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-003

Nº Documento Cliente	

Título	Informe Técnico de Diagnostico N°1

Fecha	Revisión
14-11-2019	0
05-11-2019	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-003
INFORME TÉCNICO DE DIAGNOSTICO N°1

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 Batuco 9
5.1. Cálculo de Sección Admisible S/E Batuco 10
5.2. Malla de Puesta a Tierra S/E Batuco (Año 2019) 11
5.3. Malla de Puesta a Tierra S/E Batuco (Año 2024) 16
5.4. Resumen de Resultados S/E Batuco (Año 2019) 20
5.5. Resumen de Resultados S/E Batuco (Año 2024) 20
6. Condiciones Generales S/E Los Almendros 21
6.1. Cálculo de Sección Admisible S/E Los Almendros 23
6.2. Malla de Puesta a Tierra S/E Los Almendros (Año 2019) 23
6.3. Malla de Puesta a Tierra S/E Los Almendros (Año 2024) 28
6.4. Resumen de Resultados S/E Los Almendros (Año 2019) 32
6.5. Resumen de Resultados S/E Los Almendros (Año 2024) 32
7. Condiciones Generales S/E Pajaritos 33
7.1. Cálculo de Sección Admisible 35
7.2. Malla de Puesta a Tierra S/E Pajaritos (Año 2019) 35
7.3. Malla de Puesta a Tierra S/E Pajaritos (Año 2024) 40
7.4. Resumen de Resultados S/E Pajaritos (Año 2019) 44
7.5. Resumen de Resultados S/E Pajaritos (Año 2024) 44

8. Condiciones Generales S/E Lo Aguirre 45
8.1. Cálculo de Sección Admisible 46
8.2. Malla de Puesta a Tierra S/E Lo Aguirre (Año 2019) 46
8.3. Malla de Puesta a Tierra S/E Lo Aguirre (Año 2024) 51
8.4. Resumen de Resultados S/E Lo Aguirre (Año 2019) 55
8.5. Resumen de Resultados S/E Lo Aguirre (Año 2024) 55
9. Condiciones Generales S/E Santa Raquel 56
9.1. Cálculo de Sección Admisible 58
9.2. Malla de Puesta a Tierra S/E Santa Raquel (Año 2019) 58
9.3. Malla de Puesta a Tierra S/E Santa Raquel (Año 2024) 63
9.4. Resumen de Resultados S/E Santa Raquel (Año 2019) 67
9.5. Resumen de Resultados S/E Santa Raquel (Año 2024) 67
10. Conclusiones y Recomendaciones 69
10.1. S/E Batuco 69
10.2. S/E Los Almendros 69
10.3. S/E Pajaritos 69
10.4. S/E Lo Aguirre 70
10.5. S/E Santa Raquel 70

Índice de figuras

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

Figura 12: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Batuco 19
Figura 13: Resultado factor split S/E Los Almendros 22
Figura 14: Límites de tensión SES CDEGS S/E Los Almendros 24
Figura 15: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Los Almendros 25
Figura 16: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Los Almendros 25
Figura 17: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Los Almendros 26
Figura 18: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Los Almendros 26
Figura 19: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Los Almendros 27
Figura 20: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Los Almendros 28
Figura 21: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Los Almendros 29
Figura 22: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Los Almendros 29
Figura 23: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Los Almendros 30
Figura 24: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Los Almendros 31
Figura 25: Resultado factor split S/E Pajaritos 34
Figura 26: Límites de tensión SES CDEGS S/E Pajaritos 36
Figura 27: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Pajaritos 37
Figura 28: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Pajaritos 37
Figura 29: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Pajaritos 38
Figura 30: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Pajaritos 38
Figura 31: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Pajaritos 39
Figura 32: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Pajaritos 40
Figura 33: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Pajaritos 41
Figura 34: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Pajaritos 41
Figura 35: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Pajaritos 42
Figura 36: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Pajaritos 43
Figura 37: Límites de tensión SES CDEGS S/E Lo Aguirre 47
Figura 38: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Lo Aguirre 48
Figura 39: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Lo Aguirre 48
Figura 40: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Lo Aguirre 49
Figura 41: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Lo Aguirre 49
Figura 42: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Lo Aguirre 50
Figura 43: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Lo Aguirre 51
Figura 44: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Lo Aguirre 52
Figura 45: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Lo Aguirre 52
Figura 46: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Lo Aguirre 53
Figura 47: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Lo Aguirre 54
Figura 48: Resultado factor split línea S/E Santa Raquel 57
Figura 49: Límites de tensión SES CDEGS S/E Santa Raquel 59

Figura 50: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Santa Raquel 60
Figura 51: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Santa Raquel 60
Figura 52: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Santa Raquel 61
Figura 53: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Santa Raquel 61
Figura 54: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Santa Raquel 62
Figura 55: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Santa Raquel 63
Figura 56: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Santa Raquel 64
Figura 57: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Santa Raquel 64
Figura 58: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Santa Raquel 65
Figura 59: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Santa Raquel 66

Índice de anexos

Anexo I: Corrientes de Cortocircuito al año 2019 71
Anexo II: Corrientes de Cortocircuito al año 2024 77

Índice de tablas

Tabla 1: Resistencia de diseño S/E Batuco corriente año 2019 20
Tabla 2: Verificación de tensión de paso S/E Batuco año 2019 20
Tabla 3: Verificación de tensión de contacto S/E Batuco año 2019 20
Tabla 4: Resistencia de diseño S/E Batuco corriente año 2024 20
Tabla 5: Verificación de tensión de paso S/E Batuco año 2024 21
Tabla 6: Verificación de tensión de contacto S/E Batuco año 2024 21
Tabla 7: Resistencia de diseño S/E Los Almendros corriente año 2019 32
Tabla 8: Verificación de tensión de paso S/E Los Almendros año 2019 32
Tabla 9: Verificación de tensión de contacto S/E Los Almendros año 2019 32
Tabla 10: Resistencia de diseño S/E Los Almendros corriente año 2024 32
Tabla 11: Verificación de tensión de paso S/E Los Almendros año 2024 33
Tabla 12: Verificación de tensión de contacto S/E Los Almendros año 2024 33
Tabla 13: Resistencia de diseño S/E Pajaritos corriente año 2019 44
Tabla 14: Verificación de tensión de paso S/E Pajaritos año 2019 44
Tabla 15: Verificación de tensión de contacto S/E Pajaritos año 2019 44
Tabla 16: Resistencia de diseño S/E Pajaritos corriente año 2024 44
Tabla 17: Verificación de tensión de paso S/E Pajaritos año 2024 45
Tabla 18: Verificación de tensión de contacto S/E Pajaritos año 2024 45
Tabla 19: Resistencia de diseño S/E Lo Aguirre corriente año 2019 55

Tabla 20: Verificación de tensión de paso S/E Lo Aguirre año 2019 55
Tabla 21: Verificación de tensión de contacto S/E Lo Aguirre año 2019 55
Tabla 22: Resistencia de diseño S/E Lo Aguirre corriente año 2024 55
Tabla 23: Verificación de tensión de paso S/E Lo Aguirre año 2024 56
Tabla 24: Verificación de tensión de contacto S/E Lo Aguirre año 2024 56
Tabla 25: Resistencia de diseño S/E Santa Raquel corriente año 2019 67
Tabla 26: Verificación de tensión de paso S/E Santa Raquel año 2019 67
Tabla 27: Verificación de tensión de contacto S/E Santa Raquel año 2019 67
Tabla 28: Resistencia de diseño S/E Santa Raquel corriente año 2024 67
Tabla 29: Verificación de tensión de paso S/E Santa Raquel año 2024 68
Tabla 30: Verificación de tensión de contacto S/E Santa Raquel año 2024 68

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: Batuco, Los Almendros, Pajaritos, Lo Aguirre, Santa Raquel.

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 Batuco, Los Almendros, Pajaritos, Lo Aguirre, Santa Raquel. 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-001 Informe de Modelación N°1"

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:

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

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 Batuco

Para la evaluación de la malla de puesta a tierra (MPT) de la subestación Batuco, 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 monofásico a tierra en la barra 110 kV del año 2019 y [6] correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) del año 2024 de la subestación Batuco.

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

El resultado de la modelación del cable de guardia, obteniendo que el factor de división de corriente de la malla para el año 2019 y 2024 en la S/E Batuco (ver anexo I y II) corresponde a un 43,07 % (Factor Split Sf).

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

Run ID.....................................: SE Batuco
Central Station Name.......................: Batuco
Total Number of Terminals..................:   1
Average Soil Resistivity...................:   100.00     ohm-meters
Printout Option............................: Detailed


Central Station: Batuco

Ground Resistance..........................:   1.5200     ohms
Ground Reactance...........................:   0.0000     ohms


Terminal No.    1 : Cerro Navia

Number of Sections.........:   281
Ground Impedance...........:   5.0000     +j   0.0000     ohms
Source Current.............:   11720.     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....:   2458.9     Amps  /  -80.913     deg.
               Terminal Earth Potential Rise...:   12295.     Volts /  -80.913     deg.
               Neutral Current at Central Site.:   6693.7     Amps  /   83.999     deg.

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

Total Fault Current.....:   11720.      Amps  /   87.000     degrees
Total Neutral Current...:   6693.7      Amps  /   83.999     degrees
Total Earth Current.....:   5047.7      Amps  /   90.981     degrees
Current Split Factor....:  0.43069     (p.u.) /   3.9808     degrees
Ground Potential Rise (GPR)...:   7672.5      Volts /   90.981     degrees

End of Report #1
```

Figura 1: Resultado de factor split S/E Batuco

5.1. Cálculo de Sección Admisible S/E Batuco

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

I = 11,71 kA (Corriente de cortocircuito residual máxima sin derrateo por efecto de cable de guardia del año 2019).

I = 11,91 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} = 58,46 MCM (29,62 mm2) año 2019

Luego, A_{kcmil} = 59,46 MCM (30,13 mm2) año 2024

Por razones mecánicas y estandarización, el conductor para 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.

5.2. Malla de Puesta a Tierra S/E Batuco (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 43,07%, indicada en el capítulo 5 de este documento, y una persona de 50 kg, siendo este el caso más desfavorable.

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.

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].

Tensiones máximas de Paso y de Contacto calculadas mediante software para la Malla de Puesta a Tierra:

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

La figura 2 muestra el resumen del cálculo de las tensiones de paso y contacto tolerables.

Las figuras 3 y 4 muestra la distribución de las tensiones de contacto calculadas.

Las figuras 5 y 6 muestra la distribución de las tensiones de paso calculadas.

Por último, en la figura 7, se presenta el valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra la que asciende a un valor de 1,52 ohms.

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

 Computed Touch Voltage.....................................( V ):  753.60

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

 Network Specifications

     System Frequency.....................................(Hertz):  50.000
     Shock Duration.....................................(Seconds): 0.50000
     X/R Ratio.....................................................:  5.1360
     Computed Decrement Factor.....................................:  1.0162

 Site Data

     Surface Layer Thickness.................................( m ): 0.15240
     Surface Layer Resistivity.............................(Ohm-m):  3000.0
     Sub-Surface Layer Resistivity........................(Ohm-m):  30.800
     Foot Resistance Calculation Method...........................: IEEE Std.80-2013
        Computed Foot Resistance.................( Ohm per foot ):  7336.5
        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 ):  2530.1

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

 Network Specifications

     System Frequency.....................................(Hertz):  50.000
     Shock Duration.....................................(Seconds): 0.50000
     X/R Ratio.....................................................:  5.1360
     Computed Decrement Factor.....................................:  1.0162

 Site Data

     Surface Layer Thickness.................................( m ): 0.15240
     Surface Layer Resistivity.............................(Ohm-m):  3000.0
     Sub-Surface Layer Resistivity........................(Ohm-m):  30.800
     Foot Resistance Calculation Method...........................: IEEE Std.80-2013
        Computed Foot Resistance.................( Ohm per foot ):  7336.5
        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 2: Límites de tensión SES CDEGS S/E Batuco

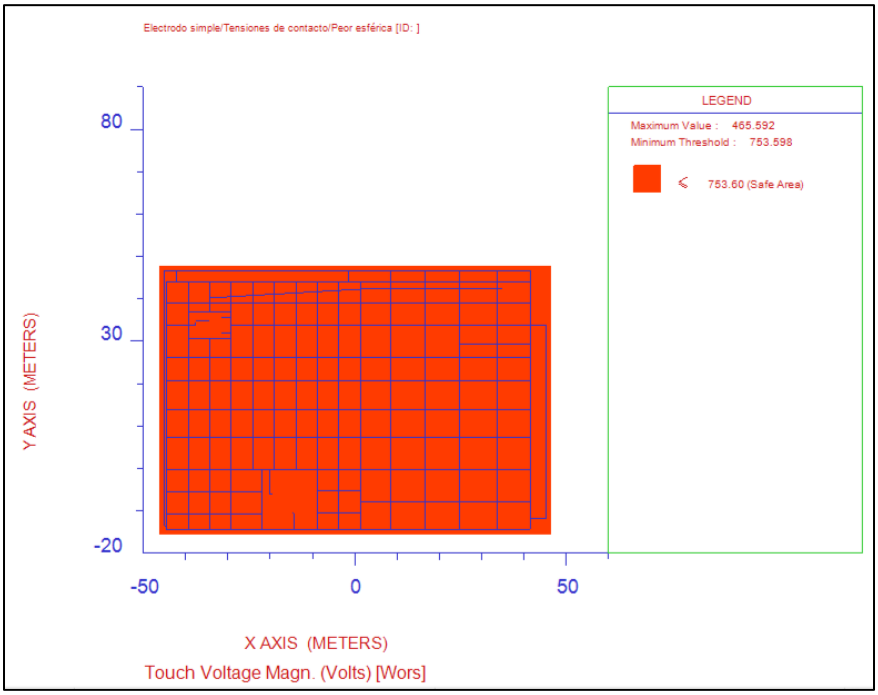


Figura 3: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Batuco

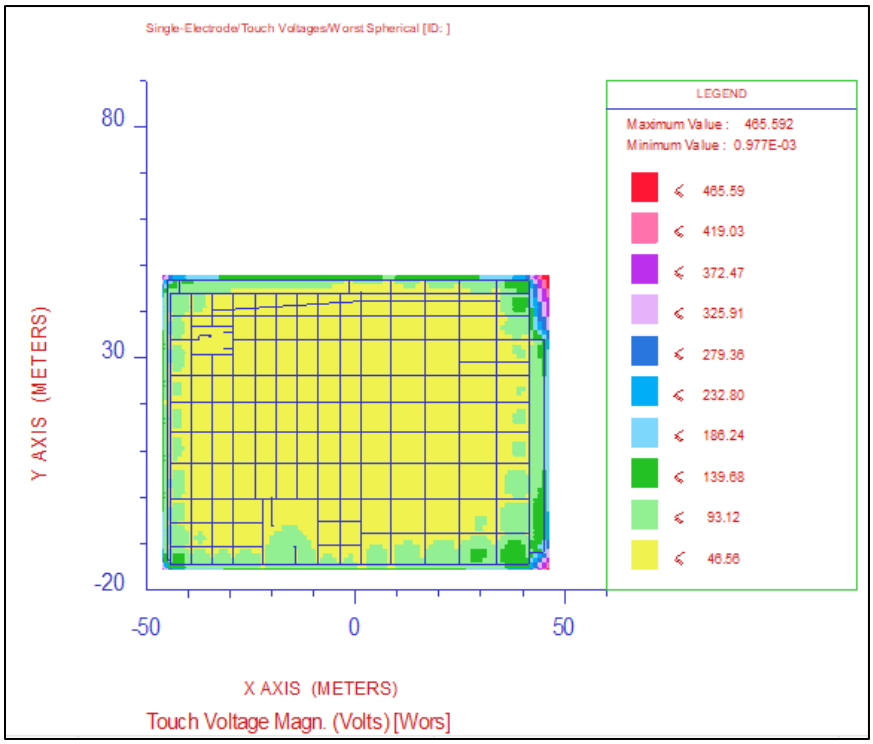


Figura 4: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Batuco

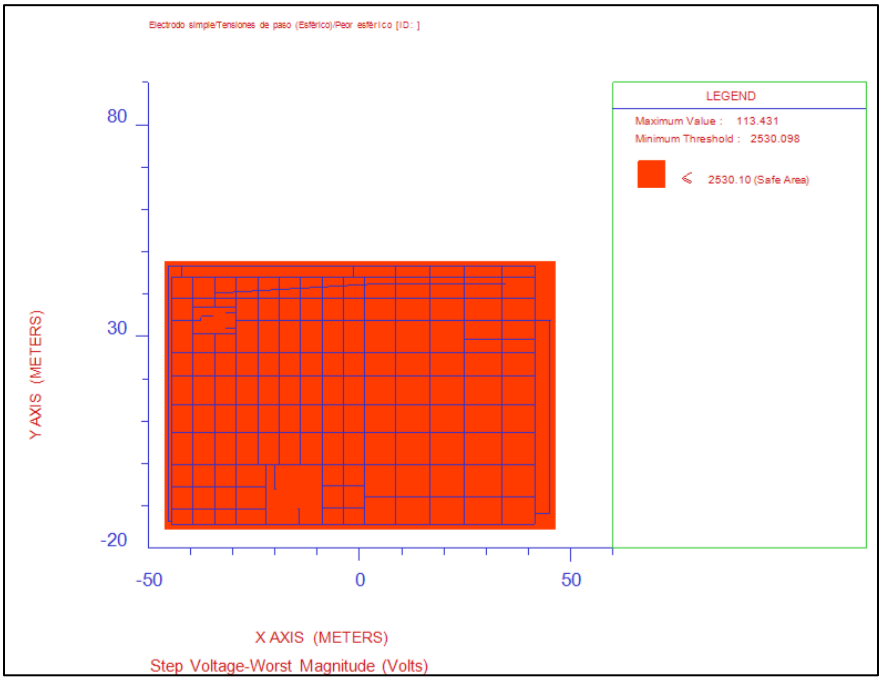


Figura 5: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Batuco

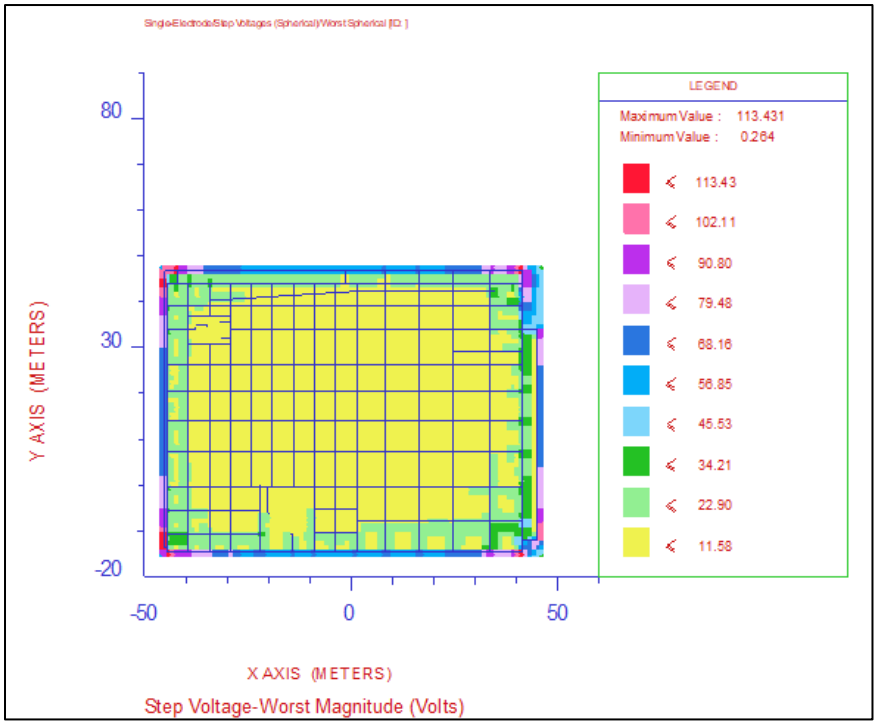


Figura 6: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Batuco

```
==========< 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...............:  0.43069
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       30.8000      0.180000
      3   Soil  -0.212121       20.0200       10.8000
      4   Soil   0.999960       999999.          Infinite
1

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

Original Electrical Current Flowing In Electrode..:   11714.     amperes
Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:  0.43069
Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   5045.1     amperes
Number of Conductors in Electrode.................:   100
Resistance of Electrode System....................:   1.5149     ohms


SUBDIVISION
===========
Grand Total of Conductors After Subdivision.:   570


Total Current Flowing In Main Electrode......:   5045.1     amperes
Total Buried Length of Main Electrode........:   2104.4     meters


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

Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   7642.9     volts
```

Figura 7: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Batuco

5.3. Malla de Puesta a Tierra S/E Batuco (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 43,07%, indicada en el capítulo 5 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].

Tensiones máximas de Paso y de Contacto calculadas mediante software para la Malla de Puesta a Tierra:

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

Las figuras 8 y 9 muestra la distribución de las tensiones de contacto calculadas.

Las figuras 10 y 11 muestra la distribución de las tensiones de paso calculadas.

Por último, en la figura 12, se presenta el valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra la que asciende a un valor de 1,52 ohms.

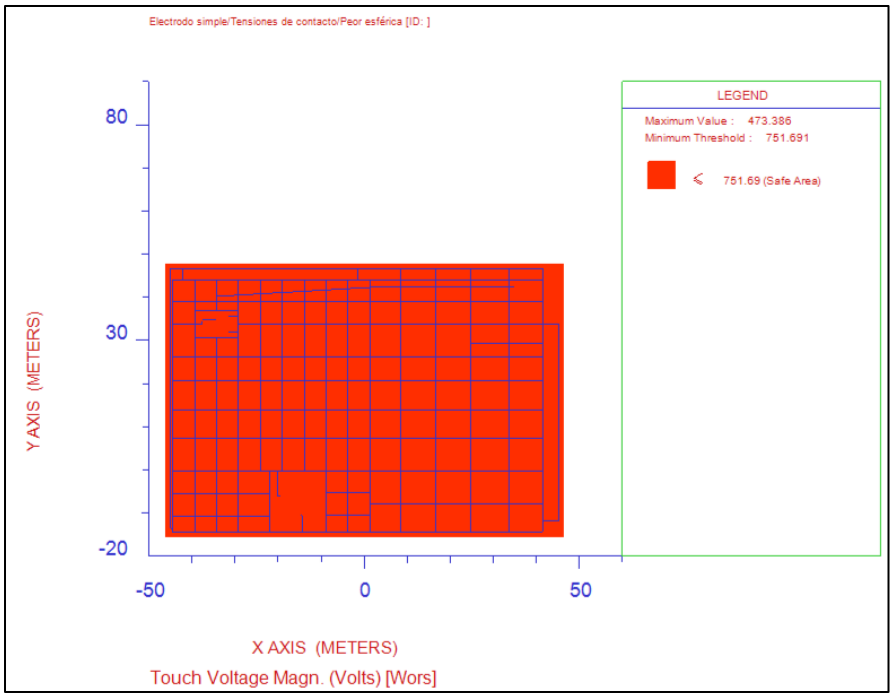


Figura 8: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Batuco

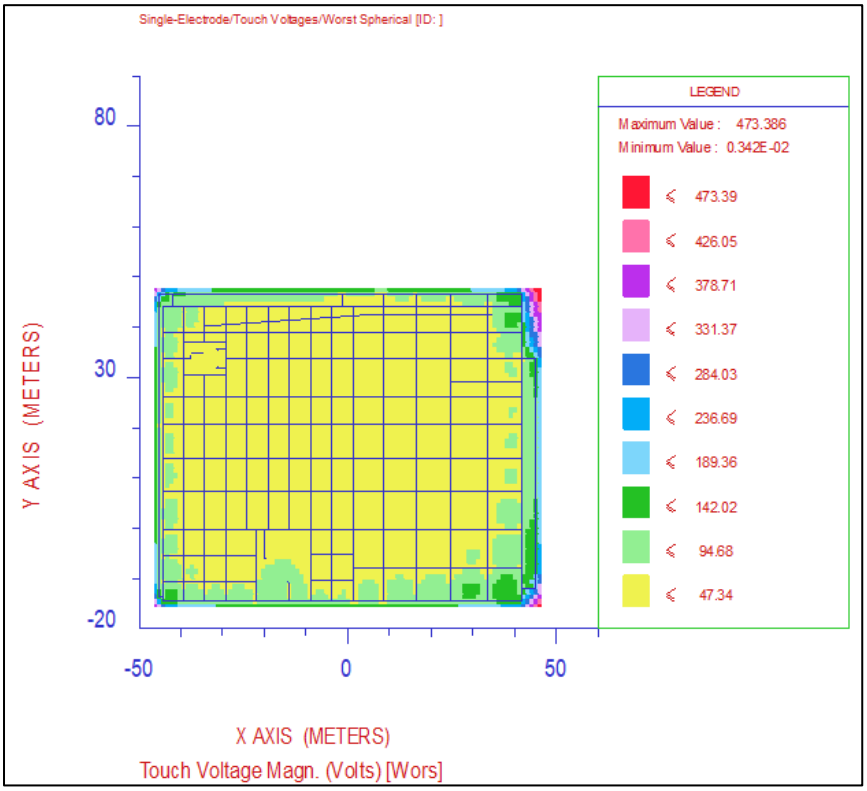


Figura 9: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Batuco

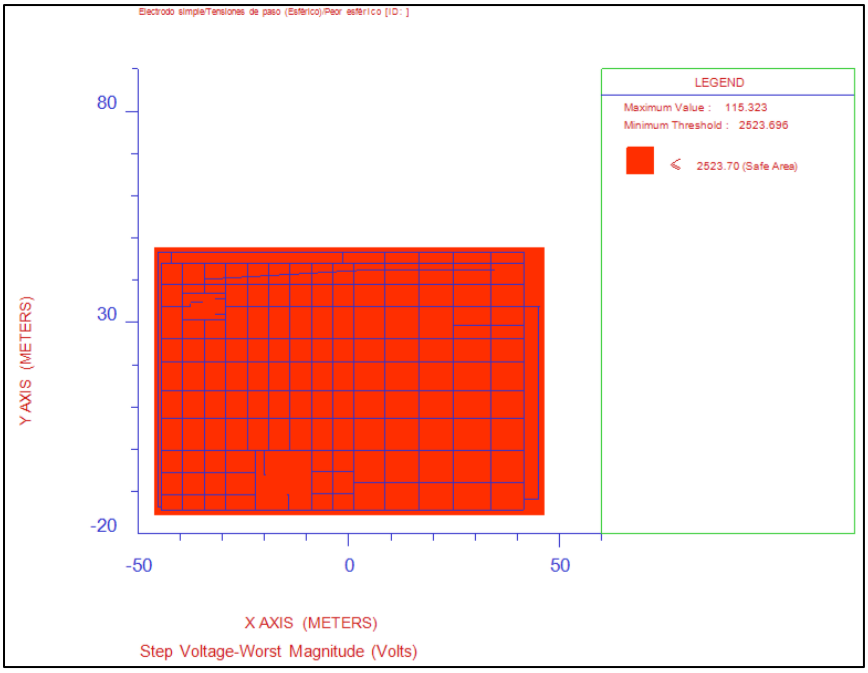


Figura 10: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Batuco

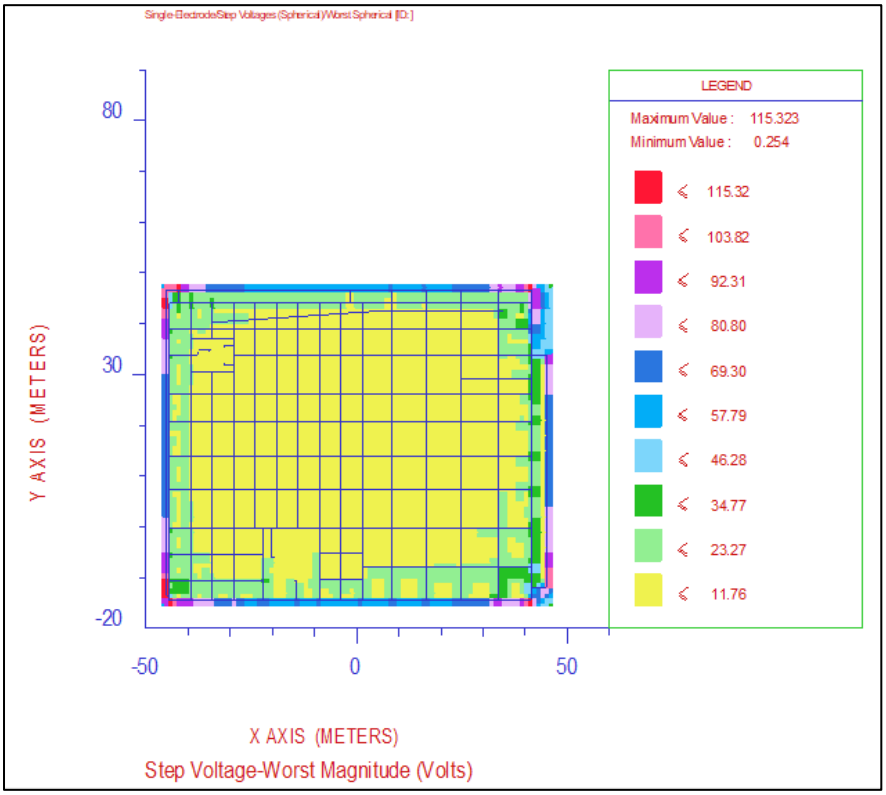


Figura 11: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Batuco

```
==========< 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...............:  0.43069
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      30.8000       0.180000
       3   Soil   -0.212121      20.0200       10.8000
       4   Soil    0.999960      999999.          Infinite
1

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

 Original Electrical Current Flowing In Electrode..:   11910.     amperes
 Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:  0.43069
 Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   5129.5     amperes
 Number of Conductors in Electrode.................:   100
 Resistance of Electrode System....................:   1.5149     ohms


 SUBDIVISION
 ===========
 Grand Total of Conductors After Subdivision.:   570


 Total Current Flowing In Main Electrode......:   5129.5     amperes
 Total Buried Length of Main Electrode........:   2104.4     meters


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

 Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   7770.7     volts
```

Figura 12: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Batuco

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

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

Tabla 1: Resistencia de diseño S/E Batuco 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]
Batuco	2104,4	29	1,52	5045,1

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

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE PASO EP-máx [V]	TENSIÓN DE PASO CÁLCULADA EP-cal [V]	CUMPLIMIENTO EP-mäx>EP-cal
Batuco	2530,1	113,43	Si

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

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE CONTACTO EC-máx [V]	TENSIÓN DE CONTACTO CÁLCULADA EC-cal [V]	CUMPLIMIENTO EC-mäx>EC-cal
Batuco	753,6	465,59	Si

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

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

Tabla 4: Resistencia de diseño S/E Batuco 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]
Batuco	2104,4	29	1,52	5129,5

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

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE PASO EP-máx [V]	TENSIÓN DE PASO CÁLCULADA EP-cal [V]	CUMPLIMIENTO EP-mäx>EP-cal
Batuco	2523,7	115,32	Si

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

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE CONTACTO EC-máx [V]	TENSIÓN DE CONTACTO CÁLCULADA EC-cal [V]	CUMPLIMIENTO EC-mäx>EC-cal
Batuco	751,69	473,39	Si

6. Condiciones Generales S/E Los Almendros

Para la evaluación de la malla de puesta a tierra (MPT) de la subestación Los Almendros, 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 monofásico a tierra en la barra 110 kV del año 2019 y [6] correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) del año 2024 de la subestación Los Almendros.

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

El resultado de la modelación del cable de guardia, obteniendo que el factor de división de corriente de la malla para el año 2019 y 2024 en la S/E Los Almendros (ver anexo I y II) corresponde a un 50,00 % (Factor Split Sf).

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

Run ID.....................................: SE Los Almendros
Central Station Name.......................: los Almendro
Total Number of Terminals..................:   4
Average Soil Resistivity...................:   100.00     ohm-meters
Printout Option............................: Detailed
1

Central Station: los Almendro

Ground Resistance..........................:  0.79000     ohms
Ground Reactance...........................:   0.0000     ohms

1
Terminal No.    1 : Alfalfal

Number of Sections.........:   177
Ground Impedance...........:   5.0000     +j   0.0000     ohms
Source Current.............:   11400.     Amps  /   87.000     degrees
Neutral Connection Impedance....:   0.0000     +j   0.0000     ohms
Span Length................:  250.00     m
1
Terminal No.    2 : El Salto

Number of Sections.........:    88
Ground Impedance...........:   5.0000     +j   0.0000     ohms
Source Current.............:   3270.0     Amps  /   87.000     degrees
Neutral Connection Impedance....:   0.0000     +j   0.0000     ohms
Span Length................:  200.00     m
1
Terminal No.    3 : Alto Jahuel

Number of Sections.........:   110
Ground Impedance...........:   5.0000     +j   0.0000     ohms
Source Current.............:   11400.     Amps  /   87.000     degrees
Neutral Connection Impedance....:   0.0000     +j   0.0000     ohms
Span Length................:  369.00     m
1
Terminal No.    4 : Florida

Number of Sections.........:    91
Ground Impedance...........:   5.0000     +j   0.0000     ohms
Source Current.............:   2200.0     Amps  /   87.000     degrees
Neutral Connection Impedance....:   0.0000     +j   0.0000     ohms
Span Length................:  200.00     m
1
SUMMARY OF RESULTS FOR TERMINALS (Magn./Angle)

Terminal   1: Total Terminal Earth Current....:   2721.9     Amps  /  -79.494     deg.
               Terminal Earth Potential Rise...:   13610.     Volts /  -79.494     deg.
               Neutral Current at Central Site.:   7084.1     Amps  /   77.669     deg.
Terminal   2: Total Terminal Earth Current....:   1489.1     Amps  /  -90.547     deg.
               Terminal Earth Potential Rise...:   7445.6     Volts /  -90.547     deg.
               Neutral Current at Central Site.:   2186.3     Amps  /   82.925     deg.
Terminal   3: Total Terminal Earth Current....:   4989.1     Amps  /  -92.092     deg.
               Terminal Earth Potential Rise...:   24946.     Volts /  -92.092     deg.
               Neutral Current at Central Site.:   2912.4     Amps  /   99.179     deg.
Terminal   4: Total Terminal Earth Current....:   1002.2     Amps  /  -90.491     deg.
               Terminal Earth Potential Rise...:   5010.9     Volts /  -90.491     deg.
               Neutral Current at Central Site.:   2155.5     Amps  /   81.341     deg.

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

Total Fault Current............:   28270.      Amps  /   87.000     degrees
Total Neutral Current..........:   14192.      Amps  /   83.355     degrees
Total Earth Current............:   14136.      Amps  /   90.659     degrees
Current Split Factor...........:  0.50003     (p.u.) /   3.6591     degrees
Ground Potential Rise (GPR)....:   11167.      Volts /   90.659     degrees

End of Report #1
```

Figura 13: Resultado factor split S/E Los Almendros

6.1. Cálculo de Sección Admisible S/E Los Almendros

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

I = 28,27 kA (Corriente de cortocircuito residual máxima sin derrateo por efecto de cable de guardia del año 2019).

I = 29,96 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} = 141,13 MCM (71,51 mm2) año 2019

Luego, A_{kcmil} = 149,57 MCM (75,79 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.

6.2. Malla de Puesta a Tierra S/E Los Almendros (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 50,00%, indicada en el capítulo 6.1 de este documento, y una persona de 50 kg, siendo este el caso más desfavorable.

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.

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].

Tensiones máximas de Paso y de Contacto calculadas mediante software para la Malla de Puesta a Tierra:

Se verifica que la tensión de paso es menor a la tolerable, mientras que, la tensión de contacto calculada se observa una gran zona de incumplimiento a la tensión tolerable.

La figura 14 muestra el resumen del cálculo de las tensiones de paso y contacto tolerables.

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

Las figuras 17 y 18 muestra la distribución de las tensiones de paso calculadas.

Por último, en la figura 19, se presenta el valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra la que asciende a un valor de 0,79 ohms.

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

  Computed Touch Voltage.....................................( V ):  749.95

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

  Network Specifications

      System Frequency.....................................(Hertz):  50.000
      Shock Duration.....................................(Seconds): 0.50000
      X/R Ratio..................................................:  7.9640
      Computed Decrement Factor..................................:  1.0250

  Site Data

      Surface Layer Thickness.................................( m ): 0.15240
      Surface Layer Resistivity.............................(Ohm-m):  3000.0
      Sub-Surface Layer Resistivity.........................(Ohm-m):  67.500
      Foot Resistance Calculation Method.........................: IEEE Std.80-2013
         Computed Foot Resistance.................( Ohm per foot ):  7372.0
         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 ):  2519.7

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

  Network Specifications

      System Frequency.....................................(Hertz):  50.000
      Shock Duration.....................................(Seconds): 0.50000
      X/R Ratio..................................................:  7.9640
      Computed Decrement Factor..................................:  1.0250

  Site Data

      Surface Layer Thickness.................................( m ): 0.15240
      Surface Layer Resistivity.............................(Ohm-m):  3000.0
      Sub-Surface Layer Resistivity.........................(Ohm-m):  67.500
      Foot Resistance Calculation Method.........................: IEEE Std.80-2013
         Computed Foot Resistance.................( Ohm per foot ):  7372.0
         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 14: Límites de tensión SES CDEGS S/E Los Almendros

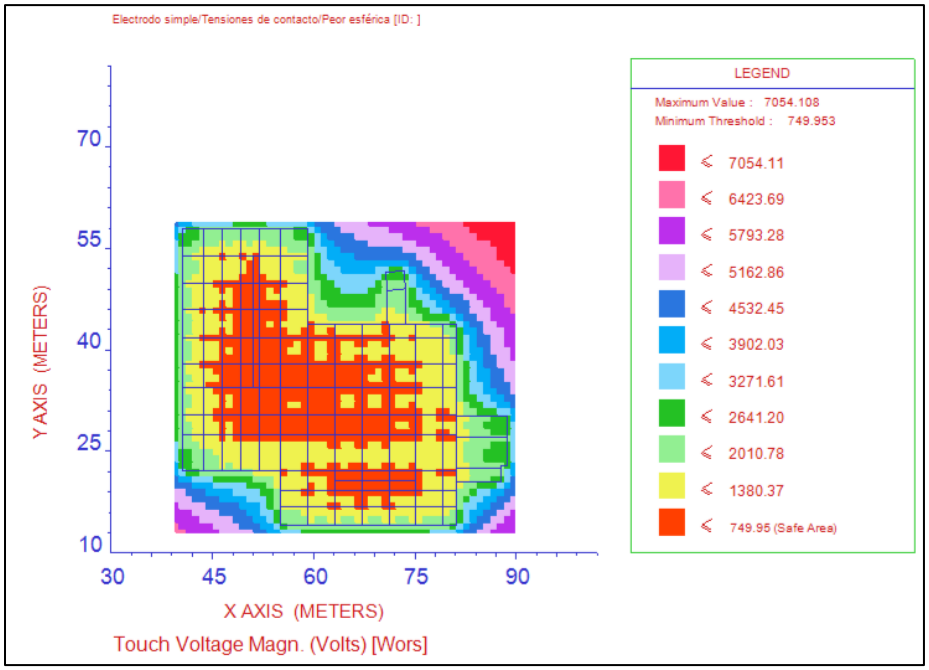


Figura 15: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Los Almendros

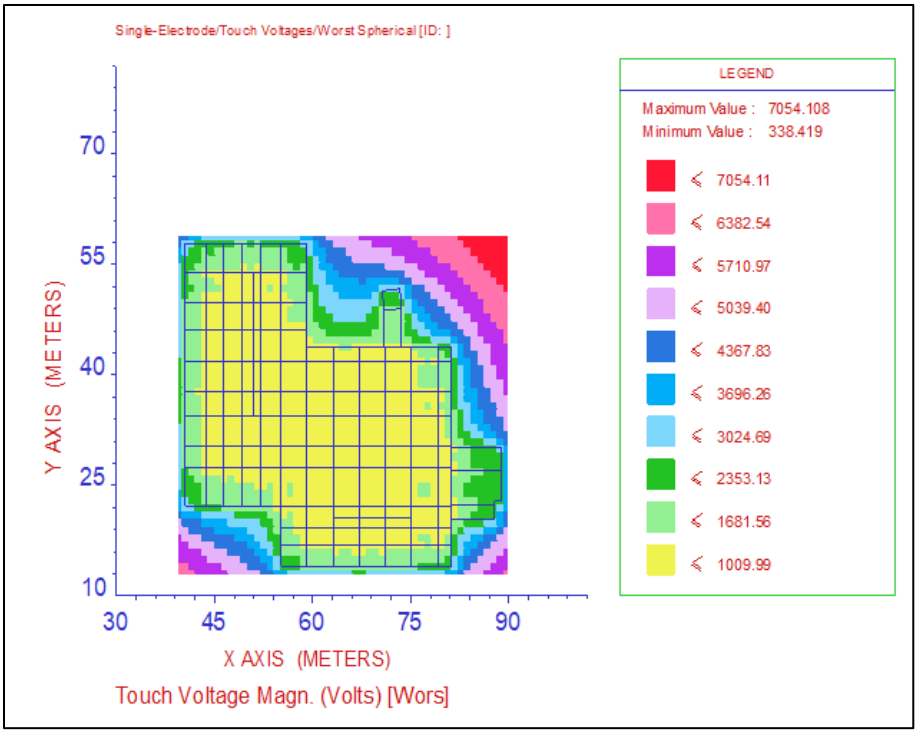


Figura 16: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Los Almendros

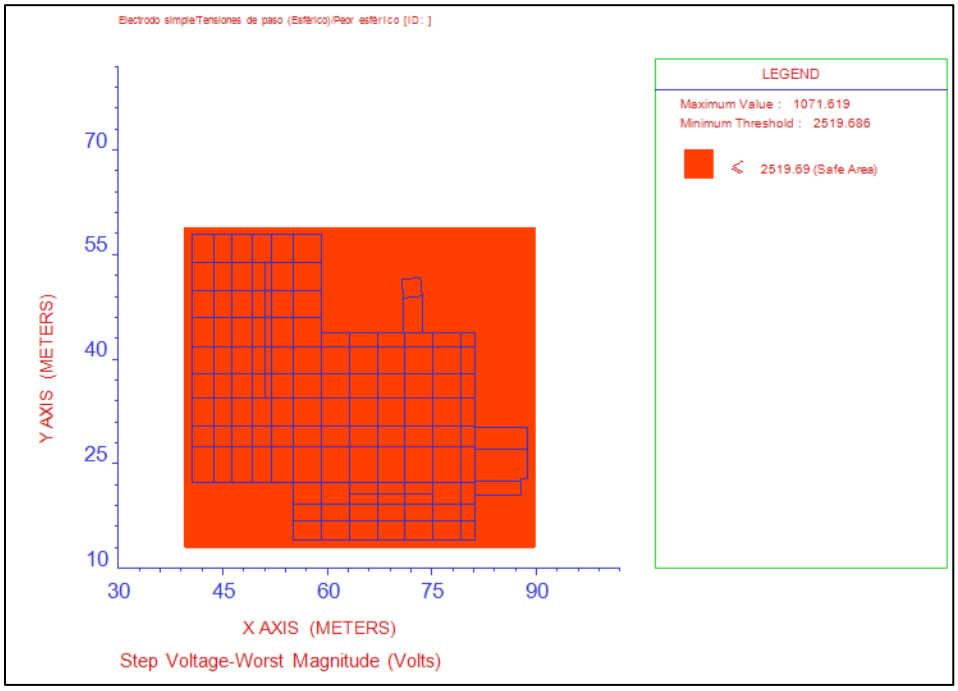


Figura 17: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Los Almendros

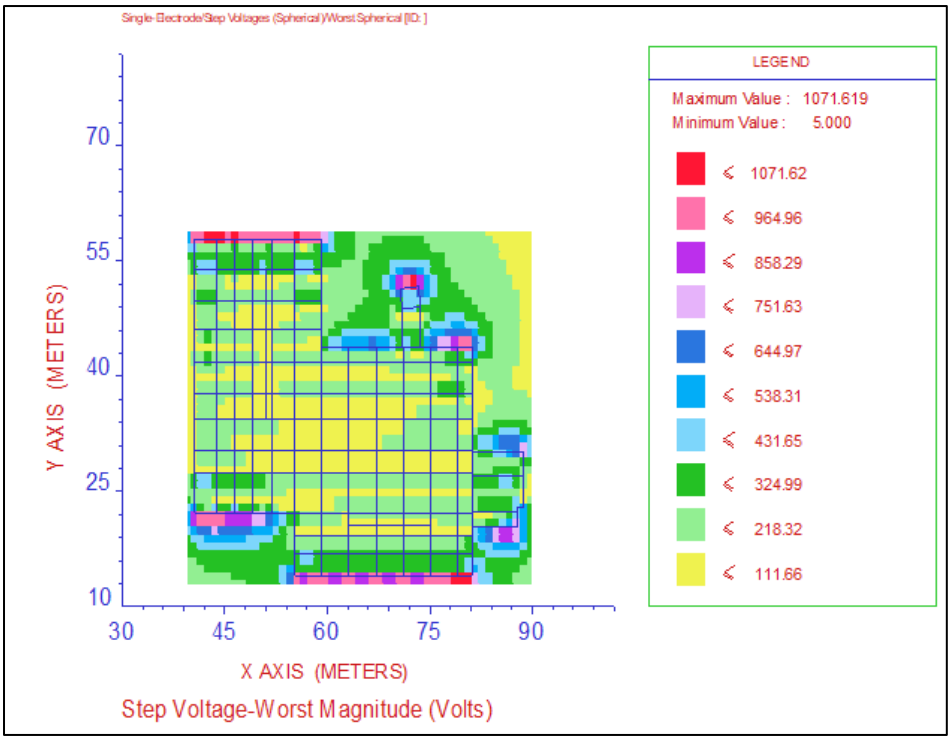


Figura 18: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Los Almendros

```
==========< 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...............:  0.50000
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       67.5000        10.0000
      3   Soil    0.00000       67.5000           Infinite
1

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

Original Electrical Current Flowing In Electrode..:   28270.     amperes
Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:  0.50000
Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   14135.     amperes
Number of Conductors in Electrode.................:    42
Resistance of Electrode System....................:  0.78613     ohms


SUBDIVISION
===========
Grand Total of Conductors After Subdivision.:   315


Total Current Flowing In Main Electrode......:   14135.     amperes
Total Buried Length of Main Electrode........:   954.07     meters


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

Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   11112.     volts
```

Figura 19: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Los Almendros

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

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].

Tensiones máximas de Paso y de Contacto calculadas mediante software para la Malla de Puesta a Tierra:

Se verifica que la tensión de paso es menor a la tolerable, mientras que, la tensión de contacto calculada se observa una gran zona de incumplimiento a la tensión tolerable.

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

Las figuras 22 y 23 muestra la distribución de las tensiones de paso calculadas.

Por último, en la figura 24, se presenta el valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra la que asciende a un valor de 0,79 ohms.

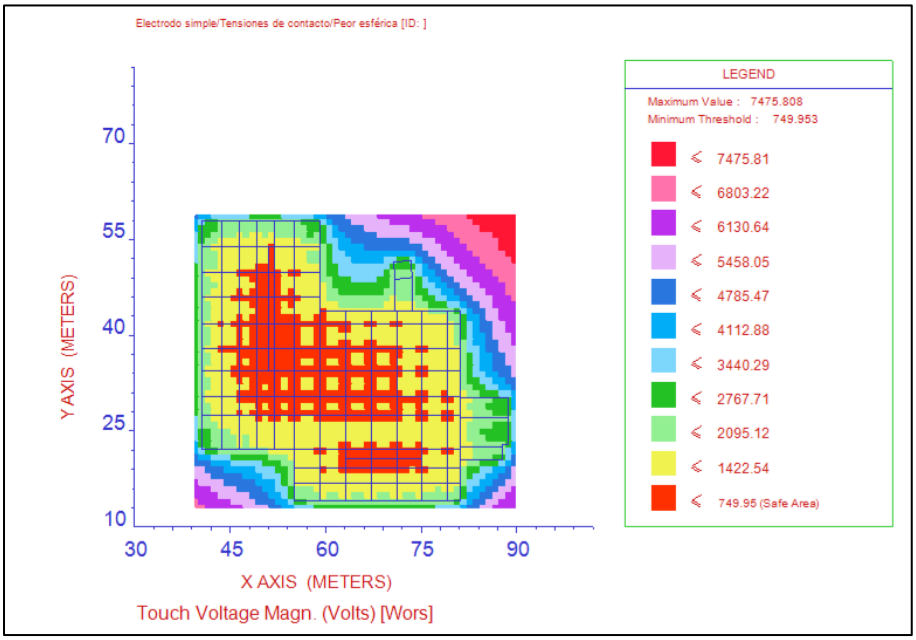


Figura 20: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Los Almendros

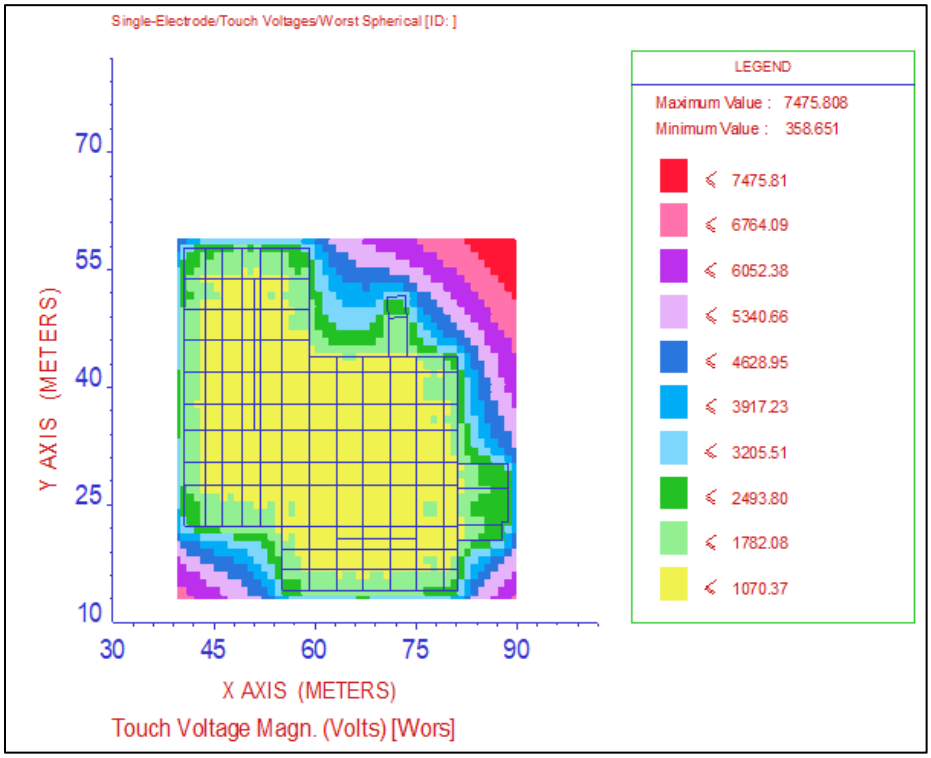


Figura 21: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Los Almendros

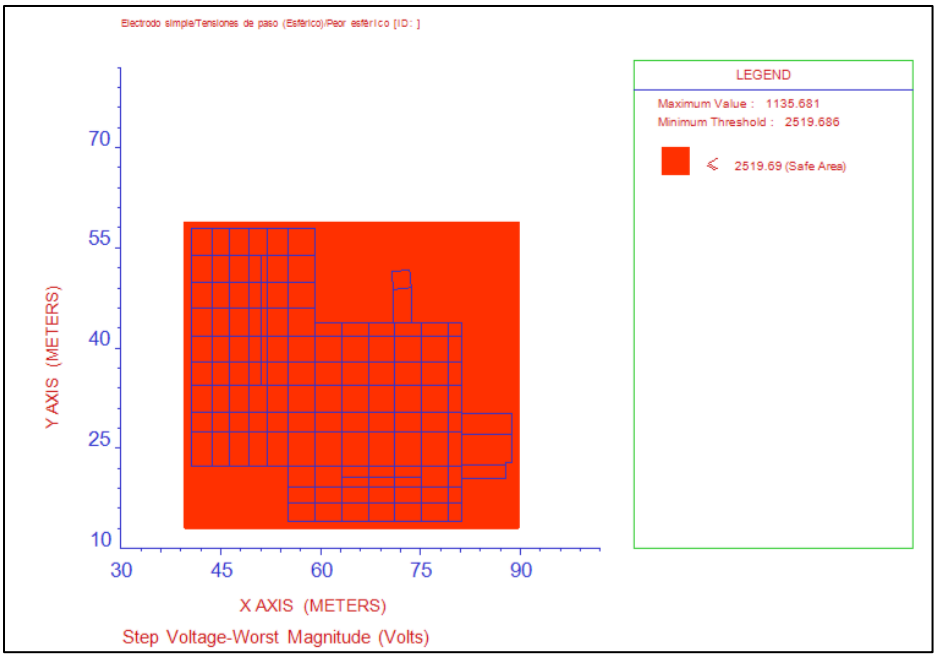


Figura 22: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Los Almendros

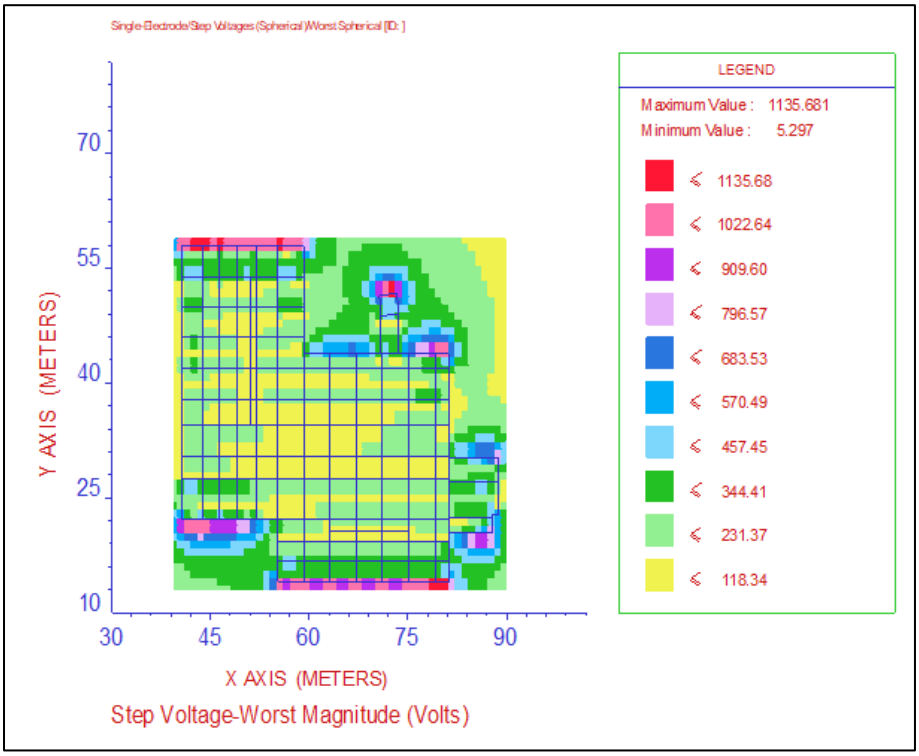


Figura 23: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Los Almendros

```
==========< 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...............:  0.50000
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       67.5000        10.0000
      3   Soil     0.00000       67.5000          Infinite
1

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

Original Electrical Current Flowing In Electrode..:   29960.     amperes
Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:  0.50000
Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   14980.     amperes
Number of Conductors in Electrode.................:    42
Resistance of Electrode System....................:  0.78613     ohms


SUBDIVISION
===========
Grand Total of Conductors After Subdivision.:   315


Total Current Flowing In Main Electrode......:   14980.     amperes
Total Buried Length of Main Electrode........:   954.07     meters


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

Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   11776.     volts
```

Figura 24: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Los Almendros

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

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

Tabla 7: Resistencia de diseño S/E Los Almendros 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]
Batuco	954,07	0	0,79	14,14

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

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE PASO EP-máx [V]	TENSIÓN DE PASO CÁLCULADA EP-cal [V]	CUMPLIMIENTO EP-mäx>EP-cal
Batuco	2519,69	1071,62	Si

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

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE CONTACTO EC-máx [V]	TENSIÓN DE CONTACTO CÁLCULADA EC-cal [V]	CUMPLIMIENTO EC-mäx>EC-cal
Batuco	749,95	3271,62	No

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

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

Tabla 10: Resistencia de diseño S/E Los Almendros 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]
Batuco	954,07	0	0,79	14,98

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

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE PASO EP-máx [V]	TENSIÓN DE PASO CÁLCULADA EP-cal [V]	CUMPLIMIENTO EP-mäx>EP-cal
Batuco	2519,69	1135,68	Si

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

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE CONTACTO EC-máx [V]	TENSIÓN DE CONTACTO CÁLCULADA EC-cal [V]	CUMPLIMIENTO EC-mäx>EC-cal
Batuco	749,96	2767,71	No

7. Condiciones Generales S/E Pajaritos

Para la evaluación de la malla de puesta a tierra (MPT) de la subestación Pajaritos, 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 monofásico a tierra en la barra 110 kV del año 2019 y [6] correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) del año 2024 de la subestación Pajaritos.

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

El resultado de la modelación del cable de guardia, obteniendo que el factor de división de corriente de la malla para el año 2019 y 2024 en la S/E Pajaritos (ver anexo I y II) corresponde a un 18,60 % (Factor Split Sf).

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

Run ID.....................................: SE Pajaritos
Central Station Name.......................: Parajitos
Total Number of Terminals..................:   1
Average Soil Resistivity...................:   100.00     ohm-meters
Printout Option............................: Detailed


Central Station: Parajitos

Ground Resistance..........................:   6.6970     ohms
Ground Reactance...........................:   0.0000     ohms


Terminal No.    1 : Cerro Navia

Number of Sections.........:    45
Ground Impedance...........:   5.0000     +j   0.0000     ohms
Source Current.............:   16697.     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....:   3652.6     Amps  /  -73.654     deg.
               Terminal Earth Potential Rise...:   18263.     Volts /  -73.654     deg.
               Neutral Current at Central Site.:   13873.     Amps  /   82.139     deg.

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

Total Fault Current.....:   16697.      Amps  /   87.000     degrees
Total Neutral Current...:   13873.      Amps  /   82.139     degrees
Total Earth Current.....:   3105.1      Amps  /   109.25     degrees
Current Split Factor....:  0.18597     (p.u.) /   22.247     degrees
Ground Potential Rise (GPR):   20795.      Volts /   109.25     degrees

End of Report #1
```

Figura 25: Resultado factor split S/E Pajaritos

7.1. Cálculo de Sección Admisible

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

I = 16,68 kA (Corriente de cortocircuito residual máxima sin derrateo por efecto de cable de guardia del año 2019).

I = 16,94 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} = 80,36 MCM (40,71 mm2) año 2019

Luego, A_{kcmil} = 84,57 MCM (42,85 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 Pajaritos (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 18,60 %, indicada en el capítulo 7.1 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].

Tensiones máximas de Paso y de Contacto calculadas mediante software para la Malla de Puesta a Tierra:

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

La figura 26 muestra el resumen del cálculo de las tensiones de paso y contacto tolerables.

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

Las figuras 29 y 30 muestra la distribución de las tensiones de paso calculadas.

Por último, en la figura 31, se presenta el valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra la que asciende a un valor de 6,09 ohms.

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

 Computed Touch Voltage.....................................( V ):  792.92

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

 Network Specifications

     System Frequency.....................................(Hertz):  50.000
     Shock Duration.....................................(Seconds): 0.50000
     X/R Ratio..................................................:  4.4880
     Computed Decrement Factor..................................:  1.0142

 Site Data

     Surface Layer Thickness.................................( m ): 0.15240
     Surface Layer Resistivity.............................(Ohm-m):  3000.0
     Sub-Surface Layer Resistivity.........................(Ohm-m):  550.00
     Foot Resistance Calculation Method.........................: IEEE Std.80-2013
        Computed Foot Resistance..................( Ohm per foot ):  7804.0
        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 ):  2686.4

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

 Network Specifications

     System Frequency.....................................(Hertz):  50.000
     Shock Duration.....................................(Seconds): 0.50000
     X/R Ratio..................................................:  4.4880
     Computed Decrement Factor..................................:  1.0142

 Site Data

     Surface Layer Thickness.................................( m ): 0.15240
     Surface Layer Resistivity.............................(Ohm-m):  3000.0
     Sub-Surface Layer Resistivity.........................(Ohm-m):  550.00
     Foot Resistance Calculation Method.........................: IEEE Std.80-2013
        Computed Foot Resistance..................( Ohm per foot ):  7804.0
        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 26: Límites de tensión SES CDEGS S/E Pajaritos

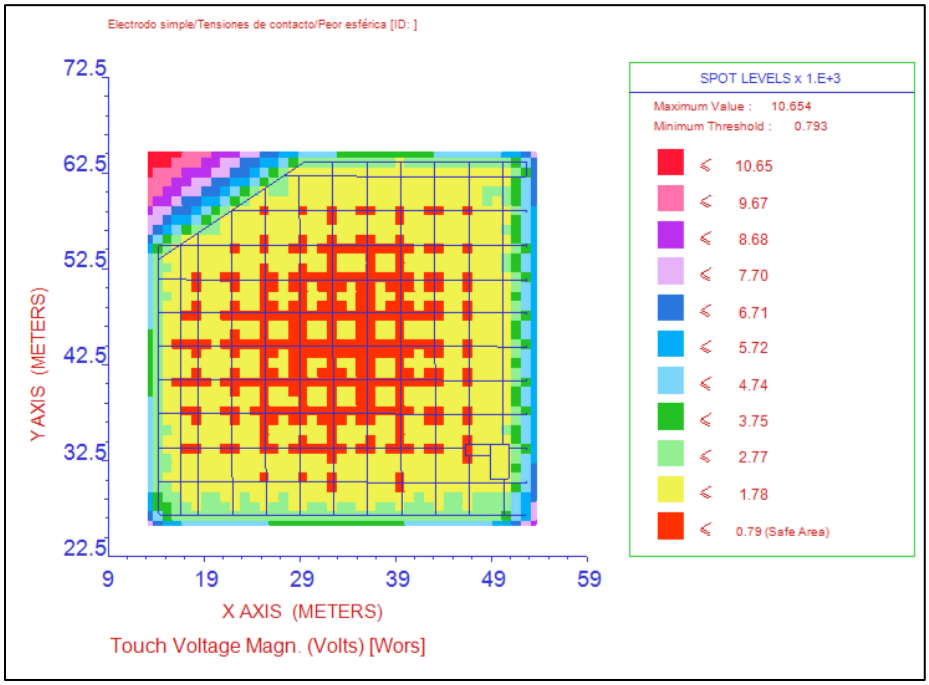


Figura 27: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Pajaritos

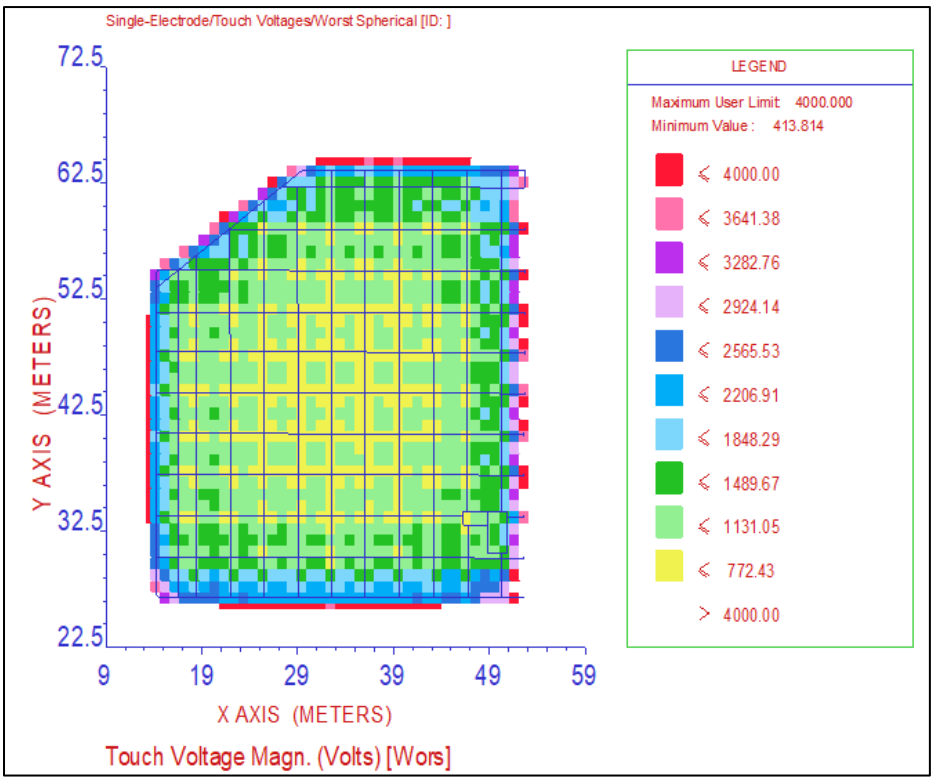


Figura 28: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Pajaritos

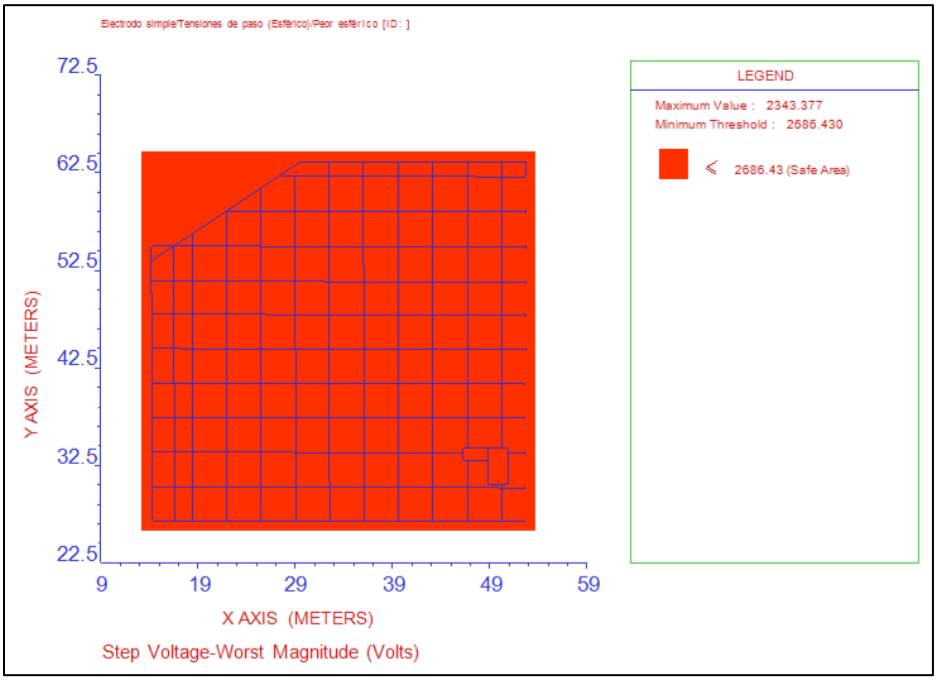


Figura 29: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Pajaritos

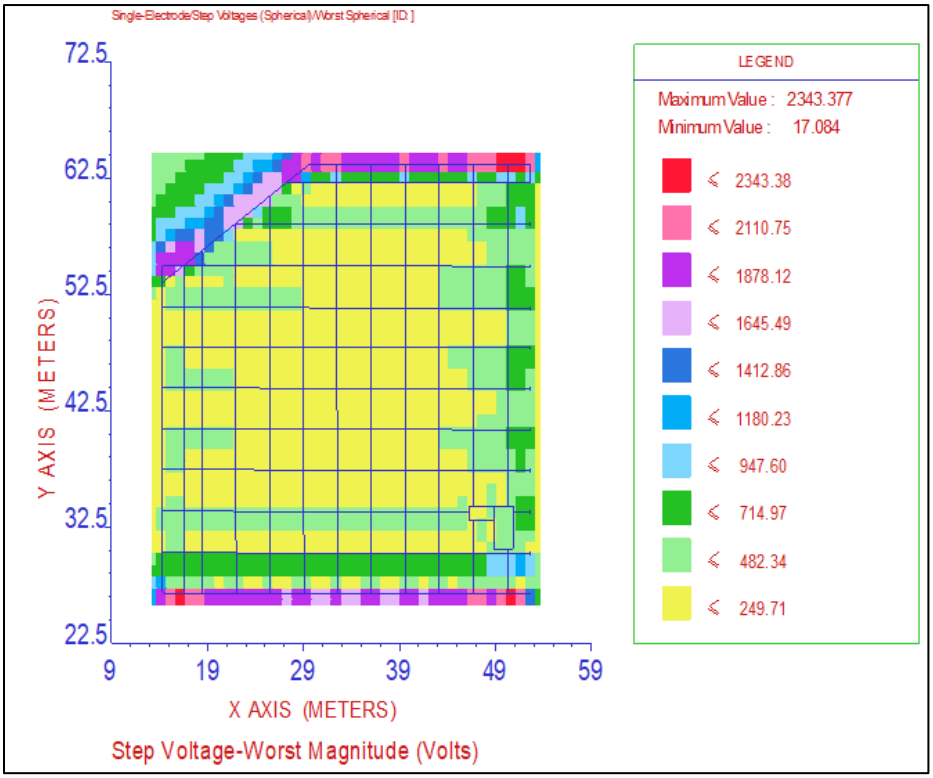


Figura 30: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Pajaritos

```
==========< 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...............:  0.18597
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       550.000       1.00000
      3   Soil    0.00000       550.000          Infinite
1

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

Original Electrical Current Flowing In Electrode..:   16681.     amperes
Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:  0.18597
Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   3102.2     amperes
Number of Conductors in Electrode.................:    51
Resistance of Electrode System....................:   6.6970     ohms


SUBDIVISION
===========
Grand Total of Conductors After Subdivision.:   298


Total Current Flowing In Main Electrode......:   3102.2     amperes
Total Buried Length of Main Electrode........:   863.35     meters


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

Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   20775.     volts
```

Figura 31: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Pajaritos

7.3. Malla de Puesta a Tierra S/E Pajaritos (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 18,60 %, indicada en el capítulo 7.1 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].

Tensiones máximas de Paso y de Contacto calculadas mediante software para la Malla de Puesta a Tierra:

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

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

Las figuras 34 y 35 muestra la distribución de las tensiones de paso calculadas.

Por último, en la figura 36, se presenta el valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra la que asciende a un valor de 6.09 ohms.

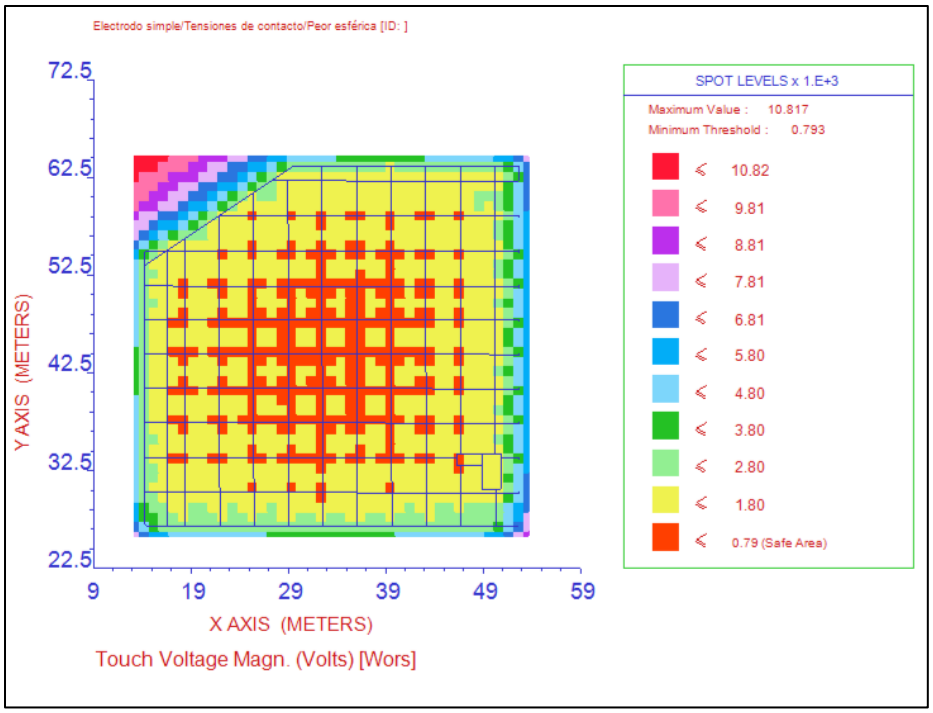


Figura 32: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Pajaritos

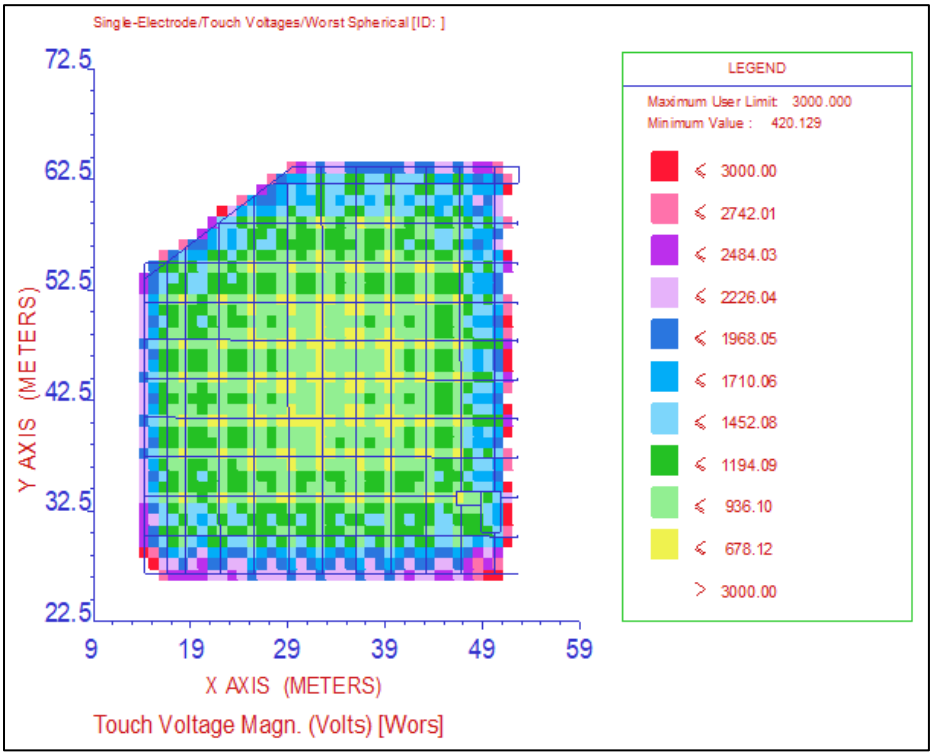


Figura 33: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Pajaritos

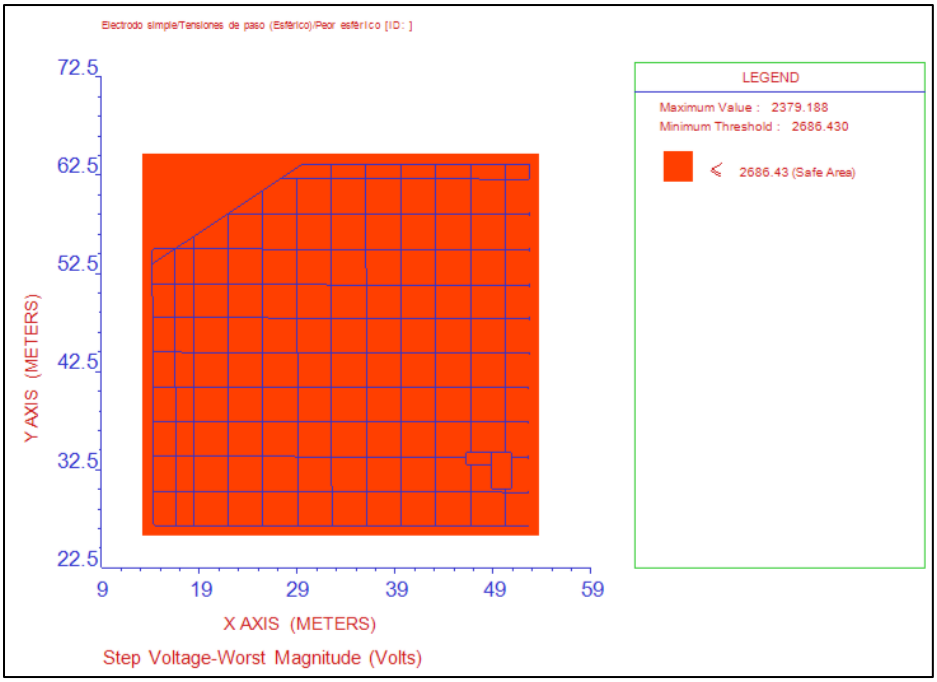


Figura 34: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Pajaritos

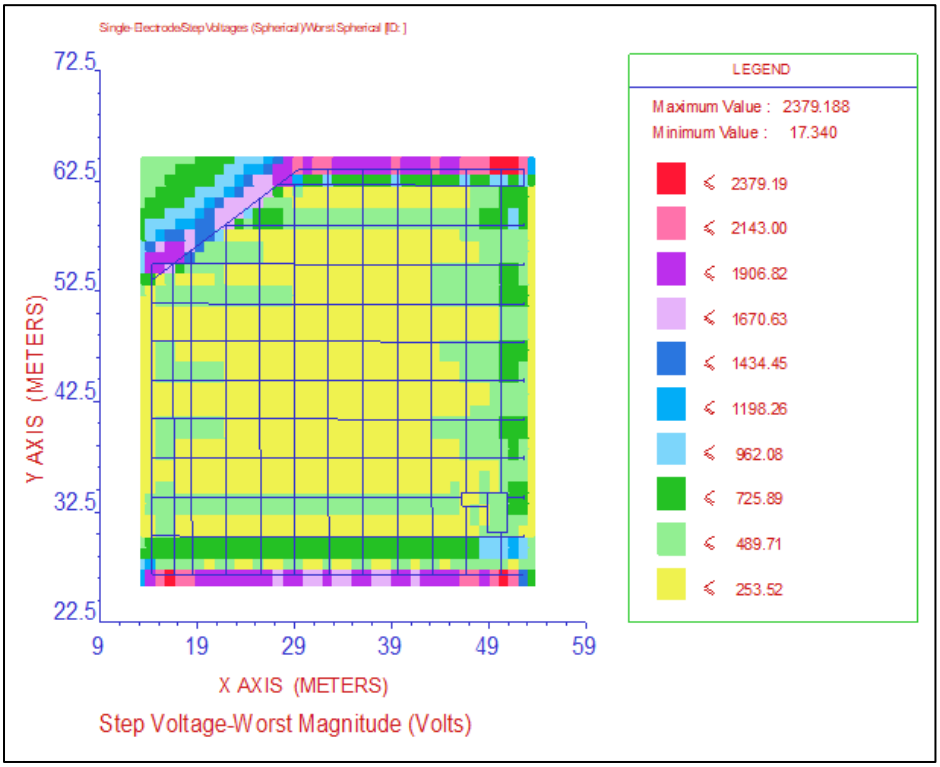


Figura 35: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Pajaritos

```
==========< 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...............:  0.18597
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       550.000       1.00000
      3   Soil    0.00000       550.000          Infinite
1

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

Original Electrical Current Flowing In Electrode..:   16936.     amperes
Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:  0.18597
Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   3149.6     amperes
Number of Conductors in Electrode.................:    51
Resistance of Electrode System....................:   6.6970     ohms


SUBDIVISION
===========
Grand Total of Conductors After Subdivision.:   298


Total Current Flowing In Main Electrode......:   3149.6     amperes
Total Buried Length of Main Electrode........:   863.35     meters


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

Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   21093.     volts
```

Figura 36: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Pajaritos

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

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

Tabla 13: Resistencia de diseño S/E Pajaritos 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]
Pajarito	863,35	0	6,70	3,10

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

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE PASO EP-máx [V]	TENSIÓN DE PASO CÁLCULADA EP-cal [V]	CUMPLIMIENTO EP-mäx>EP-cal
Pajarito	2686,43	2343,38	Si

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

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE CONTACTO EC-máx [V]	TENSIÓN DE CONTACTO CÁLCULADA EC-cal [V]	CUMPLIMIENTO EC-mäx>EC-cal
Pajarito	793	4740	No

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

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

Tabla 16: Resistencia de diseño S/E Pajaritos 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]
Pajarito	863,35	0	6,70	3,15

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

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE PASO EP-máx [V]	TENSIÓN DE PASO CÁLCULADA EP-cal [V]	CUMPLIMIENTO EP-mäx>EP-cal
Pajarito	2686,43	2379,19	Si

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

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE CONTACTO EC-máx [V]	TENSIÓN DE CONTACTO CÁLCULADA EC-cal [V]	CUMPLIMIENTO EC-mäx>EC-cal
Pajarito	793	4800	No

8. Condiciones Generales S/E Lo Aguirre

Para la evaluación de la malla de puesta a tierra (MPT) de la subestación Lo Aguirre, 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 12,5 kV del año 2019 y [6] correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) del año 2024 de la subestación Lo Aguirre.

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

El resultado de la modelación se realiza con corriente de la malla para el año 2019 y 2024 en la S/E Lo Aguirre (ver anexo I y II).

8.1. Cálculo de Sección Admisible

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

I = 5.53 kA (Corriente de cortocircuito residual máxima sin derrateo por efecto de cable de guardia del año 2019).

I = 5.54 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} = 27,61 MCM (13,99 mm2) año 2019

Luego, A_{kcmil} = 27,66 MCM (14,01 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 Lo Aguirre (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 5.53 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].

Tensiones máximas de Paso y de Contacto calculadas mediante software para la Malla de Puesta a Tierra:

Se verifica que las tensiones de paso y contacto es menor a la tolerable.

La figura 37 muestra el resumen del cálculo de las tensiones de paso y contacto tolerables.

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

Las figursa 40 y 41 muestra la distribución de las tensiones de paso calculadas.

Por último, en la figura 42, se presenta el valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra la que asciende a un valor de 0,40 ohms.

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

 Computed Touch Voltage.....................................( V ):  762.53

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

 Network Specifications

     System Frequency.....................................(Hertz):  50.000
     Shock Duration.......................................(Seconds): 0.50000
     X/R Ratio............................................:  1.7940
     Computed Decrement Factor............................:  1.0057

 Site Data

     Surface Layer Thickness..............................( m ): 0.15240
     Surface Layer Resistivity............................(Ohm-m):  3000.0
     Sub-Surface Layer Resistivity........................(Ohm-m):  44.000
     Foot Resistance Calculation Method...........................: IEEE Std.80-2013
        Computed Foot Resistance..................( Ohm per foot ):  7349.3
        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 ):  2560.7

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

 Network Specifications

     System Frequency.....................................(Hertz):  50.000
     Shock Duration.......................................(Seconds): 0.50000
     X/R Ratio............................................:  1.7940
     Computed Decrement Factor............................:  1.0057

 Site Data

     Surface Layer Thickness..............................( m ): 0.15240
     Surface Layer Resistivity............................(Ohm-m):  3000.0
     Sub-Surface Layer Resistivity........................(Ohm-m):  44.000
     Foot Resistance Calculation Method...........................: IEEE Std.80-2013
        Computed Foot Resistance..................( Ohm per foot ):  7349.3
        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
```

Figura 37: Límites de tensión SES CDEGS S/E Lo Aguirre

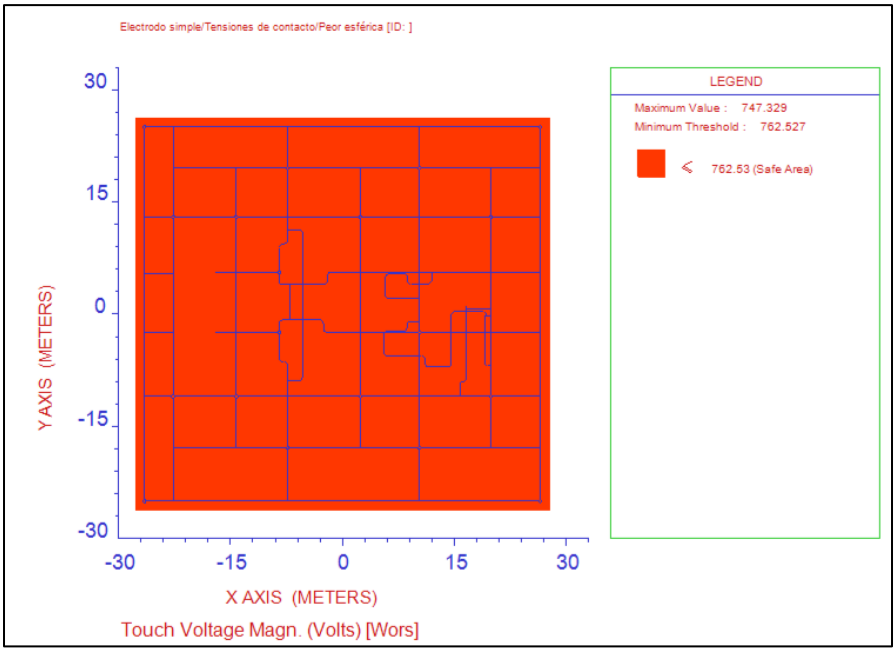


Figura 38: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Lo Aguirre

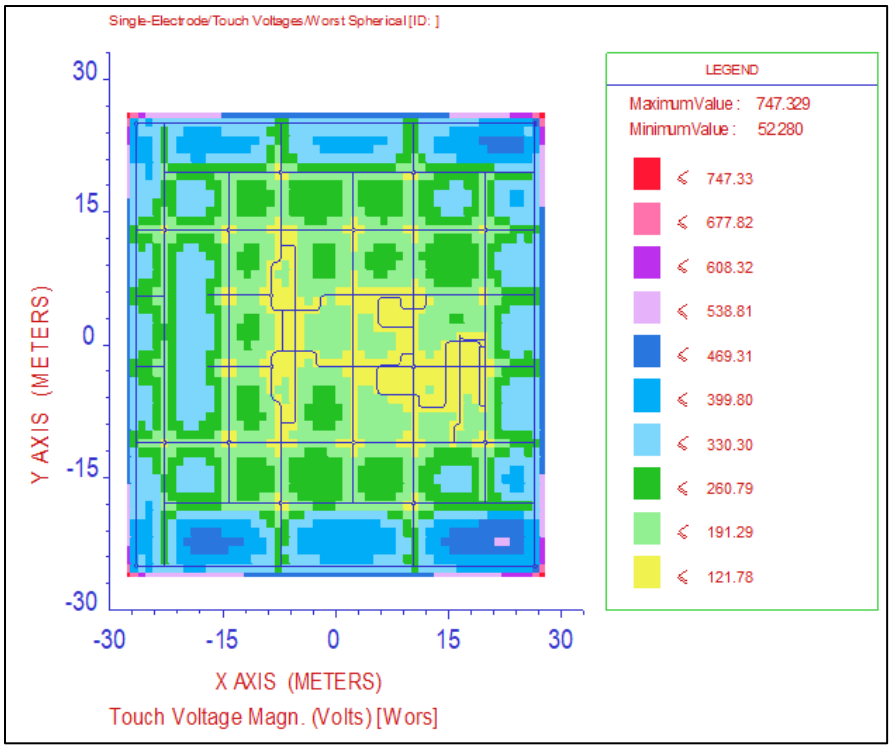


Figura 39: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Lo Aguirre

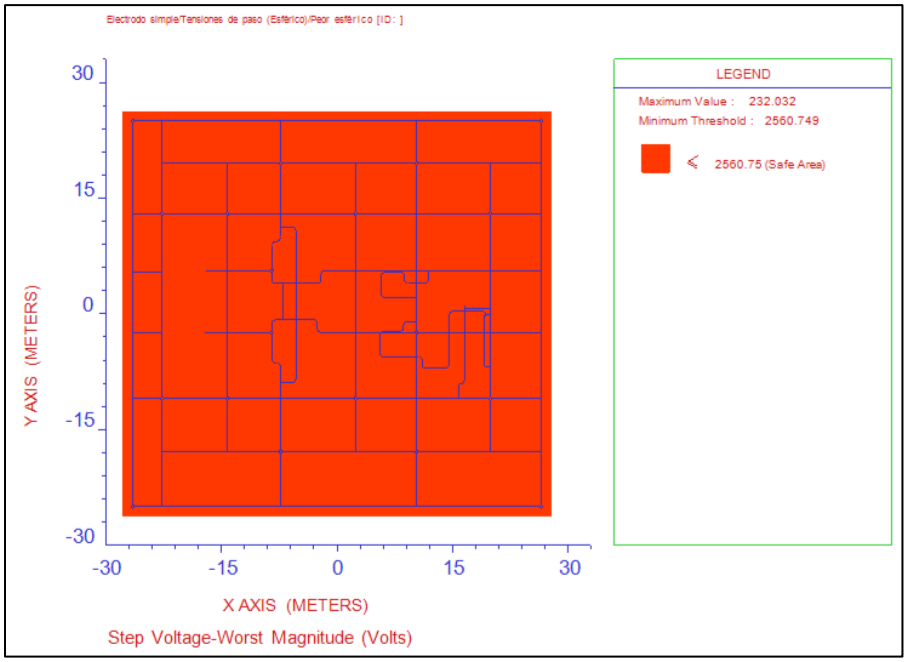


Figura 40: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Lo Aguirre

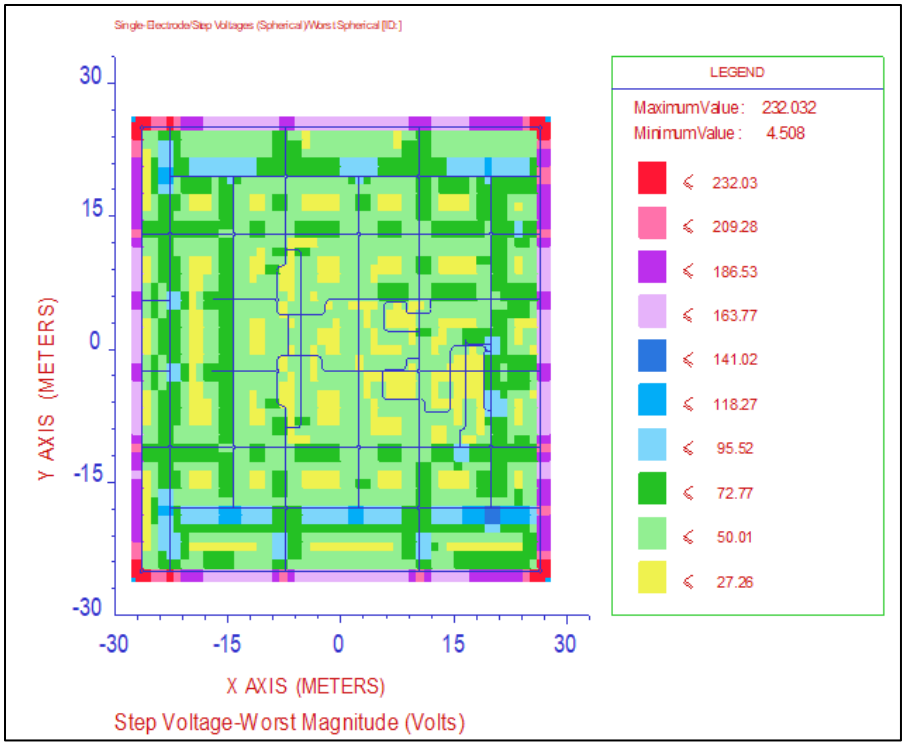


Figura 41: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Lo Aguirre

```
==========< 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       44.0000       5.00000
      3   Soil    0.00000       44.0000          Infinite
1

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

Original Electrical Current Flowing In Electrode..:   5534.0     amperes
Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:   1.0000
Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   5534.0     amperes
Number of Conductors in Electrode..................:   380
Resistance of Electrode System.....................:  0.39706     ohms


SUBDIVISION
===========
Grand Total of Conductors After Subdivision.:   848


Total Current Flowing In Main Electrode......:   5534.0     amperes
Total Buried Length of Main Electrode........:   904.84     meters


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

Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   2197.3     volts
```

Figura 42: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Lo Aguirre

8.3. Malla de Puesta a Tierra S/E Lo Aguirre (Año 2024)

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 5.54 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].

Tensiones máximas de Paso y de Contacto calculadas mediante software para la Malla de Puesta a Tierra:

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

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

Las figuras 45 y 46 muestra la distribución de las tensiones de paso calculadas.

Por último, en la figura 47, se presenta el valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra la que asciende a un valor de 0,40 ohms.

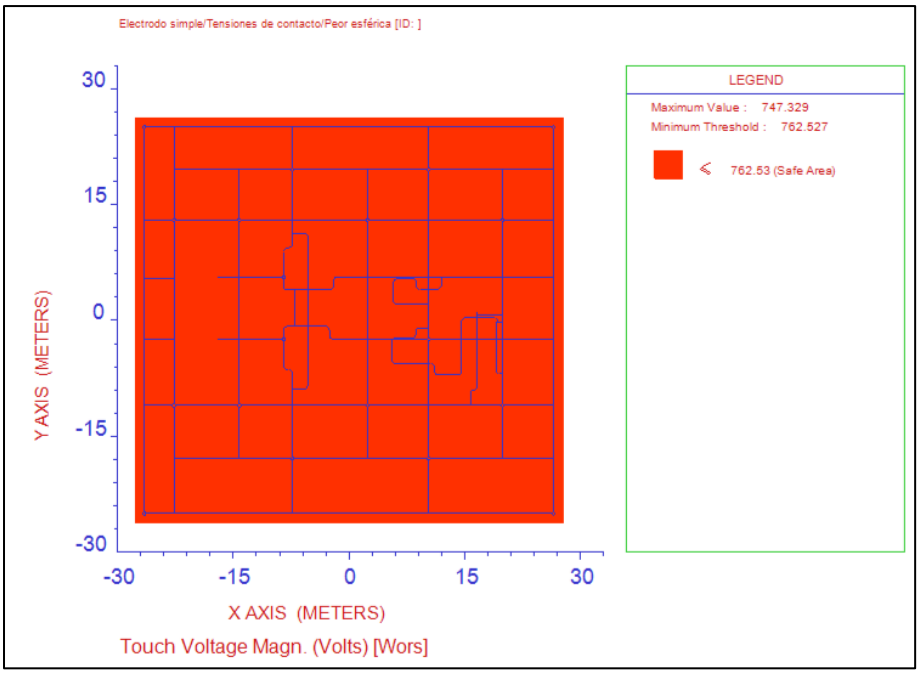


Figura 43: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Lo Aguirre

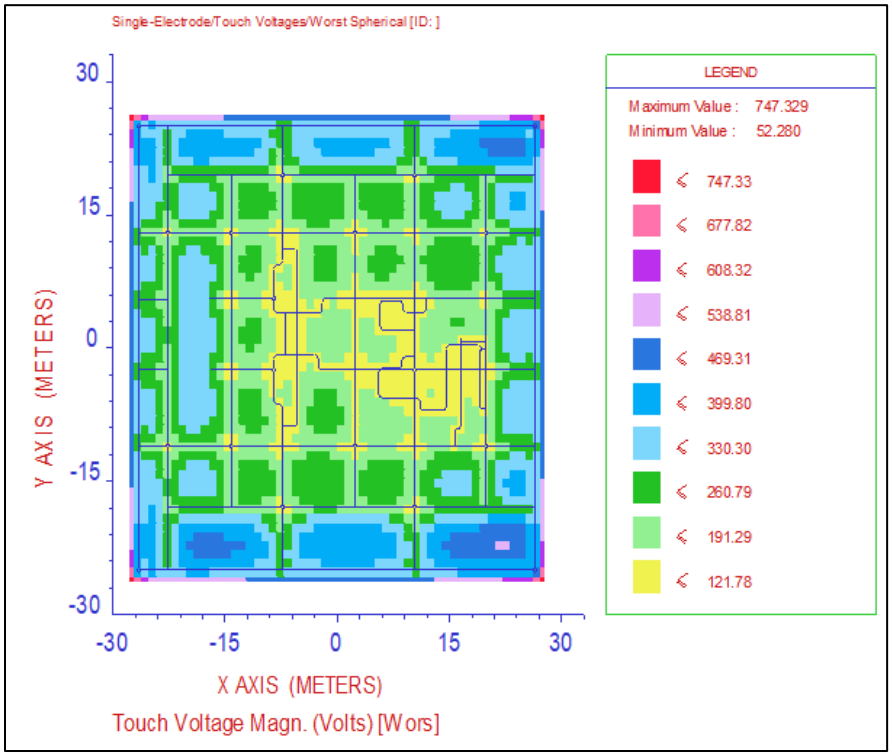


Figura 44: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Lo Aguirre

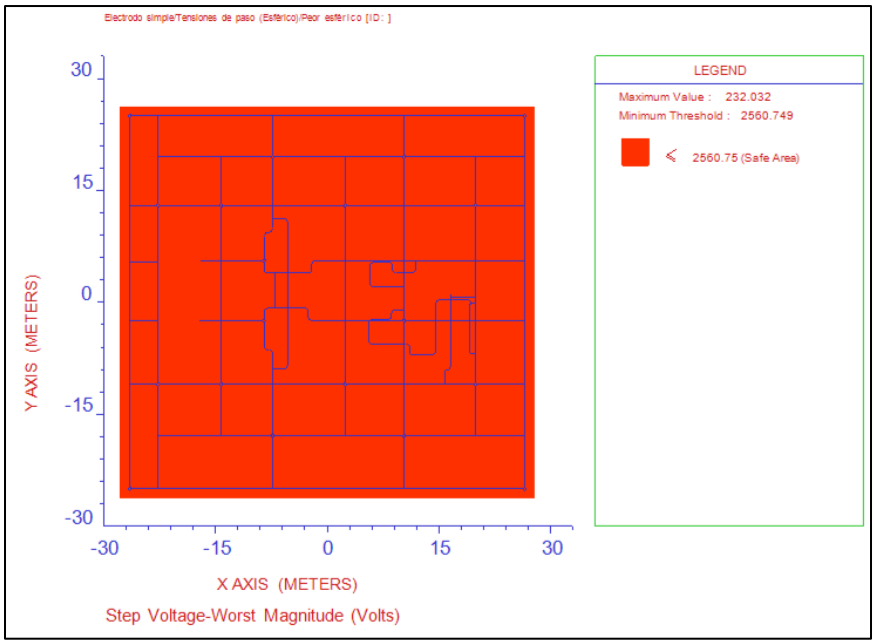


Figura 45: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Lo Aguirre

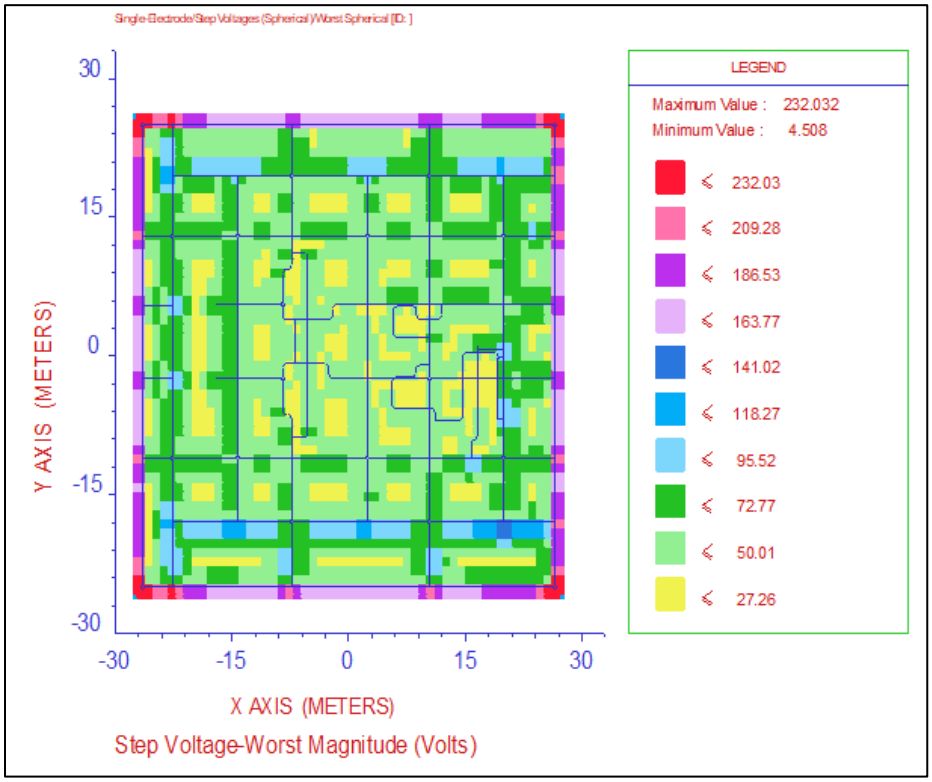


Figura 46: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Lo Aguirre

```
==========< 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       44.0000        5.00000
       3   Soil    0.00000       44.0000          Infinite
1

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

 Original Electrical Current Flowing In Electrode..:   5535.0     amperes
 Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:   1.0000
 Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   5535.0     amperes
 Number of Conductors in Electrode.................:   380
 Resistance of Electrode System....................:  0.39706     ohms


 SUBDIVISION
 ===========
 Grand Total of Conductors After Subdivision.:   848


 Total Current Flowing In Main Electrode......:   5535.0     amperes
 Total Buried Length of Main Electrode........:   904.84     meters


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

 Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   2197.7     volts
```

Figura 47: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Lo Aguirre

8.4. Resumen de Resultados S/E Lo Aguirre (Año 2019)

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

Tabla 19: Resistencia de diseño S/E Lo Aguirre 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]
Lo Aguirre	904,84	19	0,40	5,53

Tabla 20: Verificación de tensión de paso S/E Lo Aguirre año 2019

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE PASO EP-máx [V]	TENSIÓN DE PASO CÁLCULADA EP-cal [V]	CUMPLIMIENTO EP-mäx>EP-cal
Lo Aguirre	2560,75	232,03	Si

Tabla 21: Verificación de tensión de contacto S/E Lo Aguirre año 2019

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE CONTACTO EC-máx [V]	TENSIÓN DE CONTACTO CÁLCULADA EC-cal [V]	CUMPLIMIENTO EC-mäx>EC-cal
Lo Aguirre	762,53	747,33	Si

8.5. Resumen de Resultados S/E Lo Aguirre (Año 2024)

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

Tabla 22: Resistencia de diseño S/E Lo Aguirre 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]
Lo Aguirre	904,84	19	0,40	5,54

Tabla 23: Verificación de tensión de paso S/E Lo Aguirre año 2024

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE PASO EP-máx [V]	TENSIÓN DE PASO CÁLCULADA EP-cal [V]	CUMPLIMIENTO EP-mäx>EP-cal
Lo Aguirre	2560,75	232,03	Si

Tabla 24: Verificación de tensión de contacto S/E Lo Aguirre año 2024

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE CONTACTO EC-máx [V]	TENSIÓN DE CONTACTO CÁLCULADA EC-cal [V]	CUMPLIMIENTO EC-mäx>EC-cal
Lo Aguirre	762,53	747,33	Si

9. Condiciones Generales S/E Santa Raquel

Para la evaluación de la malla de puesta a tierra (MPT) de la subestación Santa Raquel, 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 12,5 kV del año 2019 y [6] correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) del año 2024 de la subestación Santa Raquel.

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

El resultado de la modelación del cable de guardia, obteniendo que el factor de división de corriente de la malla para el año 2019 y 2024 en la S/E Santa Raquel (ver anexo I y II) corresponde a un 42,67 % (Factor Split Sf).

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

Run ID.....................................: SE Santa Raquel
Central Station Name.......................: Santa Raquel
Total Number of Terminals..................:   1
Average Soil Resistivity...................:   100.00     ohm-meters
Printout Option............................: Detailed


Central Station: Santa Raquel

Ground Resistance..........................:   2.4100     ohms
Ground Reactance...........................:   0.0000     ohms


Terminal No.    1 : Alto Jahuel

Number of Sections.........:   107
Ground Impedance...........:   5.0000     +j   0.0000     ohms
Source Current.............:   18161.     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....:   4757.5     Amps  /  -74.685     deg.
               Terminal Earth Potential Rise...:   23787.     Volts /  -74.685     deg.
               Neutral Current at Central Site.:   10777.     Amps  /   77.358     deg.

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

Total Fault Current........:   18161.      Amps  /   87.000     degrees
Total Neutral Current......:   10777.      Amps  /   77.358     degrees
Total Earth Current........:   7749.8      Amps  /   100.47     degrees
Current Split Factor.......:  0.42673     (p.u.) /   13.469     degrees
Ground Potential Rise (GPR)...:   18677.      Volts /   100.47     degrees

End of Report #1
```

Figura 48: Resultado factor split línea S/E Santa Raquel

9.1. Cálculo de Sección Admisible

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

I = 10,88 kA (Corriente de cortocircuito residual máxima sin derrateo por efecto de cable de guardia del año 2019).

I = 11,38 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} = 54,32 MCM (27,52 mm2) año 2019

Luego, A_{kcmil} = 56,81 MCM (28,79 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 Santa Raquel (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 42,67 %, indicada en el capítulo 9.1 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].

Tensiones máximas de Paso y de Contacto calculadas mediante software para la Malla de Puesta a Tierra:

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

La figura 49 muestra el resumen del cálculo de las tensiones de paso y contacto tolerables.

Las figuras 50 y 51 muestra la distribución de las tensiones de contacto calculadas.

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

Por último, en la figura 54, se presenta el valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra la que asciende a un valor de 2,41 ohms.

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

  Computed Touch Voltage.....................................( V ):  763.81

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

  Network Specifications

      System Frequency.....................................(Hertz):  50.000
      Shock Duration.......................................(Seconds): 0.50000
      X/R Ratio.....................................................:  3.5720
      Computed Decrement Factor.....................................:  1.0113

  Site Data

      Surface Layer Thickness.............................( m ): 0.15240
      Surface Layer Resistivity...........................(Ohm-m):  3000.0
      Sub-Surface Layer Resistivity.......................(Ohm-m):  115.00
      Foot Resistance Calculation Method.....................: IEEE Std.80-2013
         Computed Foot Resistance.................( Ohm per foot ):  7417.3
         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 ):  2568.6

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

  Network Specifications

      System Frequency.....................................(Hertz):  50.000
      Shock Duration.......................................(Seconds): 0.50000
      X/R Ratio.....................................................:  3.5720
      Computed Decrement Factor.....................................:  1.0113

  Site Data

      Surface Layer Thickness.............................( m ): 0.15240
      Surface Layer Resistivity...........................(Ohm-m):  3000.0
      Sub-Surface Layer Resistivity.......................(Ohm-m):  115.00
      Foot Resistance Calculation Method.....................: IEEE Std.80-2013
         Computed Foot Resistance.................( Ohm per foot ):  7417.3
         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
```

Figura 49: Límites de tensión SES CDEGS S/E Santa Raquel

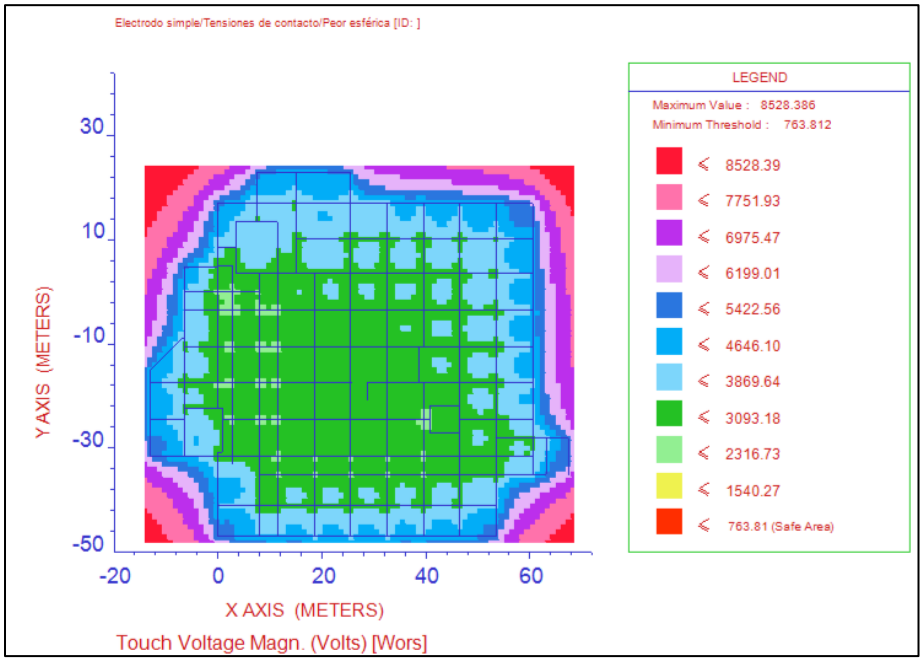


Figura 50: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Santa Raquel

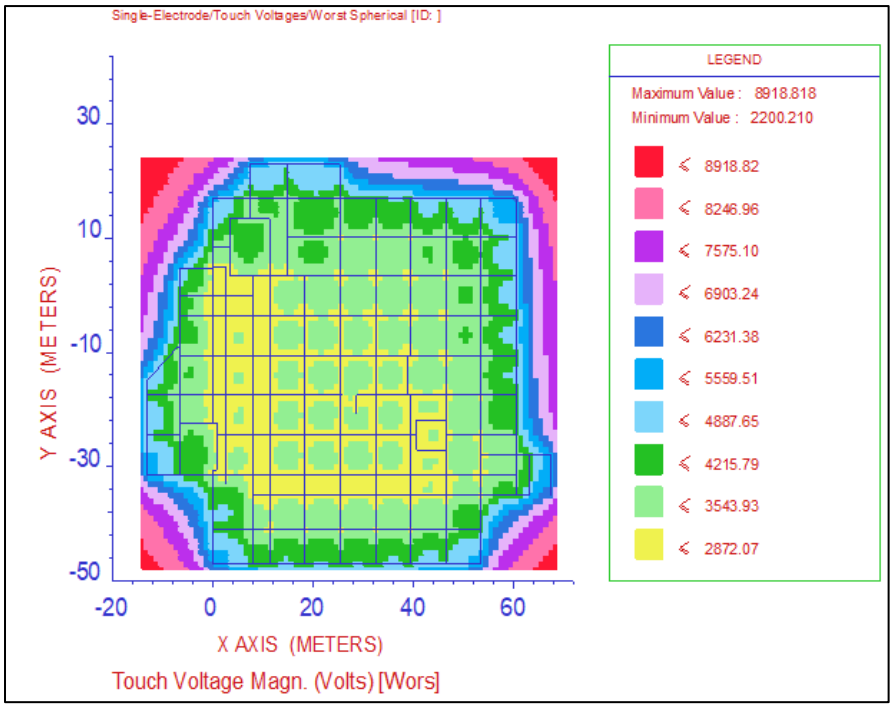


Figura 51: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Santa Raquel

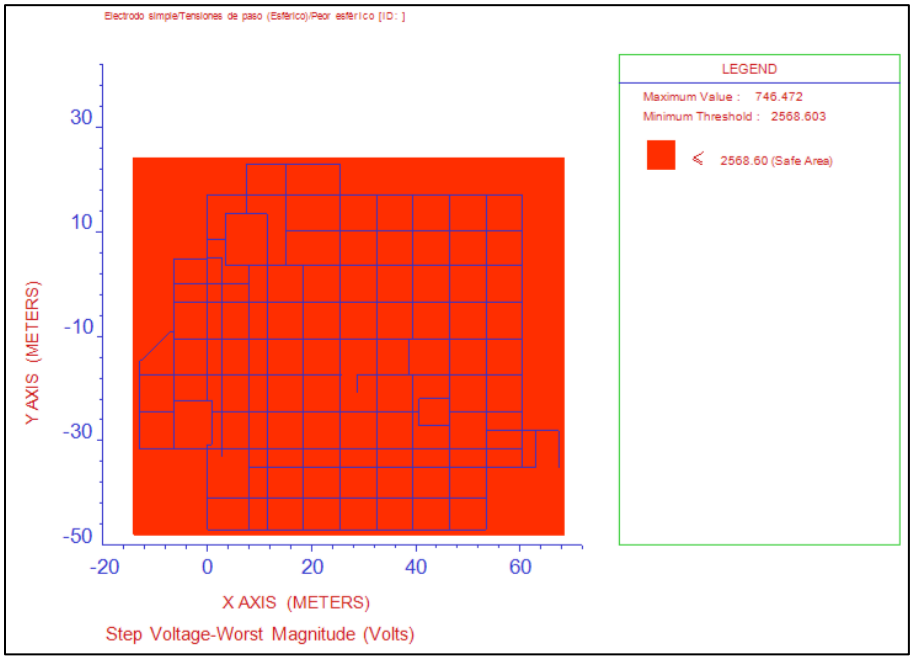


Figura 52: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Santa Raquel

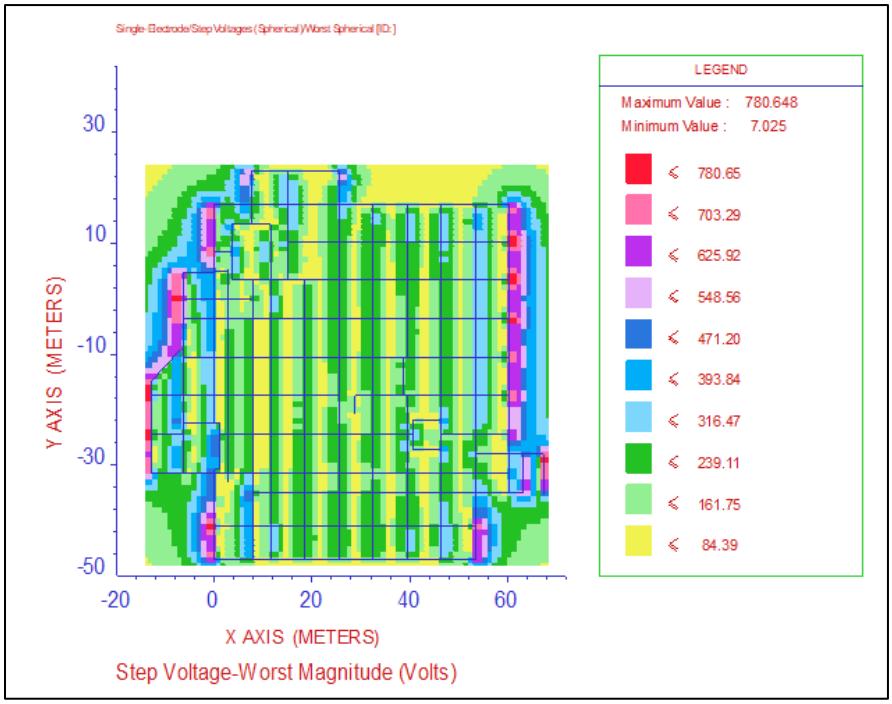


Figura 53: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Santa Raquel

```
==========< 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...............:  0.42673
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       115.000      0.210000
      3   Soil    0.666667       575.000       7.35000
      4   Soil   -0.539491       172.000          Infinite
1

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

Original Electrical Current Flowing In Electrode..:   10878.     amperes
Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:  0.42673
Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   4642.0     amperes
Number of Conductors in Electrode.................:    55
Resistance of Electrode System....................:   2.4114     ohms


SUBDIVISION
===========
Grand Total of Conductors After Subdivision.:   432


Total Current Flowing In Main Electrode......:   4642.0     amperes
Total Buried Length of Main Electrode........:   1517.1     meters


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

Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   11194.     volts
```

Figura 54: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Santa Raquel

9.3. Malla de Puesta a Tierra S/E Santa Raquel (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 42,67 %, indicada en el capítulo 9.1 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].

Tensiones máximas de Paso y de Contacto calculadas mediante software para la Malla de Puesta a Tierra:

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

Las figuras 55 y 56 muestra la distribución de las tensiones de contacto calculadas.

Las figuras 57 y 58 muestra la distribución de las tensiones de paso calculadas.

Por último, en la figura 59, se presenta el valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra la que asciende a un valor de 2,41 ohms.

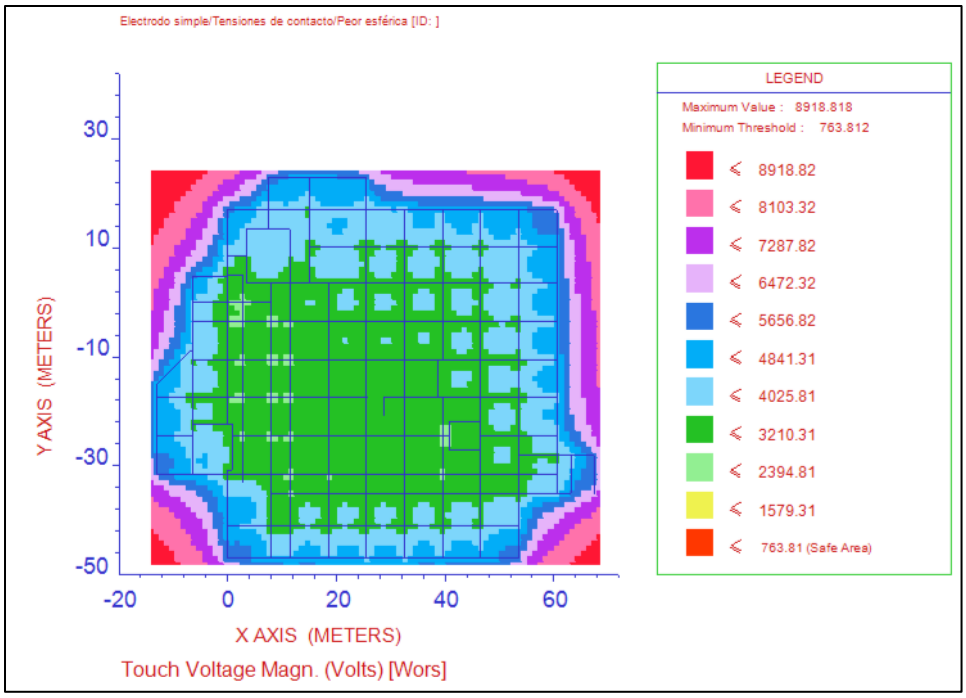


Figura 55: Resultados tensión de contacto SES CDEGS S/E Santa Raquel

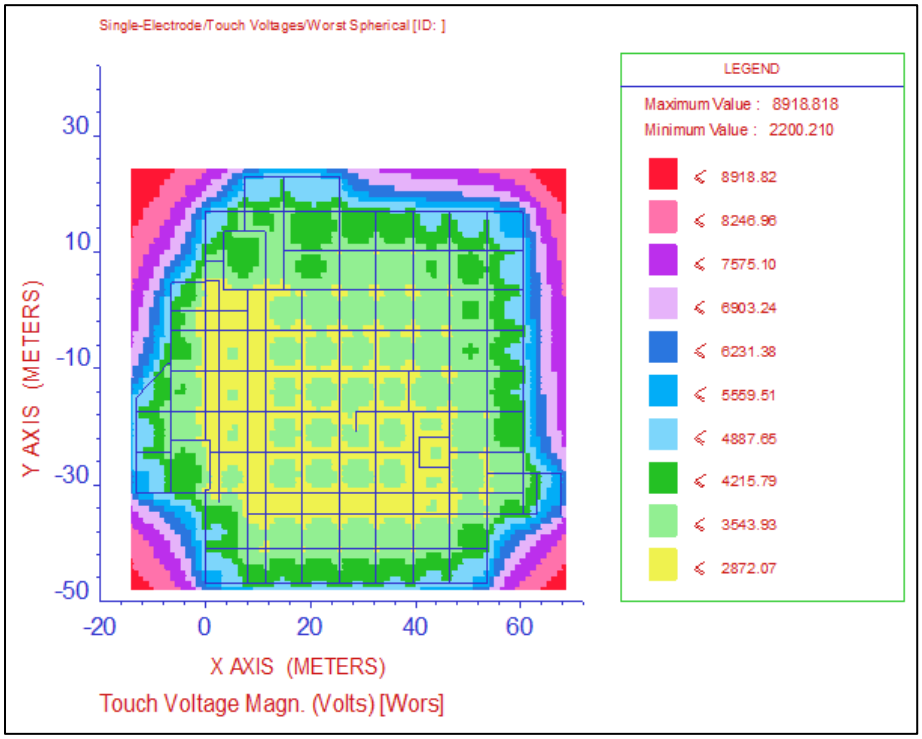


Figura 56: Distribución de tensión de contacto SES CDEGS S/E Santa Raquel

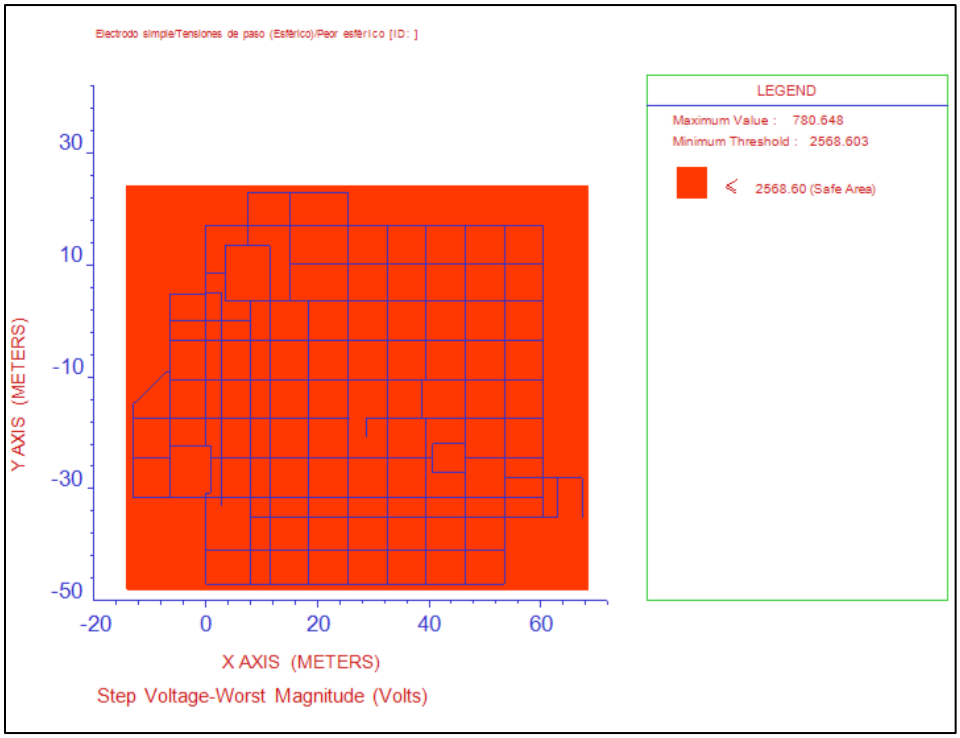


Figura 57: Resultados tensión de paso SES CDEGS S/E Santa Raquel

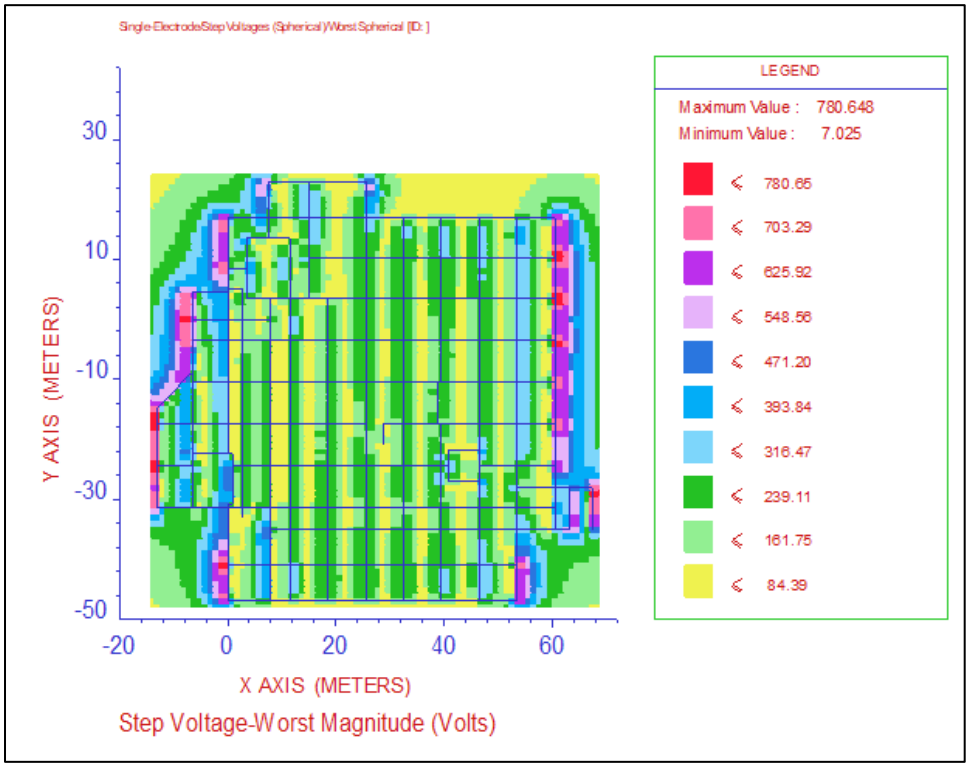


Figura 58: Distribución de tensión de paso SES CDEGS S/E Santa Raquel

```
==========< 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...............:  0.42673
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       115.000       0.210000
      3   Soil   0.666667       575.000        7.35000
      4   Soil  -0.539491       172.000           Infinite
1

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

Original Electrical Current Flowing In Electrode..:   11376.     amperes
Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:  0.42673
Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   4854.5     amperes
Number of Conductors in Electrode.................:    55
Resistance of Electrode System....................:   2.4114     ohms


SUBDIVISION
===========
Grand Total of Conductors After Subdivision.:   432


Total Current Flowing In Main Electrode......:   4854.5     amperes
Total Buried Length of Main Electrode........:   1517.1     meters


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

Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   11706.     volts
```

Figura 59: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Santa Raquel

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

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

Tabla 25: Resistencia de diseño S/E Santa Raquel 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]
Santa Raquel	1517,1	0	2,41	4,64

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

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE PASO EP-máx [V]	TENSIÓN DE PASO CÁLCULADA EP-cal [V]	CUMPLIMIENTO EP-mäx>EP-cal
Santa Raquel	2568,60	746,47	Si

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

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE CONTACTO EC-máx [V]	TENSIÓN DE CONTACTO CÁLCULADA EC-cal [V]	CUMPLIMIENTO EC-mäx>EC-cal
Santa Raquel	763,81	5422,56	No

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

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

Tabla 28: Resistencia de diseño S/E Santa Raquel 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]
Santa Raquel	1517,1	0	2,41	4,85

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

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE PASO EP-máx [V]	TENSIÓN DE PASO CÁLCULADA EP-cal [V]	CUMPLIMIENTO EP-máx>EP-cal
Santa Raquel	2568,60	780,65	Si

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

SUBESTACIÓN	TENSIÓN MAXIMA DE CONTACTO EC-máx [V]	TENSIÓN DE CONTACTO CÁLCULADA EC-cal [V]	CUMPLIMIENTO EC-máx>EC-cal
Santa Raquel	763,81	5656,82	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 Batuco

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 Batuco cumplen con los valores tolerables de tensión paso y contacto en toda el área de la subestación. Se verifica que la malla de puesta a tierra de la subestación Batuco se encuentra correctamente dimensionada.

10.2. S/E Los Almendros

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 Los Almendros cumplen con los valores tolerables de tensión paso, pero no con la tensión de contacto en gran parte del área de la subestación. Se verifica que la malla de puesta a tierra de la subestación Los Almendros no se encuentra correctamente dimensionada. Se debe destacar que en esta subestación se posee la estratificación de terreno de 1 capa equivalente, por lo cual se recomienda realizar mediciones que entreguen estratificaciones con al menos 2 capas.

10.3. S/E Pajaritos

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 Pajaritos cumplen con los valores tolerables de tensión paso, pero la tensión de contacto no cumple con las tensiones tolerables. Se verifica que la malla de puesta a tierra de la subestación Pajaritos no se

encuentra correctamente dimensionada. Se debe destacar que en esta subestación se posee la estratificación de terreno de 1 capa equivalente, por lo cual se recomienda realizar mediciones que entreguen estratificaciones con al menos 2 capas.

10.4. S/E Lo Aguirre

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 Lo Aguirre cumplen con los valores tolerables de tensión paso y contacto en toda el área de la subestación. Se verifica que la malla de puesta a tierra de la subestación Lo Aguirre se encuentra correctamente dimensionada. Se debe destacar que en esta subestación se posee la estratificación de terreno de 1 capa equivalente, por lo cual se recomienda realizar mediciones que entreguen estratificaciones con al menos 2 capas.

10.5. S/E Santa Raquel

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 Santa Raquel cumplen con los valores tolerables de tensión paso, pero no con la tensión de seguridad de contacto en toda el área de la subestación. Se verifica que la subestación Santa Raquel 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

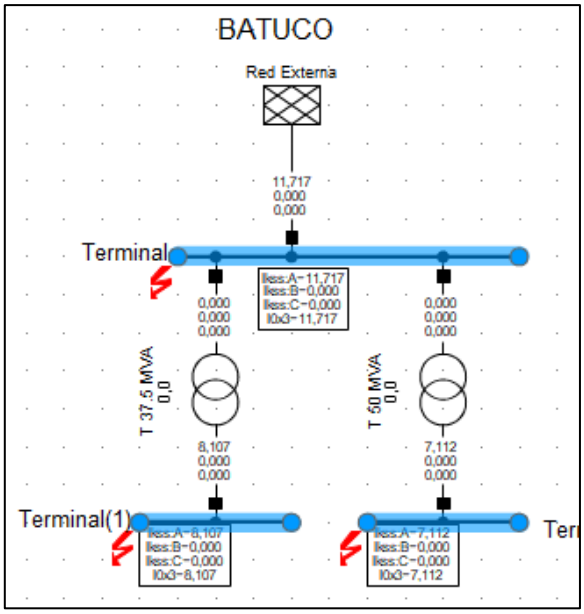
S/E Batuco

Para la S/E Batuco se utilizará un valor de cortocircuito de 11,71 kA al año 2019, correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) cortocircuito monofásico a tierra en la barra 110 kV.

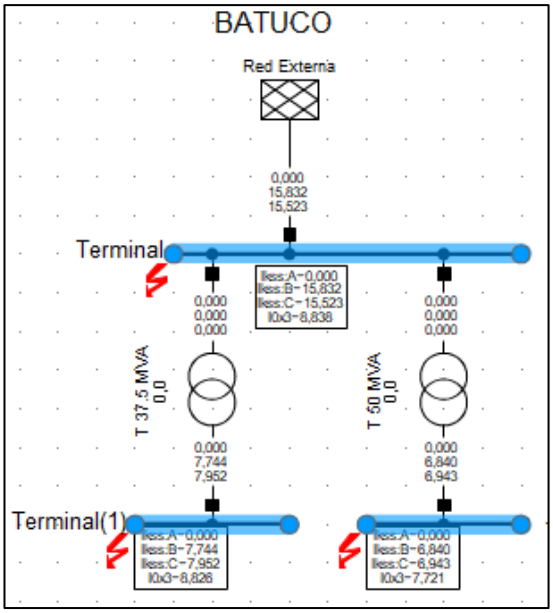
La subestación posee transformadores de 37,5 MVA y 50 MVA 110/23 kV, por lo cual es necesario evaluar el nivel de cortocircuitos en 23 kV. Se consideran que las barras de MT operan desacopladas y que los transformadores no tienen resistencias de aterrizamiento en los neutros.

Se simularon cortocircuitos en las barras de 23 kV obteniendo un valor máximo de 3Io bifásico a tierra de 8,83 kA al año 2019, el cual es menor que el valor obtenido en 110 kV.

Cortocircuito Monofásico



Cortocircuito Bifásico



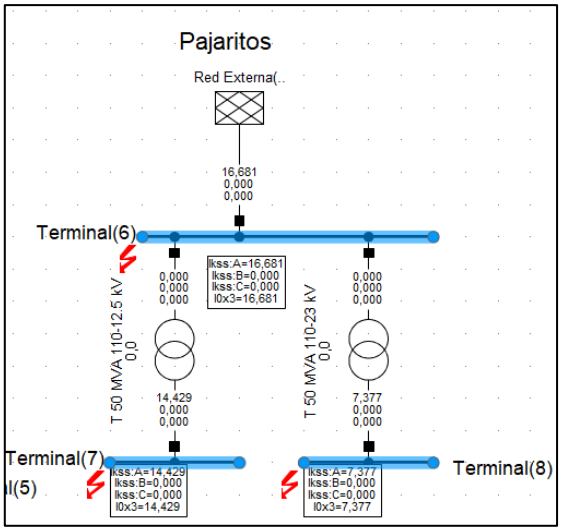
S/E Los Almendros

Para la S/E Los Almendros se utilizará un valor de cortocircuito de 28,27 kA al año 2019, correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) cortocircuito monofásico a tierra en la barra 110 kV.

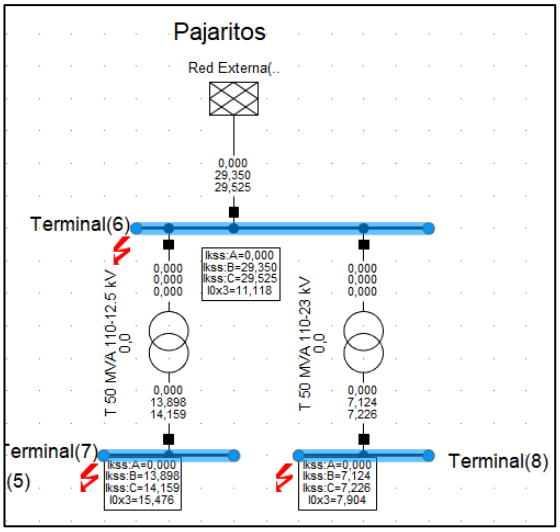
S/E Pajaritos

Para la S/E Pajaritos se utilizará un valor de cortocircuito de 16,68 kA al año 2019, correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) cortocircuito monofásico a tierra en la barra 110 kV.
La subestación posee 2 transformadores de 50 MVA 110/12.5 kV, 1 transformador 50 MVA 110/23 kV y 1 transformador 22,4 MVA 110/12,5 kV (en reserva), por lo cual es necesario evaluar el nivel de cortocircuitos en las barras de MT. Se consideran que las barras de MT operan desacopladas y que los transformadores no tienen resistencias de aterrizamiento en los neutros.
Los transformadores N°1 y N°2 poseen conexión a tierra con impedancia. De acuerdo a lo anterior los cortocircuitos en AT de esto 2 transformadores es mayor.
Se simularon cortocircuitos en las barras de 12 kV y 23 kV obteniendo un valor máximo de 3Io de 15,48 kA (en 12 kV) falla bifásica a tierra al año 2019, el cual es menor que el valor obtenido en 110 kV.

Cortocircuito Monofásico



Cortocircuito Bifásico



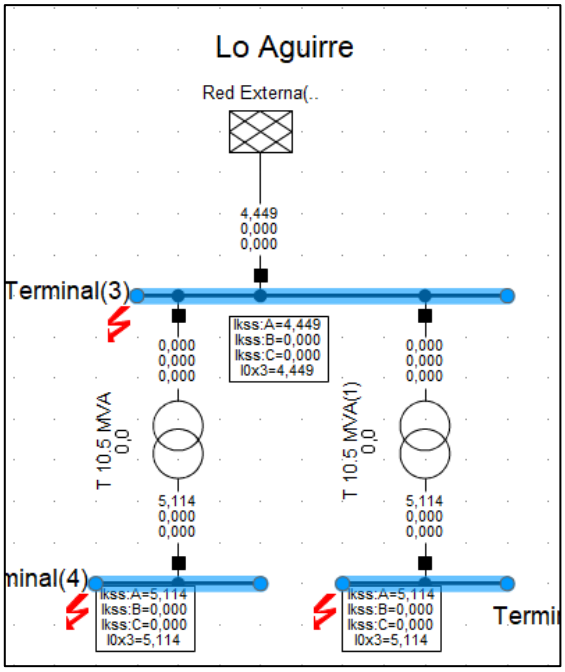
S/E Lo Aguirre

Para la S/E Lo Aguirre se utilizará un valor de cortocircuito de 5,53 kA al año 2019, correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) cortocircuito bifásico a tierra en la barra 12 kV.

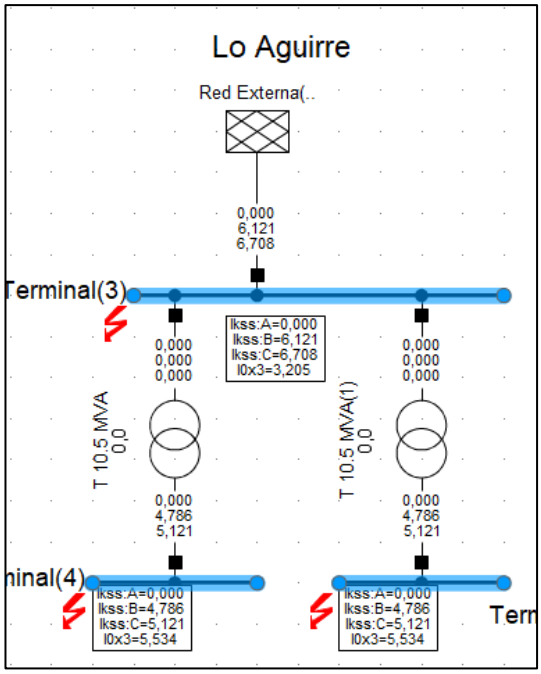
La subestación posee 2 transformadores de 10,5 MVA 110/12.5 kV, por lo cual es necesario evaluar los cortocircuitos en las barras de MT. Se consideran que las barras de MT operan desacopladas y que los transformadores no tienen resistencias de aterrizamiento en los neutros.

Se simularon cortocircuitos en las barras de 12 kV obteniendo un valor máximo de 3Io de 5,53 kA (en 12 kV) falla bifásica a tierra al año 2019, el cual es mayor que el valor obtenido en 110 kV.

Cortocircuito Monofásico



Cortocircuito Bifásico



S/E Santa Raquel

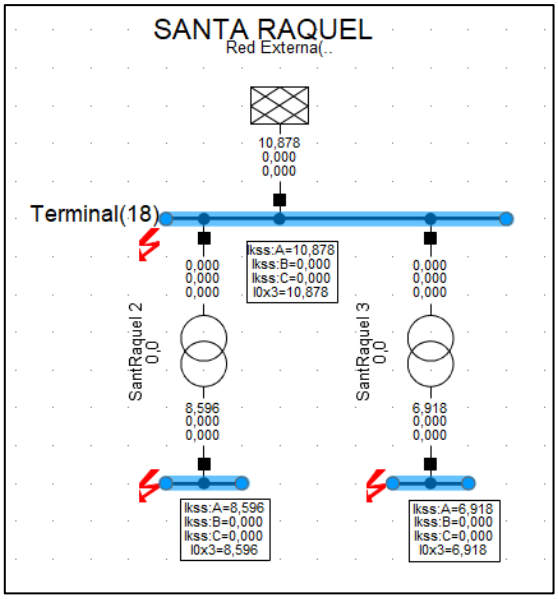
Para la S/E Santa Raquel se utilizará un valor de cortocircuito de 10,88 kA al año 2019, correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) cortocircuito monofásico a tierra en 110 kV.

La subestación posee cuatro transformadores de poder 110/12,5 kV 22,4 MVA, 25 MVA y 50 MVA y 1 transformador 110/20,4 kV 50 MVA, por lo cual es necesario evaluar el nivel de cortocircuitos en las barras de MT. Se consideran que las barras de MT operan desacopladas y que los transformadores no tienen resistencias de aterrizamiento en los neutros.

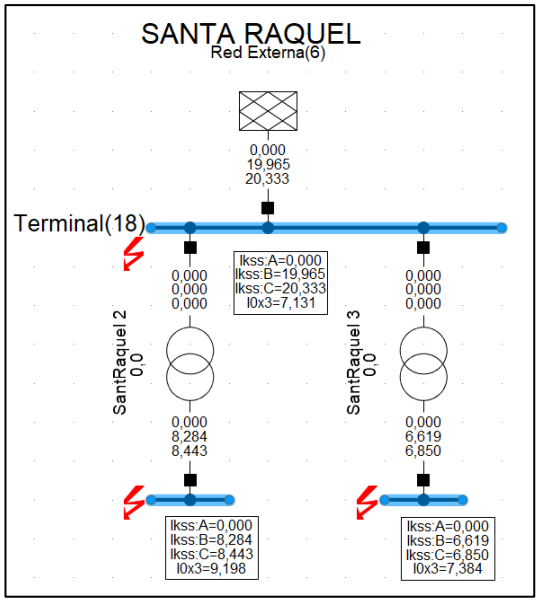
El transformador N°5 presenta conexión a tierra mediante una resistencia de 1000 A. De acuerdo el diagrama unilineal el transformador N°1 posee un reactor de puesta a tierra, por lo cual se asumirá el mismo valor del transformador N°5. De acuerdo a lo anterior esto 2 transformadores no se modelan para el cálculo de cortocircuito residual en MT.

Se simularon cortocircuitos en las barras de 12 kV obteniendo un valor máximo de 3Io de 9,20 kA (en transformador de menor potencia) 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

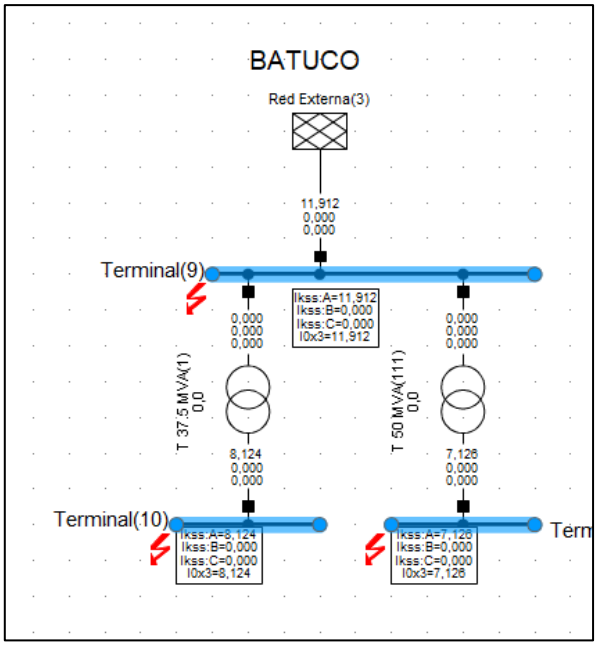
S/E Batuco

Para la S/E Batuco se utilizará un valor de cortocircuito de 11,91 kA al año 2024, correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) cortocircuito monofásico a tierra en la barra 110 kV.

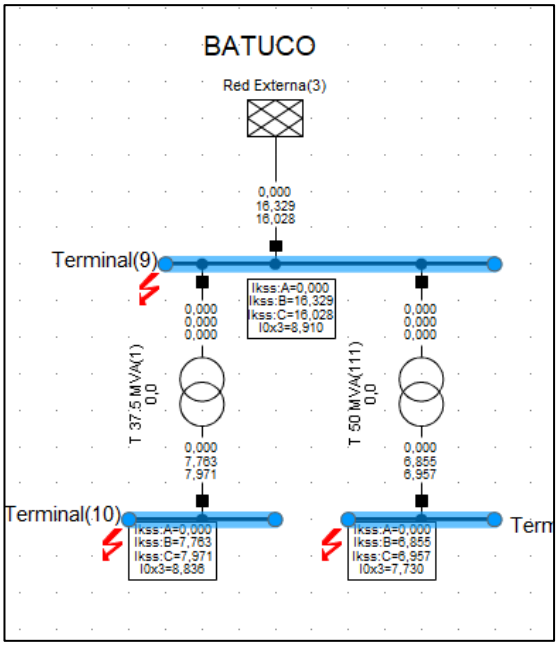
La subestación posee transformadores de 37,5 MVA y 50 MVA 110/23 kV, por lo cual es necesario evaluar el nivel de cortocircuitos en 23 kV. Se consideran que las barras de MT operan desacopladas y que los transformadores no tienen resistencias de aterrizamiento en los neutros.

Se simularon cortocircuitos en las barras de 23 kV obteniendo un valor máximo de 3Io bifásico a tierra de 8,84 kA al año 2024, el cual es menor que el valor obtenido en 110 kV.

Cortocircuito Monofásico



Cortocircuito Bifásico



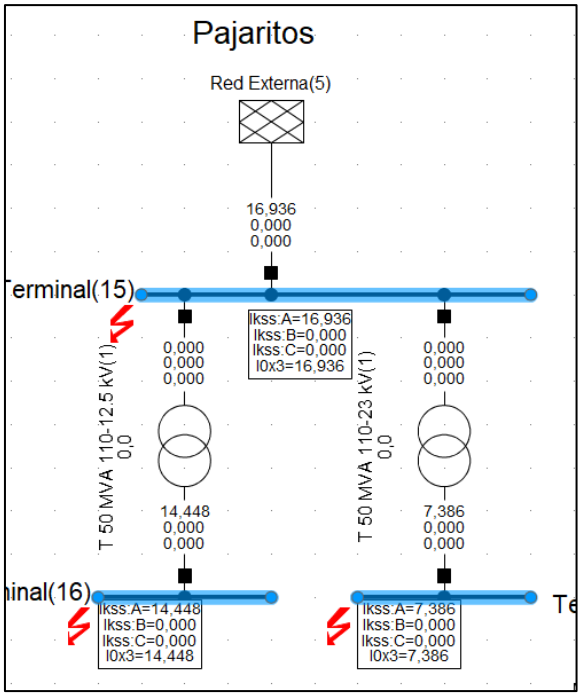
S/E Los Almendros

Para la S/E Los Almendros se utilizará un valor de cortocircuito de 29,96 kA al año 2024, correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) cortocircuito monofásico a tierra en la barra 110 kV.

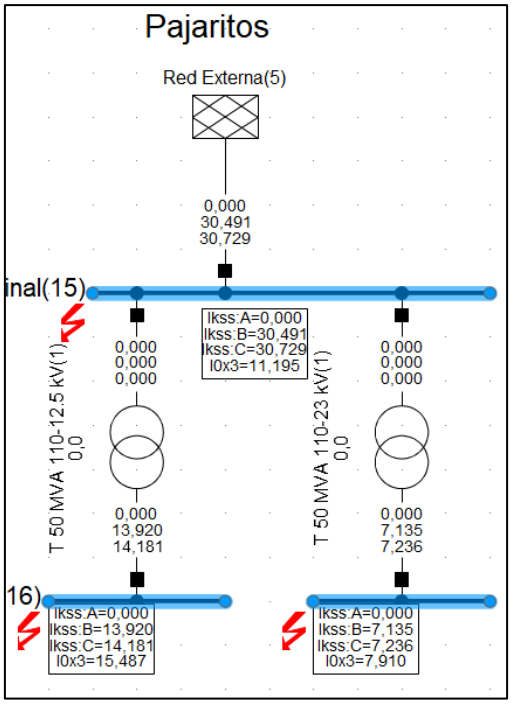
S/E Pajaritos

Para la S/E Pajaritos se utilizará un valor de cortocircuito de 16,94 kA al año 2024, correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) cortocircuito monofásico a tierra en la barra 110 kV.
La subestación posee 2 transformadores de 50 MVA 110/12.5 kV, 1 transformador 50 MVA 110/23 kV y 1 transformador 22,4 MVA 110/12,5 kV (en reserva), por lo cual es necesario evaluar el nivel de cortocircuitos en las barras de MT. Se consideran que las barras de MT operan desacopladas y que los transformadores no tienen resistencias de aterrizamiento en los neutros.
Los transformadores N°1 y N°2 poseen conexión a tierra con impedancia. De acuerdo a lo anterior los cortocircuitos en AT de esto 2 transformadores es mayor.
Se simularon cortocircuitos en las barras de 12 kV y 23 kV obteniendo un valor máximo de 3Io de 15,49 kA (en 12 kV) falla bifásica a tierra al año 2024, el cual es menor que el valor obtenido en 110 kV.

Cortocircuito Monofásico



Cortocircuito Bifásico



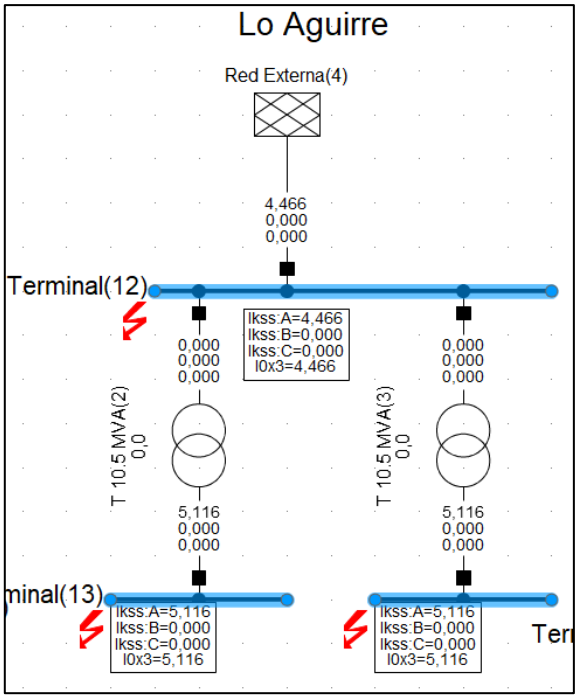
S/E Lo Aguirre

Para la S/E Lo Aguirre se utilizará un valor de cortocircuito de 5,54 kA al año 2024, correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) cortocircuito bifásico a tierra en 12 kV.

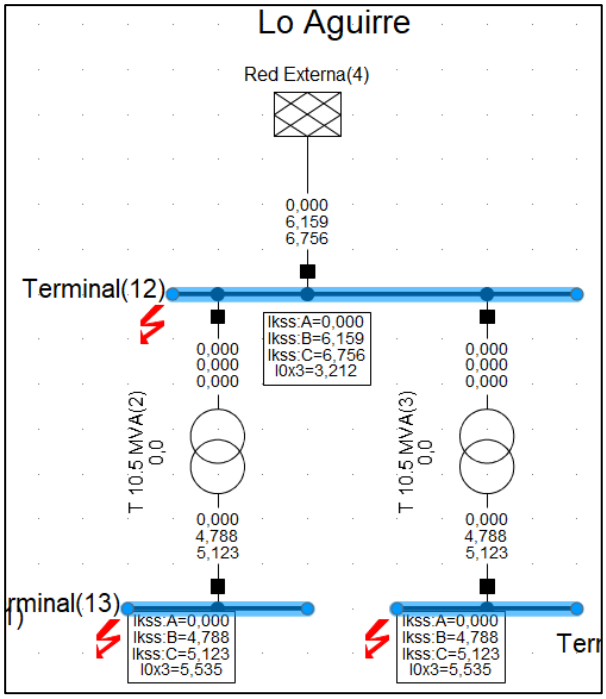
La subestación posee 2 transformadores de 10,5 MVA 110/12.5 kV, por lo cual es necesario evaluar los cortocircuitos en las barras de MT. Se consideran que las barras de MT operan desacopladas y que los transformadores no tienen resistencias de aterrizamiento en los neutros.

Se simularon cortocircuitos en las barras de 12 kV obteniendo un valor máximo de 3Io de 5,54 kA (en 12 kV) falla bifásica a tierra al año 2024, el cual es mayor que el valor obtenido en 110 kV.

Cortocircuito Monofásico



Cortocircuito Bifásico



S/E Santa Raquel

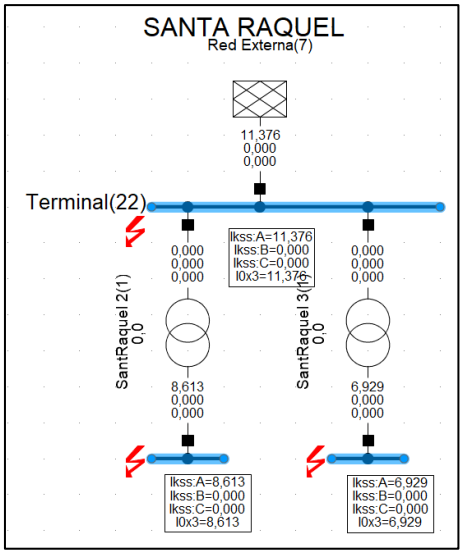
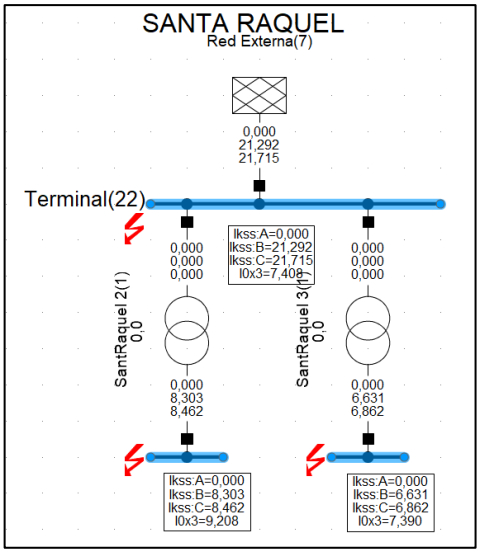
Para la S/E Santa Raquel se utilizará un valor de cortocircuito de 11,38 kA al año 2024, correspondiente a la máxima magnitud de corriente residual (3I0) cortocircuito monofásico a tierra en 110 kV.

La subestación posee tres transformadores de poder 110/12,5 kV 22,4 MVA, 25 MVA y 50 MVA y 1 transformador 110/20,4 kV 50 MVA, por lo cual es necesario evaluar el nivel de cortocircuitos en las barras de MT. Se consideran que las barras de MT operan desacopladas y que los transformadores no tienen resistencias de aterrizamiento en los neutros.

El transformador N°5 presenta conexión a tierra mediante una resistencia de 1000 A. De acuerdo el diagrama unilineal el transformador N°1 posee un reactor de puesta a tierra, por lo cual se asumirá el mismo valor del transformador N°5. De acuerdo a lo anterior esto 2 transformadores no se modelan para el cálculo de cortocircuito residual en MT.

Se simularon cortocircuitos en las barras de 12 kV obteniendo un valor máximo de 3Io de 9,21 kA (en transformador de menor potencia) al año 2024, el cual es menor que el valor obtenido en 110 kV.

Cortocircuito Monofásico



Cortocircuito Bifásico