Ohm]	3,15

10.2.2 Corriente de falla a tierra que afecta a la Malla de Tierra.

La corriente de falla a tierra que afecta a la malla de tierra de central Mataveri II corresponde a (ver anexo N° 6).

$I_{cc_{2\phi-T}} = 1050,0 \text{ [Amp].}$

10.2.3 Tensiones de Malla

	Malla Existente	Limite	Observación
Rmalla [Ohm]	3,15	10	Cumple
V_{paso} Máxima de Malla [V]	258,08	2950,79	Cumple
$V_{contacto}$ Máxima de Malla [V]	534,32	904,22	Cumple

10.2.4 Gráficos con resultados para Malla Tierra existente.

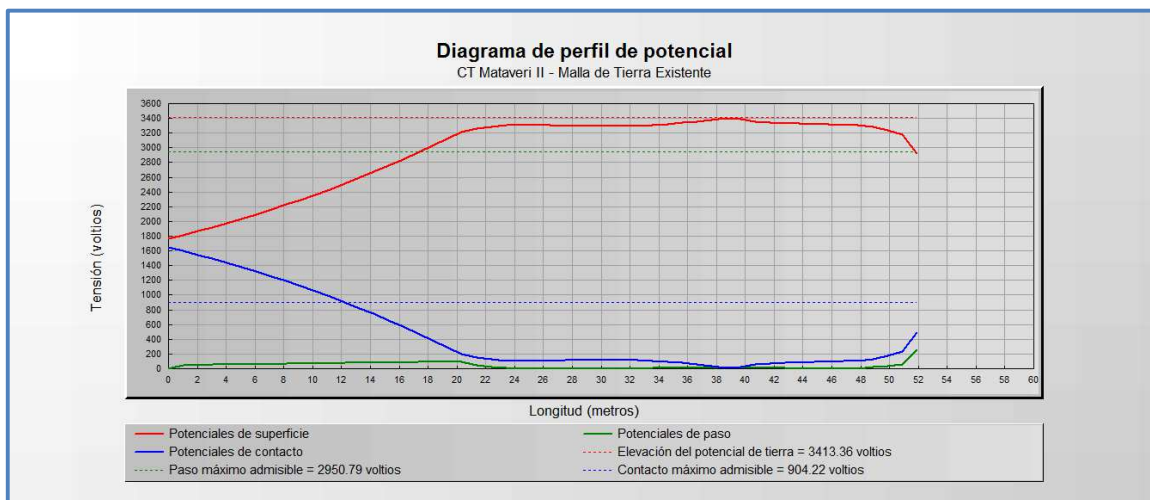


Fig. N° 4. Diagrama de perfil de potencial para malla de tierra Mataveri II existente.

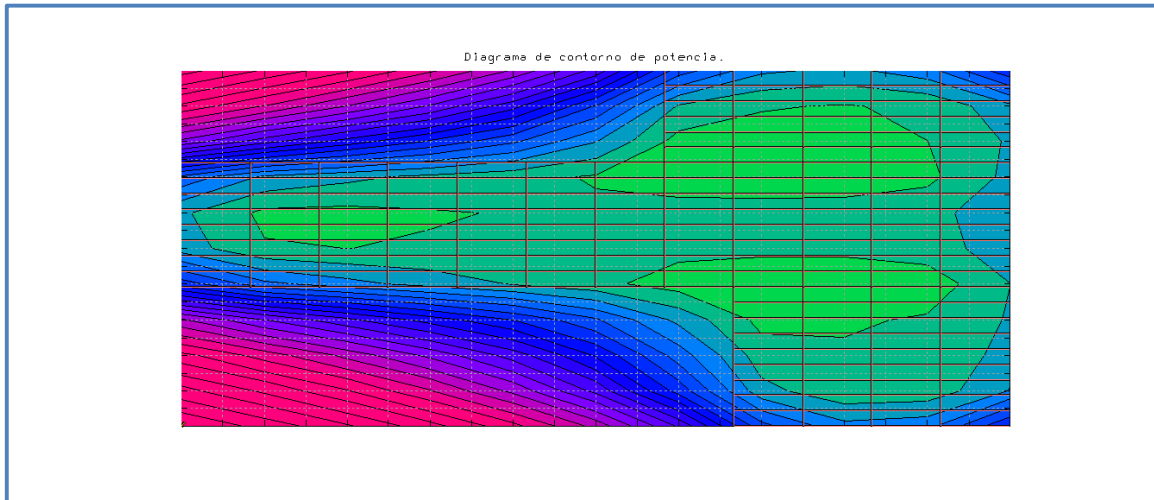
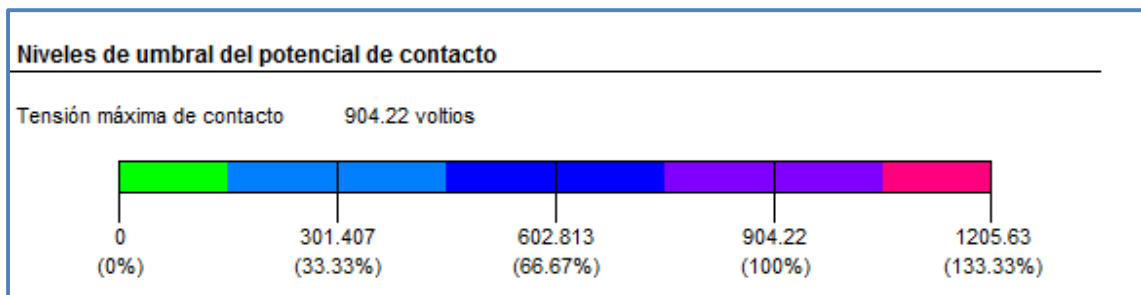


Fig. Nº 5. Diagrama de contorno de potencial para malla de tierra Mataveri II existente.



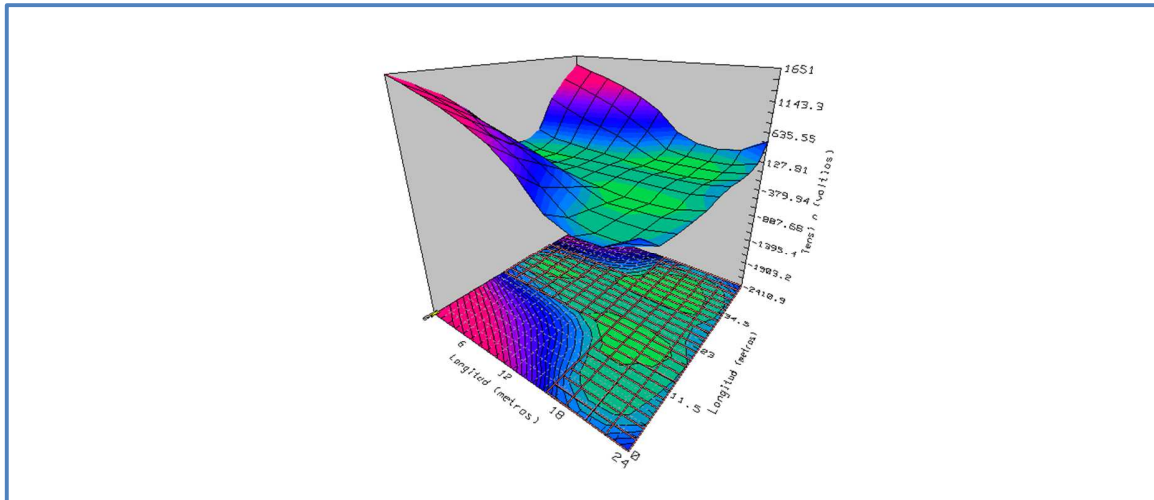


Fig. Nº 6. Diagrama de contorno de potencial 3D para malla de tierra existente.

Se aprecia que toda la zona cubierta por la malla de tierra existente posee magnitudes máximas de voltaje de contacto (V_c) y voltaje de paso (V_p) por debajo del valor límite permitido (color **rojo**). Por tanto, la malla de tierra de Mataverí II ofrece seguridad a las personas contra tensiones de falla.

11.0. Malla de puesta a Tierra mejorada.

Para corregir el comportamiento del parámetro voltaje de contacto máximo (V_c) en las mallas de tierra de Mataverí I, se propone interconectar la malla de tierra de Mataverí II con las mallas de tierra de Mataverí I. Ver en anexo Nº 4 la configuración propuesta.

11.1. Resultados para Malla de Tierra mejorada.

Se presentan en tabla siguiente los resultados obtenidos para la malla de tierra mejorada (interconexión entre Malla PT de Mataverí I y Malla de PT Mataverí II).

	Malla Proyectada	Límite	Observación
Rmalla [Ohm]	1,94	10	Cumple
Ifalla x malla [Amp]	3283	---	---
V_{paso} Malla [V]	268,00	2950,79	Cumple
$V_{contacto}$ Malla [V]	889,96	904,22	Cumple

11.2. Resultados Gráficos para Malla Tierra Proyectada

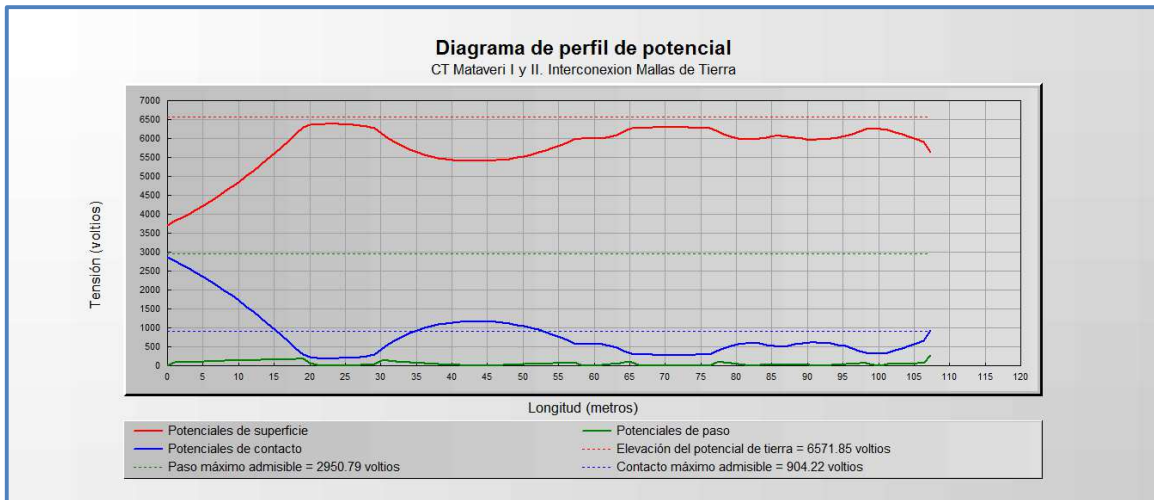


Fig. No 7. Diagrama de perfil de potencial para malla de tierra Proyectada.

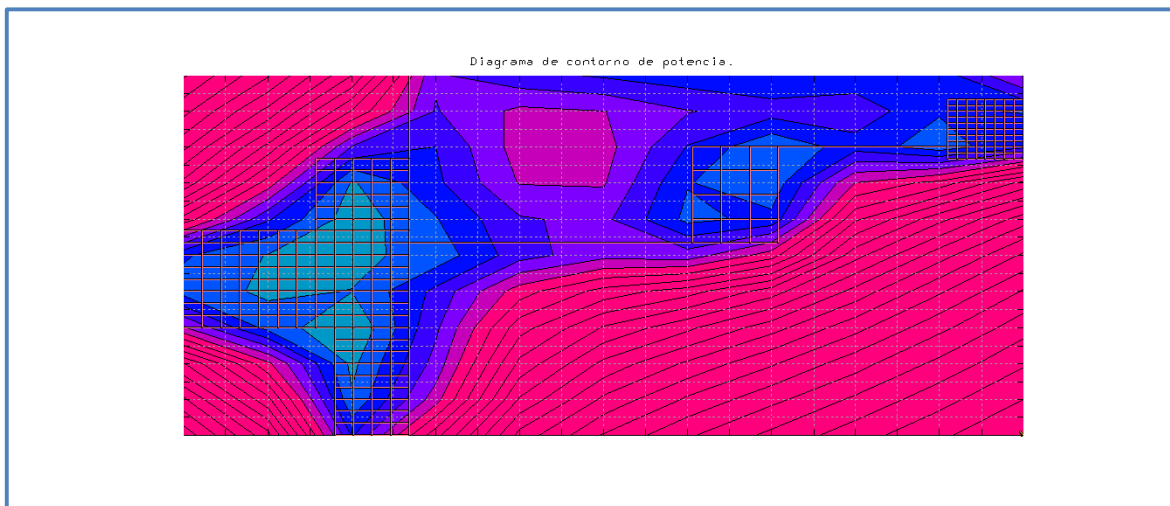


Fig. No 8. Diagrama de contorno de potencial para malla de tierra Proyectada

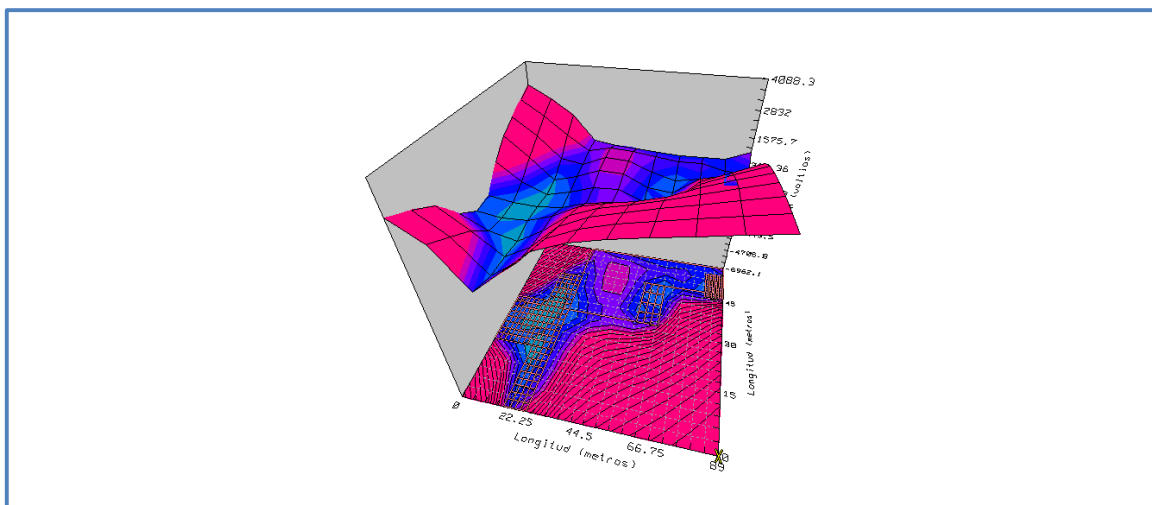
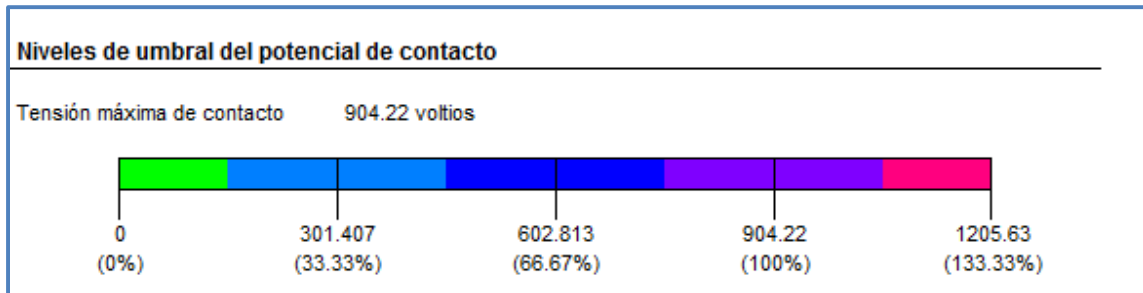


Fig. No 9. Diagrama de contorno de potencial 3D para malla de tierra Proyectada

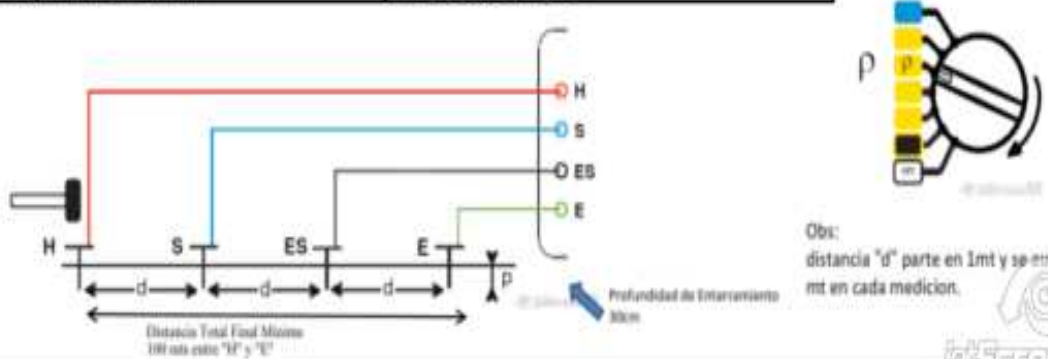
12.0. Análisis y Conclusiones para Malla de Tierra Proyectada.

Al revisar los reportes y graficas obtenidas para la malla de tierra proyectada tenemos:

- El Voltaje de Paso (V_p) en toda la superficie cubierta por la malla está plenamente controlado y su valor máximo está por debajo del valor límite permitido.
- De igual forma, el valor para el Voltaje de Contacto (V_c) en toda el área cubierta por la Malla de Tierra proyectada y su zona adyacente está completamente controlado, y su magnitud máxima está por debajo de su valor límite permitido.
- Respecto de la resistencia de puesta a tierra (R_m) para la malla proyectada, obtenida con CYMGRD, su valor cumple holgadamente con el criterio general recomendado para mallas de tierra en instalaciones MT ($\leq a 10$ [Ohm]).

- La malla de tierra proyectada (interconexión entre MPT Mataveri I y MPT Mataveri II) cumple plenamente con el control de las magnitudes de voltajes de Paso y Contacto otorgando así seguridad a las personas que permanezcan en las instalaciones de la Central Térmica Mataveri. De igual forma, el valor de Resistencia de Puesta a Tierra estimado mediante CYMGrd cumple con el valor recomendado para este tipo de instalaciones.
- Según resultados del modelamiento de la Malla de Tierra Proyectada los potenciales de Paso y Contacto están plenamente controlados considerando la existencia de material tipo Gravilla como material superficial, por tanto, es recomendable revisar y asegurar la existencia de una capa de Gravilla de 0,20 [Mt] que cubra toda el área de la malla de tierra y sobrepase 1,0 [mt] el perímetro de esta.

ANEXO Nº 1 MEDICION DE RESISTIVIDAD DE TERRENO

MKP MAKEPROJECT LTDA.		PROTOCOLO DE MEDIDA DE RESISTIVIDAD DE TERRENO AREA CENTRAL DE GENERACION	
		Fecha :	07-11-2019
		Hora :	11:10
A.- Identificación de la Instalación			
Nombre Instalación :	CENTRAL MATAVERI	Ubicación :	ISLA DE PASCUA
Propietario :	SASIPA	Comuna :	ISLA DE PASCUA
Nombre Encargado Inst.:			
B. Datos Equipo de Medida			
Equipo de Medida :	GROUND TESTER AEMC mod. 6471 norma IEC 61010-1, IEC 61557, IP53		
	Procedencia Francia. Fabrica: CHAUVIN ARNOUX		
	Serie Nro. 4654	Certificado Test Calibracion nro. LC-8096 UNDERFIRE	
		Fecha Certificado:	05 de Agosto del 2019
C. Antecedentes de la Medición			
Hora Inicio:	11:10	Hora Término :	12:25
		Nombre Operador :	MARCO ANTONIO ARCOS G.
Condiciones Climáticas :		Tipo de Terreno :	
Condicion del Día	Ultima lluvia Cada	24hrs	Observaciones del Terreno
Soleado	<input checked="" type="checkbox"/>	Lluvia Presente	Suelo Vegetal Natural
Parcial Nb	<input type="checkbox"/>	Chubascos Ptes.	Suelo Compactado
Nublado	<input type="checkbox"/>	Temperatura Amb.	22°C
		Suelo Tratado OCCC	Capa Vegetal Superf.
			Capa Grava Superf.
			Otros
Observaciones del Terreno			
LAS MEDICIONES SE EFECTUARON EN TERRENOS ALEDAÑOS A 50 MTS DE LA CENTRAL. TERRENO , EN TERRENOS DE LA DGAC DE ISLA DE PASCUA, TERRENO CON ABUNDANTE PASTO VERDE EN UN SUELO BASTANTE HOMOGENEO Y PLANO. COLINDANTE CON AEROPUERTO DE ISLA.			
D. Esquema de la Medición		METODO DE WENNER	
 <p>Obs: La distancia "d" parte en 1mt y se aumenta 1 mt en cada medición.</p> <p>Profundidad de Enterramiento 30cm</p> <p>Distancia Total Final Mismo 100mts entre "H" y "E"</p>			

MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD DE TERRENO

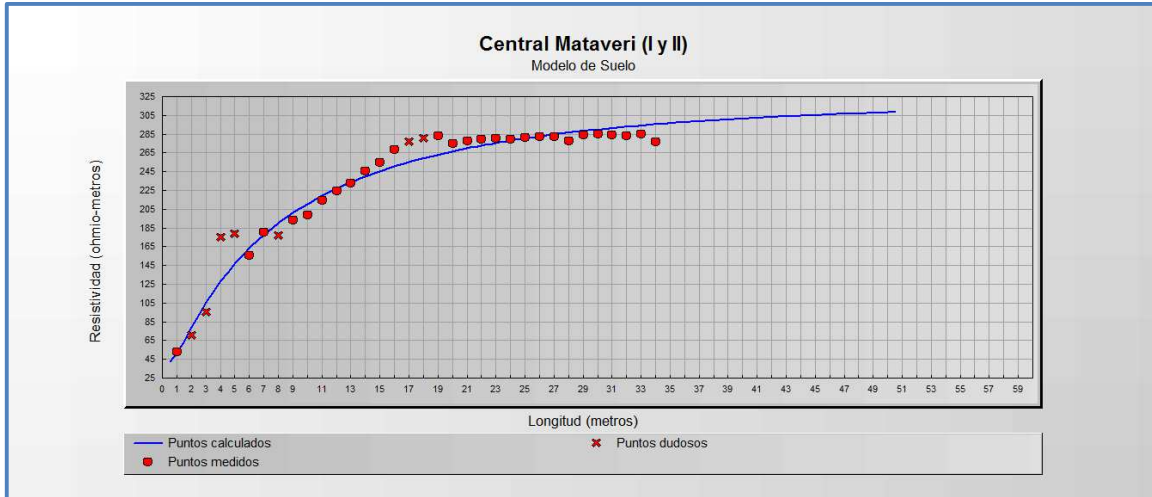
Proyecto	Malla Tierra en Central Mataveri (I y II)
Fecha	07 de Noviembre de 2019
Método	Método de Wenner
Hora Inicio / Terminó	11:10 - 12:25 [Hr]
Orientación medida	Orientación. N - S
Instrumento	Med. Resistividad Terreno
Tipo Terreno	Capa vegetal sup., suelo compactado.
Condición climática	Soleado
Observaciones	Tamb = 22 grados C.

Medición	"a" [mts]	Rho [Ω -mt]
1	1	52,3
2	2	70,1
3	3	95,1
4	4	175,0
5	5	178,3
6	6	155,0
7	7	180,0
8	8	176,0
9	9	192,5
10	10	198,0
11	11	213,6
12	12	224,0
13	13	232,0
14	14	245,0
15	15	254,6
16	16	268,0
17	17	276,0

Medición	"a" [mts]	Rho [Ω -mt]
18	18	280,0
19	19	283,0
20	20	275,0
21	21	277,0
22	22	279,0
23	23	280,0
24	24	279,0
25	25	281,0
26	26	282,0
27	27	282,0
28	28	277,0
29	29	284,0
30	30	285,0
31	31	284,0
32	32	283,0
33	33	285,0
34	34	276,0

$$\mathbf{Rho = 2\pi aR \text{ } [\Omega\text{-mt}]}$$

ANEXO Nº 2 MODELO DE SUELO



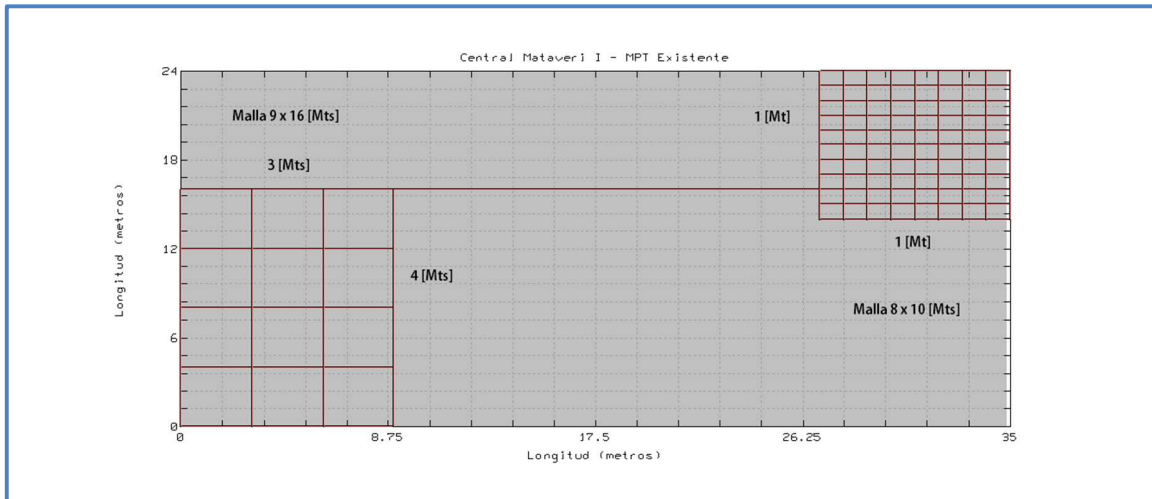
- **Modelo de Suelo** : Estratificado en 2 capas
- Espesor de la capa superior : 1,18 [mt]
- Resistividad capa superior : 40,88 [Ohm-mt]
- Resistividad capa inferior : 323,64 [Ohm-mt]

- **Capa Superficial (adicional)** : Gravilla.
- Espesor de la capa superficial : 0,20 [mt]
- Resistividad capa superficial : 2500 [Ohm-Mt]

- Duracion del choque electrico : 0,5 [Seg]
- Peso Corporal : 70 [Kg]

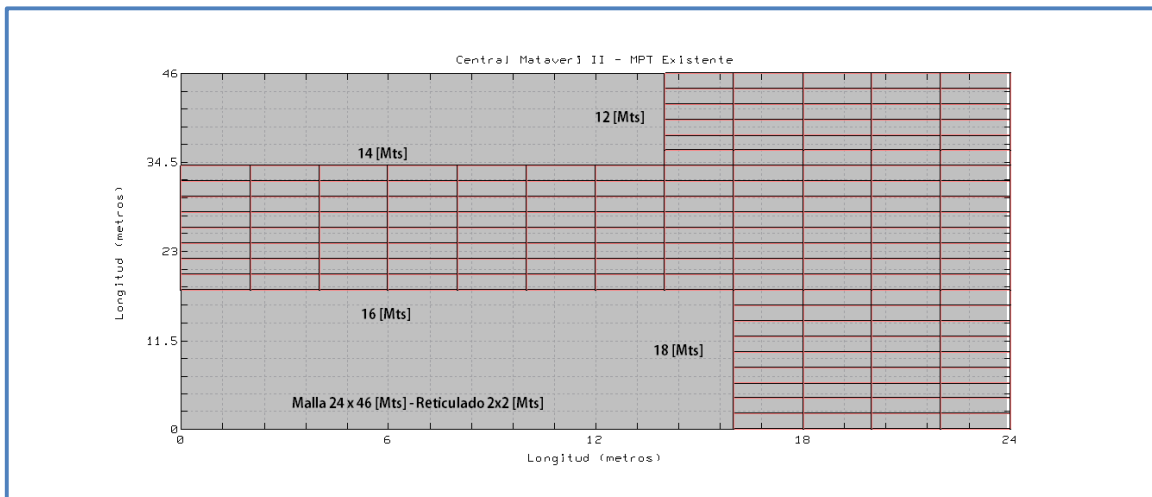
ANEXO Nº 3 MALLAS DE TIERRA EXISTENTES.

a) Malla de Tierra de CT Mataveri I.



- **Características:**
 - 305,0 [mt] de cable de Cu calibre 2/0 AWG
 - Dimensiones y Espaciado según figura.
 - Profundidad de enterramiento igual a 0,6 [mts].

b) Malla de Tierra de CT Mataveri II.

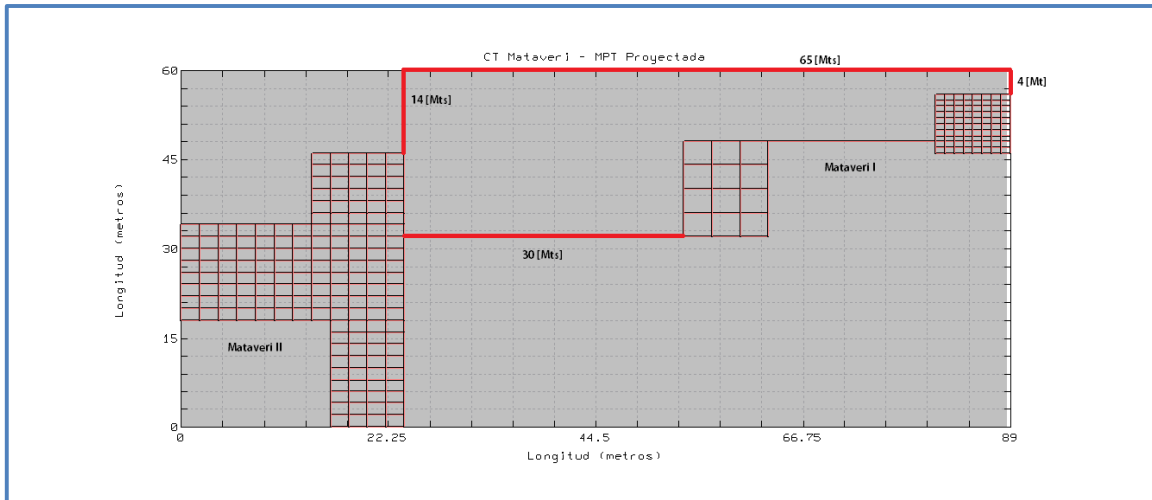


- **Características:**
 - 718,0 [mt] de cable de Cu calibre 2/0 AWG
 - Dimensiones y Espaciado según figura.
 - Profundidad de enterramiento igual a 0,6 [mts].

ANEXO Nº 4 MALLA DE TIERRA PROYECTADA

Interconexión de Mallas de PT de CT Mataveri I con Malla de PT de CT Mataveri II.

Características y dimensiones de Malla de Puesta a Tierra proyectada en CT Mataveri.



- **Características:**

- 113,0 [mt] de cable de Cu calibre 2/0 AWG (**PROYECTADO en color rojo**)
- Espaciado según figura.
- Profundidad de enterramiento igual a 0,6 [mts].

ANEXO Nº 5 FORMULAS

$$C_s = 1 - \frac{0,09 \left(1 - \frac{\rho_{eq}}{\rho_s} \right)}{2hs + 0,09} \quad [1]$$

C_s = Factor de Correccion Capa Superficial

ρ_{eq} = Resistencia equivalente del terreno.

ρ_s = Resistencia de la gravilla sobre el terreno (2500 [Ohm-mt])

h_s = Profundidad de enterramiento del conductor de malla (0,5 [mt]).

$$\begin{aligned} \text{Voltaje paso } (V_{paso}) &= (1000 + 6 * C_s * \rho_s)^{\frac{0,157}{\sqrt{t}}} \\ \text{Voltaje contacto } (V_{cont}) &= (1000 + 1,5 * C_s * \rho_s)^{\frac{0,157}{\sqrt{t}}} \end{aligned} \quad [2]$$

$$\text{Voltaje Contacto } (V_{cont \text{ malla}}) = \frac{\rho_{eq} * I_{cc} * K_m * K_i}{L_c * \left[1,55 + 1,22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) * L_R \right]} \quad [3]$$

L_c = Longitud total de conductor de la malla [mt].

L_R = Longitud total de barras de tierra cobre/acero [mt].

L_x = Longitud máxima de conductor de malla en eje "X".

L_y = Longitud máxima de conductor de malla en eje "Y".

L_r = Longitud de barra de tierra cobre/acero [mt].

I_{cc} = Magnitud de corriente de falla monofásica [Amp].

$$\text{Voltaje Paso } (V_{paso \text{ malla}}) = \frac{\rho_{eq} * I_{cc} * K_s * K_i}{0,75 * L_c + 0,85 * L_R} \quad (4)$$

Factor de Espaciamento Km

$$K_m = \left(\frac{1}{2\pi}\right) * \left[Ln * \left(\frac{D^2}{16 * h * d} + \frac{(D+2+h)^2}{8 * D * h} - \frac{h}{4 * d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} * Ln \left(\frac{8}{\pi * (2 * N - 1)} \right) \right] \quad (5)$$

Factor de peso correctivo Kii y Kh :

$$K_{ii} = \frac{1}{(2 * N)^{2/N}} \quad ; \quad K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \quad (6),(7)$$

Factor de Geometría Ki :

$$N = N_a * N_b * N_c * N_d \quad (8)$$

$$N_a = \frac{2 * L_c}{L_p} \quad ; \quad N_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 * \sqrt{A}}} \quad ; \quad N_c = \left(\frac{L_x * L_y}{A}\right)^{\frac{0,7 * A}{L_x * L_y}} \quad ; \quad N_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}}$$

$$K_i = 0,644 + 0,148 * N \quad (9)$$

Factor de Espaciamento Ks :

$$K_s = \frac{1}{\pi} * \left[\frac{1}{2 * h} + \frac{1}{D + H} + \frac{1}{D} * (1 - 0,5^{N-2}) \right] \quad (10)$$

ANEXO Nº 6 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA POR MALLAS EXISTENTES.

Considerando que la magnitud de la corriente de falla está determinada principalmente por la reactancia serie de los transformadores elevadores, entonces, la proporción de la corriente de falla total por la malla de CT Mataveri I y CT Mataveri II es la siguiente:

- a) $I_{falla\ 2\phi-T} = 3283$ [Amp] - Corriente Falla Total.
- b) Potencia en Transformadores elevadores: KVA Total = 7100 [KVA]
- c) Transformador elevador Mataveri I: KVA Total = 4800 [KVA], equivalente a un 68 %
- d) Transformador elevador Mataveri II: KVA Total = 2300 [KVA], equivalente a un 32 %.

Por tanto, la corriente de falla por cada Malla de Puesta a Tierra es la siguiente:

- e) Corriente de Falla por Malla PT de CT Mataveri I = $0,68 \times 3283 = 2232,0$ [Amp]
- f) Corriente de Falla por Malla PT de CT Mataveri II = $0,32 \times 3283 = 1050,0$ [Amp]

ANEXO Nº 7 CÁLCULO DE CALIBRE MINIMO DE CONDUCTOR.

$I_{cc-1f\ (Z_{falla}=0)}$: 3283,0 [Amp]

$$\text{Calibre (mm}^2\text{)} = \frac{I_{cc-1f\ falla} [KAmp]}{\sqrt{\left(\frac{TCAP*0,0001}{tc*\alpha r*\rho r}\right)*Ln\left(\frac{Ko+Tm}{Ko+Ta}\right)}} \quad [1]$$

De tabla Nº 1 en ANSI-IEEE STD. 80 – 2000 se obtiene:

- TCAP = 3,42
- $t_c = 0,5$ [seg]
- $\alpha r = 0,00381$
- $\rho r = 1,78$
- $Ko = 242$
- $Tm = 1084$
- $Ta = 40$

Evaluando expresión [1] se obtiene:

Calibre (mm²) = 8,31 (corresponde a calibre mínimo de conductor de malla)

Cable proyectado 2/0 AWG tiene calibre igual a 67,4 [mm²]. Cumple con calibre mínimo.