SDI

COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL

Cliente	Coordinador Eléctrico Nacional

Proyecto	Diagnóstico de Malla de Puesta a Tierra (MPT) de SS/EE de AT

Nº Documento SDI	7683-01-ES-IF-004

Nº Documento Cliente	

Título	Informe Técnico de Diagnostico N°2

Fecha	Revisión
14-11-2019	0
07-11-2019	C

SDI	Nombre	Firma	Fecha
Preparó	GSR		14-11-2019
Revisó	CMZ		14-11-2019
Aprobó	CMZ		14-11-2019
Cliente			
Revisó	MMA		14-11-2019
Aprobó	EZA		14-11-2019

7683-01-ES-IF-004
INFORME TÉCNICO DE DIAGNOSTICO N°2

Índice

1. Introducción 6

2. Resumen Ejecutivo 6

3. Referencias de Normas y Estándares Utilizados 6

4. Metodología, Criterios y Análisis 7

4.1. Antecedentes 7

4.2. Cálculo de Sección Admisible 7

4.3. Cálculo de Tensión Tolerable 8

5. Condiciones Generales S/E Quinquimo 9

5.1. Cálculo de Sección Admisible 9

5.2. Malla de Puesta a Tierra S/E Quinquimo (Año 2019) 10

5.3. Malla de Puesta a Tierra S/E Quinquimo (Año 2024) 15

5.4. Resumen de Resultados S/E Quinquimo (Año 2019) 19

5.5. Resumen de Resultados S/E Quinquimo (Año 2024) 19

6. Condiciones Generales S/E Cabildo 20

6.1. Cálculo de Sección Admisible 21

6.2. Malla de Puesta a Tierra S/E Cabildo (Año 2019) 21

6.3. Malla de Puesta a Tierra S/E Cabildo (Año 2024) 26

6.4. Resumen de Resultados S/E Cabildo (Año 2019) 30

6.5. Resumen de Resultados S/E Cabildo (Año 2024) 30

7. Condiciones Generales S/E Costanera 31

7.1. Cálculo de Sección Admisible 32

7.2. Malla de Puesta a Tierra S/E Costanera (Año 2019) 33

7.3. Malla de Puesta a Tierra S/E Costanera (Año 2024) 38

7.4. Resumen de Resultados S/E Costanera (Año 2019) 42

7.5. Resumen de Resultados S/E Costanera (Año 2024) 42

8. Condiciones Generales S/E Alto Bonito 43

8.1. Cálculo de Sección Admisible 44

8.2. Malla de Puesta a Tierra S/E Alto Bonito (Año 2019) 44

8.3. Malla de Puesta a Tierra S/E Alto Bonito (Año 2024) 49

8.4. Resumen de Resultados S/E Alto Bonito (Año 2019) 53

8.5. Resumen de Resultados S/E Alto Bonito (Año 2024) 53

9. Condiciones Generales S/E Castro 54

9.1. Cálculo de Sección Admisible 54

9.2. Malla de Puesta a Tierra S/E Castro (Año 2019) 55

9.3. Malla de Puesta a Tierra S/E Castro (Año 2024) 60

9.4. Resumen de Resultados S/E Castro (Año 2019) 64

9.5. Resumen de Resultados S/E Castro (Año 2024) 64

10. Conclusiones y Recomendaciones 66

10.1. S/E Quinquimo 66

10.2. S/E Cabildo 66

10.3. S/E Costanera 66

10.4. S/E Alto Bonito 67

10.5. S/E Castro 67

Índice de figuras

Figura 1: Límites de tensión SES CDEGS S/E Quinquimo 11
Figura 2: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Quinquimo 12
Figura 3: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Quinquimo 12
Figura 4: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Quinquimo 13
Figura 5: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Quinquimo 13
Figura 6: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Quinquimo 14
Figura 7: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Quinquimo 15
Figura 8: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Quinquimo 16
Figura 9: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Quinquimo 16
Figura 10: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Quinquimo 17
Figura 11: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Quinquimo 18

Figura 12: Límites de tensión SES CDEGS S/E Cabildo 22
Figura 13: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Cabildo 23
Figura 14: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Cabildo 23
Figura 15: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Cabildo 24
Figura 16: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Cabildo 24
Figura 17: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Cabildo 25
Figura 18: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Cabildo 26
Figura 19: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Cabildo 27
Figura 20: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Cabildo 27
Figura 21: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Cabildo 28
Figura 22: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Cabildo 29
Figura 23: Resultado factor split línea Las Vegas - Costanera 32
Figura 24: Límites de tensión SES CDEGS S/E Costanera 34
Figura 25: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Costanera 35
Figura 26: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Costanera 35
Figura 27: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Costanera 36
Figura 28: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Costanera 36
Figura 29: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Costanera 37
Figura 30: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Costanera 38
Figura 31: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Costanera 39
Figura 32: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Costanera 39
Figura 33: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Costanera 40
Figura 34: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Costanera 41
Figura 35: Límites de tensión SES CDEGS S/E Alto Bonito 45
Figura 36: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Alto Bonito 46
Figura 37: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Alto Bonito 46
Figura 38: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Alto Bonito 47
Figura 39: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Alto Bonito 47
Figura 40: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Alto Bonito 48
Figura 41: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Alto Bonito 49
Figura 42: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Alto Bonito 50
Figura 43: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Alto Bonito 50
Figura 44: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Alto Bonito 51
Figura 45: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Alto Bonito 52
Figura 46: Límites de tensión SES CDEGS S/E Castro 56
Figura 47: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Castro 57
Figura 48: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Castro 57
Figura 49: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Castro 58

Figura 50: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Castro 58
Figura 51: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Castro 59
Figura 52: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Castro 60
Figura 53: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Castro 61
Figura 54: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Castro 61
Figura 55: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Castro 62
Figura 56: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Castro 63

Índice de anexos

Anexo I: Corrientes de Cortocircuito al año 2019 68
Anexo II: Corrientes de Cortocircuito al año 2024 75

Índice de tablas

Tabla 1: Resistencia de diseño S/E Quinquimo corriente año 2019 19
Tabla 2: Verificación de tensión de paso S/E Quinquimo año 2019 19
Tabla 3: Verificación de tensión de contacto S/E Quinquimo año 2019 19
Tabla 4: Resistencia de diseño S/E Quinquimo corriente año 2024 19
Tabla 5: Verificación de tensión de paso S/E Quinquimo año 2024 20
Tabla 6: Verificación de tensión de contacto S/E Quinquimo año 2024 20
Tabla 7: Resistencia de diseño S/E Cabildo corriente año 2019 30
Tabla 8: Verificación de tensión de paso S/E Cabildo año 2019 30
Tabla 9: Verificación de tensión de contacto S/E Cabildo año 2019 30
Tabla 10: Resistencia de diseño S/E Cabildo corriente año 2024 30
Tabla 11: Verificación de tensión de paso S/E Cabildo año 2024 31
Tabla 12: Verificación de tensión de contacto S/E Cabildo año 2024 31
Tabla 13: Resistencia de diseño S/E Costanera corriente año 2019 42
Tabla 14: Verificación de tensión de paso S/E Costanera año 2019 42
Tabla 15: Verificación de tensión de contacto S/E Costanera año 2019 42
Tabla 16: Resistencia de diseño S/E Costanera corriente año 2024 42
Tabla 17: Verificación de tensión de paso S/E Costanera año 2024 43
Tabla 18: Verificación de tensión de contacto S/E Costanera año 2024 43
Tabla 19: Resistencia de diseño S/E Alto Bonito corriente año 2019 53
Tabla 20: Verificación de tensión de paso S/E Alto Bonito año 2019 53
Tabla 21: Verificación de tensión de contacto S/E Alto Bonito año 2019 53
Tabla 22: Resistencia de diseño S/E Alto Bonito corriente año 2024 53

Tabla 23: Verificación de tensión de paso S/E Alto Bonito año 2024 54
Tabla 24: Verificación de tensión de contacto S/E Alto Bonito año 2024 54
Tabla 25: Resistencia de diseño S/E Castro corriente año 2019 64
Tabla 26: Verificación de tensión de paso S/E Castro año 2019 64
Tabla 27: Verificación de tensión de contacto S/E Castro año 2019 64
Tabla 28: Resistencia de diseño S/E Castro corriente año 2024 64
Tabla 29: Verificación de tensión de paso S/E Castro año 2024 65
Tabla 30: Verificación de tensión de contacto S/E Castro año 2024 65

1. Introducción

El Coordinador Eléctrico Nacional, ha invitado a SDI, en adelante SDI o el "Auditor", a presentar una oferta por el desarrollo del Servicio de Consultoría para Diagnostico de la Malla de Puesta a Tierra (MPT) de Subestaciones (SS/EE) de Alta Tensión.

Este documento contiene la modelación de cinco mallas de puesta a tierra de las subestaciones: Quinquimo, Cabildo, Costanera, Alto Bonito, Castro.

2. Resumen Ejecutivo

Una de las principales preocupaciones cuándo se diseña una malla de puesta a tierra, es que, el diseño que se encuentra construido cumple realmente con las condiciones mínimas de protección y seguridad exigidas por las normas, es por ello que el objetivo general del presente informe consiste en modelar y determinar el estado actual de malla de puesta a tierra de la Subestaciones Quinquimo, Cabildo, Costanera, Alto Bonito, Castro. Se realizó las modelaciones de malla de puesta a tierra utilizando el Software CDEGS con el propósito de conocer los valores de tensión de paso y contacto, y así poder realizar la verificación del cumplimiento de las tensiones tolerables.

Se ha comprobado a través de las simulaciones que la resistencia de la malla de puesta a tierra, está en orden con los valores medido por los propietarios de las subestaciones.

3. Referencias de Normas y Estándares Utilizados

[1]. Norma IEEE Std 81-2012 “IEEE Guide for measuring earth resistivity, ground impedance, and earth surface potentials of a ground system (part 1)”.

[2]. Norma IEEE Std 80-2000 y 80-2013 “IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding”.

[3]. NSEG 5. E.n.71 Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Corrientes Fuertes.

[4]. Especificación de Estudio DID N° 03 “Verificación de la Capacidad de Malla de Tierra”.

4. Metodología, Criterios y Análisis

En este punto se describe la metodología para realizar las verificaciones de las mallas de puesta a tierra y los cables de guardia, con los antecedentes entregados por las empresas propietarias y así poder realizar el diagnóstico de las subestaciones.

4.1. Antecedentes

Se utilizará como antecedentes para la verificación de las mallas de puesta a tierra, las memorias de cálculos de resistencia de puesta a tierra vigente, planos de puesta a tierra e informe de medición de resistividad de terreno.

4.1.1. Corriente de Cortocircuito

[5]. Documento "Corrientes de Cortocircuito – Año 2019 SE MPT" enviado por el Coordinador Eléctrico Nacional.

[6]. Documento "Corrientes de Cortocircuito – Año 2024 SE MPT" enviado por el Coordinador Eléctrico Nacional.

4.1.2. Modelación

[7]. Documento "7683-01-ES-IF-002 Informe de Modelación N°2"

4.2. Cálculo de Sección Admisible

Según la Norma IEEE Std 80-2013 "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", el cálculo de la sección admisible de los conductores, se puede definir según la siguiente fórmula simplificada adicionándole el factor de seguridad:

$$\mathrm{A_{kcmil}} = I \cdot \mathrm{K_f} \cdot \sqrt{\mathrm{t_c}} \cdot \mathrm{I_f} \cdot \mathrm{D_f}$$

Dónde:

A_{kcmil}: Sección (Área) admisible del conductor, en MCM.

I: Corriente de Cortocircuito en kA.

K_f: Constante de material de cobre comercial según la tabla 2 de la norma IEE Std. 80-2013 (K_f= 7.06).

t_c: Tiempo de despeje de las protecciones ante falla residual.

I_f: Factor de seguridad, que considera incrementos en el valor de falla residual máxima, debido a futuros crecimientos en el sistema.

D_f: Factor de dispersión de corriente residual, debido a presencia de cable de guardia.

4.3. Cálculo de Tensión Tolerable

Para los cálculos de tensión máxima de paso y contacto tolerable se utiliza las fórmulas indicadas en la norma IEE Std. 80-2013.

Para la tensión de paso la fórmula es la siguiente:

$$E_p - máx = (1000 + 6\ x\ C_s\ x\ \rho_s)\ x\ \frac{0{,}116}{\sqrt{t_s}}$$

Donde:

E_p-máx : Tensión máxima de paso.

C_s : Factor de reducción de la capa superficial.

ρ_s : Resistividad de la capa superficial de suelo.

t_s : Tempo de duración de falla.

Para la tensión de contacto la fórmula es la siguiente:

$$E_C - máx = (1000 + 1{,}5\ x\ C_s\ x\ \rho_s)\ x\ \frac{0{,}116}{\sqrt{t_s}}$$

Donde:

E_C-máx : Tensión máxima de contacto.

C_s : Factor de reducción de la capa superficial.

ρ_s : Resistividad de la capa superficial de suelo.

t_s : Tempo de duración de falla.

5. Condiciones Generales S/E Quinquimo

Para la evaluación de la malla de puesta a tierra (MPT) de la subestación Quinquimo, se utilizará la estratigrafía del terreno (medidas de resistividad de terreno), Informe de Mediciones de Resistividad de Terreno correspondiente a la subestación (S/E), que se presenta en el documento [7].

Para el cálculo del valor de la resistencia de la MPT y las tensiones de paso y contacto se utilizó la metodología establecida en la norma IEEE Std 80-2000 y 80-2013 "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding".

Se toma como valor de cortocircuito a tierra [5] correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) cortocircuito bifásico a tierra en la barra 23 kV del año 2019 y [6] correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) del año 2024 de la subestación Quinquimo (ver anexo I y II).

La modelación de Malla de Puesta a Tierra planta de la S/E Quinquimo. Se ha realizado en base al informe de referencia [7].

5.1. Cálculo de Sección Admisible

Para el caso particular, la formula obtenida en [4.2], se tiene:

I = 6,19 kA (Corriente de cortocircuito residual máxima sin derrateo por efecto de cable de guardia del año 2019).

I = 6,19 kA (Corriente de cortocircuito residual máxima sin derrateo por efecto de cable de guardia del año 2024).

I_f = 1 (No considera un incremento en la falla residual, dado que el valor de falla corresponde a un escenario proyectado lo cual ya ingresa un factor de crecimiento).

D_f = 1

t_c = 0,5 s.

Luego, A_{kcmil} = 30,92 MCM (15,67 mm2) año 2019

Luego, A_{kcmil} = 30,92 MCM (15,67 mm2) año 2024

Por razones mecánicas y estandarización, el conductor de la malla de puesta a tierra de la S/E es de 2/0 AWG (67,42 mm2), el cual cumple con los requerimientos exigidos por norma y tiene una sección mayor a la admisible.

5.2. Malla de Puesta a Tierra S/E Quinquimo (Año 2019)

Para el cálculo de las tensiones de paso y contacto se utilizará el software SES CDEGS para ello se considera una corriente a tierra de 6,19 kA, y una persona de 50 kg, siendo este el caso más desfavorable.

Para los cálculos de tensión máxima de paso y contacto tolerable se utiliza las fórmulas indicadas en la norma IEE Std. 80-2013, es obtenida en [4.3].

En este caso las tensiones tolerables, sobre una capa superficial de gravilla de 15 cm de espesor, de resistividad de 3000 ohm/m (según tabla 7 de la IEEE Std 80-2013), con los valores de resistividad equivalente definido en [7] y durante un tiempo de despeje de falla de 0,5 s.

Se verifica que la tensión de paso calculada es menor a la tolerable, mientras que, la tensión de contacto calculada es mayor a la tensión tolerable.

La figura 1 muestra el resumen del cálculo de las tensiones de paso y contacto tolerables.

Las figuras 2 y 3 muestra la distribución de las tensiones de contacto calculadas.

Las figuras 4 y 5 muestra la distribución de las tensiones de paso calculadas.

Por último, en la figura 6, se presenta el valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra la que asciende a un valor de 2,96 ohms.

```
========================== Touch Voltage Threshold For Zone "Predeterminado" ================

 Computed Touch Voltage.....................................( V ):  796.32

 Main Computation Standard.....................................: IEEE Std.80-2013

 Network Specifications

     System Frequency.....................................(Hertz):  50.000
     Shock Duration.....................................(Seconds): 0.50000
     X/R Ratio.....................................................:  1.7420
     Computed Decrement Factor.....................................:  1.0055

 Site Data

     Surface Layer Thickness.................................( m ): 0.15240
     Surface Layer Resistivity.............................(Ohm-m):  3000.0
     Sub-Surface Layer Resistivity........................(Ohm-m):  500.00
     Foot Resistance Calculation Method............................: IEEE Std.80-2013
        Computed Foot Resistance..................( Ohm per foot ):  7762.0
        User Defined Footwear Resistance.........( Ohm per foot ):  0.0000
        User Defined Gloves Resistance...........( Ohm per hand ):  0.0000

 Human Data

     Fibrillation Current Calculation..............................: IEEE Std.80-2013 (50kg)
     Fibrillation Current Value..............................( A ): 0.16405
     Body Resistance Calculation Method............................: IEEE Std.80-2013
     Body Resistance Value...................................( Ohm ):  1000.0

========================== Step Voltage Threshold For Zone "Predeterminado Paso" ============

 Computed Step Voltage.....................................( V ):  2695.8

 Main Computation Standard.....................................: IEEE Std.80-2013

 Network Specifications

     System Frequency.....................................(Hertz):  50.000
     Shock Duration.....................................(Seconds): 0.50000
     X/R Ratio.....................................................:  1.7420
     Computed Decrement Factor.....................................:  1.0055

 Site Data

     Surface Layer Thickness.................................( m ): 0.15240
     Surface Layer Resistivity.............................(Ohm-m):  3000.0
     Sub-Surface Layer Resistivity........................(Ohm-m):  500.00
     Foot Resistance Calculation Method............................: IEEE Std.80-2013
        Computed Foot Resistance..................( Ohm per foot ):  7762.0
        User Defined Footwear Resistance.........( Ohm per foot ):  0.0000
        User Defined Gloves Resistance...........( Ohm per hand ):  0.0000

 Human Data

     Fibrillation Current Calculation..............................: IEEE Std.80-2013 (50kg)
     Fibrillation Current Value..............................( A ): 0.16405
     Body Resistance Calculation Method............................: IEEE Std.80-2013
     Body Resistance Value...................................( Ohm ):  1000.0

End of Report #2
```

Figura 1: Límites de tensión SES CDEGS S/E Quinquimo

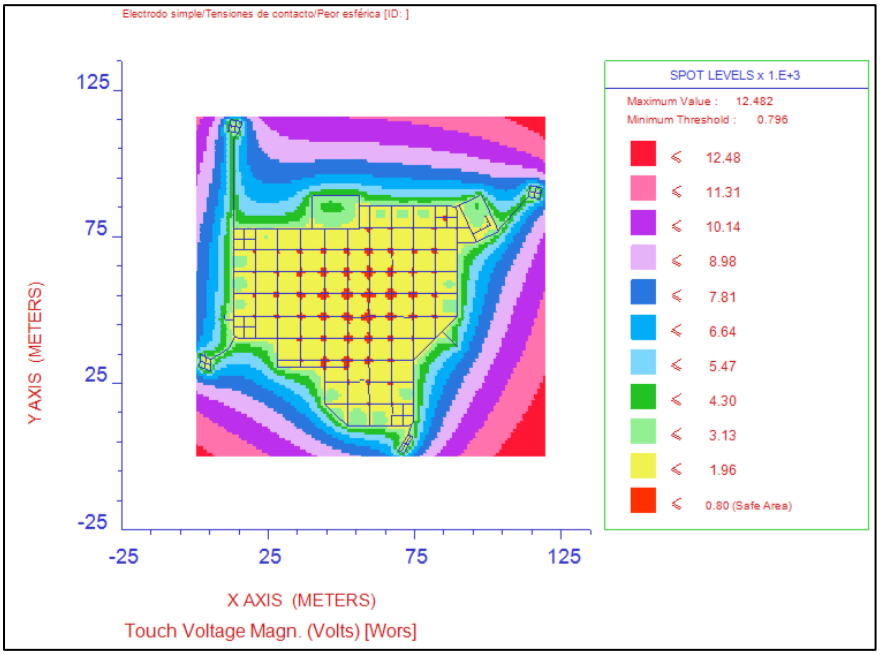


Figura 2: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Quinquimo

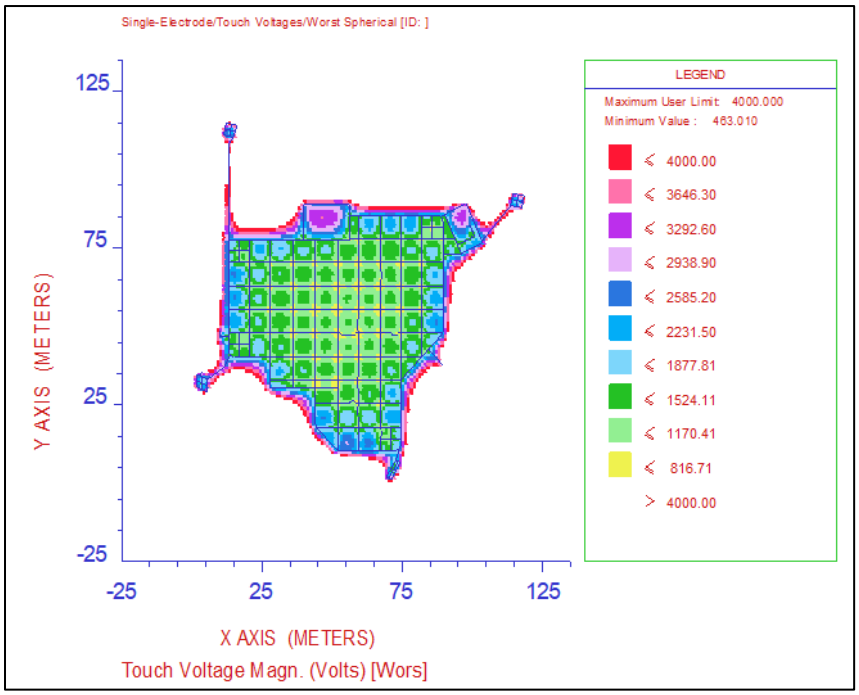


Figura 3: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Quinquimo

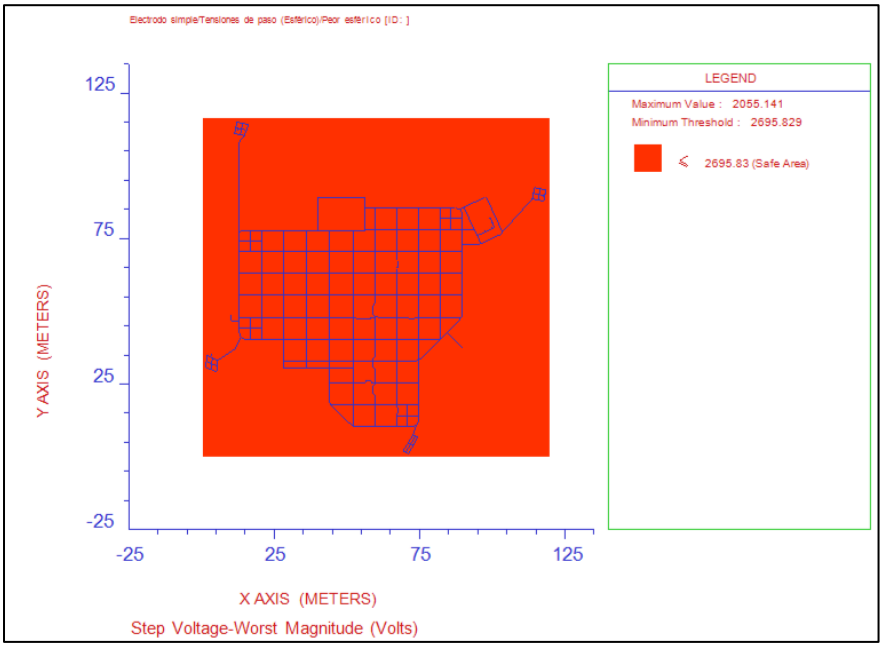


Figura 4: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Quinquimo

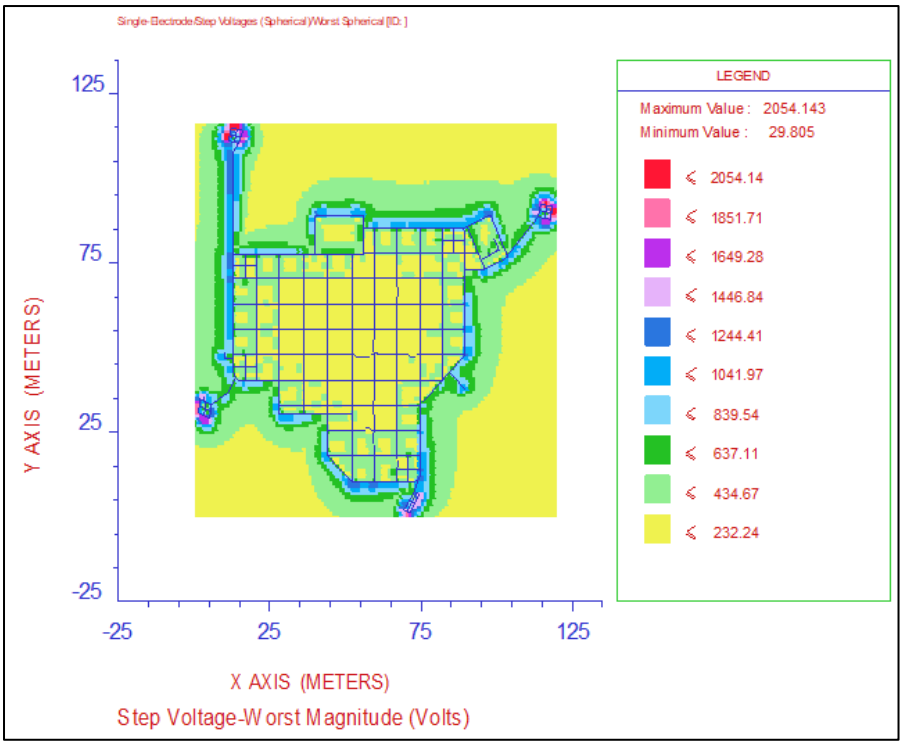


Figura 5: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Quinquimo

```
===========< G R O U N D I N G    ( SYSTEM INFORMATION SUMMARY ) >========

Run ID.....................................:
System of Units ...........................: Metric
Earth Potential Calculations................: Single Electrode Case
Type of Electrodes Considered...............: Main Electrode ONLY
Soil Type Selected.........................: Multi-Layer Horizontal
SPLITS/FCDIST Scaling Factor................:   1.0000
1
1


    MULTI-LAYER EARTH CHARACTERISTICS USED BY PROGRAM


    LAYER  TYPE  REFLECTION    RESISTIVITY     THICKNESS
     No.         COEFFICIENT   (ohm-meter)      (METERS)
    ----- ------ ------------- ------------- -------------
      1   Air     0.00000      0.100000E+11      Infinite
      2   Soil  -0.999990       500.000       100.000
      3   Soil    0.00000       500.000          Infinite
1

CONFIGURATION OF MAIN ELECTRODE
===============================

Original Electrical Current Flowing In Electrode..:   6190.0     amperes
Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:   1.0000
Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   6190.0     amperes
Number of Conductors in Electrode.................:   216
Resistance of Electrode System....................:   2.9586     ohms


SUBDIVISION
===========
Grand Total of Conductors After Subdivision.:   828


Total Current Flowing In Main Electrode......:   6190.0     amperes
Total Buried Length of Main Electrode........:   1625.3     meters


EARTH POTENTIAL COMPUTATIONS
============================

Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   18314.     volts
```

Figura 6: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Quinquimo

5.3. Malla de Puesta a Tierra S/E Quinquimo (Año 2024)

Para el cálculo de las tensiones de paso y contacto se utilizará el software SES CDEGS para ello se considera un corriente a tierra de 6,19 kA, siendo este el caso más desfavorable.

Para los cálculos de tensión máxima de paso y contacto tolerable se utiliza las fórmulas indicadas en la norma IEE Std. 80-2013, se obtenida en [4.3].

En este caso las tensiones tolerables, sobre una capa superficial de gravilla de 15 cm de espesor, de resistividad de 3000 ohm/m (según tabla 7 de la IEEE Std 80-2013), con los valores de resistividad equivalente definido en [7] y durante un tiempo de despeje de falla de 0,5 s.

Se verifica que la tensión de paso es menor a la tolerable, mientras que, la tensión de contacto calculada es mayor a la tensión tolerable.

Las figuras 7 y 8 muestra la distribución de las tensiones de contacto calculadas.

Las figuras 9 y 10 muestra la distribución de las tensiones de paso calculadas.

Por último, en la figura 11, se presenta el valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra la que asciende a un valor de 2,96 ohms.

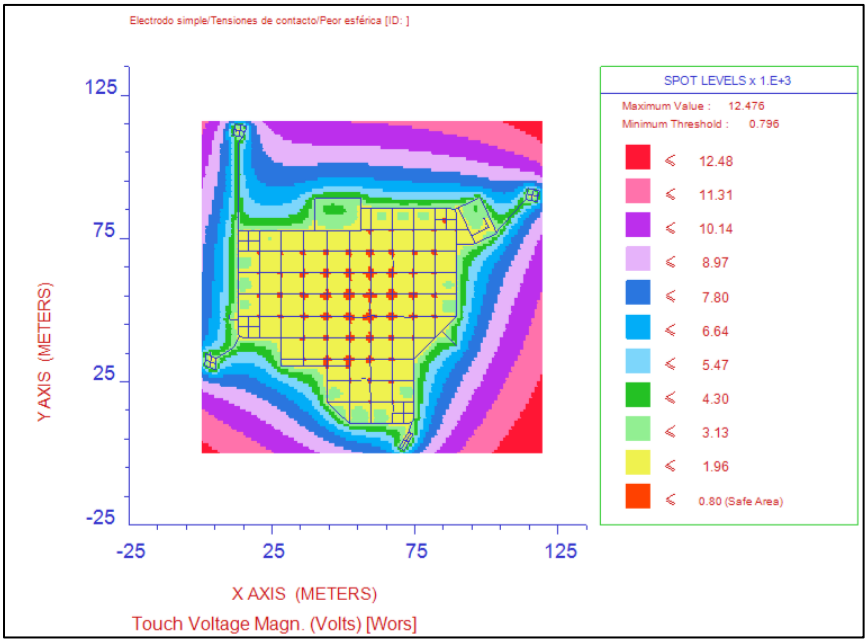


Figura 7: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Quinquimo

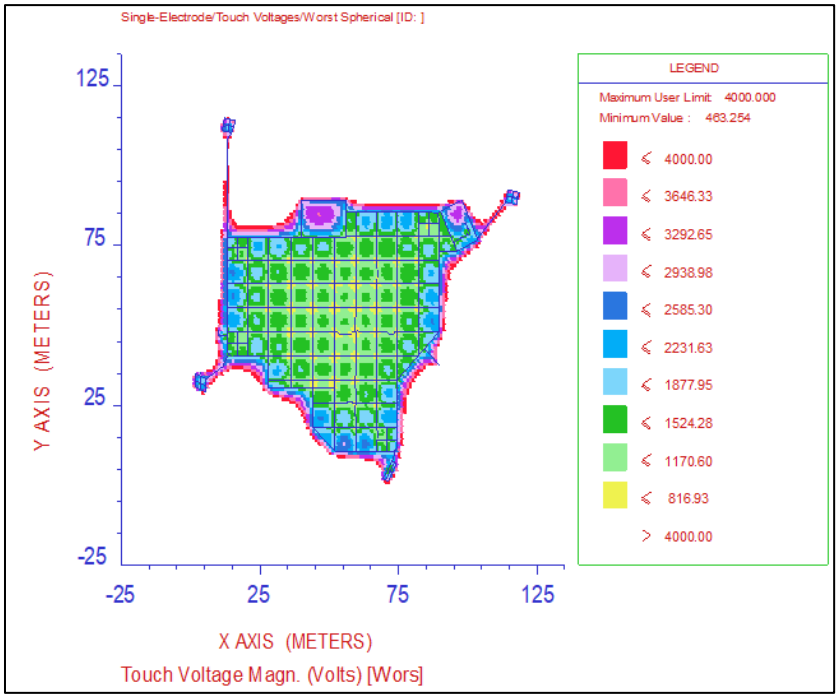


Figura 8: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Quinquimo

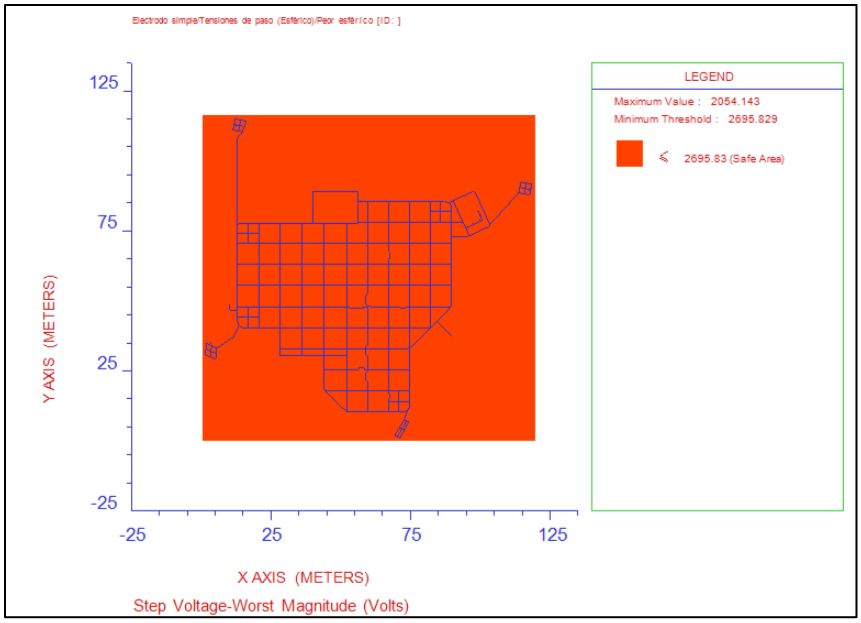


Figura 9: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Quinquimo

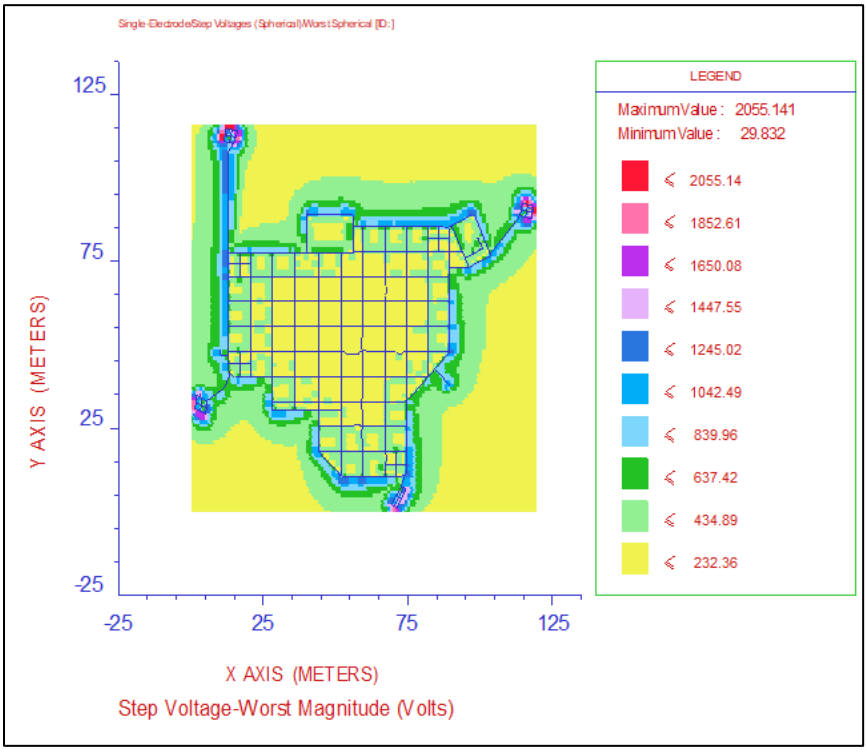


Figura 10: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Quinquimo

```
===========< G R O U N D I N G    ( SYSTEM INFORMATION SUMMARY ) >========

Run ID.......................................:
System of Units .............................: Metric
Earth Potential Calculations.................: Single Electrode Case
Type of Electrodes Considered................: Main Electrode ONLY
Soil Type Selected...........................: Multi-Layer Horizontal
SPLITS/FCDIST Scaling Factor.................:   1.0000
1
1



    MULTI-LAYER EARTH CHARACTERISTICS USED BY PROGRAM



    LAYER  TYPE  REFLECTION    RESISTIVITY     THICKNESS
     No.         COEFFICIENT   (ohm-meter)      (METERS)
    ----- ------ ------------- ------------- -------------
      1   Air     0.00000      0.100000E+11      Infinite
      2   Soil  -0.999990       500.000       100.000
      3   Soil    0.00000       500.000          Infinite
1

CONFIGURATION OF MAIN ELECTRODE
================================

Original Electrical Current Flowing In Electrode..:   6193.0     amperes
Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:   1.0000
Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   6193.0     amperes
Number of Conductors in Electrode................:   216
Resistance of Electrode System...................:   2.9586     ohms


SUBDIVISION
===========
Grand Total of Conductors After Subdivision.:   828


Total Current Flowing In Main Electrode......:   6193.0     amperes
Total Buried Length of Main Electrode........:   1625.3     meters


EARTH POTENTIAL COMPUTATIONS
============================

Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   18323.     volts
```

Figura 11: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Quinquimo

5.4. Resumen de Resultados S/E Quinquimo (Año 2019)

Se presenta un resumen de los resultados del diseño de malla de puesta a tierra de la S/E Quinquimo para el año 2019, los cuales son los siguientes:

Tabla 1: Resistencia de diseño S/E Quinquimo corriente año 2019

SUBESTACIÓN	LONGITUD TOTAL DE CONDUCTOR DE COBRE [M]	CANTIDAD DE VARILLAS VERTICALES	RESISTENCIA DE DISEÑO [ohm]	CORRIENTE DE FUGA A TIERRA [kA]
Quinquimo	1625.3	0	2.96	6,19

Tabla 2: Verificación de tensión de paso S/E Quinquimo año 2019

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE PASO EP-máx [V]	TENSIÓN DE PASO CÁLCULADA EP-cal [V]	CUMPLIMIENTO EP-mäx>EP-cal
Quinquimo	2695,8	2055,14	Si

Tabla 3: Verificación de tensión de contacto S/E Quinquimo año 2019

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE CONTACTO EC-máx [V]	TENSIÓN DE CONTACTO CÁLCULADA EC-cal [V]	CUMPLIMIENTO EC-mäx>EC-cal
Quinquimo	796,32	4300	No

5.5. Resumen de Resultados S/E Quinquimo (Año 2024)

Se presenta un resumen de los resultados del diseño de malla de puesta a tierra de la S/E Quinquimo para el año 2024, los cuales son los siguientes:

Tabla 4: Resistencia de diseño S/E Quinquimo corriente año 2024

SUBESTACIÓN	LONGITUD TOTAL DE CONDUCTOR DE COBRE [M]	CANTIDAD DE VARILLAS VERTICALES	RESISTENCIA DE DISEÑO [ohm]	CORRIENTE DE FUGA A TIERRA [kA]
Quinquimo	1625,3	0	2,96	6,19

Tabla 5: Verificación de tensión de paso S/E Quinquimo año 2024

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE PASO EP-máx [V]	TENSIÓN DE PASO CÁLCULADA EP-cal [V]	CUMPLIMIENTO EP-mäx>EP-cal
Quinquimo	2695,8	2055,14	Si

Tabla 6: Verificación de tensión de contacto S/E Quinquimo año 2024

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE CONTACTO EC-máx [V]	TENSIÓN DE CONTACTO CÁLCULADA EC-cal [V]	CUMPLIMIENTO EC-mäx>EC-cal
Quinquimo	796,32	4300	No

6. Condiciones Generales S/E Cabildo

Para la evaluación de la malla de puesta a tierra (MPT) de la subestación Cabildo, se utilizará la estratigrafía del terreno (medidas de resistividad de terreno), Informe de Mediciones de Resistividad de Terreno correspondiente a la subestación (S/E), que se presenta en el documento [7].

Para el cálculo del valor de la resistencia de la MPT y las tensiones de paso y contacto se utilizó la metodología establecida en la norma IEEE Std 80-2000 y 80-2013 "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding".

Se toma como valor de cortocircuito a tierra [5] correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) cortocircuito bifásico a tierra en la barra 23 kV del año 2019 y [6] correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) del año 2024 de la subestación Cabildo (ver anexo I y II).

La modelación de la malla de puesta a tierra planta de la S/E Cabildo. Se ha realizado en base al informe de referencia [7].

6.1. Cálculo de Sección Admisible

Para el caso particular, la formula obtenida en [4.2], se tiene:

I = 5,72 kA (Corriente de cortocircuito residual máxima sin derrateo por efecto de cable de guardia del año 2019).

I = 5,72 kA (Corriente de cortocircuito residual máxima sin derrateo por efecto de cable de guardia del año 2024).

I_f = 1 (No considera un incremento en la falla residual, dado que el valor de falla corresponde a un escenario proyectado lo cual ya ingresa un factor de crecimiento).

D_f = 1

t_c = 0,5 s.

Luego, A_{kcmil} = 28,56 MCM (14,47 mm2) año 2019

Luego, A_{kcmil} = 28,56 MCM (14,47 mm2) año 2024

Por razones mecánicas y estandarización, el conductor de la malla de puesta a tierra de la S/E es de N°2 AWG (33,63 mm2) el cual cumple con los requerimientos exigidos por norma y tiene una sección mayor a la admisible.

6.2. Malla de Puesta a Tierra S/E Cabildo (Año 2019)

Para el cálculo de las tensiones de paso y contacto se utilizará el software SES CDEGS para ello se considera un corriente a tierra de 5,72 kA, y una persona de 50 kg, siendo este el caso más desfavorable.

Para los cálculos de tensión máxima de paso y contacto tolerable se utiliza las fórmulas indicadas en la norma IEE Std. 80-2013, se obtenida en [4.3].

En este caso las tensiones tolerables, sobre una capa superficial de gravilla de 15 cm de espesor, de resistividad de 3000 ohm/m (según tabla 7 de la IEEE Std 80-2013), con los valores de resistividad equivalente definido en [7] y durante un tiempo de despeje de falla de 0,5 s.

Se verifica que la tensión de paso y de contacto calculada es mayor a la tolerable.

La figura 12 muestra el resumen del cálculo de las tensiones de paso y contacto tolerables.

Las figuras 13 y 14 muestra la distribución de las tensiones de contacto calculadas.

Las figuras 15 y 16 muestra la distribución de las tensiones de paso calculadas.

Por último, en la figura 17, se presenta el valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra la que asciende a un valor de 5,63 ohms.

```
========================= Touch Voltage Threshold For Zone "Predeterminado" =================

 Computed Touch Voltage.....................................( V ):  796.76

 Main Computation Standard.....................................: IEEE Std.80-2013

 Network Specifications

     System Frequency.....................................(Hertz):  50.000
     Shock Duration.......................................(Seconds): 0.50000
     X/R Ratio.....................................................:  1.5650
     Computed Decrement Factor.....................................:  1.0050

 Site Data

     Surface Layer Thickness..................................( m ): 0.15240
     Surface Layer Resistivity............................(Ohm-m):  3000.0
     Sub-Surface Layer Resistivity........................(Ohm-m):  500.00
     Foot Resistance Calculation Method............................: IEEE Std.80-2013
        Computed Foot Resistance..................( Ohm per foot ):  7762.0
        User Defined Footwear Resistance.........( Ohm per foot ):  0.0000
        User Defined Gloves Resistance...........( Ohm per hand ):  0.0000

 Human Data

     Fibrillation Current Calculation..............................: IEEE Std.80-2013 (50kg)
     Fibrillation Current Value...............................( A ): 0.16405
     Body Resistance Calculation Method............................: IEEE Std.80-2013
     Body Resistance Value....................................( Ohm ):  1000.0

========================= Step Voltage Threshold For Zone "Predeterminado Paso" ============

 Computed Step Voltage.....................................( V ):  2697.3

 Main Computation Standard.....................................: IEEE Std.80-2013

 Network Specifications

     System Frequency.....................................(Hertz):  50.000
     Shock Duration.......................................(Seconds): 0.50000
     X/R Ratio.....................................................:  1.5650
     Computed Decrement Factor.....................................:  1.0050

 Site Data

     Surface Layer Thickness..................................( m ): 0.15240
     Surface Layer Resistivity............................(Ohm-m):  3000.0
     Sub-Surface Layer Resistivity........................(Ohm-m):  500.00
     Foot Resistance Calculation Method............................: IEEE Std.80-2013
        Computed Foot Resistance..................( Ohm per foot ):  7762.0
        User Defined Footwear Resistance.........( Ohm per foot ):  0.0000
        User Defined Gloves Resistance...........( Ohm per hand ):  0.0000

 Human Data

     Fibrillation Current Calculation..............................: IEEE Std.80-2013 (50kg)
     Fibrillation Current Value...............................( A ): 0.16405
     Body Resistance Calculation Method............................: IEEE Std.80-2013
     Body Resistance Value....................................( Ohm ):  1000.0
```

Figura 12: Límites de tensión SES CDEGS S/E Cabildo

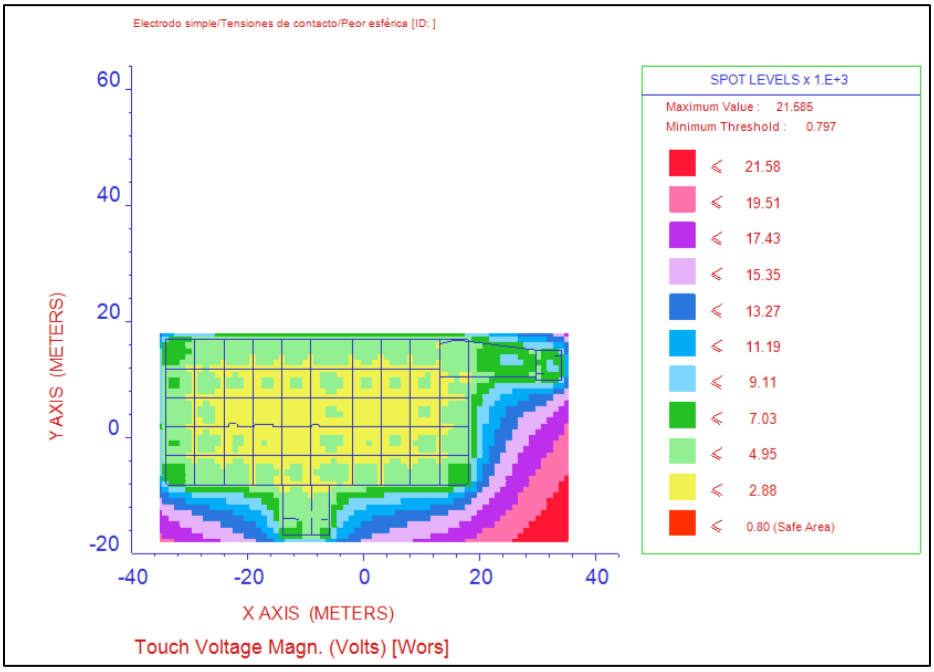


Figura 13: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Cabildo

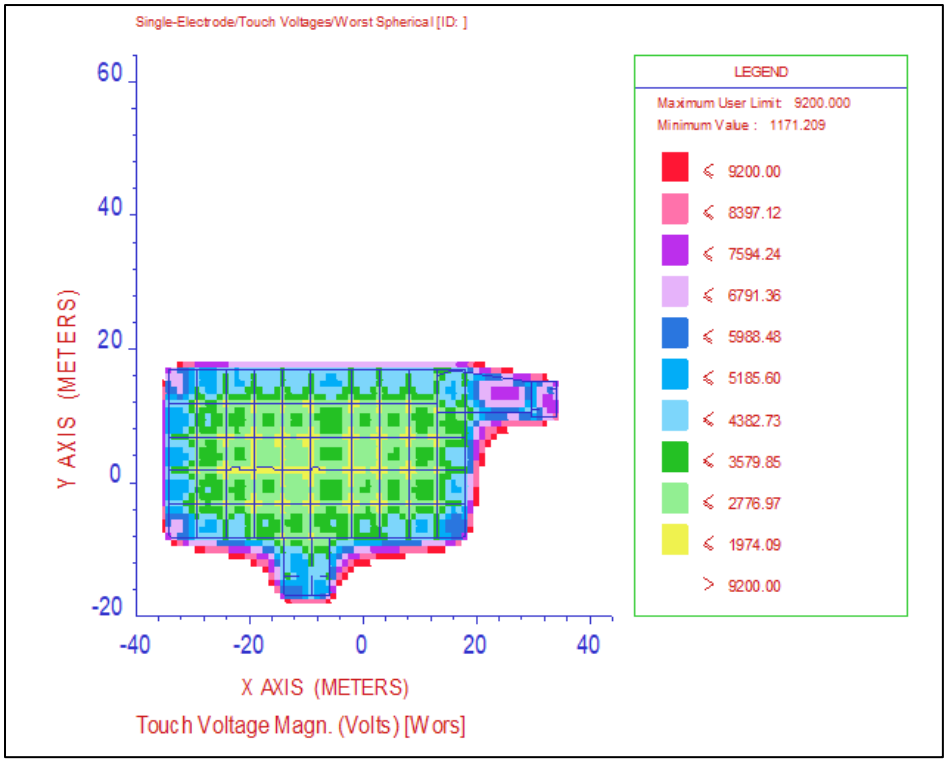


Figura 14: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Cabildo

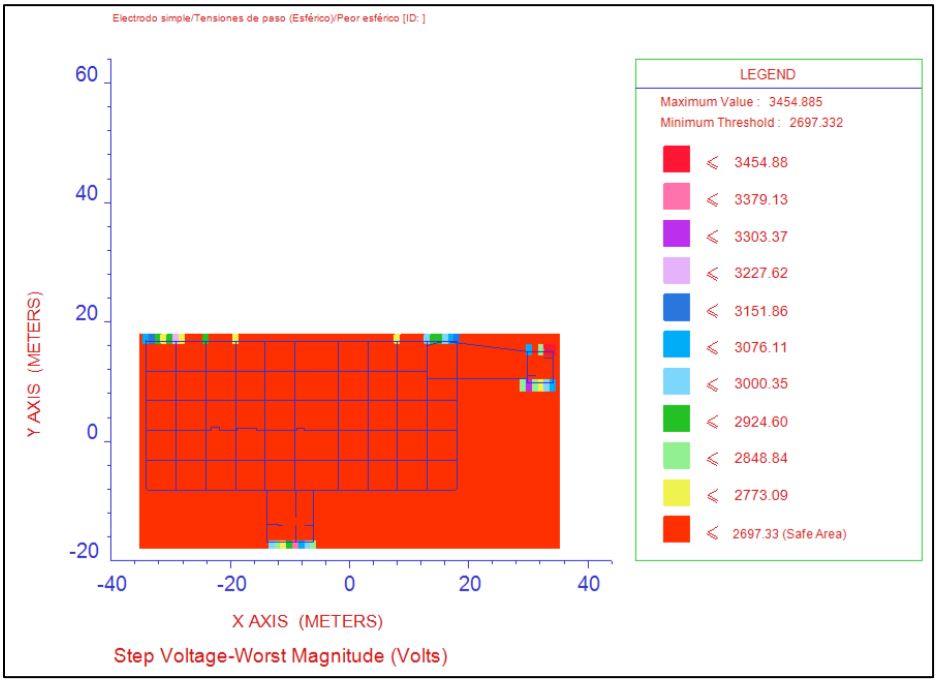


Figura 15: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Cabildo

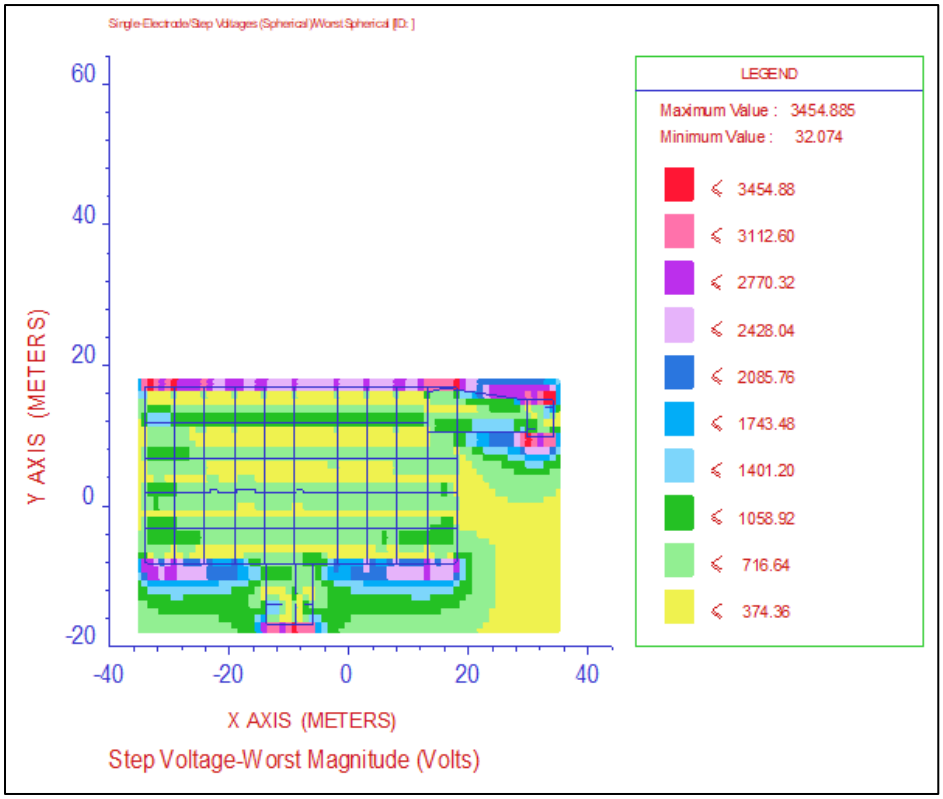


Figura 16: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Cabildo

```
===========< G R O U N D I N G    ( SYSTEM INFORMATION SUMMARY ) >=========

Run ID.....................................:
System of Units ...........................: Metric
Earth Potential Calculations...............: Single Electrode Case
Type of Electrodes Considered..............: Main Electrode ONLY
Soil Type Selected.........................: Multi-Layer Horizontal
SPLITS/FCDIST Scaling Factor...............:   1.0000
1
1


    MULTI-LAYER EARTH CHARACTERISTICS USED BY PROGRAM



    LAYER  TYPE  REFLECTION    RESISTIVITY     THICKNESS
     No.         COEFFICIENT   (ohm-meter)      (METERS)
    ----- ------ ------------- ------------- -------------
      1   Air     0.00000      0.100000E+11      Infinite
      2   Soil  -0.999990       500.000       100.000
      3   Soil    0.00000       500.000          Infinite
1

CONFIGURATION OF MAIN ELECTRODE
===============================

Original Electrical Current Flowing In Electrode..:   5715.0     amperes
Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:   1.0000
Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   5715.0     amperes
Number of Conductors in Electrode.................:   100
Resistance of Electrode System....................:   5.6320     ohms


SUBDIVISION
===========
Grand Total of Conductors After Subdivision.:   359


Total Current Flowing In Main Electrode......:   5715.0     amperes
Total Buried Length of Main Electrode........:   678.67     meters


EARTH POTENTIAL COMPUTATIONS
============================

Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   32187.     volts
```

Figura 17: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Cabildo

6.3. Malla de Puesta a Tierra S/E Cabildo (Año 2024)

Para el cálculo de las tensiones de paso y contacto se utilizará el software SES CDEGS para ello se considera un corriente a tierra de 5,72 kA, y una persona de 50 kg, siendo este el caso más desfavorable.

Para los cálculos de tensión máxima de paso y contacto tolerable se utiliza las fórmulas indicadas en la norma IEE Std. 80-2013, es obtenida en [4.2].

Se verifica que la tensión de paso y de contacto calculada es mayor a la tensión tolerable.

Las figuras 18 y 19 muestra la distribución de las tensiones de contacto calculadas.

Las figuras 20 y 21 muestra la distribución de las tensiones de paso calculadas.

Por último, en la figura 22, se presenta el valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra la que asciende a un valor de 5,63 ohms.

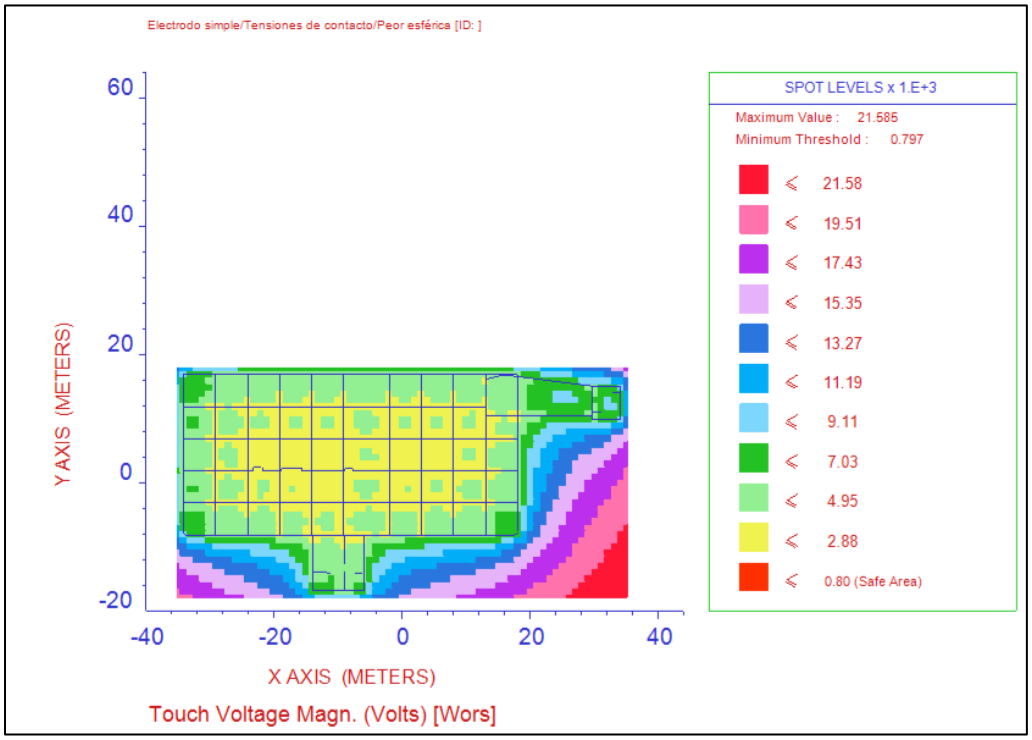


Figura 18: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Cabildo

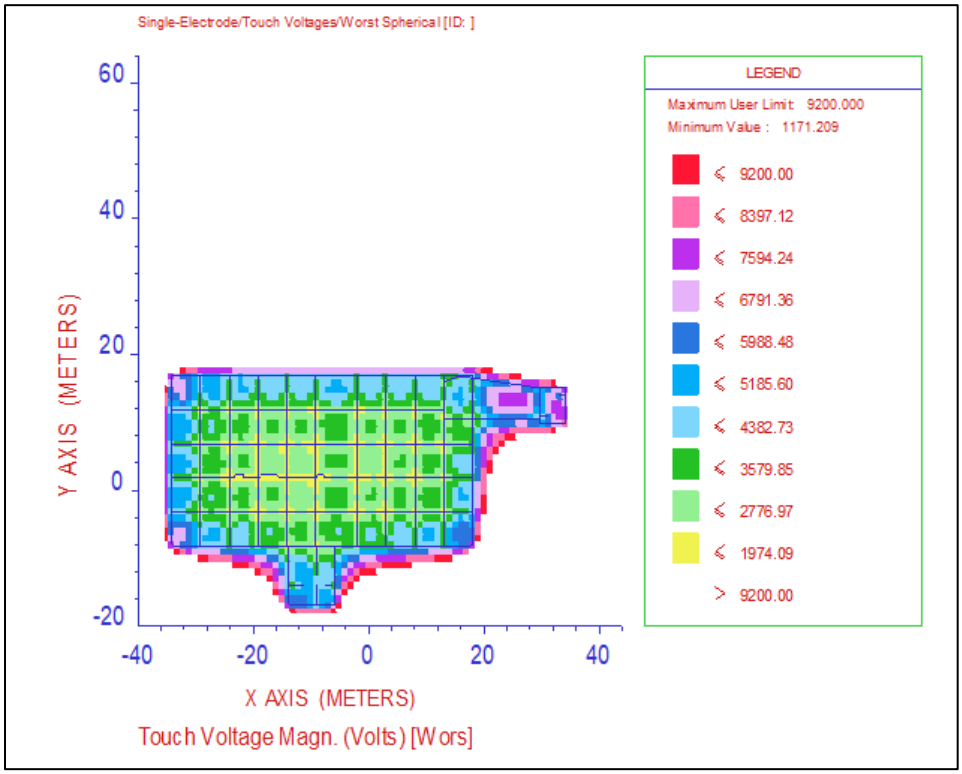


Figura 19: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Cabildo

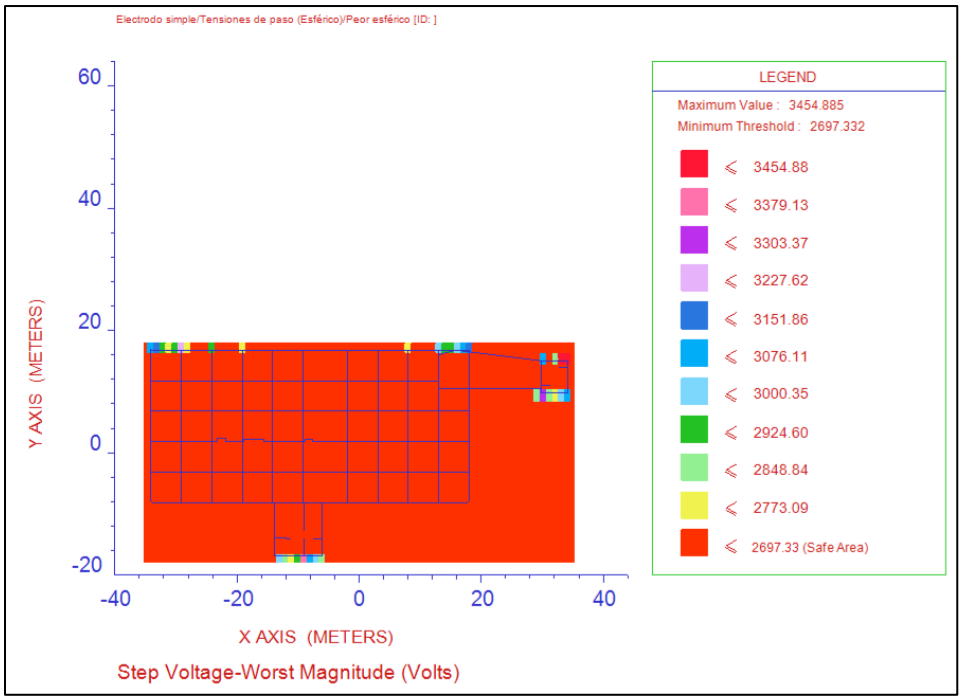


Figura 20: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Cabildo

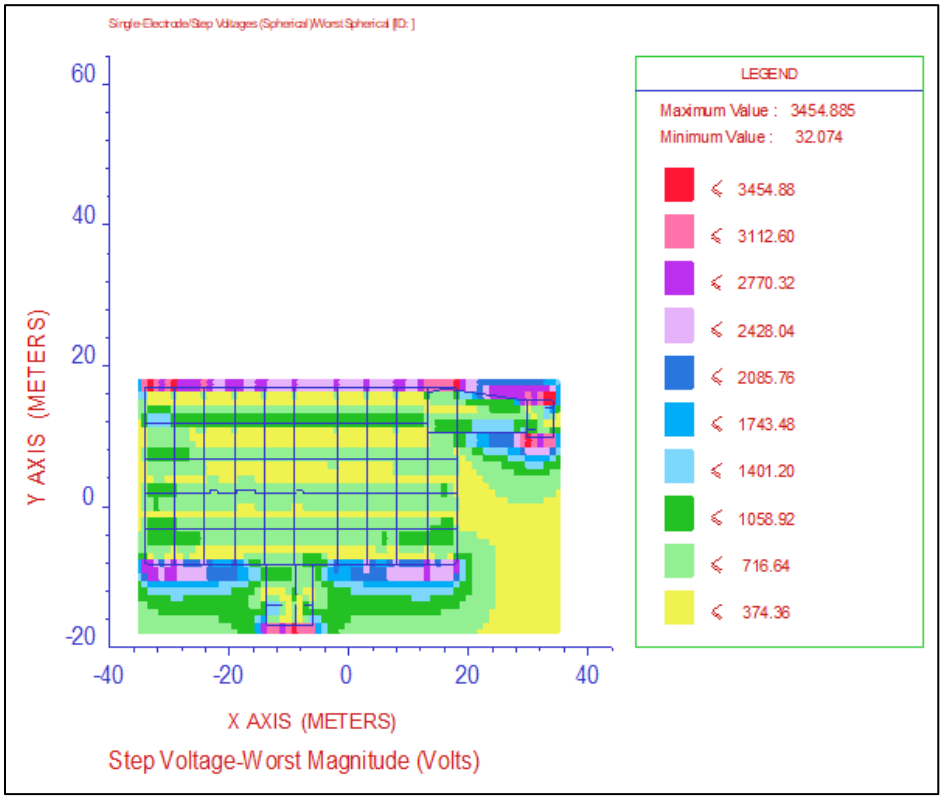


Figura 21: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Cabildo

```
===========< G R O U N D I N G    ( SYSTEM INFORMATION SUMMARY ) >=========

Run ID.....................................:
System of Units ...........................: Metric
Earth Potential Calculations...............: Single Electrode Case
Type of Electrodes Considered..............: Main Electrode ONLY
Soil Type Selected.........................: Multi-Layer Horizontal
SPLITS/FCDIST Scaling Factor...............:   1.0000
1
1


    MULTI-LAYER EARTH CHARACTERISTICS USED BY PROGRAM



    LAYER  TYPE  REFLECTION    RESISTIVITY     THICKNESS
     No.         COEFFICIENT   (ohm-meter)      (METERS)
    ----- ------ ------------- ------------- -------------
      1   Air     0.00000      0.100000E+11      Infinite
      2   Soil  -0.999990       500.000       100.000
      3   Soil    0.00000       500.000          Infinite
1

CONFIGURATION OF MAIN ELECTRODE
===============================

Original Electrical Current Flowing In Electrode..:   5715.0     amperes
Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:   1.0000
Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   5715.0     amperes
Number of Conductors in Electrode.................:   100
Resistance of Electrode System....................:   5.6320     ohms


SUBDIVISION
===========
Grand Total of Conductors After Subdivision.:   359


Total Current Flowing In Main Electrode......:   5715.0     amperes
Total Buried Length of Main Electrode........:   678.67     meters


EARTH POTENTIAL COMPUTATIONS
============================

Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   32187.     volts
```

Figura 22: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Cabildo

6.4. Resumen de Resultados S/E Cabildo (Año 2019)

Se presenta un resumen de los resultados del diseño de malla de puesta a tierra de la S/E Cabildo para el año 2019, los cuales son los siguientes:

Tabla 7: Resistencia de diseño S/E Cabildo corriente año 2019

SUBESTACIÓN	LONGITUD TOTAL DE CONDUCTOR DE COBRE [M]	CANTIDAD DE VARILLAS VERTICALES	RESISTENCIA DE DISEÑO [ohm]	CORRIENTE DE FUGA A TIERRA [kA]
Cabildo	678,67	0	5,63	5,72

Tabla 8: Verificación de tensión de paso S/E Cabildo año 2019

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE PASO EP-máx [V]	TENSIÓN DE PASO CÁLCULADA EP-cal [V]	CUMPLIMIENTO EP-mäx>EP-cal
Cabildo	2697,3	3303,37	No

Tabla 9: Verificación de tensión de contacto S/E Cabildo año 2019

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE CONTACTO EC-máx [V]	TENSIÓN DE CONTACTO CÁLCULADA EC-cal [V]	CUMPLIMIENTO EC-mäx>EC-cal
Cabildo	796,76	7030	No

6.5. Resumen de Resultados S/E Cabildo (Año 2024)

Se presenta un resumen de los resultados del diseño de malla de puesta a tierra de la S/E Cabildo para el año 2024, los cuales son los siguientes:

Tabla 10: Resistencia de diseño S/E Cabildo corriente año 2024

SUBESTACIÓN	LONGITUD TOTAL DE CONDUCTOR DE COBRE [M]	CANTIDAD DE VARILLAS VERTICALES	RESISTENCIA DE DISEÑO [ohm]	CORRIENTE DE FUGA A TIERRA [kA]
Cabildo	678,67	0	5,63	5,72

Tabla 11: Verificación de tensión de paso S/E Cabildo año 2024

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE PASO EP-máx [V]	TENSIÓN DE PASO CÁLCULADA EP-cal [V]	CUMPLIMIENTO EP-mäx>EP-cal
Cabildo	2697,3	3303,37	No

Tabla 12: Verificación de tensión de contacto S/E Cabildo año 2024

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE CONTACTO EC-máx [V]	TENSIÓN DE CONTACTO CÁLCULADA EC-cal [V]	CUMPLIMIENTO EC-mäx>EC-cal
Cabildo	796,76	7030	No

7. Condiciones Generales S/E Costanera

Para la evaluación de la malla de puesta a tierra (MPT) de la subestación Costanera, se utilizará la estratigrafía del terreno (medidas de resistividad de terreno), Informe de Mediciones de Resistividad de Terreno correspondiente a la subestación (S/E), que se presenta en el documento [7].

Para el cálculo del valor de la resistencia de la MPT y las tensiones de paso y contacto se utilizó la metodología establecida en la norma IEEE Std 80-2000 y 80-2013 "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding".

Se toma como valor de cortocircuito a tierra [5] correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) cortocircuito bifásico a tierra en la barra 12 kV del año 2019 y [6] correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) del año 2024 de la subestación Costanera.

La modelación de la Malla de Puesta a Tierra planta de la S/E Costanera. Se ha realizado en base al informe de referencia [7].

El resultado de la modelación del cable de guardia (figura 23), obteniendo que el factor de división de corriente de la malla para el año 2019 y 2024 en la S/E Costanera (ver anexo I y II) corresponde a un 76,40 % (Factor Split Sf).

```
=======< FAULT CURRENT DISTRIBUTION ( SYSTEM INFORMATION SUMMARY ) >=======

Run ID.....................................: SE Costanera
Central Station Name.......................: Costanera
Total Number of Terminals..................:   1
Average Soil Resistivity...................:   180.00     ohm-meters
Printout Option............................: Detailed


Central Station: Costanera

Ground Resistance.........................:   1.2400     ohms
Ground Reactance..........................:   0.0000     ohms


Terminal No.    1 : Puente Alto

Number of Sections..............:    18
Ground Impedance................:   5.0000     +j   0.0000     ohms
Source Current..................:   14164.     Amps  /   87.000     degrees
Neutral Connection Impedance....:   0.0000     +j   0.0000     ohms
Span Length.....................:  200.00     m

SUMMARY OF RESULTS FOR TERMINALS (Magn./Angle)

Terminal   1: Total Terminal Earth Current....:   6335.2     Amps  /  -91.306     deg.
              Terminal Earth Potential Rise...:   31676.     Volts /  -91.306     deg.
              Neutral Current at Central Site.:   3346.7     Amps  /   89.463     deg.

SUMMARY OF RESULTS AT CENTRAL SITE (Magn./Angle)

Total Fault Current...........:   14164.      Amps  /   87.000     degrees
Total Neutral Current.........:   3346.7      Amps  /   89.463     degrees
Total Earth Current...........:   10821.      Amps  /   86.238     degrees
Current Split Factor..........:  0.76400     (p.u.) / -0.76156     degrees
Ground Potential Rise (GPR)...:   13418.      Volts /   86.238     degrees

End of Report #1
```

Figura 23: Resultado factor split S/E Costanera

7.1. Cálculo de Sección Admisible

Para el caso particular, la fórmula es obtenida en [4.2], se tiene:

I = 14,16 kA (Corriente de cortocircuito residual máxima sin derrateo por efecto de cable de guardia del año 2019).

I = 14,24 kA (Corriente de cortocircuito residual máxima sin derrateo por efecto de cable de guardia del año 2024).

I_f = 1 (No considera un incremento en la falla residual, dado que el valor de falla corresponde a un escenario proyectado lo cual ya ingresa un factor de crecimiento).

D_f = 1

t_c = 0,5 s.

Luego, A_{kcmil} = 70,69 MCM (35,82 mm2) año 2019

Luego, A_{kcmil} = 71,09 MCM (36,02 mm2) año 2024

Por razones mecánicas y estandarización, el conductor de la malla de puesta a tierra de la S/E es de 4/0 AWG (107,20 mm2) el cual cumple con los requerimientos exigidos por norma y tiene una sección mayor a la admisible.

7.2. Malla de Puesta a Tierra S/E Costanera (Año 2019)

Para el cálculo de las tensiones de paso y contacto se utilizará el software SES CDEGS para ello se considera un factor de corriente de fuga a tierra del 76,40%, indicada en el capítulo 7 de este documento, y una persona de 50 kg, siendo este el caso más desfavorable.

Para los cálculos de tensión máxima de paso y contacto tolerable se utiliza las fórmulas indicadas en la norma IEE Std. 80-2013, es obtenida en [4.3].

En este caso las tensiones tolerables, sobre una capa superficial de gravilla de 15 cm de espesor, de resistividad de 3000 ohm/m (según tabla 7 de la IEEE Std 80-2013), con los valores de resistividad equivalente definido en [7] y durante un tiempo de despeje de falla de 0,5 s.

Se verifica que la tensión de paso calculada es menor a la tolerable, mientras que, la tensión de contacto calculada se observa en unas zonas de incumplimiento a la tensión tolerable.

La figura 24 muestra el resumen del cálculo de las tensiones de paso y contacto tolerables.

Las figuras 25 y 26 muestra la distribución de las tensiones de contacto calculadas.

Las figuras 27 y 28 muestra la distribución de las tensiones de paso calculadas.

Por último, en la figura 29, se presenta el valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra la que asciende a un valor de 0,69 ohms.

```
========================= Touch Voltage Threshold For Zone "Predeterminado" ==================

 Computed Touch Voltage.....................................( V ):  759.58

 Main Computation Standard.....................................: IEEE Std.80-2013

 Network Specifications

     System Frequency.....................................(Hertz):  50.000
     Shock Duration.......................................(Seconds): 0.50000
     X/R Ratio.....................................................:  2.1090
     Computed Decrement Factor.....................................:  1.0067

 Site Data

     Surface Layer Thickness...................................( m ): 0.15240
     Surface Layer Resistivity.............................(Ohm-m):  3000.0
     Sub-Surface Layer Resistivity........................(Ohm-m):  16.280
     Foot Resistance Calculation Method...........................: IEEE Std.80-2013
        Computed Foot Resistance..................( Ohm per foot ):  7322.3
        User Defined Footwear Resistance.........( Ohm per foot ):  0.0000
        User Defined Gloves Resistance...........( Ohm per hand ):  0.0000

 Human Data

     Fibrillation Current Calculation.............................: IEEE Std.80-2013 (50kg)
     Fibrillation Current Value...............................( A ): 0.16405
     Body Resistance Calculation Method...........................: IEEE Std.80-2013
     Body Resistance Value.................................( Ohm ):  1000.0

========================= Step Voltage Threshold For Zone "Predeterminado Paso" =============

 Computed Step Voltage.....................................( V ):  2549.4

 Main Computation Standard.....................................: IEEE Std.80-2013

 Network Specifications

     System Frequency.....................................(Hertz):  50.000
     Shock Duration.......................................(Seconds): 0.50000
     X/R Ratio.....................................................:  2.1090
     Computed Decrement Factor.....................................:  1.0067

 Site Data

     Surface Layer Thickness...................................( m ): 0.15240
     Surface Layer Resistivity.............................(Ohm-m):  3000.0
     Sub-Surface Layer Resistivity........................(Ohm-m):  16.280
     Foot Resistance Calculation Method...........................: IEEE Std.80-2013
        Computed Foot Resistance..................( Ohm per foot ):  7322.3
        User Defined Footwear Resistance.........( Ohm per foot ):  0.0000
        User Defined Gloves Resistance...........( Ohm per hand ):  0.0000

 Human Data

     Fibrillation Current Calculation.............................: IEEE Std.80-2013 (50kg)
     Fibrillation Current Value...............................( A ): 0.16405
     Body Resistance Calculation Method...........................: IEEE Std.80-2013
     Body Resistance Value.................................( Ohm ):  1000.0

End of Report #1
```

Figura 24: Límites de tensión SES CDEGS S/E Costanera

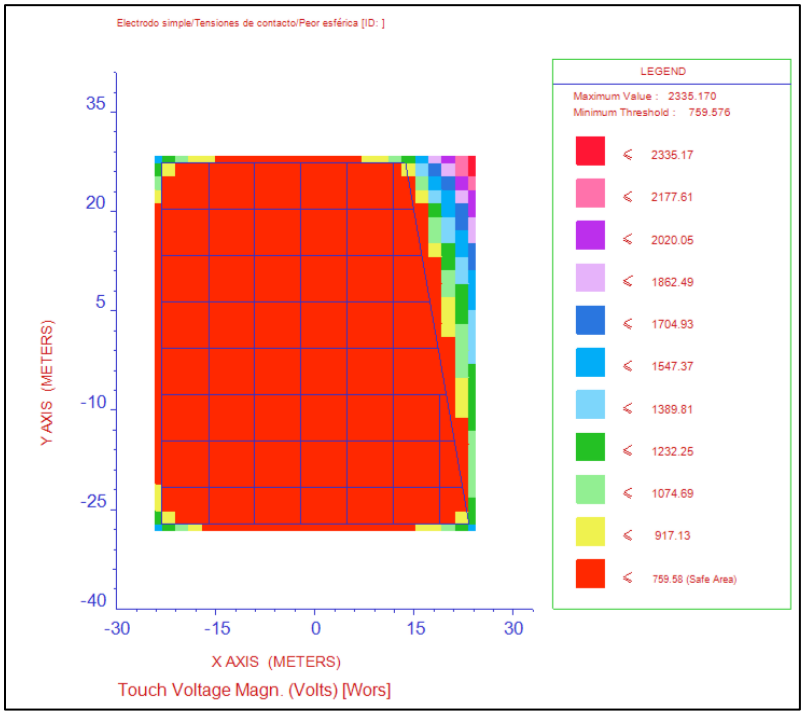


Figura 25: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Costanera

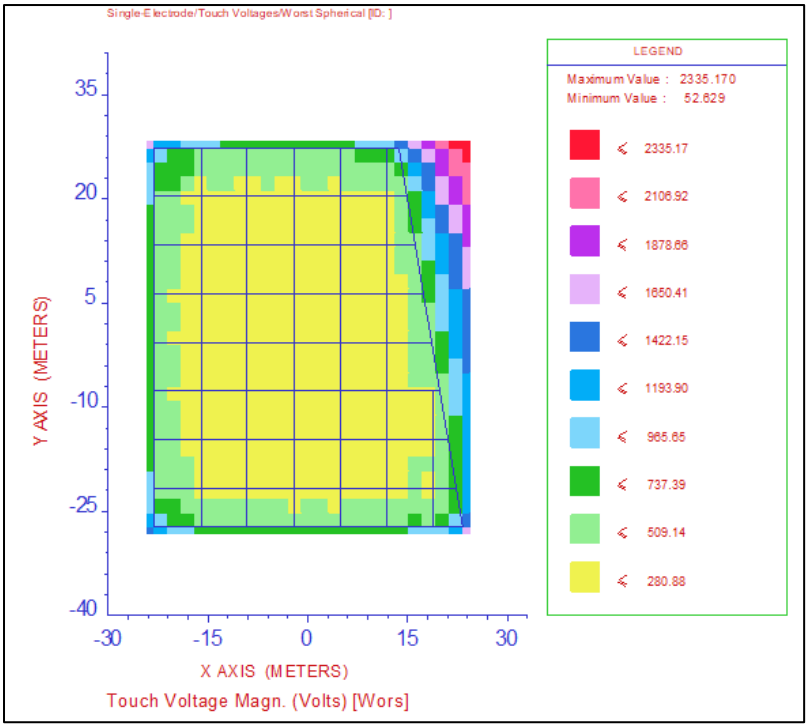


Figura 26: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Costanera

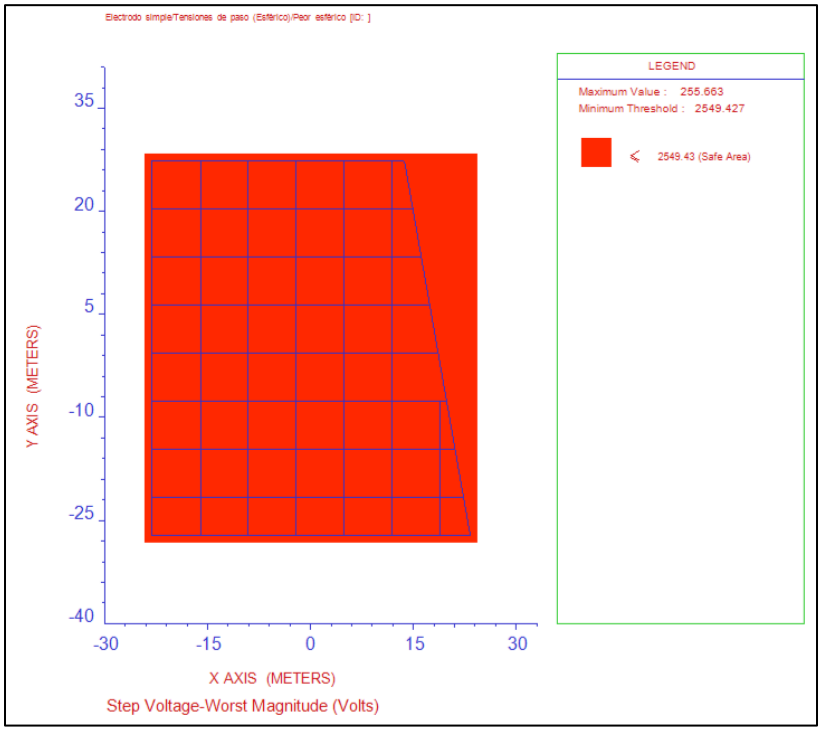


Figura 27: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Costanera

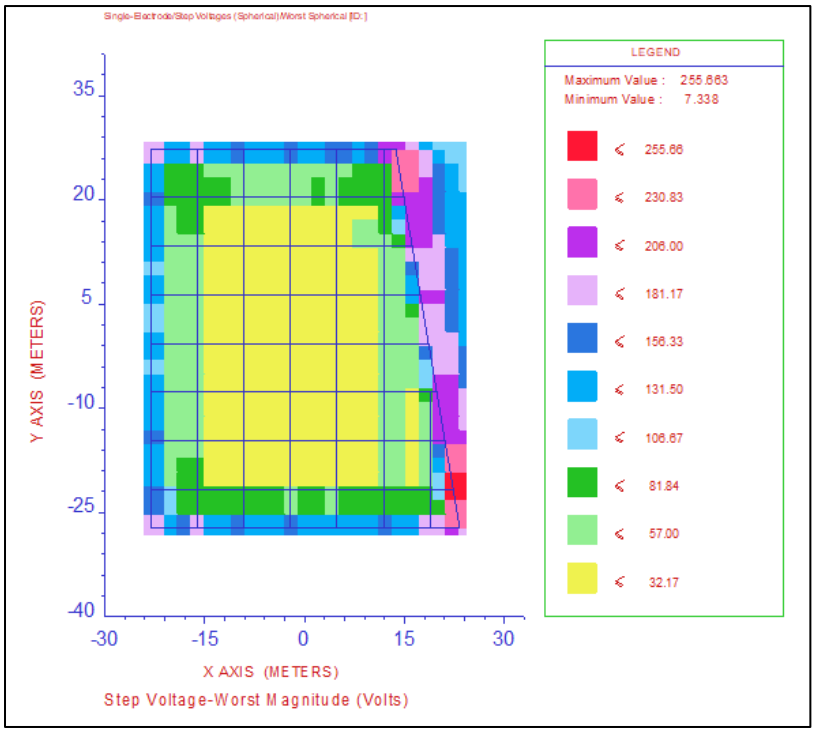


Figura 28: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Costanera

```
===========< G R O U N D I N G    ( SYSTEM INFORMATION SUMMARY ) >==========

 Run ID.....................................:
 System of Units ...........................: Metric
 Earth Potential Calculations...............: Single Electrode Case
 Type of Electrodes Considered..............: Main Electrode ONLY
 Soil Type Selected.........................: Multi-Layer Horizontal
 SPLITS/FCDIST Scaling Factor...............:  0.76400
1
1


     MULTI-LAYER EARTH CHARACTERISTICS USED BY PROGRAM



     LAYER  TYPE  REFLECTION    RESISTIVITY     THICKNESS
      No.         COEFFICIENT   (ohm-meter)      (METERS)
     ----- ------ ------------- ------------- -------------
       1   Air     0.00000      0.100000E+11      Infinite
       2   Soil  -0.999990       16.2800      0.250000
       3   Soil   0.936054       492.900      0.800000E-01
       4   Soil  -0.897594       26.6000       7.45000
       5   Soil   0.741860       179.490       641.000
       6   Soil  -0.991457      0.770000          Infinite
1

 CONFIGURATION OF MAIN ELECTRODE
 ===============================

 Original Electrical Current Flowing In Electrode..:   14164.     amperes
 Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:  0.76400
 Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   10821.     amperes
 Number of Conductors in Electrode.................:    17
 Resistance of Electrode System....................:  0.68924     ohms


 SUBDIVISION
 ===========
 Grand Total of Conductors After Subdivision.:   122


 Total Current Flowing In Main Electrode......:   10821.     amperes
 Total Buried Length of Main Electrode........:   777.82     meters


 EARTH POTENTIAL COMPUTATIONS
 ============================

 Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   7458.5     volts
```

Figura 29: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Costanera

7.3. Malla de Puesta a Tierra S/E Costanera (Año 2024)

Para el cálculo de las tensiones de paso y contacto se utilizará el software SES CDEGS para ello se considera un factor de corriente de fuga a tierra del 76,40 %, indicada en el capítulo 7 de este documento, y una persona de 50 kg, siendo este el caso más desfavorable.

Para los cálculos de tensión máxima de paso y contacto tolerable se utiliza las fórmulas indicadas en la norma IEE Std. 80-2013, es obtenida en [4.3].

Se verifica que la tensión de paso calculada es menor a la tolerable, mientras que, la tensión de contacto calculada se observa en unas zonas de incumplimiento a la tensión tolerable.

Las figuras 30 y 31 muestra la distribución de las tensiones de contacto calculadas.

Las figuras 32 y 33 muestra la distribución de las tensiones de paso calculadas.

Por último, en la figura 34, se presenta el valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra la que asciende a un valor de 0,69 ohms.

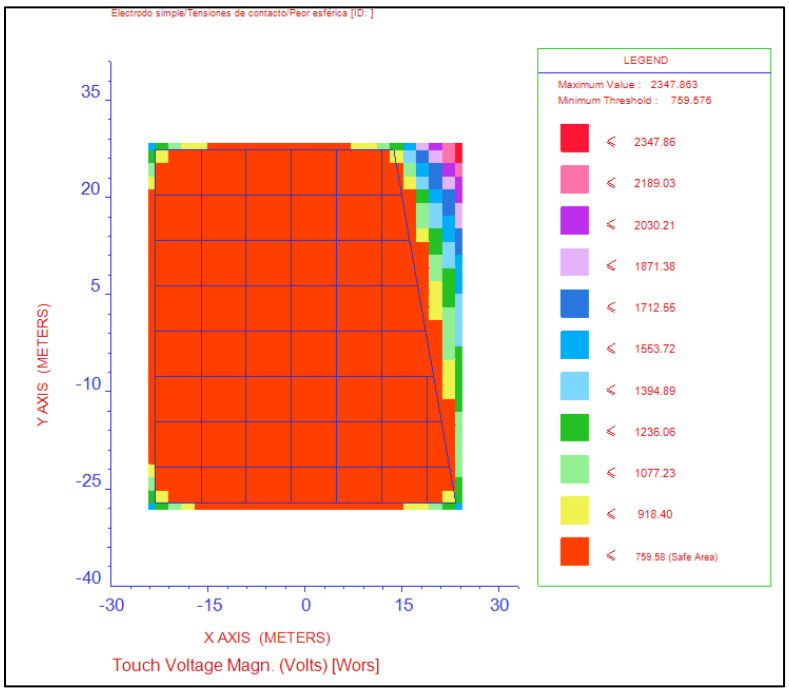


Figura 30: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Costanera

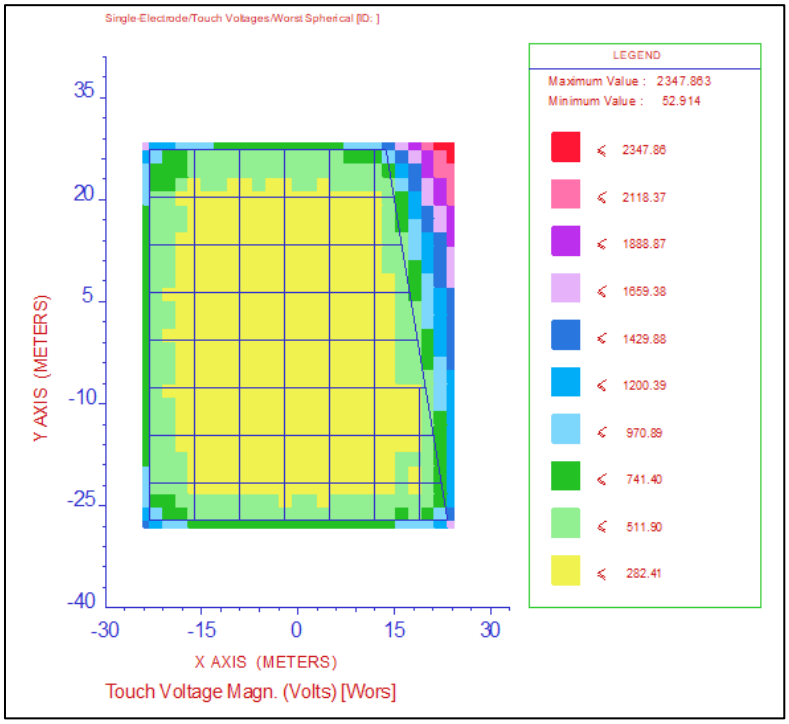


Figura 31: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Costanera

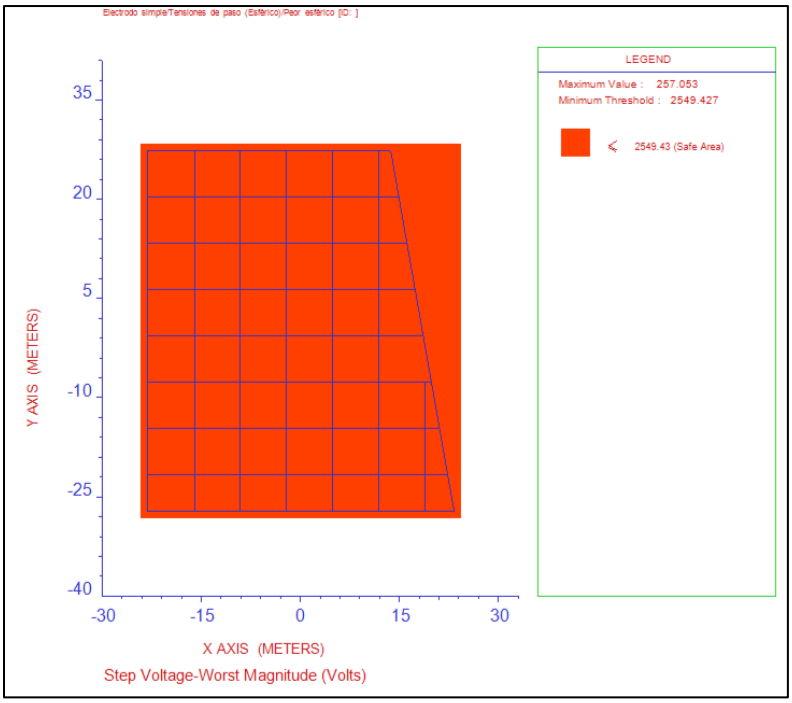


Figura 32: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Costanera

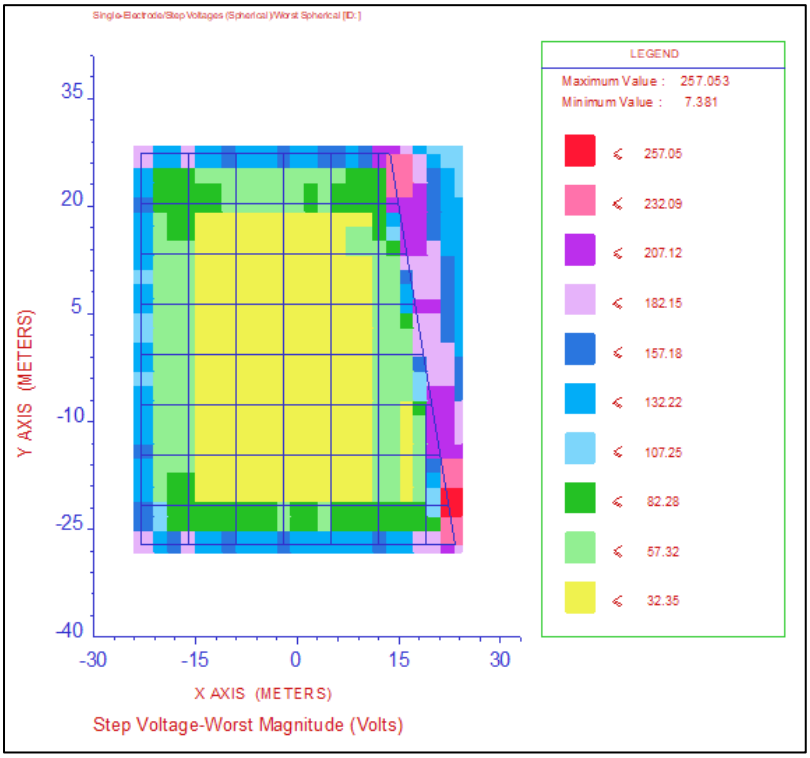


Figura 33: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Costanera

```
===========< G R O U N D I N G    ( SYSTEM INFORMATION SUMMARY ) >=========

 Run ID.......................................:
 System of Units .............................: Metric
 Earth Potential Calculations.................: Single Electrode Case
 Type of Electrodes Considered................: Main Electrode ONLY
 Soil Type Selected...........................: Multi-Layer Horizontal
 SPLITS/FCDIST Scaling Factor.................:  0.76400
1
1


     MULTI-LAYER EARTH CHARACTERISTICS USED BY PROGRAM



     LAYER  TYPE  REFLECTION    RESISTIVITY     THICKNESS
      No.         COEFFICIENT   (ohm-meter)      (METERS)
     ----- ------ ------------- ------------- -------------
       1   Air     0.00000      0.100000E+11      Infinite
       2   Soil  -0.999990       16.2800      0.250000
       3   Soil   0.936054       492.900      0.800000E-01
       4   Soil  -0.897594       26.6000       7.45000
       5   Soil   0.741860       179.490       641.000
       6   Soil  -0.991457      0.770000          Infinite
1

 CONFIGURATION OF MAIN ELECTRODE
 ===============================

 Original Electrical Current Flowing In Electrode..:   14241.     amperes
 Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:  0.76400
 Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   10880.     amperes
 Number of Conductors in Electrode................:    17
 Resistance of Electrode System...................:  0.68924     ohms


 SUBDIVISION
 ===========
 Grand Total of Conductors After Subdivision.:   122


 Total Current Flowing In Main Electrode......:   10880.     amperes
 Total Buried Length of Main Electrode........:   777.82     meters


 EARTH POTENTIAL COMPUTATIONS
 ============================

 Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   7499.0     volts
```

Figura 34: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Costanera

7.4. Resumen de Resultados S/E Costanera (Año 2019)

Se presenta un resumen de los resultados del diseño de malla de puesta a tierra de la S/E Costanera para el año 2019, los cuales son los siguientes:

Tabla 13: Resistencia de diseño S/E Costanera corriente año 2019

SUBESTACIÓN	LONGITUD TOTAL DE CONDUCTOR DE COBRE [M]	CANTIDAD DE VARILLAS VERTICALES	RESISTENCIA DE DISEÑO [ohm]	CORRIENTE DE FUGA A TIERRA [kA]
Costanera	777,82	0	0,69	10,82

Tabla 14: Verificación de tensión de paso S/E Costanera año 2019

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE PASO EP-máx [V]	TENSIÓN DE PASO CÁLCULADA EP-cal [V]	CUMPLIMIENTO EP-mäx>EP-cal
Costanera	2549,43	255,66	Si

Tabla 15: Verificación de tensión de contacto S/E Costanera año 2019

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE CONTACTO EC-máx [V]	TENSIÓN DE CONTACTO CÁLCULADA EC-cal [V]	CUMPLIMIENTO EC-mäx>EC-cal
Costanera	759,58	917,13	No

7.5. Resumen de Resultados S/E Costanera (Año 2024)

Se presenta un resumen de los resultados del diseño de malla de puesta a tierra de la S/E Costanera para el año 2024, los cuales son los siguientes:

Tabla 16: Resistencia de diseño S/E Costanera corriente año 2024

SUBESTACIÓN	LONGITUD TOTAL DE CONDUCTOR DE COBRE [M]	CANTIDAD DE VARILLAS VERTICALES	RESISTENCIA DE DISEÑO [ohm]	CORRIENTE DE FUGA A TIERRA [kA]
Costanera	777,82	0	0,69	10,88

Tabla 17: Verificación de tensión de paso S/E Costanera año 2024

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE PASO EP-máx [V]	TENSIÓN DE PASO CÁLCULADA EP-cal [V]	CUMPLIMIENTO EP-mäx>EP-cal
Costanera	2549,43	257,05	Si

Tabla 18: Verificación de tensión de contacto S/E Costanera año 2024

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE CONTACTO EC-máx [V]	TENSIÓN DE CONTACTO CÁLCULADA EC-cal [V]	CUMPLIMIENTO EC-mäx>EC-cal
Costanera	759,58	918,58	No

8. Condiciones Generales S/E Alto Bonito

Para la evaluación de la malla de puesta a tierra (MPT) de la subestación Alto Bonito, se utilizará la estratigrafía del terreno (medidas de resistividad de terreno), Informe de Mediciones de Resistividad de Terreno correspondiente a la subestación (S/E), que se presenta en el documento [7].

Para el cálculo del valor de la resistencia de la MPT y las tensiones de paso y contacto se utilizó la metodología establecida en la norma IEEE Std 80-2000 y 80-2013 "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding".

Se toma como valor de cortocircuito a tierra [5] correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) cortocircuito bifásico a tierra en 23 kV del año 2019 y [6] correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) del año 2024 de la subestación Alto Bonito (ver anexo I y II).

La modelación de la Malla de Puesta a Tierra planta de la S/E Alto Bonito. Se ha realizado en base al informe de referencia [7].

8.1. Cálculo de Sección Admisible

Para el caso particular, la fórmula es obtenida en [4.2], se tiene:

I = 10,96 kA (Corriente de cortocircuito residual máxima sin derrateo por efecto de cable de guardia del año 2019).

I = 11,07 kA (Corriente de cortocircuito residual máxima sin derrateo por efecto de cable de guardia del año 2024).

I_f = 1 (No considera un incremento en la falla residual, dado que el valor de falla corresponde a un escenario proyectado lo cual ya ingresa un factor de crecimiento).

D_f = 1

t_c = 0,5 s.

Luego, A_{kcmil} = 54,71 MCM (27,72 mm2) año 2019

Luego, A_{kcmil} = 55,26 MCM (28 mm2) año 2024

Por razones mecánicas y estandarización, el conductor de la malla de puesta a tierra de la S/E es de 4/0 AWG (107,20 mm2) el cual cumple con los requerimientos exigidos por norma y tiene una sección mayor a la admisible.

8.2. Malla de Puesta a Tierra S/E Alto Bonito (Año 2019)

Para el cálculo de las tensiones de paso y contacto se utilizará el software SES CDEGS para ello se considera un corriente a tierra del 10,96 kA, y una persona de 50 kg, siendo este el caso más desfavorable.

Para los cálculos de tensión máxima de paso y contacto tolerable se utiliza las fórmulas indicadas en la norma IEE Std. 80-2013, es obtenida en [4.3].

En este caso las tensiones tolerables, sobre una capa superficial de gravilla de 15 cm de espesor, de resistividad de 3000 ohm/m (según tabla 7 de la IEEE Std 80-2013), con los valores de resistividad equivalente definido en [7] y durante un tiempo de despeje de falla de 0,5 s.

Se verifica que la tensión de paso y de contacto calculada se observa mayor a la tensión tolerable.

La figura 35 muestra el resumen del cálculo de las tensiones de paso y contacto tolerables.

Las figuras 36 y 37 muestra la distribución de las tensiones de contacto calculadas.

Las figuras 38 y 39 muestra la distribución de las tensiones de paso calculadas.

Por último, en la figura 40, se presenta el valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra la que asciende a un valor de 6,86 ohms.

```
========================= Touch Voltage Threshold For Zone "Predeterminado" ================

 Computed Touch Voltage.....................................( V ):  748.29

 Main Computation Standard.....................................: IEEE Std.80-2013

 Network Specifications

     System Frequency.....................................(Hertz):  50.000
     Shock Duration.......................................(Seconds): 0.50000
     X/R Ratio.....................................................:  8.4450
     Computed Decrement Factor.....................................:  1.0265

 Site Data

     Surface Layer Thickness.................................( m ): 0.15240
     Surface Layer Resistivity.............................(Ohm-m):  3000.0
     Sub-Surface Layer Resistivity........................(Ohm-m):  60.000
     Foot Resistance Calculation Method...........................: IEEE Std.80-2013
        Computed Foot Resistance..................( Ohm per foot ):  7364.7
        User Defined Footwear Resistance.........( Ohm per foot ):  0.0000
        User Defined Gloves Resistance...........( Ohm per hand ):  0.0000

 Human Data

     Fibrillation Current Calculation.............................: IEEE Std.80-2013 (50kg)
     Fibrillation Current Value..............................( A ): 0.16405
     Body Resistance Calculation Method...........................: IEEE Std.80-2013
     Body Resistance Value...................................( Ohm ):  1000.0

========================= Step Voltage Threshold For Zone "Predeterminado Paso" ===========

 Computed Step Voltage......................................( V ):  2513.7

 Main Computation Standard.....................................: IEEE Std.80-2013

 Network Specifications

     System Frequency.....................................(Hertz):  50.000
     Shock Duration.......................................(Seconds): 0.50000
     X/R Ratio.....................................................:  8.4450
     Computed Decrement Factor.....................................:  1.0265

 Site Data

     Surface Layer Thickness.................................( m ): 0.15240
     Surface Layer Resistivity.............................(Ohm-m):  3000.0
     Sub-Surface Layer Resistivity........................(Ohm-m):  60.000
     Foot Resistance Calculation Method...........................: IEEE Std.80-2013
        Computed Foot Resistance..................( Ohm per foot ):  7364.7
        User Defined Footwear Resistance.........( Ohm per foot ):  0.0000
        User Defined Gloves Resistance...........( Ohm per hand ):  0.0000

 Human Data

     Fibrillation Current Calculation.............................: IEEE Std.80-2013 (50kg)
     Fibrillation Current Value..............................( A ): 0.16405
     Body Resistance Calculation Method...........................: IEEE Std.80-2013
     Body Resistance Value...................................( Ohm ):  1000.0

End of Report #1
```

Figura 35: Límites de tensión SES CDEGS S/E Alto Bonito

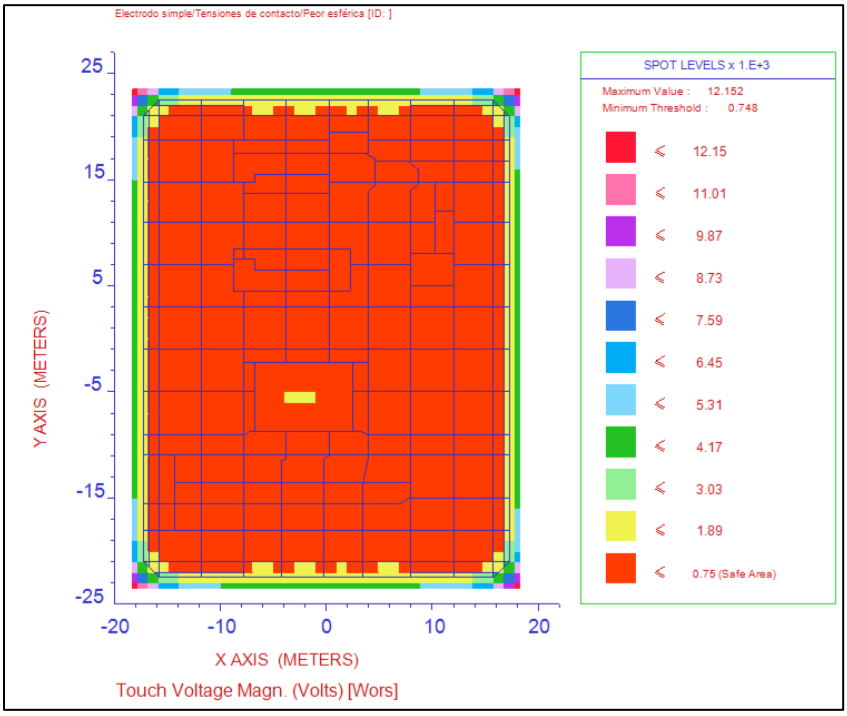


Figura 36: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Alto Bonito

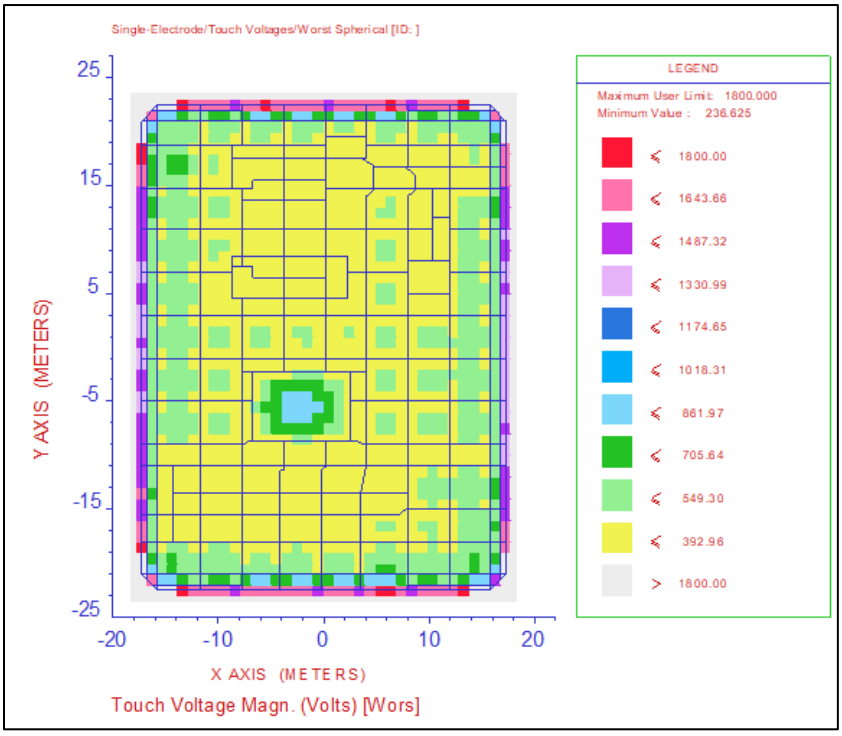


Figura 37: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Alto Bonito

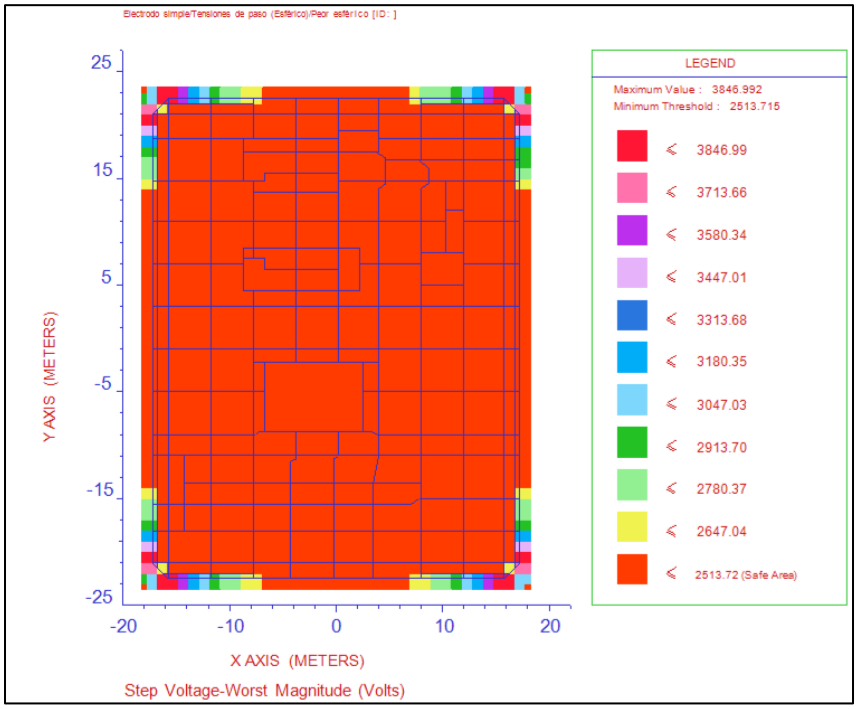


Figura 38: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Alto Bonito

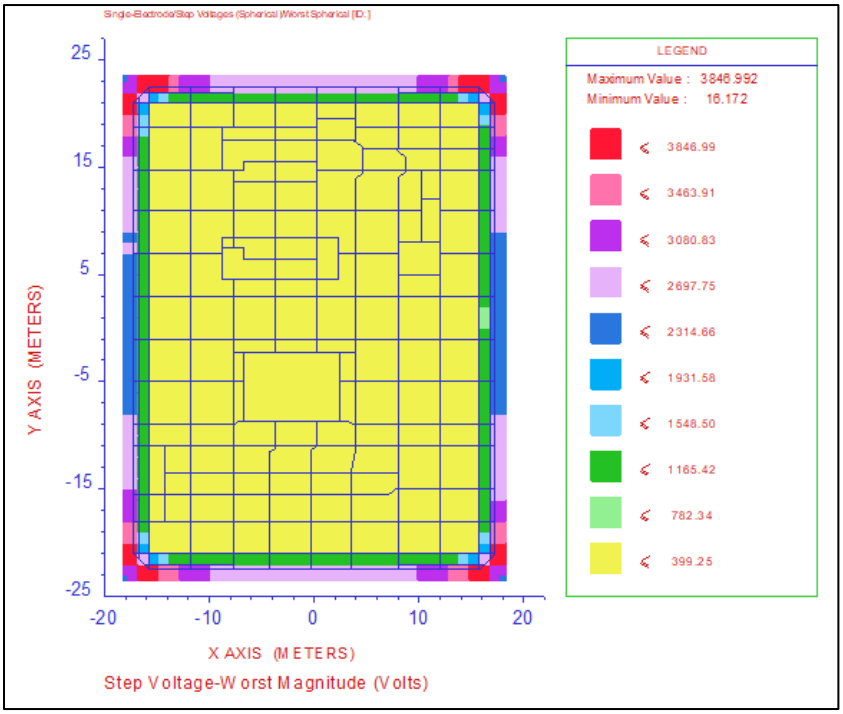


Figura 39: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Alto Bonito

```
===========< G R O U N D I N G    ( SYSTEM INFORMATION SUMMARY ) >===========

Run ID.....................................:
System of Units ...........................: Metric
Earth Potential Calculations...............: Single Electrode Case
Type of Electrodes Considered..............: Main Electrode ONLY
Soil Type Selected.........................: Multi-Layer Horizontal
SPLITS/FCDIST Scaling Factor...............:   1.0000
1
1


    MULTI-LAYER EARTH CHARACTERISTICS USED BY PROGRAM


    LAYER  TYPE  REFLECTION    RESISTIVITY     THICKNESS
     No.         COEFFICIENT   (ohm-meter)      (METERS)
    ----- ------ ------------- ------------- -------------
      1   Air     0.00000      0.100000E+11      Infinite
      2   Soil  -0.999990       60.0000      0.800000
      3   Soil   0.886792       1000.00          Infinite
1

CONFIGURATION OF MAIN ELECTRODE
===============================

Original Electrical Current Flowing In Electrode..:   10960.     amperes
Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:   1.0000
Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   10960.     amperes
Number of Conductors in Electrode.................:    99
Resistance of Electrode System....................:   6.8581     ohms


SUBDIVISION
===========
Grand Total of Conductors After Subdivision.:   723


Total Current Flowing In Main Electrode......:   10960.     amperes
Total Buried Length of Main Electrode........:   1258.1     meters


EARTH POTENTIAL COMPUTATIONS
============================

Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   75165.     volts
```

Figura 40: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Alto Bonito

8.3. Malla de Puesta a Tierra S/E Alto Bonito (Año 2024)

Para el cálculo de las tensiones de paso y contacto se utilizará el software SES CDEGS para ello se considera un corriente a tierra de 11,07 kA, y una persona de 50 kg, siendo este el caso más desfavorable.

Para los cálculos de tensión máxima de paso y contacto tolerable se utiliza las fórmulas indicadas en la norma IEE Std. 80-2013, es obtenida en [4.3].

Se verifica que la tensión de paso y de contacto calculada se observa mayor a la tensión tolerable

Las figuras 41y 42 muestra la distribución de las tensiones de contacto calculadas.

Las figuras 43 y 44 muestra la distribución de las tensiones de paso calculadas.

Por último, en la figura 45, se presenta el valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra la que asciende a un valor de 6,86 ohms.

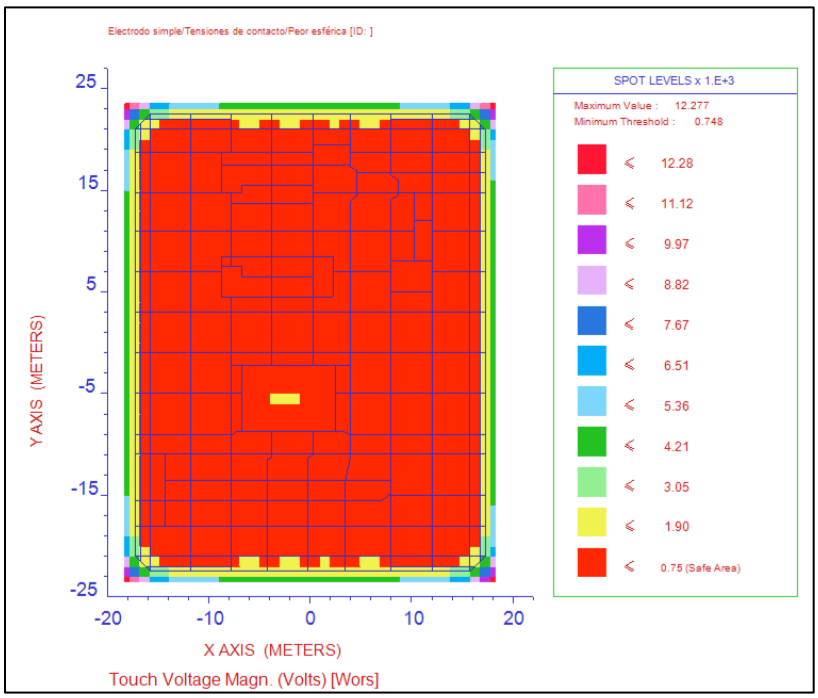


Figura 41: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Alto Bonito

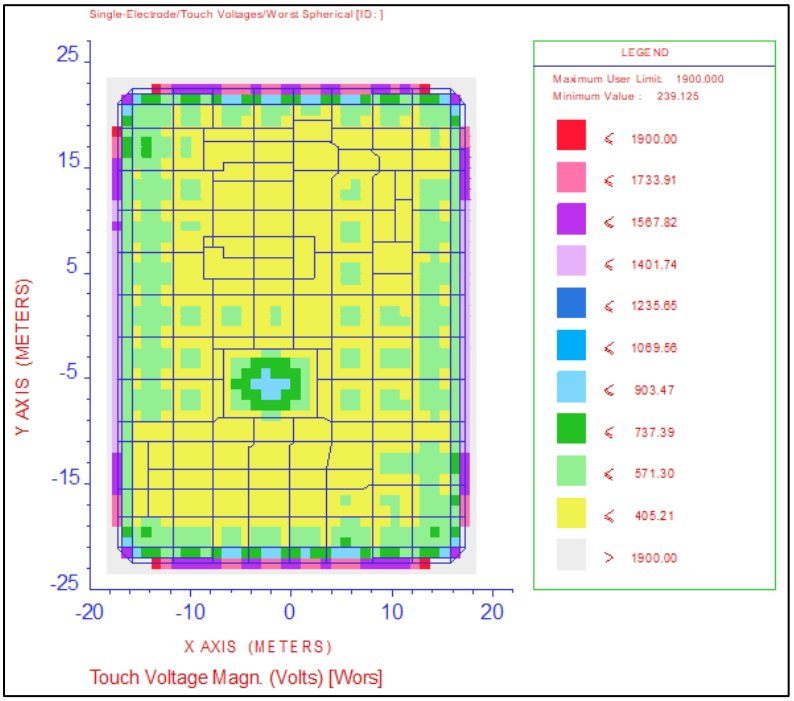


Figura 42: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Alto Bonito

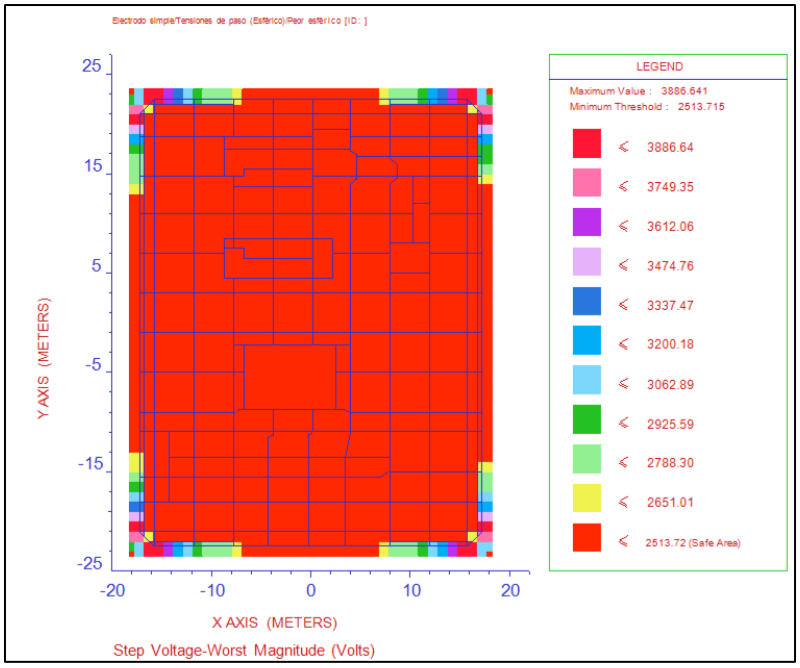


Figura 43: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Alto Bonito

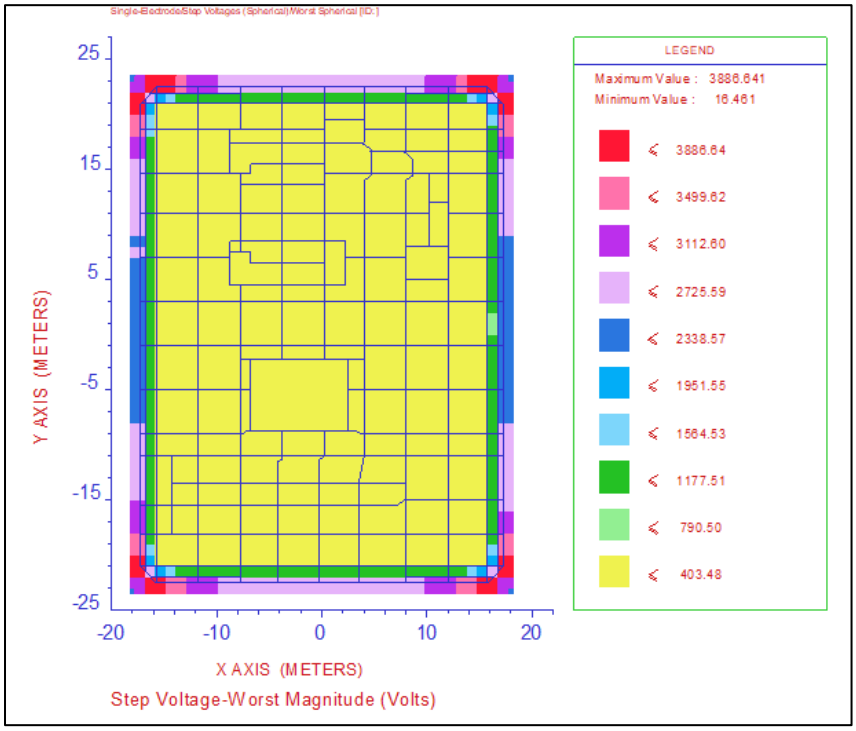


Figura 44: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Alto Bonito

```
===========< G R O U N D I N G    ( SYSTEM INFORMATION SUMMARY ) >=======

Run ID.....................................:
System of Units ...........................: Metric
Earth Potential Calculations................: Single Electrode Case
Type of Electrodes Considered...............: Main Electrode ONLY
Soil Type Selected.........................: Multi-Layer Horizontal
SPLITS/FCDIST Scaling Factor................:   1.0000
1
1


    MULTI-LAYER EARTH CHARACTERISTICS USED BY PROGRAM



    LAYER  TYPE  REFLECTION    RESISTIVITY     THICKNESS
     No.         COEFFICIENT   (ohm-meter)      (METERS)
    ----- ------ ------------- ------------- -------------
      1   Air     0.00000      0.100000E+11      Infinite
      2   Soil  -0.999990       60.0000      0.800000
      3   Soil   0.886792       1000.00          Infinite
1

CONFIGURATION OF MAIN ELECTRODE
===============================

Original Electrical Current Flowing In Electrode..:   11073.     amperes
Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:   1.0000
Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   11073.     amperes
Number of Conductors in Electrode.................:    99
Resistance of Electrode System....................:   6.8581     ohms


SUBDIVISION
===========
Grand Total of Conductors After Subdivision.:   723


Total Current Flowing In Main Electrode......:   11073.     amperes
Total Buried Length of Main Electrode........:   1258.1     meters


EARTH POTENTIAL COMPUTATIONS
============================

Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   75940.     volts
```

Figura 45: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Alto Bonito

8.4. Resumen de Resultados S/E Alto Bonito (Año 2019)

Se presenta un resumen de los resultados del diseño de malla de puesta a tierra de la S/E Alto Bonito para el año 2019, los cuales son los siguientes:

Tabla 19: Resistencia de diseño S/E Alto Bonito corriente año 2019

SUBESTACIÓN	LONGITUD TOTAL DE CONDUCTOR DE COBRE [M]	CANTIDAD DE VARILLAS VERTICALES	RESISTENCIA DE DISEÑO [ohm]	CORRIENTE DE FUGA A TIERRA [kA]
Alto Bonito	1258,1	8	6,86	10,96

Tabla 20: Verificación de tensión de paso S/E Alto Bonito año 2019

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE PASO EP-máx [V]	TENSIÓN DE PASO CÁLCULADA EP-cal [V]	CUMPLIMIENTO EP-mäx>EP-cal
Alto Bonito	2513,7	3846,99	No

Tabla 21: Verificación de tensión de contacto S/E Alto Bonito año 2019

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE CONTACTO EC-máx [V]	TENSIÓN DE CONTACTO CÁLCULADA EC-cal [V]	CUMPLIMIENTO EC-mäx>EC-cal
Alto Bonito	748,29	4170,00	No

8.5. Resumen de Resultados S/E Alto Bonito (Año 2024)

Se presenta un resumen de los resultados del diseño de malla de puesta a tierra de la S/E Alto Bonito para el año 2024, los cuales son los siguientes:

Tabla 22: Resistencia de diseño S/E Alto Bonito corriente año 2024

SUBESTACIÓN	LONGITUD TOTAL DE CONDUCTOR DE COBRE [M]	CANTIDAD DE VARILLAS VERTICALES	RESISTENCIA DE DISEÑO [ohm]	CORRIENTE DE FUGA A TIERRA [kA]
Alto Bonito	1258,1	8	6,86	11,07

Tabla 23: Verificación de tensión de paso S/E Alto Bonito año 2024

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE PASO EP-máx [V]	TENSIÓN DE PASO CÁLCULADA EP-cal [V]	CUMPLIMIENTO EP-mäx>EP-cal
Alto Bonito	2513,7	3886,64	No

Tabla 24: Verificación de tensión de contacto S/E Alto Bonito año 2024

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE CONTACTO EC-máx [V]	TENSIÓN DE CONTACTO CÁLCULADA EC-cal [V]	CUMPLIMIENTO EC-mäx>EC-cal
Alto Bonito	748,29	3050,00	No

9. Condiciones Generales S/E Castro

Para la evaluación de la malla de puesta a tierra (MPT) de la subestación Castro, se utilizará la estratigrafía del terreno (medidas de resistividad de terreno), Informe de Mediciones de Resistividad de Terreno correspondiente a la subestación (S/E), que se presenta en el documento [7].

Para el cálculo del valor de la resistencia de la MPT y las tensiones de paso y contacto se utilizó la metodología establecida en la norma IEEE Std 80-2000 y 80-2013 "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding".

Se toma como valor de cortocircuito a tierra [5] correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) cortocircuito bifásico a tierra en 110 kV del año 2019 y [6] correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) del año 2024 de la subestación Castro (ver anexo I y II).

La modelación Malla de Puesta a Tierra planta de la S/E Castro. Se ha realizado en base al informe de referencia [7].

9.1. Cálculo de Sección Admisible

Para el caso particular, la fórmula es obtenida en [4.2], se tiene:

I = 6,19 kA (Corriente de cortocircuito residual máxima sin derrateo por efecto de cable de guardia del año 2019).

I = 7,04 kA (Corriente de cortocircuito residual máxima sin derrateo por efecto de cable de guardia del año 2024).

I_f = 1 (No considera un incremento en la falla residual, dado que el valor de falla corresponde a un escenario proyectado lo cual ya ingresa un factor de crecimiento).

D_f = 1

t_c = 0,5 s.

Luego, A_{kcmil} = 30,90 MCM (15,66 mm2) año 2019

Luego, A_{kcmil} = 35,15 MCM (17,81 mm2) año 2024

Por razones mecánicas y estandarización, el conductor de la malla de puesta a tierra de la S/E es de 4/0 AWG (107,20 mm2) el cual cumple con los requerimientos exigidos por norma y tiene una sección mayor a la admisible.

9.2. Malla de Puesta a Tierra S/E Castro (Año 2019)

Para el cálculo de las tensiones de paso y contacto se utilizará el software SES CDEGS para ello se considera una corriente de fuga a tierra de 6,19 kA, y una persona de 50 kg, siendo este el caso más desfavorable.

Para los cálculos de tensión máxima de paso y contacto tolerable se utiliza las fórmulas indicadas en la norma IEE Std. 80-2013, es obtenida en [4.3].

En este caso las tensiones tolerables, sobre una capa superficial de gravilla de 15 cm de espesor, de resistividad de 3000 ohm/m (según tabla 7 de la IEEE Std 80-2013), con los valores de resistividad equivalente definido en [7] y durante un tiempo de despeje de falla de 0,5 s.

Se verifica que la tensión de paso y de contacto calculada es mayor a la tensión tolerable.

La figura 46 muestra el resumen del cálculo de las tensiones de paso y contacto tolerables.

Las figuras 47 y 48 muestra la distribución de las tensiones de contacto calculadas.

Las figuras 49 y 50 muestra la distribución de las tensiones de paso calculadas.

Por último, en la figura 51, se presenta el valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra la que asciende a un valor de 7,36 ohms.

```
========================= Touch Voltage Threshold For Zone "Predeterminado" =================

 Computed Touch Voltage.....................................( V ):  805.46

 Main Computation Standard.....................................: IEEE Std.80-2013

 Network Specifications

     System Frequency.....................................(Hertz):  50.000
     Shock Duration.....................................(Seconds): 0.50000
     X/R Ratio.....................................................:  5.5610
     Computed Decrement Factor.....................................:  1.0175

 Site Data

     Surface Layer Thickness.................................( m ): 0.15240
     Surface Layer Resistivity.............................(Ohm-m):  3000.0
     Sub-Surface Layer Resistivity........................(Ohm-m):  782.00
     Foot Resistance Calculation Method............................: IEEE Std.80-2013
        Computed Foot Resistance..................( Ohm per foot ):  7992.1
        User Defined Footwear Resistance..........( Ohm per foot ):  0.0000
        User Defined Gloves Resistance............( Ohm per hand ):  0.0000

 Human Data

     Fibrillation Current Calculation..............................: IEEE Std.80-2013 (50kg)
     Fibrillation Current Value..............................( A ): 0.16405
     Body Resistance Calculation Method............................: IEEE Std.80-2013
     Body Resistance Value...................................( Ohm ):  1000.0

========================= Step Voltage Threshold For Zone "Predeterminado Paso" ============

 Computed Step Voltage.....................................( V ):  2738.2

 Main Computation Standard.....................................: IEEE Std.80-2013

 Network Specifications

     System Frequency.....................................(Hertz):  50.000
     Shock Duration.....................................(Seconds): 0.50000
     X/R Ratio.....................................................:  5.5610
     Computed Decrement Factor.....................................:  1.0175

 Site Data

     Surface Layer Thickness.................................( m ): 0.15240
     Surface Layer Resistivity.............................(Ohm-m):  3000.0
     Sub-Surface Layer Resistivity........................(Ohm-m):  782.00
     Foot Resistance Calculation Method............................: IEEE Std.80-2013
        Computed Foot Resistance..................( Ohm per foot ):  7992.1
        User Defined Footwear Resistance..........( Ohm per foot ):  0.0000
        User Defined Gloves Resistance............( Ohm per hand ):  0.0000

 Human Data

     Fibrillation Current Calculation..............................: IEEE Std.80-2013 (50kg)
     Fibrillation Current Value..............................( A ): 0.16405
     Body Resistance Calculation Method............................: IEEE Std.80-2013
     Body Resistance Value...................................( Ohm ):  1000.0

End of Report #1
```

Figura 46: Límites de tensión SES CDEGS S/E Castro

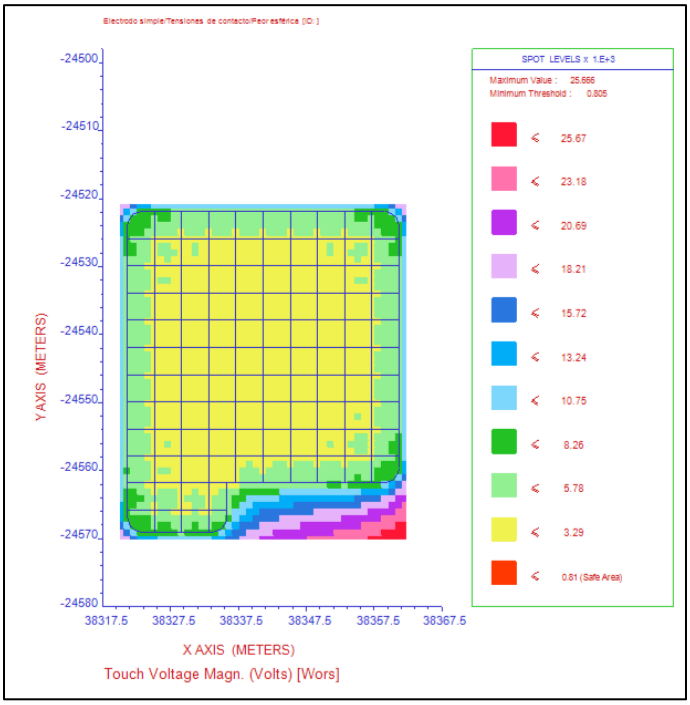


Figura 47: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Castro

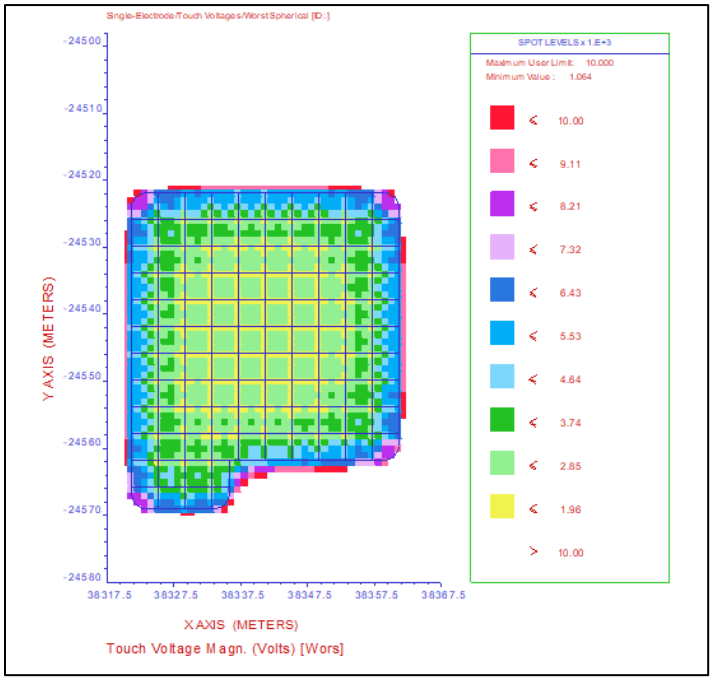


Figura 48: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Castro

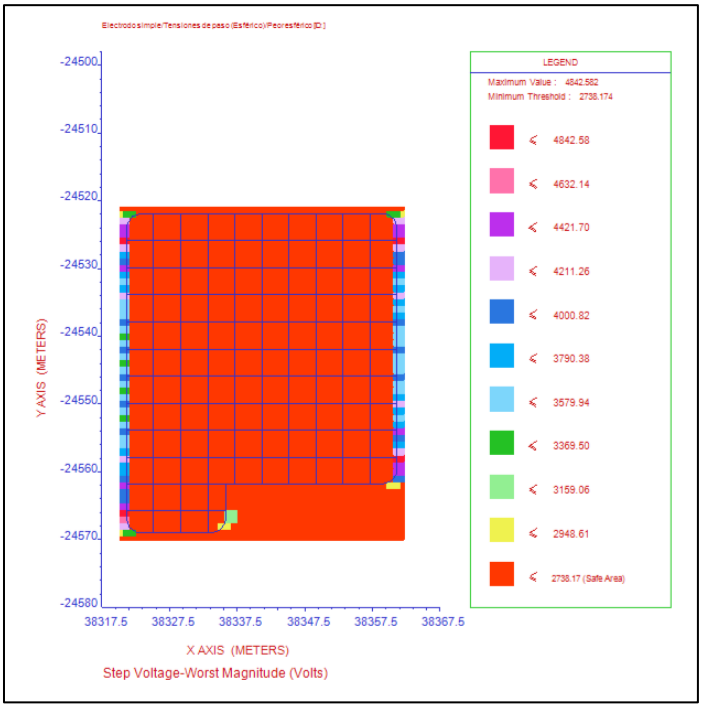


Figura 49: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Castro

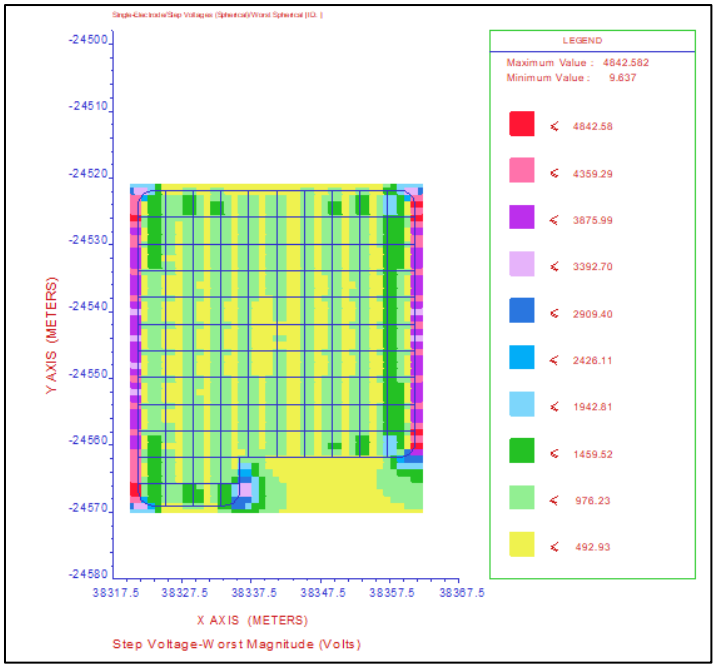


Figura 50: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Castro

```
===========< G R O U N D I N G    ( SYSTEM INFORMATION SUMMARY ) >===========

Run ID.....................................:
System of Units ...........................: Metric
Earth Potential Calculations...............: Single Electrode Case
Type of Electrodes Considered..............: Main Electrode ONLY
Soil Type Selected.........................: Multi-Layer Horizontal
SPLITS/FCDIST Scaling Factor...............:   1.0000
1
1


    MULTI-LAYER EARTH CHARACTERISTICS USED BY PROGRAM



    LAYER  TYPE  REFLECTION    RESISTIVITY     THICKNESS
     No.         COEFFICIENT   (ohm-meter)      (METERS)
    ----- ------ ------------- ------------- -------------
      1   Air     0.00000      0.100000E+11      Infinite
      2   Soil   -1.00000       782.000       1.06000
      3   Soil  -0.521860       245.690      0.350000
      4   Soil   0.598860       979.270       5.26000
      5   Soil  -0.240006       600.190          Infinite
1

CONFIGURATION OF MAIN ELECTRODE
===============================

Original Electrical Current Flowing In Electrode..:   6189.0     amperes
Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:   1.0000
Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   6189.0     amperes
Number of Conductors in Electrode.................:    40
Resistance of Electrode System....................:   7.3619     ohms


SUBDIVISION
===========
Grand Total of Conductors After Subdivision.:   254


Total Current Flowing In Main Electrode......:   6189.0     amperes
Total Buried Length of Main Electrode........:   939.92     meters


EARTH POTENTIAL COMPUTATIONS
============================

Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   45563.     volts
```

Figura 51: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Castro

9.3. Malla de Puesta a Tierra S/E Castro (Año 2024)

Para el cálculo de las tensiones de paso y contacto se utilizará el software SES CDEGS para ello se considera una corriente de fuga a tierra de 7,04 kA, y una persona de 50 kg, siendo este el caso más desfavorable.

Para los cálculos de tensión máxima de paso y contacto tolerable se utiliza las fórmulas indicadas en la norma IEE Std. 80-2013, es obtenida en [4.3].

Se verifica que la tensión de paso y de contacto calculada es mayor a la tensión tolerable.

Las figuras 52 y 53 muestra la distribución de las tensiones de contacto calculadas.

Las figuras 54 y 55 muestra la distribución de las tensiones de paso calculadas.

Por último, en la figura 56, se presenta el valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra la que asciende a un valor de 7,36 ohms.

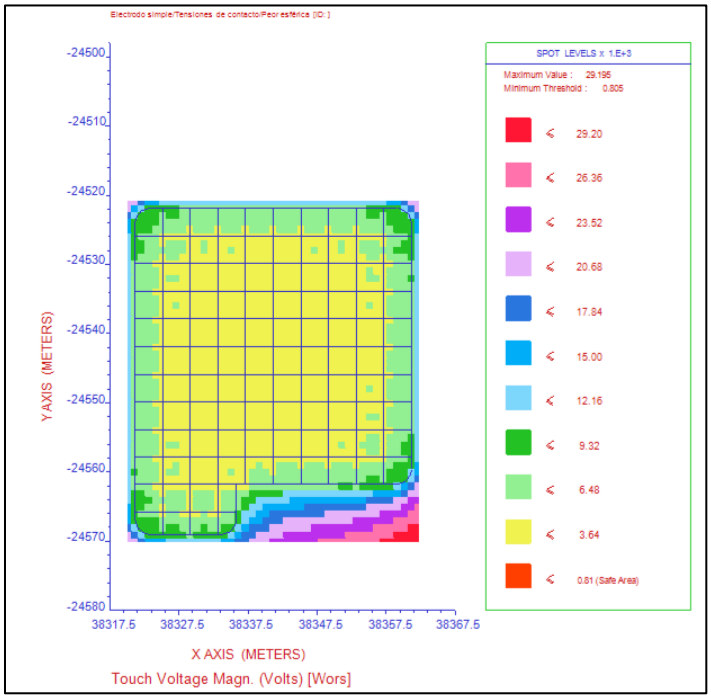


Figura 52: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Castro

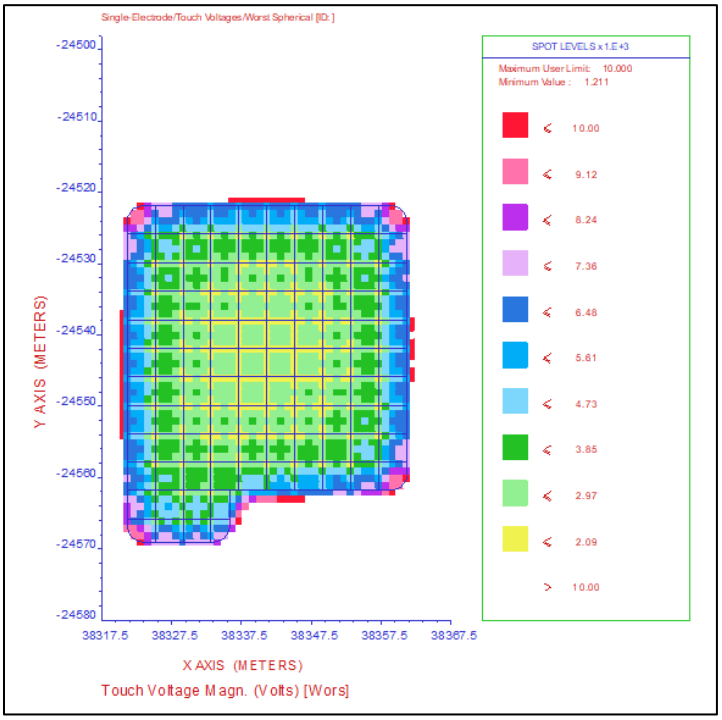


Figura 53: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Castro

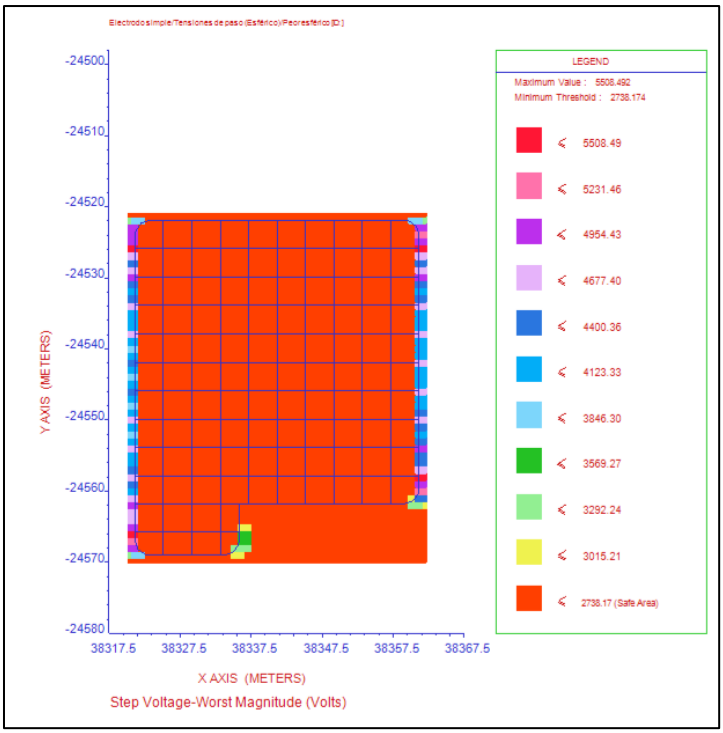


Figura 54: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Castro

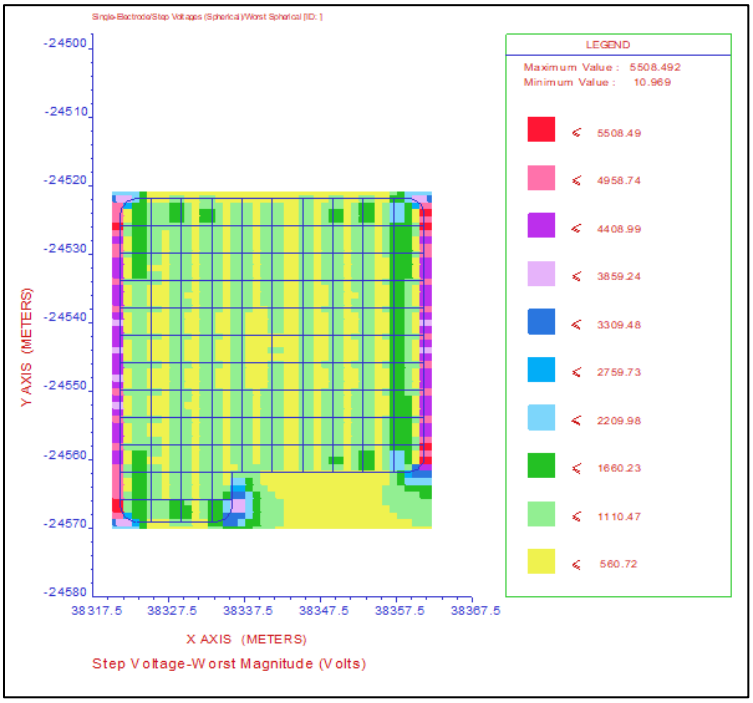


Figura 55: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Castro

```
===========< G R O U N D I N G    ( SYSTEM INFORMATION SUMMARY ) >=========

Run ID.....................................:
System of Units ...........................: Metric
Earth Potential Calculations...............: Single Electrode Case
Type of Electrodes Considered..............: Main Electrode ONLY
Soil Type Selected.........................: Multi-Layer Horizontal
SPLITS/FCDIST Scaling Factor...............:   1.0000
1
1


    MULTI-LAYER EARTH CHARACTERISTICS USED BY PROGRAM



    LAYER  TYPE  REFLECTION    RESISTIVITY     THICKNESS
     No.         COEFFICIENT   (ohm-meter)      (METERS)
    ----- ------ ------------- ------------- -------------
      1   Air     0.00000      0.100000E+11      Infinite
      2   Soil   -1.00000       782.000       1.06000
      3   Soil  -0.521860       245.690      0.350000
      4   Soil   0.598860       979.270       5.26000
      5   Soil  -0.240006       600.190          Infinite
1

CONFIGURATION OF MAIN ELECTRODE
===============================

Original Electrical Current Flowing In Electrode..:   7040.0     amperes
Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:   1.0000
Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   7040.0     amperes
Number of Conductors in Electrode.................:    40
Resistance of Electrode System....................:   7.3619     ohms


SUBDIVISION
===========
Grand Total of Conductors After Subdivision.:   254


Total Current Flowing In Main Electrode......:   7040.0     amperes
Total Buried Length of Main Electrode........:   939.92     meters


EARTH POTENTIAL COMPUTATIONS
============================

Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   51828.     volts
```

Figura 56: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Castro

9.4. Resumen de Resultados S/E Castro (Año 2019)

Se presenta un resumen de los resultados del diseño de malla de puesta a tierra de la S/E Castro para el año 2019, los cuales son los siguientes:

Tabla 25: Resistencia de diseño S/E Castro corriente año 2019

SUBESTACIÓN	LONGITUD TOTAL DE CONDUCTOR DE COBRE [M]	CANTIDAD DE VARILLAS VERTICALES	RESISTENCIA DE DISEÑO [ohm]	CORRIENTE DE FUGA A TIERRA [kA]
Castro	939,92	0	7,36	6,19

Tabla 26: Verificación de tensión de paso S/E Castro año 2019

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE PASO EP-máx [V]	TENSIÓN DE PASO CÁLCULADA EP-cal [V]	CUMPLIMIENTO EP-mäx>EP-cal
Castro	2738,20	4842,58	No

Tabla 27: Verificación de tensión de contacto S/E Castro año 2019

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE CONTACTO EC-máx [V]	TENSIÓN DE CONTACTO CÁLCULADA EC-cal [V]	CUMPLIMIENTO EC-mäx>EC-cal
Castro	805,46	8260,00	No

9.5. Resumen de Resultados S/E Castro (Año 2024)

Se presenta un resumen de los resultados del diseño de malla de puesta a tierra de la S/E Castro para el año 2024, los cuales son los siguientes:

Tabla 28: Resistencia de diseño S/E Castro corriente año 2024

SUBESTACIÓN	LONGITUD TOTAL DE CONDUCTOR DE COBRE [M]	CANTIDAD DE VARILLAS VERTICALES	RESISTENCIA DE DISEÑO [ohm]	CORRIENTE DE FUGA A TIERRA [kA]
Castro	939,92	0	7,362	7,04

Tabla 29: Verificación de tensión de paso S/E Castro año 2024

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE PASO EP-máx [V]	TENSIÓN DE PASO CÁLCULADA EP-cal [V]	CUMPLIMIENTO EP-mäx>EP-cal
Castro	2738,17	5508,49	No

Tabla 30: Verificación de tensión de contacto S/E Castro año 2024

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE CONTACTO EC-máx [V]	TENSIÓN DE CONTACTO CÁLCULADA EC-cal [V]	CUMPLIMIENTO EC-mäx>EC-cal
Castro	805,46	9320,00	No

10. Conclusiones y Recomendaciones

Se modela los cables de guardia y las mallas de puesta a tierra de las subestaciones ya descripta en el informe mediante el método establecido por la norma IEEE Std 80-2000 y 80-2013 "Guide for Safety in AC Substation Grounding" y el Reglamento "NSEG 5. E.n.71 de Instalaciones Eléctricas de Corrientes Fuertes".

Para las simulaciones de los cables de guardia, se ha utilizado el software SES FCDIST.

Para las simulaciones de la malla de puesta a tierra, se ha utilizado el software SES CDEGS.

10.1. S/E Quinquimo

Los resultados de cálculos y simulaciones, con la condición de resistividad utilizada en terreno y una corriente de fuga a tierra para el año 2019 y el año 2024, muestran que las tensiones de seguridad del sistema de puesta a tierra de la S/E Quinquimo cumplen con los valores tolerables de tensión paso, pero no con la tensión de contacto en la subestación. Se verifica que la malla de puesta a tierra de la subestación Quinquimo no se encuentra correctamente dimensionada. Se debe destacar que en esta subestación no se posee la estratificación de terreno, por lo cual se recomienda realizar mediciones que entreguen estratificaciones con al menos 2 capas.

10.2. S/E Cabildo

Los resultados de cálculos y simulaciones, con la condición de resistividad utilizada en terreno y una corriente de fuga a tierra para el año 2019 y el año 2024, muestran que las tensiones de seguridad del sistema de puesta a tierra de la S/E Cabildo no cumplen con los valores tolerables de tensión paso y contacto en la subestación. Se verifica que la malla de puesta a tierra de la subestación Cabildo no se encuentra correctamente dimensionada. Se debe destacar que en esta subestación no se posee la estratificación de terreno, por lo cual se recomienda realizar mediciones que entreguen estratificaciones con al menos 2 capas.

10.3. S/E Costanera

Los resultados de cálculos y simulaciones, con la condición de resistividad utilizada en terreno y una corriente de fuga a tierra para el año 2019 y el año 2024, muestran que las tensiones de seguridad del sistema de puesta a tierra de la S/E Costanera cumplen con los valores

tolerables de tensión paso, pero la tensión de contacto no cumple en tres áreas de la subestación, Se verifica que la malla de puesta a tierra de la subestación Costanera no se encuentra correctamente dimensionada.

10.4. S/E Alto Bonito

Los resultados de cálculos y simulaciones, con la condición de resistividad utilizada en terreno y una corriente de fuga a tierra para el año 2019 y el año 2024, muestran que las tensiones de seguridad del sistema de puesta a tierra de la S/E Alto Bonito no cumplen con los valores tolerables de tensión paso y contacto en las esquinas de la malla de la subestación. Se verifica que la malla de puesta a tierra de la subestación Alto Bonito no se encuentra correctamente dimensionada.

10.5. S/E Castro

Los resultados de cálculos y simulaciones, con la condición de resistividad utilizada en terreno y una corriente de fuga a tierra para el año 2019 y el año 2024, muestran que las tensiones de seguridad del sistema de puesta a tierra de la S/E Castro no cumplen con los valores tolerables de tensión paso en los bordes de la malla y la tensión de contacto no cumple en toda el área de la subestación. Se verifica que la malla de puesta a tierra de la subestación Castro no se encuentra correctamente dimensionada.

Anexo I: Corrientes de Cortocircuito al año 2019

La siguiente tabla muestra los valores de Cortocircuitos al año 2019 según referencia.

			I"kss 1FT [kA] - 2019				I"kss 2FT [kA] - 2019			
Subestación	Nivel de Tensión [kV]	ID del Paño	En barra	3xI0 Barra	Contribución por paño	Contribución 3xI0 Paño	En barra	3xI0 Barra	Contribución por paño	Contribución 3xI0 Paño
Los Almendros	220	Los Almendros 220 kV – J1 Línea 220 kV Alto Jahuel - Los Almendros C1	12,78	12,78	3,21	1,69	15,44	10,33	4,66	1,36
	220	Los Almendros 220 kV – J2 Línea 220 kV Alto Jahuel - Los Almendros C2	12,78	12,78	3,21	1,69	15,44	10,33	4,66	1,36
	220	Los Almendros 220 kV – J4 Tap La Ermita - Los Almendros 220 kV C1	12,78	12,78	1,08	1,96	15,44	10,33	0,99	1,58
	220	Los Almendros 220 kV – J3 Tap La Ermita - Los Almendros 220 kV C2	12,78	12,78	1,08	1,95	15,44	10,33	0,99	1,57
	220	Los Almendros 220 kV - JT Transformador 220/110 kV	12,78	12,78	4,21	5,56	15,44	10,33	4,52	4,49
	110	Almendros 110 kV - H1 Línea 110 kV Los Almendros - El Salto C1	28,27	28,27	4,41	1,65	30,16	26,01	5,67	1,51
	110	Almendros 110 kV - H2 Línea 110 kV Los Almendros - El Salto C2	28,27	28,27	3,98	1,65	30,16	26,01	5,06	1,51
	110	Almendros 110 kV - H3 Línea 110 kV Los Almendros - Florida C1	28,27	28,27	3,06	1,11	30,16	26,01	3,98	1,02
	110	Almendros 110 kV - H4 Línea 110 kV Los Almendros - Florida C2	28,27	28,27	3,06	1,11	30,16	26,01	3,98	1,02
	110	Almendros 110 kV - HT1 Transformador TR01 400 MVA 220/110 kV	28,27	28,27	13,83	22,80	30,16	26,01	12,40	20,98
Alto Bonito	110	Alto Bonito 110 kV - H1 Línea 110 kV Alto Bonito - Melipulli	4,07	4,07	2,24	3,12	4,29	3,84	2,12	2,95
	110	Alto Bonito 110 kV - H2 Línea 110 kV Alto Bonito - Molinos	4,07	4,07	1,83	0,95	4,29	3,84	2,24	0,90
	110	Alto Bonito 110 kV - HT1 Transformador TR1 30 MVA 115/24,5 kV	4,07	4,07	0,00	0,00	4,29	3,84	0,00	0,00
Batuco	110	Batuco 110 kV - H1 Línea 110 kV Batuco - Tap Off Punta Peuco/Cerro Navia 1	11,71	11,71	5,86	5,86	15,81	8,85	7,91	4,43
	110	Batuco 110 kV - H2 Línea 110 kV Batuco - Tap Off Punta Peuco/Cerro Navia 2	11,71	11,71	5,86	5,86	15,81	8,85	7,91	4,43
	110	Batuco 110 kV - HS1 Acoplador	11,71	11,71	0,00	0,00	15,81	8,85	0,00	0,00
	110	Batuco 110 kV - HT1 Transformador TR01 37,5 MVA 110/23,5 kV	11,71	11,71	0,00	0,00	15,81	8,85	0,00	0,00
	110	Batuco 110 kV - HT2 Transformador TR02 37,5 MVA 110/23,5 kV	11,71	11,71	0,00	0,00	15,81	8,85	0,00	0,00
	110	Batuco 110 kV - HT3 Transformador TR03 50 MVA 110/23,5 kV	11,71	11,71	0,00	0,00	15,81	8,85	0,00	0,00
Cabildo	110	Cabildo 110 kV - H1 Línea 110 kV Cabildo - Quinquimo	1,26	1,26	1,26	1,26	1,90	0,91	1,90	0,91
	110	Cabildo 110 kV - HT1 Transformador TR1 30/24/18 MVA 110/25 kV	1,26	1,26	0,00	0,00	1,90	0,91	0,00	0,00
	110	Cabildo 110 kV - HT2 Transformador TR2 13/10 MVA 110/24-14,4 kV	1,26	1,26	0,00	0,00	1,90	0,91	0,00	0,00
Castro	110	Castro 110 kV - H1 Línea 110 kV Castro - Gamboa	4,58	4,58	4,29	4,58	4,66	6,33	4,37	6,33
	110	Castro 110 kV - H2 Línea 110 kV Castro - Chonchi	4,58	4,58	0,30	0,00	4,66	6,33	0,33	0,00
	110	Castro 110 kV - HT1 Transformador TR1 110/23 kV	4,58	4,58	0,00	0,00	4,66	6,33	0,00	0,00
Costanera	110	Costanera 110 kV - Línea 110 kV Costanera - Puente Alto	5,98	5,98	5,98	5,98	8,17	4,58	8,17	4,58
	110	Costanera 110 kV - H1 Transformador TR1 25 MVA 110/12.5 kV	5,98	5,98	0,00	0,00	8,17	4,58	0,00	0,00
Lo Aguirre	110	Lo Aguirre 110 kV - H1 Línea 110 kV Lo Aguirre - Cerro Navia (Enel)/Lo Prado 2	4,48	4,48	4,48	4,48	6,73	3,23	6,73	3,23
	110	Lo Aguirre 110 kV - HT1 Transformador TR01 10,5 MVA 110/12.5 kV	4,48	4,48	0,00	0,00	6,73	3,23	0,00	0,00
	110	Lo Aguirre 110 kV - HT2 Transformador TR02 10,5 MVA 110/12.5 kV	4,48	4,48	0,00	0,00	6,73	3,23	0,00	0,00
Pajaritos	110	Pajaritos 110 kV - H1 Línea 110 kV Pajaritos - Cerro Navia (Enel)/ Chena 1	16,70	16,70	8,35	8,35	29,55	11,13	14,77	5,57
	110	Pajaritos 110 kV - H2 Línea 110 kV Pajaritos - Cerro Navia (Enel)/Chena 2	16,70	16,70	8,35	8,35	29,55	11,13	14,77	5,57
	110	Pajaritos 110 kV - HT1 Transformador Pajaritos 110/12.5 kV N°1	16,70	16,70	0,00	0,00	29,55	11,13	0,00	0,00
	110	Pajaritos 110 kV - HT2 Transformador Pajaritos 110/12.5 kV N°2	16,70	16,70	0,00	0,00	29,55	11,13	0,00	0,00
	110	Pajaritos 110 kV - HT3 Transformador Pajaritos 110/23.5 kV N°3	16,70	16,70	0,00	0,00	29,55	11,13	0,00	0,00
	110	Pajaritos 110 kV - HT4 Transformador Pajaritos 110/23.5 kV N°4	16,70	16,70	0,00	0,00	29,55	11,13	0,00	0,00
Quinquimo	110	Quinquimo 110 kV - H1 Línea 110 kV Quinquimo - Choapa	2,22	2,22	1,14	1,18	3,21	1,65	1,63	0,87
	110	Quinquimo 110 kV - H2 Línea 110 kV Quinquimo - Casas Viejas	2,22	2,22	1,08	1,05	3,21	1,65	1,58	0,78
	110	Quinquimo 110 kV - H3 Línea 110 kV Quinquimo - Cabildo	2,22	2,22	0,00	0,00	3,21	1,65	0,00	0,00
	110	Quinquimo 110 kV - HT1 Transformador 20MVA 110/23 kV	2,22	2,22	0,00	0,00	3,21	1,65	0,00	0,00
Santa Raquel	110	Santa Raquel 110 kV - H1 Línea 110kV Santa Raquel - Buin/Florida1	10,89	10,89	5,45	5,45	20,34	7,15	10,17	3,58
	110	Santa Raquel 110 kV - H2 Línea 110kV Santa Raquel - Buin/Florida2	10,89	10,89	5,45	5,45	20,34	7,15	10,17	3,58
	110	Santa Raquel 110 kV - HT1 Transformador TR01 50MVA 110/12,5kV	10,89	10,89	0,00	0,00	20,34	7,15	0,00	0,00
	110	Santa Raquel 110 kV - HT2 Transformador TR02 25MVA 110/12,5kV	10,89	10,89	0,00	0,00	20,34	7,15	0,00	0,00
	110	Santa Raquel 110 kV - HT4 Transformador TR04 22,4MVA 110/12,5kV	10,89	10,89	0,00	0,00	20,34	7,15	0,00	0,00
	110	Santa Raquel 110 kV - HT5 Transformador TR05 50MVA 110/20,4kV	10,89	10,89	0,00	0,00	20,34	7,15	0,00	0,00

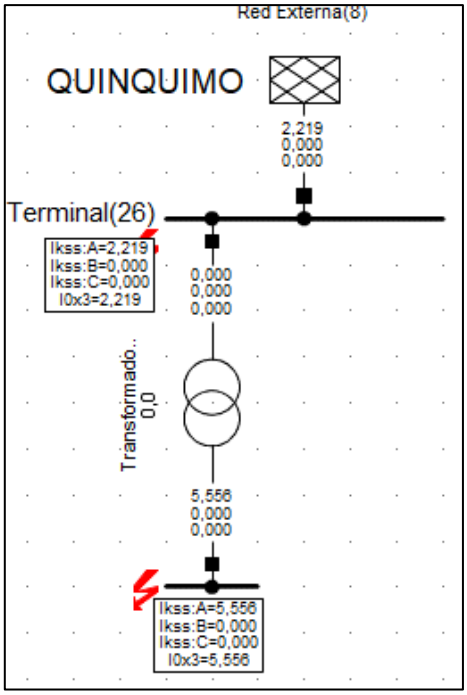
S/E Quinquimo

Para la S/E Quinquimo se utilizará un valor de cortocircuito de 6,19 kA al año 2019, correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) cortocircuito bifásico a tierra en la barra 23 kV.

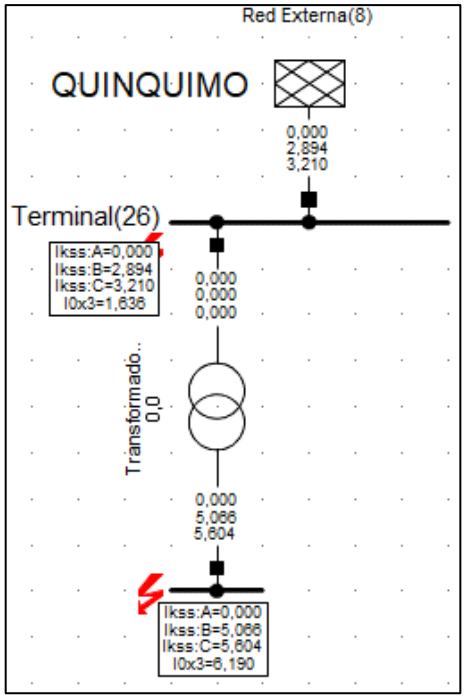
La subestación posee un transformador de 20 MVA 110/23 kV, por lo cual es necesario evaluar el nivel de cortocircuitos en 23 kV. Se consideran que el transformador no tiene resistencia de aterrizamiento en el neutro.

Se simularon cortocircuitos en la barra de 23 kV obteniendo un valor máximo de 3Io bifásico a tierra de 6,19 kA al año 2019, el cual es mayor que el valor obtenido en 110 kV.

Cortocircuito Monofásico



Cortocircuito Bifásico



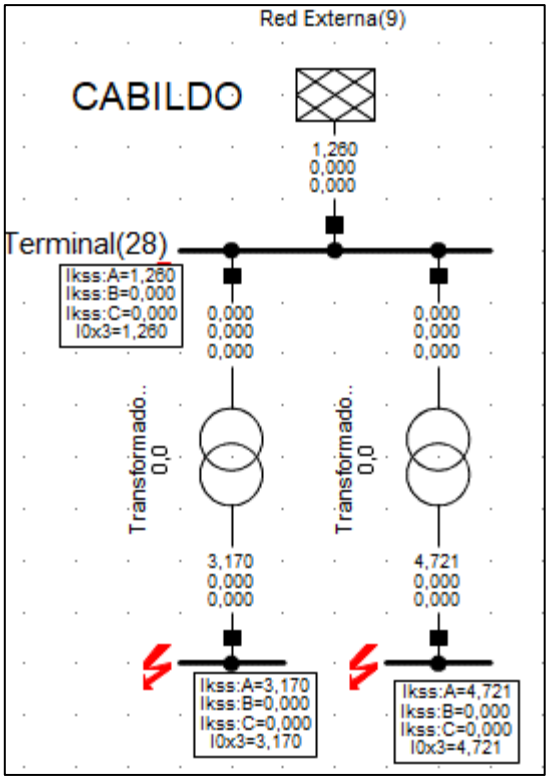
S/E Cabildo

Para la S/E Quinquimo se utilizará un valor de cortocircuito de 5,72 kA al año 2019, correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) cortocircuito bifásico a tierra en la barra 23 kV.

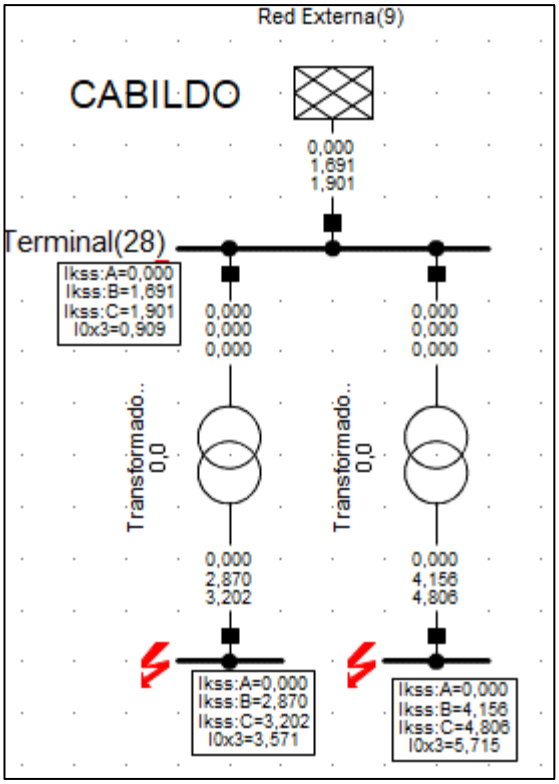
La subestación posee dos transformadores de 13 MVA y de 30 MVA 110/25 kV, por lo cual es necesario evaluar el nivel de cortocircuitos en 23 kV. Se consideran que las barras de MT operan desacopladas y que el transformador no tiene resistencia de aterrizamiento en el neutro.

Se simularon cortocircuitos en la barra de 23 kV obteniendo un valor máximo de 3Io bifásico a tierra de 5,72 kA al año 2019, el cual es mayor que el valor obtenido en 110 kV.

Cortocircuito Monofásico



Cortocircuito Bifásico



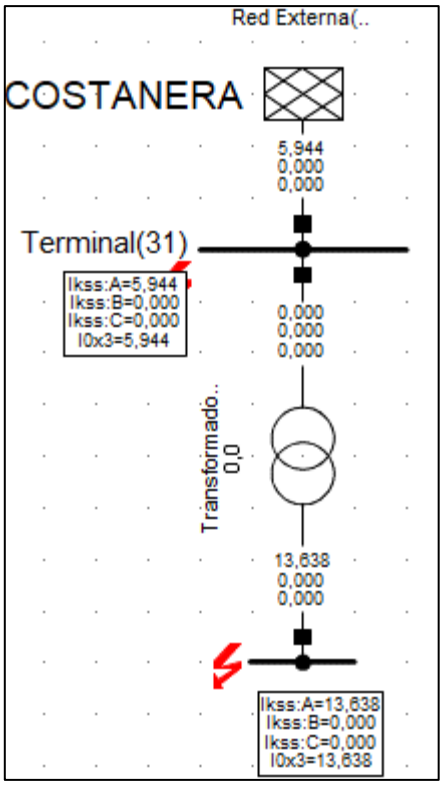
S/E Costanera

Para la S/E Costanera se utilizará un valor de cortocircuito de 14,16 kA al año 2019, correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) cortocircuito bifásico a tierra en la barra 12 kV.

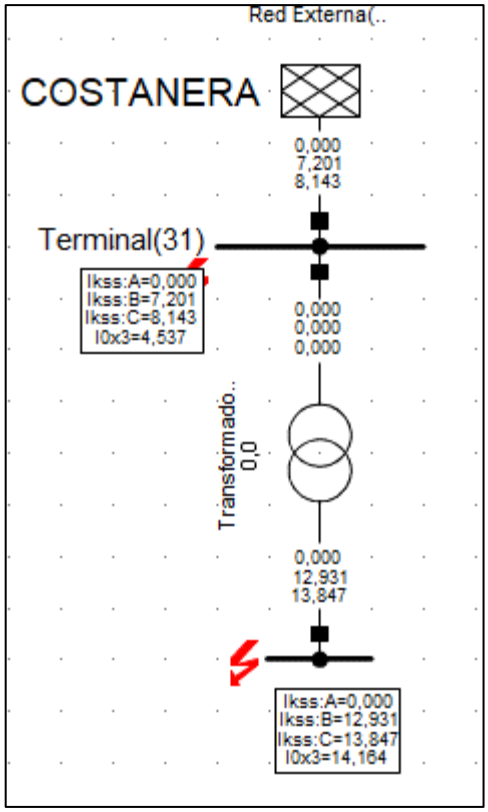
La subestación posee un transformador de 25 MVA 110/12,5 kV, por lo cual es necesario evaluar el nivel de cortocircuitos en 12 kV. Se consideran que el transformador no tiene resistencia de aterrizamiento en el neutro.

Se simularon cortocircuitos en la barra de 12 kV obteniendo un valor máximo de 3Io bifásico a tierra de 14,16 kA al año 2019, el cual es mayor que el valor obtenido en 110 kV.

Cortocircuito Monofásico



Cortocircuito Bifásico

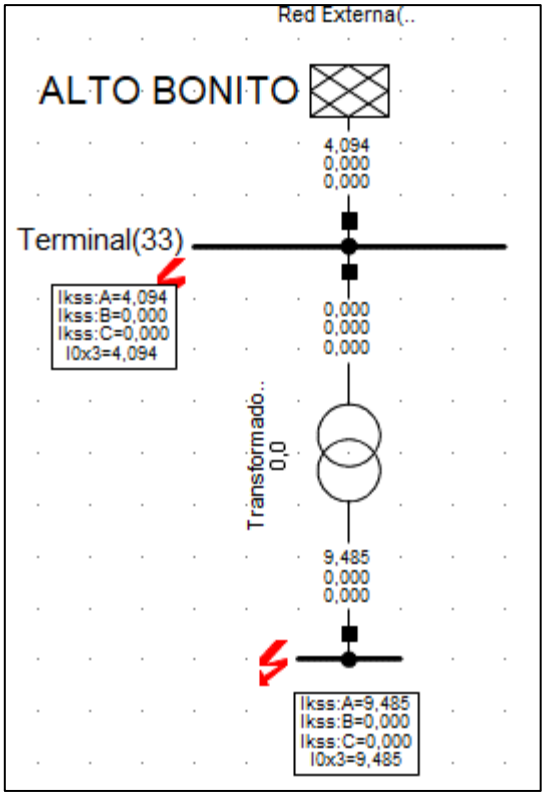


S/E Alto Bonito

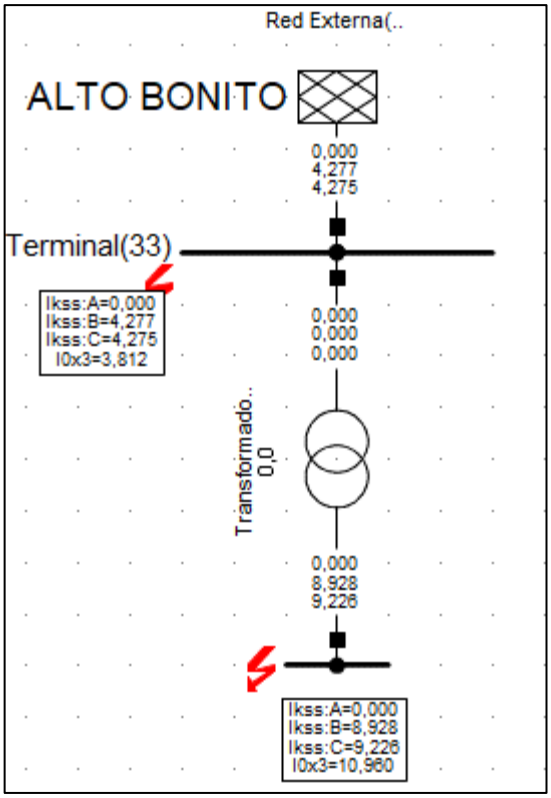
Para la S/E Alto Bonito se utilizará un valor de cortocircuito de 10,96 kA al año 2019, correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) cortocircuito bifásico a tierra en la barra 23 kV.
La subestación posee un transformador de 30 MVA 110/24,5 kV, por lo cual es necesario evaluar el nivel de cortocircuitos en 23 kV. Se consideran que el transformador no tiene resistencia de aterrizamiento en el neutro.

Se simularon cortocircuitos en la barra de 23 kV obteniendo un valor máximo de 3Io bifásico a tierra de 10,96 kA al año 2019, el cual es mayor que el valor obtenido en 110 kV.

Cortocircuito Monofásico



Cortocircuito Bifásico



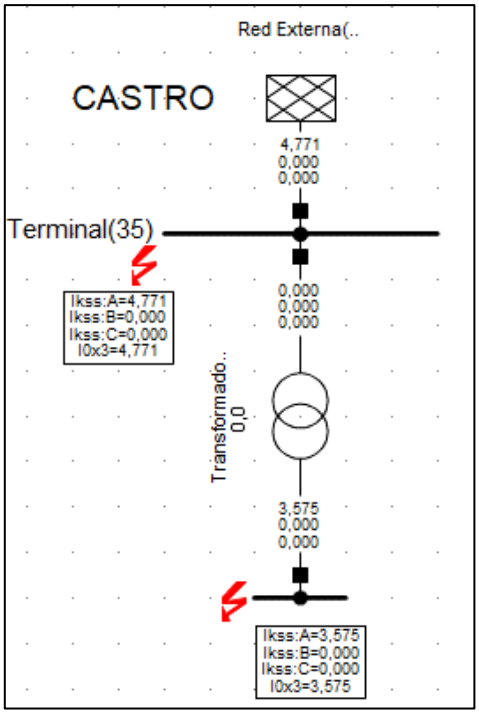
S/E Castro

Para la S/E Castro se utilizará un valor de cortocircuito de 6,19 kA al año 2019, correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) cortocircuito bifásico a tierra en 110 kV.

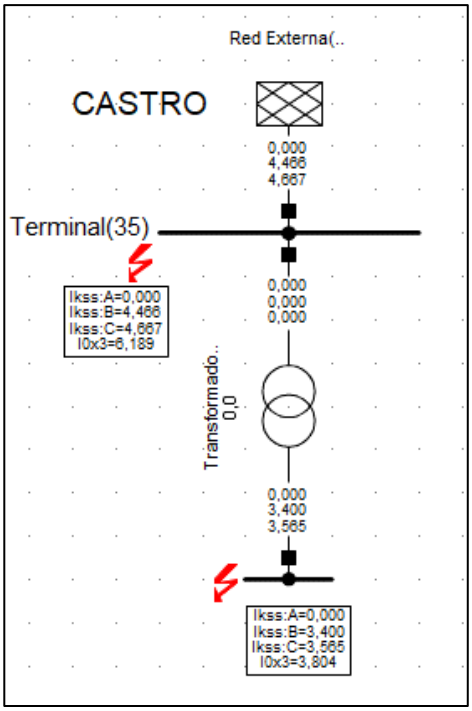
La subestación posee un transformador de 16 MVA 110/23 kV, por lo cual es necesario evaluar el nivel de cortocircuitos en 23 kV. Se considera que el transformador no tiene resistencia de aterrizamiento en el neutro.

Se simularon cortocircuitos en la barra de 23 kV obteniendo un valor máximo de 3Io bifásico a tierra de 3,80 kA al año 2019, el cual es menor que el valor obtenido en 110 kV.

Cortocircuito Monofásico



Cortocircuito Bifásico



Anexo II: Corrientes de Cortocircuito al año 2024

La siguiente tabla muestra los valores de Cortocircuitos al año 2024 según referencia.

			I"kss 1F[kA] - 2024				I"kss 2FT[kA] - 2024			
S/E o Central	Nivel de Tensión [kV]	ID del Paño	En barra	3xI0 Barra	Contribución por paño	Contribución 3xI0 Paño	En barra	3xI0 Barra	Contribución por paño	Contribución 3xI0 Paño
Los Almendros	220	Los Almendros 220 kV – J1 Línea 220 kV Alto Jahuel - Los Almendros C1	14,50	14,50	3,19	1,73	17,97	11,52	4,71	1,38
	220	Los Almendros 220 kV – J2 Línea 220 kV Alto Jahuel - Los Almendros C2	14,50	14,50	3,19	1,73	17,97	11,52	4,71	1,38
	220	Los Almendros 220 kV – J4 Tap La Ermita - Los Almendros 220 kV C1	14,50	14,50	1,96	2,69	17,97	11,52	2,14	2,14
	220	Los Almendros 220 kV – J3 Tap La Ermita - Los Almendros 220 kV C2	14,50	14,50	1,96	2,68	17,97	11,52	2,14	2,13
	220	Los Almendros 220 kV - JT Transformador 220/110 kV	14,50	14,50	4,21	5,71	17,97	11,52	4,54	4,54
	110	Almendros 110 kV - H1 Línea 110 kV Los Almendros - El Salto C1	29,96	29,96	4,48	1,66	32,05	27,41	5,79	1,52
	110	Almendros 110 kV - H2 Línea 110 kV Los Almendros - El Salto C2	29,96	29,96	4,04	1,66	32,05	27,41	5,16	1,52
	110	Almendros 110 kV - H3 Línea 110 kV Los Almendros - Florida C1	29,96	29,96	3,28	1,14	32,05	27,41	4,31	1,04
	110	Almendros 110 kV - H4 Línea 110 kV Los Almendros - Florida C2	29,96	29,96	3,28	1,14	32,05	27,41	4,31	1,04
	110	Almendros 110 kV - HT1 Transformador TR01 400 MVA 220/110 kV	29,96	29,96	14,95	24,38	32,05	27,41	13,55	22,31
Alto Bonito	110	Alto Bonito 110 kV - H1 Línea 110 kV Alto Bonito - Melipulli	4,25	4,25	2,37	3,26	4,53	3,91	2,27	3,00
	110	Alto Bonito 110 kV - H2 Línea 110 kV Alto Bonito - Molinos	4,25	4,25	1,88	0,99	4,53	3,91	2,34	0,91
	110	Alto Bonito 110 kV - HT1 Transformador TR1 30 MVA 115/24,5 kV	4,25	4,25	0,00	0,00	4,53	3,91	0,00	0,00
Batuco	110	Batuco 110 kV - H1 Línea 110 kV Batuco - Tap Off Punta Peuco/Cerro Navia 1	11,91	11,91	5,96	5,96	16,32	8,92	8,16	4,46
	110	Batuco 110 kV - H2 Línea 110 kV Batuco - Tap Off Punta Peuco/Cerro Navia 2	11,91	11,91	5,96	0,00	16,32	8,92	8,16	4,46
	110	Batuco 110 kV - HS1 Acoplador	11,91	11,91	0,00	0,00	16,32	8,92	0,00	0,00
	110	Batuco 110 kV - HT1 Transformador TR01 37,5 MVA 110/23,5 kV	11,91	11,91	0,00	0,00	16,32	8,92	0,00	0,00
	110	Batuco 110 kV - HT2 Transformador TR02 37,5 MVA 110/23,5 kV	11,91	11,91	0,00	0,00	16,32	8,92	0,00	0,00
	110	Batuco 110 kV - HT3 Transformador TR03 50 MVA 110/23,5 kV	11,91	11,91	0,00	0,00	16,32	8,92	0,00	0,00
Cabildo	110	Cabildo 110 kV - H1 Línea 110 kV Cabildo - Quinquimo	1,26	1,26	1,26	1,26	1,90	0,91	1,90	0,91
	110	Cabildo 110 kV - HT1 Transformador TR1 30/24/18 MVA 110/25 kV	1,26	1,26	0,00	0,00	1,90	0,91	0,00	0,00
	110	Cabildo 110 kV - HT2 Transformador TR2 13/10 MVA 110/24-14,4 kV	1,26	1,26	0,00	0,00	1,90	0,91	0,00	0,00
Castro	110	Castro 110 kV - H1 Línea 110 kV Castro - Gamboa	5,65	5,65	5,39	5,44	5,61	7,17	5,33	6,89
	110	Castro 110 kV - H2 Línea 110 kV Castro - Chonchi	5,65	5,65	0,27	0,22	5,61	7,17	0,28	0,28
	110	Castro 110 kV - HT1 Transformador TR1 110/23 kV	5,65	5,65	0,00	0,00	5,61	7,17	0,00	0,00
Costanera	110	Costanera 110 kV - Línea 110 kV Costanera - Puente Alto	6,39	6,39	6,39	6,39	8,89	4,82	8,89	4,82
	110	Costanera 110 kV - H1 Transformador TR1 25 MVA 110/12.5 kV	6,39	6,39	0,00	0,00	8,89	4,82	0,00	0,00
Lo Aguirre	110	Lo Aguirre 110 kV - H1 Línea 110 kV Lo Aguirre - Cerro Navia (Enel)/Lo Prado 2	4,49	4,49	4,49	4,49	6,78	3,24	6,78	3,24
	110	Lo Aguirre 110 kV - HT1 Transformador TR01 10,5 MVA 110/12.5 kV	4,49	4,49	0,00	0,00	6,78	3,24	0,00	0,00
	110	Lo Aguirre 110 kV - HT2 Transformador TR02 10,5 MVA 110/12.5 kV	4,49	4,49	0,00	0,00	6,78	3,24	0,00	0,00
Pajaritos	110	Pajaritos 110 kV - H1 Línea 110 kV Pajaritos - Cerro Navia (Enel)/ Chena 1	16,94	16,94	8,47	8,47	30,72	11,20	15,36	5,60
	110	Pajaritos 110 kV - H2 Línea 110 kV Pajaritos - Cerro Navia (Enel)/Chena 2	16,94	16,94	8,47	8,47	30,72	11,20	15,36	5,60
	110	Pajaritos 110 kV - HT1 Transformador Pajaritos 110/12.5 kV N°1	16,94	16,94	0,00	0,00	30,72	11,20	0,00	0,00
	110	Pajaritos 110 kV - HT2 Transformador Pajaritos 110/12.5 kV N°2	16,94	16,94	0,00	0,00	30,72	11,20	0,00	0,00
	110	Pajaritos 110 kV - HT3 Transformador Pajaritos 110/23.5 kV N°3	16,94	16,94	0,00	0,00	30,72	11,20	0,00	0,00
	110	Pajaritos 110 kV - HT4 Transformador Pajaritos 110/23.5 kV N°4	16,94	16,94	0,00	0,00	30,72	11,20	0,00	0,00
Quinquimo	110	Quinquimo 110 kV - H1 Línea 110 kV Quinquimo - Choapa	2,23	2,23	1,15	1,18	3,22	1,65	1,64	0,87
	110	Quinquimo 110 kV - H2 Línea 110 kV Quinquimo - Casas Viejas	2,23	2,23	1,08	1,05	3,22	1,65	1,58	0,78
	110	Quinquimo 110 kV - H3 Línea 110 kV Quinquimo - Cabildo	2,23	2,23	0,00	0,00	3,22	1,65	0,00	0,00
	110	Quinquimo 110 kV - HT1 Transformador 20MVA 110/23 kV	2,23	2,23	0,00	0,00	3,22	1,65	0,00	0,00
Santa Raquel	110	Santa Raquel 110 kV - H1 Línea 110kV Santa Raquel - Buin/Florida1	11,40	11,40	5,70	5,70	21,75	7,42	10,87	3,71
	110	Santa Raquel 110 kV - H2 Línea 110kV Santa Raquel - Buin/Florida2	11,40	11,40	5,70	5,70	21,75	7,42	10,87	3,71
	110	Santa Raquel 110 kV - HT1 Transformador TR01 50MVA 110/12,5kV	11,40	11,40	0,00	0,00	21,75	7,42	0,00	0,00
	110	Santa Raquel 110 kV - HT2 Transformador TR02 25MVA 110/12,5kV	11,40	11,40	0,00	0,00	21,75	7,42	0,00	0,00
	110	Santa Raquel 110 kV - HT4 Transformador TR04 22,4MVA 110/12,5kV	11,40	11,40	0,00	0,00	21,75	7,42	0,00	0,00
	110	Santa Raquel 110 kV - HT5 Transformador TR05 50MVA 110/20,4kV	11,40	11,40	0,00	0,00	21,75	7,42	0,00	0,00

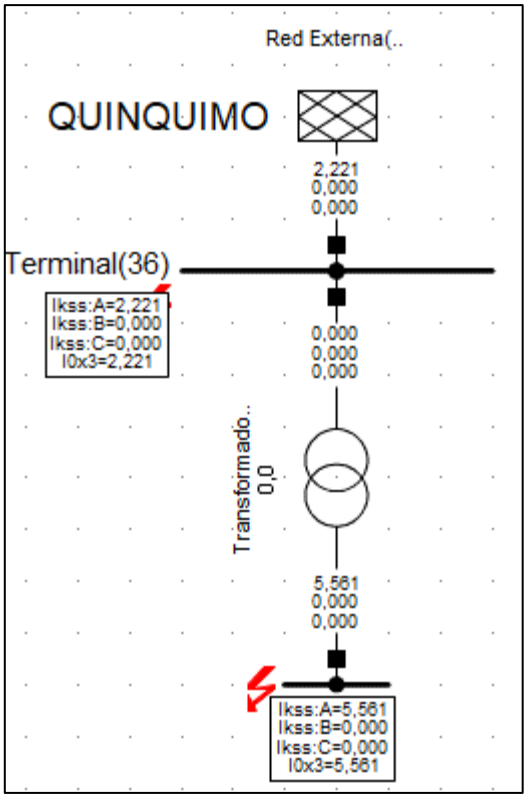
S/E Quinquimo

Para la S/E Quinquimo se utilizará un valor de cortocircuito de 6,19 kA al año 2024, correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) cortocircuito bifásico a tierra en la barra 23 kV.

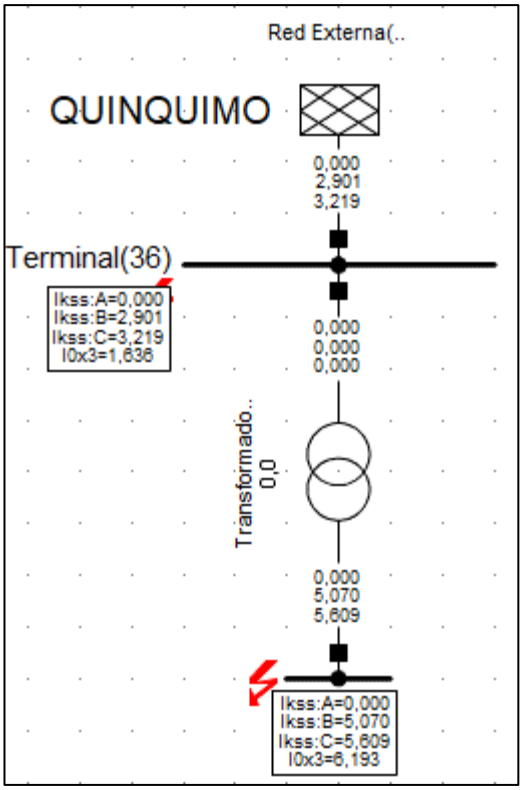
La subestación posee un transformador de 20 MVA 110/23 kV, por lo cual es necesario evaluar el nivel de cortocircuitos en 23 kV. Se consideran que el transformador no tiene resistencia de aterrizamiento en el neutro.

Se simularon cortocircuitos en la barra de 23 kV obteniendo un valor máximo de 3Io bifásico a tierra de 6,19 kA al año 2024, el cual es mayor que el valor obtenido en 110 kV.

Cortocircuito Monofásico



Cortocircuito Bifásico



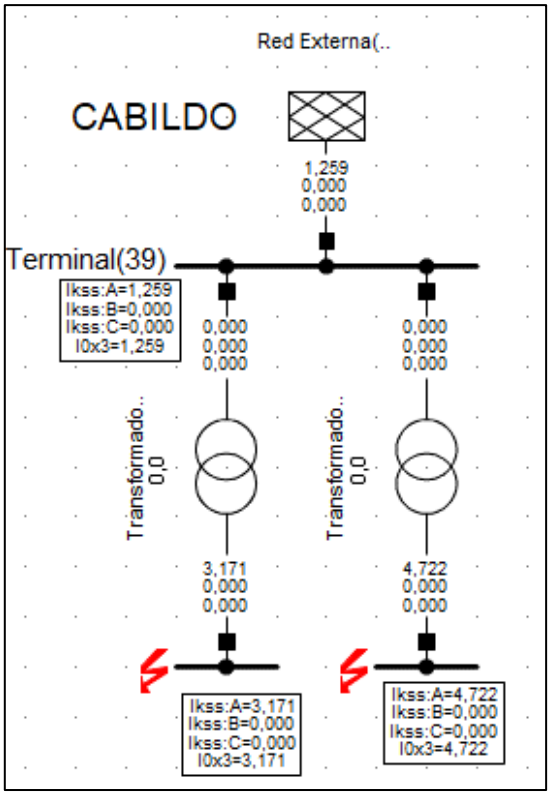
S/E Cabildo

Para la S/E Quinquimo se utilizará un valor de cortocircuito de 5,72 kA al año 2024, correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) cortocircuito bifásico a tierra en la barra 23 kV.

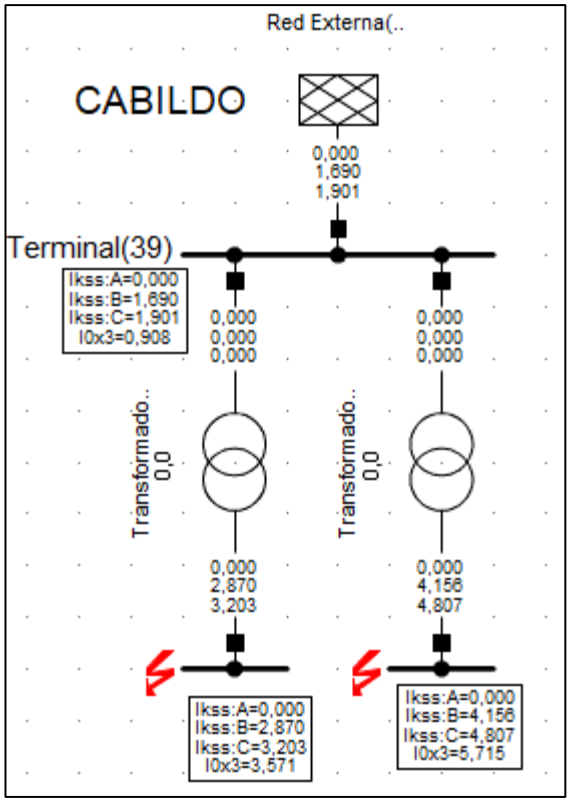
La subestación posee dos transformadores de 13 MVA y de 30 MVA 110/25 kV, por lo cual es necesario evaluar el nivel de cortocircuitos en 23 kV. Se consideran que las barras de MT operan desacopladas y que el transformador no tiene resistencia de aterrizamiento en el neutro.

Se simularon cortocircuitos en la barra de 23 kV obteniendo un valor máximo de 3Io bifásico a tierra de 5,72 kA al año 2024, el cual es mayor que el valor obtenido en 110 kV.

Cortocircuito Monofásico



Cortocircuito Bifásico



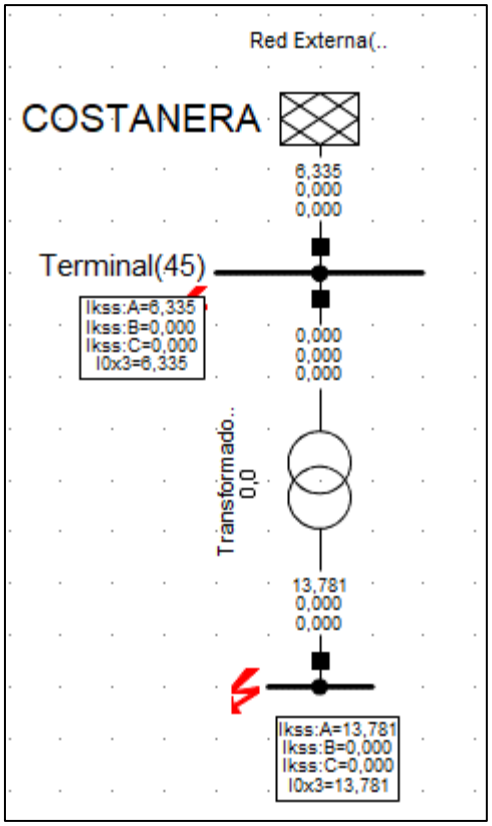
S/E Costanera

Para la S/E Costanera se utilizará un valor de cortocircuito de 14,24 kA al año 2024, correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) cortocircuito bifásico a tierra en la barra 12 kV.

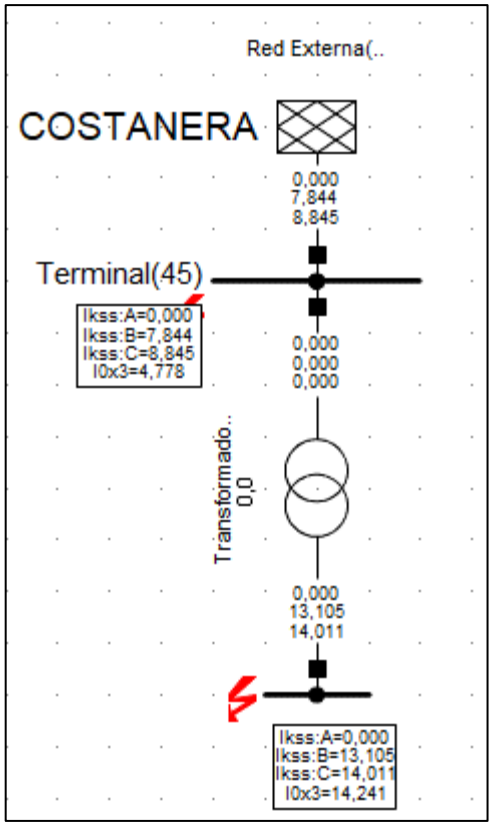
La subestación posee un transformador de 25 MVA 110/12,5 kV, por lo cual es necesario evaluar el nivel de cortocircuitos en 12 kV. Se consideran que el transformador no tiene resistencia de aterrizamiento en el neutro.

Se simularon cortocircuitos en la barra de 12 kV obteniendo un valor máximo de 3Io bifásico a tierra de 14,24 kA al año 2024, el cual es mayor que el valor obtenido en 110 kV.

Cortocircuito Monofásico



Cortocircuito Bifásico

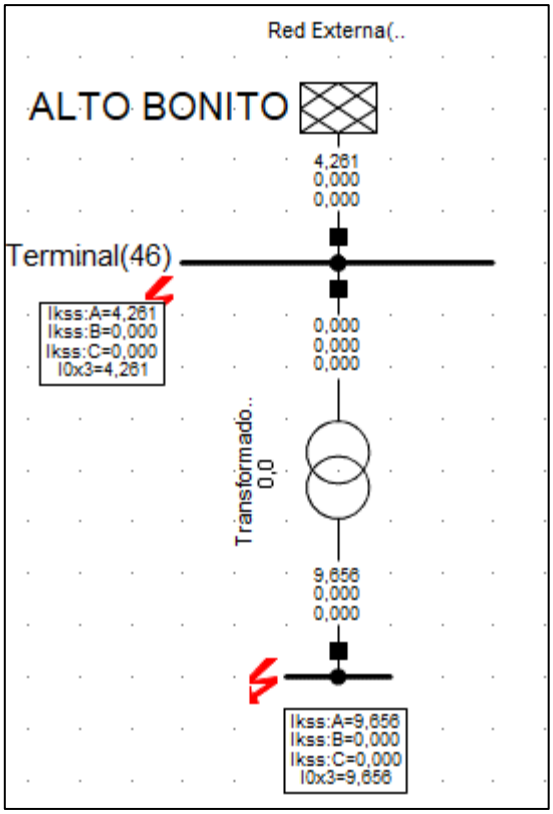


S/E Alto Bonito

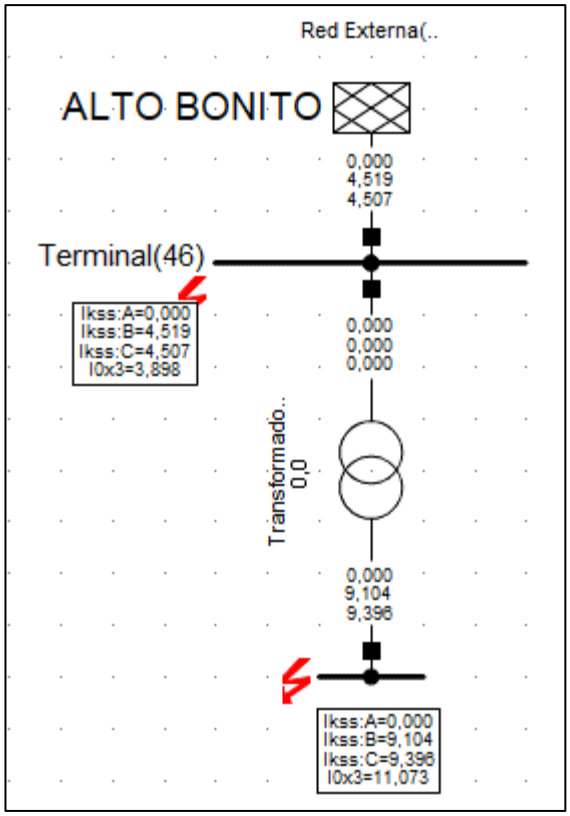
Para la S/E Alto Bonito se utilizará un valor de cortocircuito de 11,07 kA al año 2024, correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) cortocircuito bifásico a tierra en la barra 23 kV.
La subestación posee un transformador de 30 MVA 110/24,5 kV, por lo cual es necesario evaluar el nivel de cortocircuitos en 23 kV. Se consideran que el transformador no tiene resistencia de aterrizamiento en el neutro.

Se simularon cortocircuitos en la barra de 23 kV obteniendo un valor máximo de 3Io bifásico a tierra de 11,07 kA al año 2024, el cual es mayor que el valor obtenido en 110 kV.

Cortocircuito Monofásico



Cortocircuito Bifásico



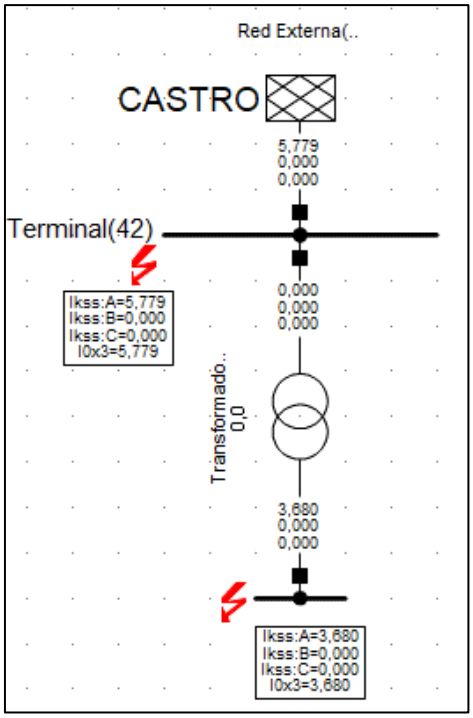
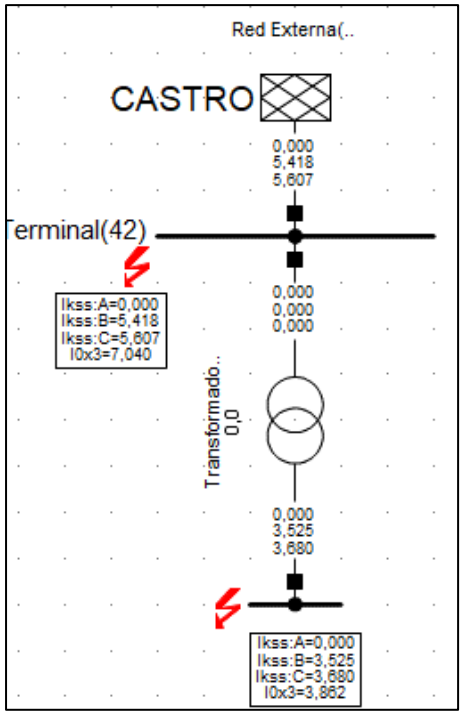
S/E Castro

Para la S/E Castro se utilizará un valor de cortocircuito de 7,04 kA al año 2024, correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) cortocircuito bifásico a tierra en 110 kV.

La subestación posee un transformador de 16 MVA 110/23 kV, por lo cual es necesario evaluar el nivel de cortocircuitos en 23 kV. Se considera que el transformador no tiene resistencia de aterrizamiento en el neutro.

Se simularon cortocircuitos en la barra de 23 kV obteniendo un valor máximo de 3Io bifásico a tierra de 3,86 kA al año 2024, el cual es menor que el valor obtenido en 110 kV.

Cortocircuito Monofásico



Cortocircuito Bifásico