SDI

COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL

Cliente	Coordinador Eléctrico Nacional

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

Nº Documento SDI	7683-01-ES-IF-002

Nº Documento Cliente	

Título	Informe de Modelación N°2

Fecha	Revisión
14-11-2019	1
03-10-2019	0

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-002

INFORME DE MODELACIÓN N°2

1. Introducción 3

2. Resumen Ejecutivo 3

3. Referencias de Normas y Estándares Utilizados 4

4. Metodología, Criterios y Análisis 4

4.1. Antecedentes 4

4.2. Criterios 5

5. Principales Resultados 7

5.1. S/E Quinquimo 8

5.2. S/E Cabildo 11

5.3. S/E Costanera 14

5.4. S/E Alto Bonito 18

5.5. S/E Castro 21

6. Conclusiones y Recomendaciones 24

Índice de figura

Figura 1: Malla de Puesta a Tierra S/E Quinquimo 8
Figura 2: Malla de Puesta a Tierra S/E Quinquimo Modelada en SES CDEGS 9
Figura 3: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Quinquimo 10
Figura 4: Malla de Puesta a Tierra S/E Cabildo 11
Figura 5: Malla de Puesta a Tierra S/E Cabildo Modelada en SES CDEGS 12
Figura 6: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Cabildo 13
Figura 7: Modelo de línea Puente Alto - Costanera 14
Figura 8: Malla de Puesta a Tierra S/E Costanera 15
Figura 9: Malla de Puesta a Tierra S/E Costanera Modelada en SES CDEGS 16
Figura 10: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Costanera 17

Figura 11: Malla de Puesta a Tierra S/E Alto Bonito 18
Figura 12: Malla de Puesta a Tierra S/E Alto Bonito Modelada en SES CDGES 19
Figura 13: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Alto Bonito 20
Figura 14: Malla de Puesta a Tierra S/E Castro 21
Figura 15: Malla de Puesta a Tierra S/E Castro Modelada en SES CDEGS 22
Figura 16: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Castro 23

Índice de anexos

Anexo I: Resistividad de Terreno 25

Índice de tablas

Tabla 1: Estratificación del terreno S/E Quinquimo 6
Tabla 2: Estratificación del terreno S/E Cabildo 6
Tabla 3: Estratificación del terreno S/E Costanera 6
Tabla 4: Estratificación del terreno S/E Alto Bonito 6
Tabla 5: Estratificación del terreno S/E Castro 6
Tabla 6: Cables de guardia de las subestaciones 7

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 subestaciones de malla de puesta a tierra: Quinquimo, Cabildo, Costanera, Alto Bonito, Castro.

2. Resumen Ejecutivo

Una de las principales preocupaciones cuándo se diseña una malla de puesta a tierra, es que, el diseño que se encuentra construido cumple realmente con las condiciones mínimas de protección y seguridad exigidas por las normas, es por ello que el objetivo general del presente informe consiste en modelar y determinar el estado actual de las mallas de puesta a tierra de las Subestaciones Quinquimo, Cabildo, Costanera, Alto Bonito, Castro. Se realizó las modelaciones de las Mallas de Puesta a Tierra utilizando el Software CDEGS con el propósito de conocer la Resistencia de puesta a Tierra para compararlas con las mediciones realizadas por los propietarios de las subestaciones. Esta modelación servirá de base para realizar la verificación de tensiones de paso y contacto.

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.

S/E Quinquimo:

La resistencia de puesta a tierra de la subestación alcanza un valor calculado de 3,08 ohm, no se tiene valor medido de la resistencia.

S/E Cabildo:

La resistencia de puesta a tierra de la subestación alcanza un valor calculado de 5,86 ohm, no se tiene valor medido de la resistencia.

S/E Costanera:

La resistencia de puesta a tierra de la subestación alcanza un valor calculado de 0,69 ohm, comparado con valor medido por el propietario es de 0,69 Ohm.

S/E Alto Bonito:

La resistencia de puesta a tierra de la subestación alcanza un valor calculado de 0,83 ohm, comparado con valor calculado por el propietario que es de 1,09 Ohm.

S/E Castro:

La resistencia de puesta a tierra de la subestación alcanza un valor calculado de 7,36 ohm, comparado con valor medido por el propietario que es de 3,40 Ohm.

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 80-2013 y 80-2000 "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.

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

4. Metodología, Criterios y Análisis

En este punto se describe la metodología para realizar las modelaciones de las mallas de puesta a tierra y los cables de guardia, con los antecedentes entregados por las empresas propietarias.

4.1. Antecedentes

Se utilizará como antecedentes para la modelación 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. Geometría de la Malla de puesta a Tierra

[4]. Plano "20226-01" Malla Puesta a Tierra-Planta S/E Quinquimo.

[5]. Plano "20018-01" Malla Puesta a Tierra-Planta S/E Cabildo.

[6]. Plano "ING004-PL-ELE-009" Malla Puesta a Tierra-Planta S/E Costanera.

[7]. Plano "SE045T003-P-EE-02-001" Malla de Puesta a Tierra Planta S/E Alto Bonito.

[8]. Plano "09-PO1T-EE-02-001" Malla de Puesta a Tierra Planta S/E Castro.

4.1.2. Resistividad de Terreno

[9]. Documento "Resistividad de Terreno Subestación Costanera".

[10]. Documentos "1728_ERT informe técnico estudio de resistividad del terreno" Subestación Alto Bonito.

[11]. Documento "Medición de Resistividad de Terreno y Resistencia de Malla de Tierra Subestación Castro".

4.1.3. Medición de Resistencia de Malla de Puesta a Tierra

[12]. Documentos "informe técnico medición de resistencia de malla puesta a tierra S/E Costanera".

[13]. Documentos "SE045T003-P-EE-MC-005 Memoria de cálculo Malla de puesta a tierra subterránea S/E Alto Bonito".

[14]. Documentos "Medición de Resistividad de Terreno y Resistencia de Malla de Tierra Subestación Castro".

4.1.4. Geometría de las Torres

[15]. Plano "D62-20E-3" geometría de las torres de la línea Choapa-Quinquimo para la subestación Quinquimo.

[16]. Plano "ING011-PL-ELE-011" geometría de las torres de la línea Puente Alto - Costanera para la subestación Costanera.

4.1.5. Cables de Guardia

[17]. Documento "Acero 3-8" (infotecnica) cable de guardia de la línea Puente Alto - Costanera de la subestación Costanera.

4.2. Criterios

Los valores de resistividad se obtuvieron de los documentos de medición de malla de puesta a tierra de cada subestación, y son los siguientes.

Tabla 1: Estratificación del terreno S/E Quinquimo

Capas	Resistividad (Ωm)	Profundidad (m)
1	500	∞

Tabla 2: Estratificación del terreno S/E Cabildo

Capas	Resistividad (Ωm)	Profundidad (m)
1	500	∞

Tabla 3: Estratificación del terreno S/E Costanera

Capas	Resistividad (Ωm)	Profundidad (m)
1	17,5	0,25
2	530	0,08
3	28,6	7,45
4	193	641
5	0,823	∞

Tabla 4: Estratificación del terreno S/E Alto Bonito

Medición	Resistividad (Ωm)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)	Profundidad (m)
1	60	0,8	1000	∞
2	110	0,9	1000	∞

Tabla 5: Estratificación del terreno S/E Castro

Medición	Resistividad (Ωm)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)	Profundidad (m)
1	782	1,06	245,69	0,35	979,27	5,26	600,19	∞
2	4260,31	0,75	137,63	1,32	99997,16	∞	-	-
3	1747,87	0,53	159,63	4,83	425,11	∞	-	-

Nota A) Para las SS/EE Quinquimo y Cabildo se utilizará una resistividad promedio entre terreno húmedo y seco, el cual sería un valor de 500 ohm-m (tabla 8 de la norma IEEE 80-2013), lo cual asumiría homogeneidad en las capas de terreno, para ambos casos el propietario de la instalación no informó valores de resistividad.

Nota B) S/E Alto Bonito, se toma la primera estratificación para acercar al valor de la resistencia medida por el propietario.

Nota C) S/E Castro, las estratificaciones de resistividad del terreno se obtuvieron mediante el software RESAP, se utilizará la medición N°1 de resistividad que arroja un valor más cercano a la resistencia medida (ver anexo I).

Nota D) S/E Costanera en el plano de malla de puesta a tierra, indica que la malla cuenta con un tratamiento químico de suelo con bentonita, el cual para el efecto de estudio se realiza

una reducción a la estratificación del 7% para lograr el valor medido de la resistencia de 0.69 ohms.

Para la modelación del cable de guarda, se realiza con el módulo FCDIST del software CDEGS.

Para la obtención del Factor Split se usarán los siguientes criterios:

- Geometría de torre más repetitiva.
- Resistencia puesta a tierra de Subestaciones Remotas, se considera un valor de 5 Ohm en caso de no tener información disponible (Valor máximo recomendado en versión antigua de Norma IEEE 80-2000).
- Resistencia puesta a tierra de Pie de Torre, se tomará el valor de 25 Ohm, en el caso de no tener información disponible (Valor máximo permitido, según lo especificado en el art. 27 del Reglamento de Instalaciones de Corrientes Fuertes NSEG 5 E.n. 71).

Los datos obtenidos de los cables de guardia se obtuvieron del documento mencionado en los antecedentes geometría de las torres y cables de guardia del presente documento, se modelará en el informe técnico de diagnóstico con la misma cantidad de cable de guardia, ya que las nuevas obras de las subestaciones estudiadas no contemplan obras de nuevas líneas. En la siguiente tabla se resumen los cables de guardia.

Tabla 6: Cables de guardia de las subestaciones

Subestaciòn	Dato de Línea		Cable de Guarda			Torre					Subestación Remota	
	Nombre	Tensión (kV)	Tipo	Sección (mm2)	Longitud (km)	Altura Cable Guardia (m)	Altura Fase (m)	Distancia Fase-Eje (m)	Vano (m)	Resistencia (ohm)	Nombre	Resistencia (ohm)
Costanera	PUENTE ALTO - COSTANERA	110	Acero	3/8"	3,6	13,17	11,54	1,26	200	25	Puente Alto	5

Nota: El resto de las Subestaciones no se tiene información de cables de guardia según infotécnica.

5. Principales Resultados

Para la realización de la modelación de la malla de puesta a tierra con el software CDEGS es necesario contar con la información de la estratificación del terreno y el plano de puesta a tierra.

La modelación del cable de guardia se realiza para la siguiente subestación: Costanera. Para aquello se modela en el módulo de análisis de distribución de la corriente de falla (FCDIST) del software CDEGS.

5.1. S/E Quinquimo

S/E Quinquimo propiedad de CGE, ubicada al frente de la Panamericana, Latitud: 64°08'705.02"S, Longitud: 28°13'33.99"E, en la región de Valparaíso, provincia Petorca, comuna Papudo.

Se modela la malla de puesta a tierra de la subestación, con los siguientes datos.

Las dimensiones principales de la malla existente y sus magnitudes básicas son las siguientes:

- Dimensión global de la malla (forma irregular): 75x69 m.
- La profundidad de enterramiento de la malla es 0,6 m.
- El conductor de la malla es de cobre desnudo, 2/0 AWG.
- Se posee una sola capa de resistividad de terreno, lo cual asumiría homogeneidad en las capas de terreno (ver anexo I).

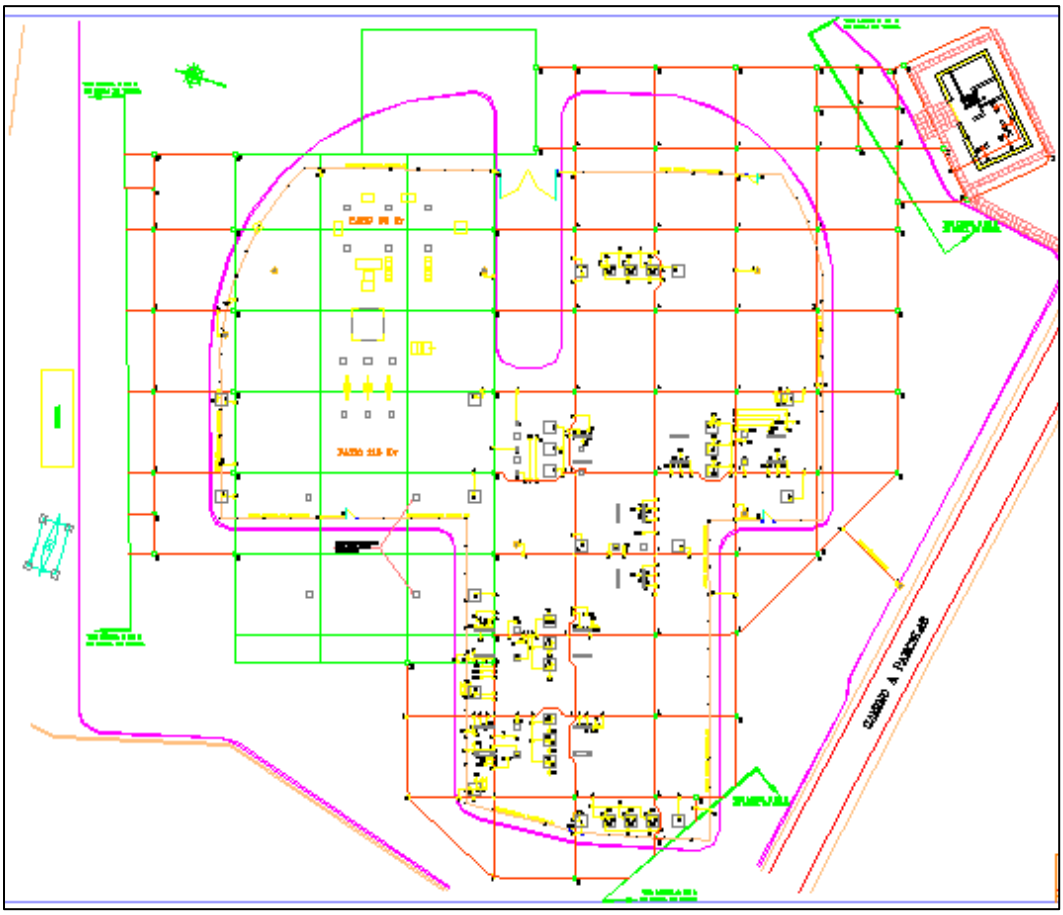


Figura 1: Malla de Puesta a Tierra S/E Quinquimo

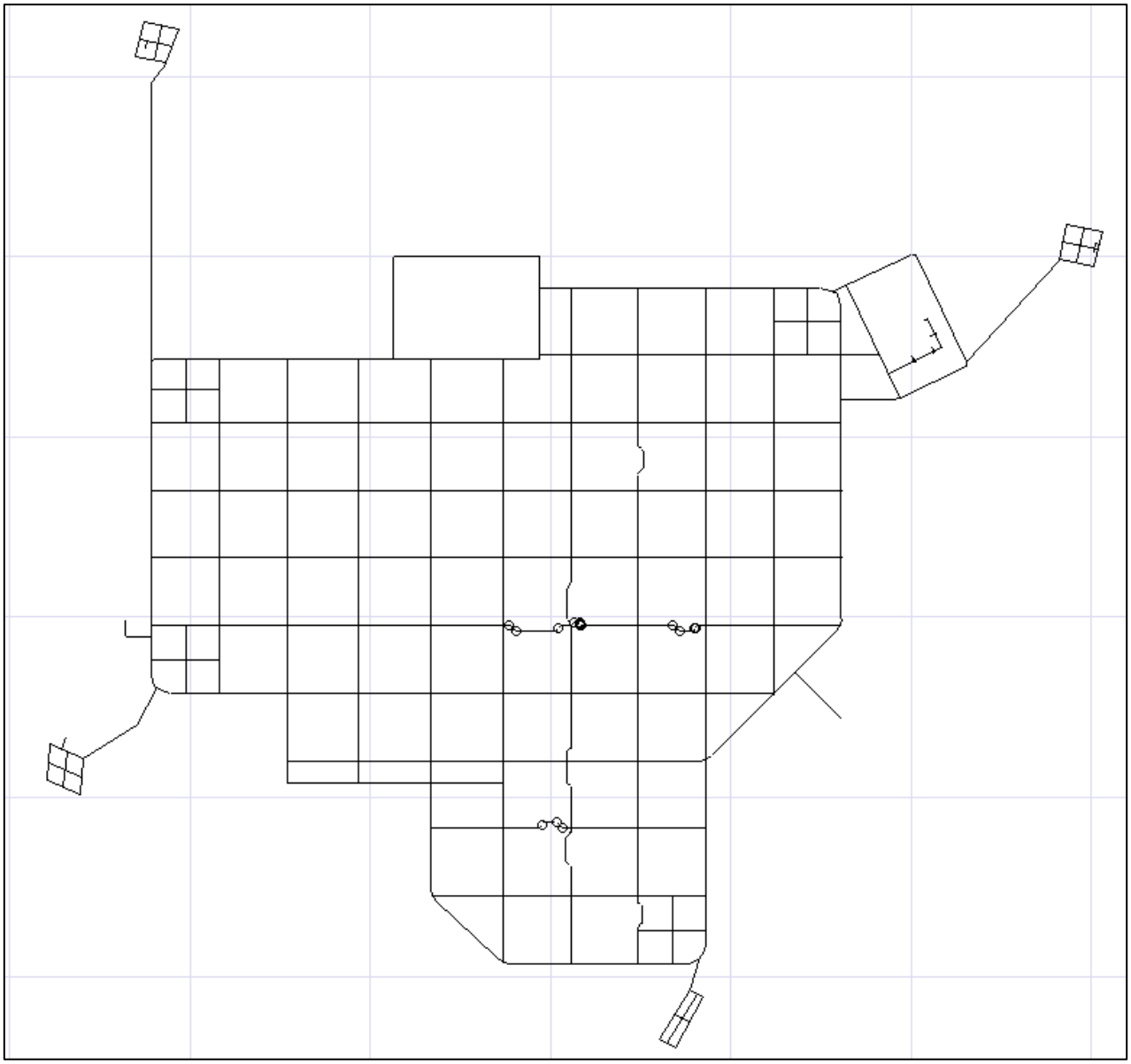


Figura 2: Malla de Puesta a Tierra S/E Quinquimo Modelada en SES CDEGS

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

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


    MULTI-LAYER EARTH CHARACTERISTICS USED BY PROGRAM



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

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

Original Electrical Current Flowing In Electrode..:   1000.0     amperes
Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:   1.0000
Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   1000.0     amperes
Number of Conductors in Electrode.................:   220
Resistance of Electrode System....................:   2.9588     ohms


SUBDIVISION
===========
Grand Total of Conductors After Subdivision.:   864


Total Current Flowing In Main Electrode......:   1000.0     amperes
Total Buried Length of Main Electrode........:   1627.5     meters


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

Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   2958.8     volts
```

Figura 3: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Quinquimo

La resistencia de puesta a tierra de la subestación, alcanza un valor calculado de 2,96 ohm, no se tiene valor medido de la resistencia.

5.2. S/E Cabildo

S/E Cabildo propiedad de CGE, ubicada a 400 m de la Av. Humeres, Latitud: 64°09'291.01"S, Longitud: 30°47'64.99"E, en la región de Valparaíso, provincia Petorca, comuna Cabildo.

Se modela la malla de puesta a tierra de la subestación, con los siguientes datos.

Las dimensiones principales de la malla existente y sus magnitudes básicas son las siguientes:

- Dimensión global de la malla (forma irregular): 25x52,2 m.
- La profundidad de enterramiento de la malla es 0,6 m.
- El conductor de la malla es de cobre desnudo, N°2 AWG.
- Se posee una sola capa de resistividad de terreno, lo cual asumiría homogeneidad en las capas de terreno (ver anexo I).

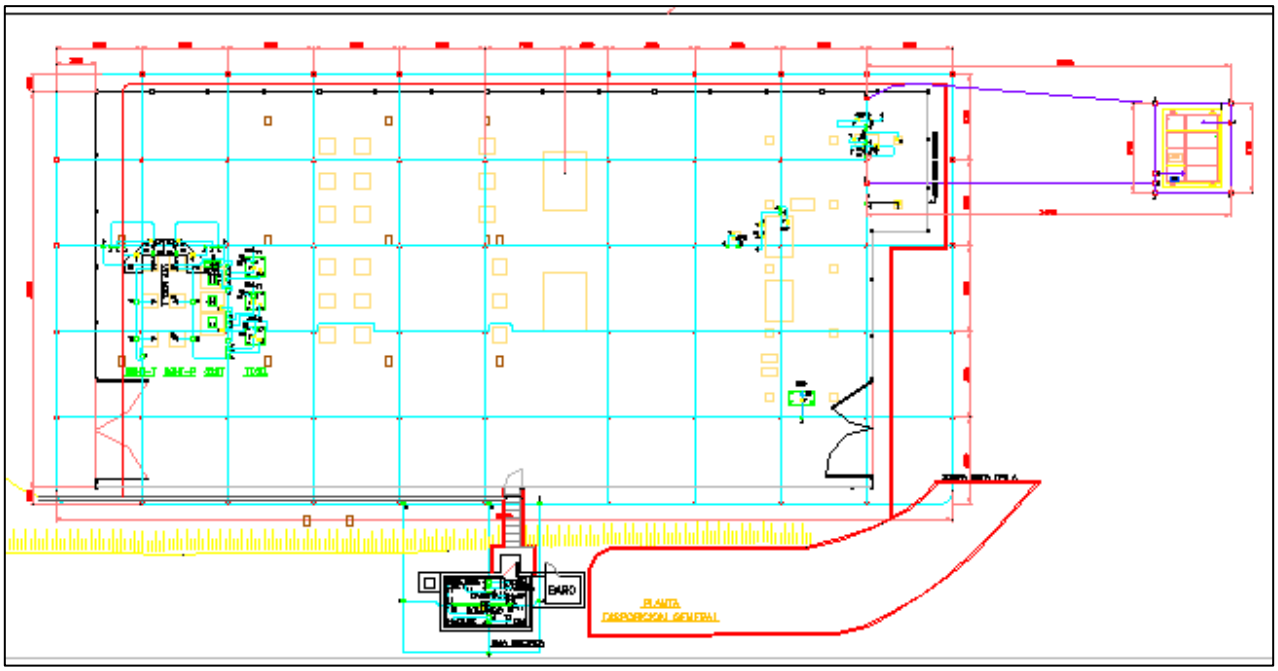


Figura 4: Malla de Puesta a Tierra S/E Cabildo

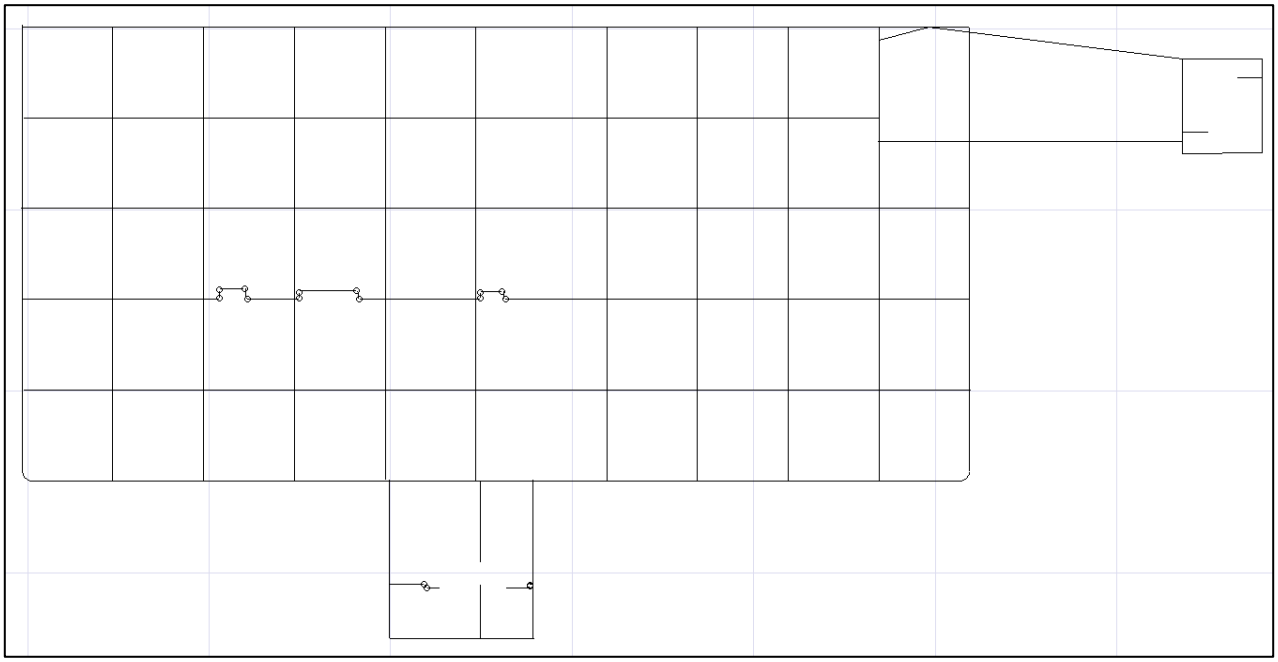


Figura 5: Malla de Puesta a Tierra S/E Cabildo Modelada en SES CDEGS

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

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


    MULTI-LAYER EARTH CHARACTERISTICS USED BY PROGRAM



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

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

Original Electrical Current Flowing In Electrode..:   1000.0     amperes
Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:   1.0000
Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   1000.0     amperes
Number of Conductors in Electrode.................:   100
Resistance of Electrode System....................:   5.6320     ohms


SUBDIVISION
===========
Grand Total of Conductors After Subdivision.:   360


Total Current Flowing In Main Electrode......:   1000.0     amperes
Total Buried Length of Main Electrode........:   678.68     meters


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

Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   5632.0     volts
```

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

La resistencia de puesta a tierra de la subestación, alcanza un valor calculado de 5,63 ohm, no se tiene valor medido de la resistencia.

5.3. S/E Costanera

S/E Costanera propiedad de EEPA., ubicada entre la Autopista Vespucio Express y Autopista del Sol, Latitud: 33°29'29.10"S, Longitud: 70°49´50.72"O, en la región de metropolitana.

Se modela el cable de guardia de la línea Puente Alto - Costanera 110 kV de la subestación Pajaritos.

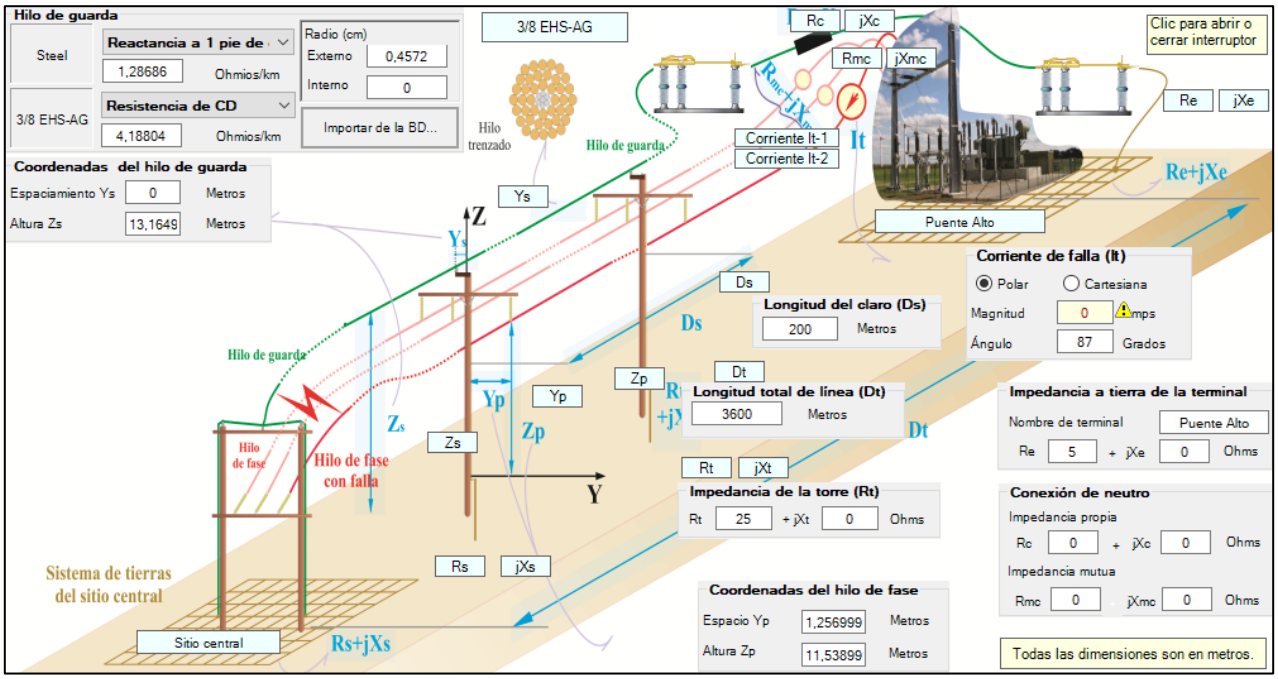


Figura 7: Modelo de línea Puente Alto - Costanera

Se modela la malla de puesta a tierra de la subestación, con los siguientes datos.

Las dimensiones principales de la malla existente y sus magnitudes básicas son las siguientes:

- Dimensión global de la malla (forma irregular): 54,5x42,2 m.
- La profundidad de enterramiento de la malla es 0,7 m.
- El conductor de la malla es de cobre desnudo 4/0 AWG.
- El plano de malla de puesta a tierra, indica que la malla cuenta con un tratamiento químico de suelo con bentonita, el cual para el efecto de estudio se realiza una reducción a la estratificación del 7% para lograr el valor medido de la resistencia de 0.69 ohms.

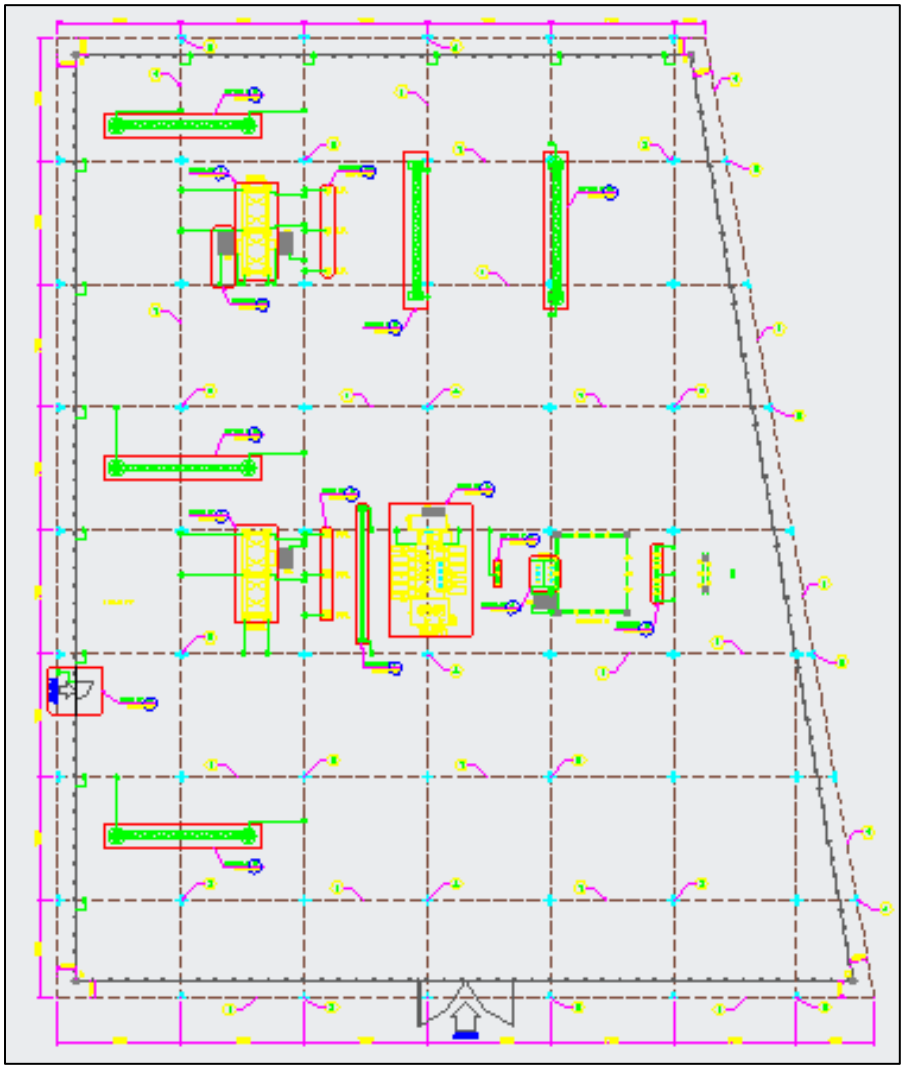


Figura 8: Malla de Puesta a Tierra S/E Costanera

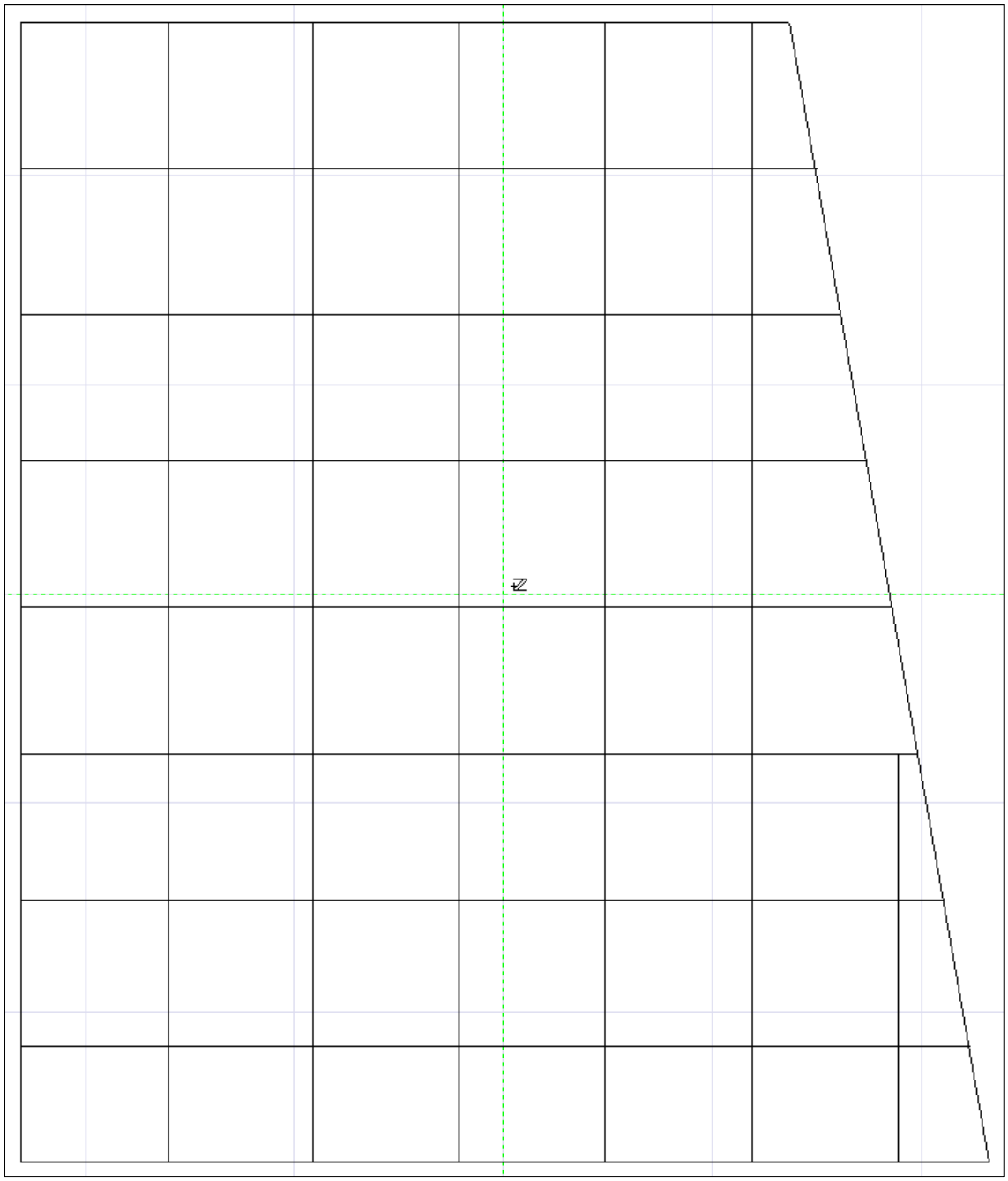


Figura 9: Malla de Puesta a Tierra S/E Costanera Modelada en SES CDEGS

```
===========< 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       16.2800      0.250000
       3   Soil   0.936054       492.900      0.800000E-01
       4   Soil  -0.897594       26.6000       7.45000
       5   Soil   0.741860       179.490       641.000
       6   Soil  -0.991457      0.770000          Infinite
1

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

 Original Electrical Current Flowing In Electrode..:   1000.0     amperes
 Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:   1.0000
 Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   1000.0     amperes
 Number of Conductors in Electrode.................:    17
 Resistance of Electrode System....................:  0.68924     ohms


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


 Total Current Flowing In Main Electrode......:   1000.0     amperes
 Total Buried Length of Main Electrode........:   777.82     meters


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

 Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   689.24     volts
```

Figura 10: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Costanera

La resistencia de puesta a tierra de la subestación, alcanza un valor calculado de 0,69 ohm, el valor medido es de 0,69 Ohm.

5.4. S/E Alto Bonito

S/E Alto Bonito propiedad de SAESA, ubicada frente a la ruta 5, Latitud: 54°02'723.37"N, Longitud: 66°17´98.91"E, en la región de Los Lagos, providencia Llanquinhue, comuna Puerto Montt.

Se modela la malla de puesta a tierra de la subestación, con los siguientes datos.

Las dimensiones principales de la malla existente y sus magnitudes básicas son las siguientes:

- Dimensión global de la malla: 45x34,5 m.
- El conductor de la malla es de cobre desnudo, Cu 4/0 AWG.
- Barra Copperweld: 8 barras 5/8" x 3m.

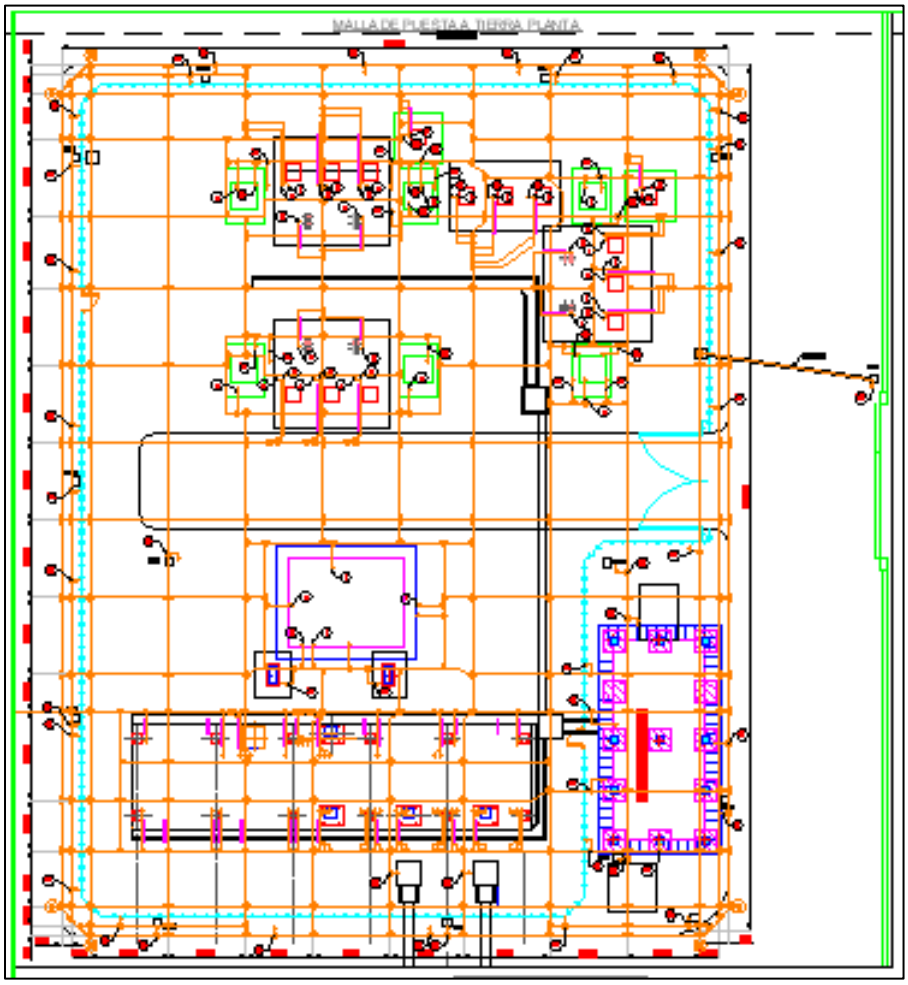


Figura 11: Malla de Puesta a Tierra S/E Alto Bonito

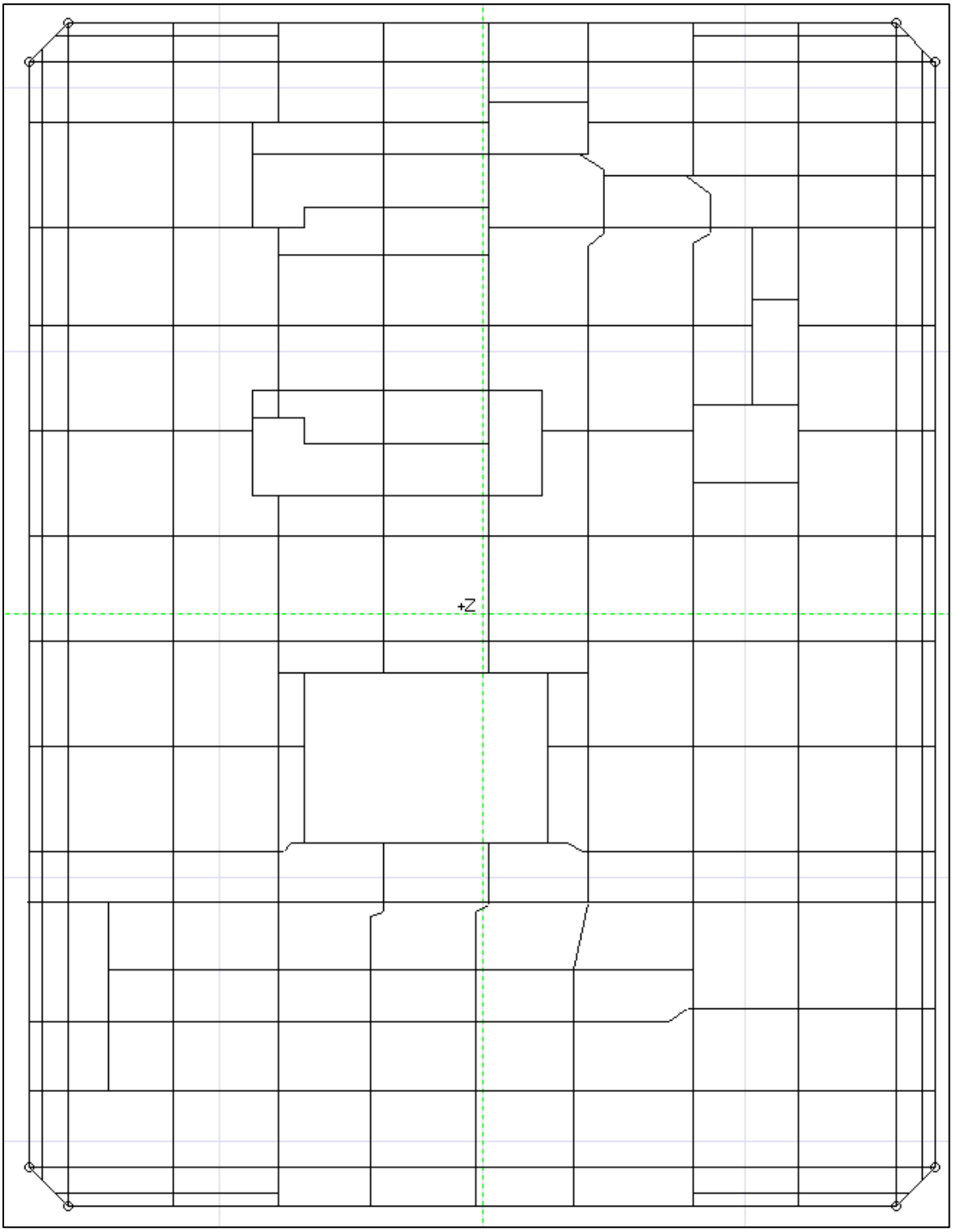


Figura 12: Malla de Puesta a Tierra S/E Alto Bonito Modelada en SES CDGES

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

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


    MULTI-LAYER EARTH CHARACTERISTICS USED BY PROGRAM



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

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

Original Electrical Current Flowing In Electrode..:   1000.0     amperes
Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:   1.0000
Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   1000.0     amperes
Number of Conductors in Electrode.................:    99
Resistance of Electrode System....................:   6.8581     ohms


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


Total Current Flowing In Main Electrode......:   1000.0     amperes
Total Buried Length of Main Electrode........:   1258.1     meters


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

Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   6858.1     volts
```

Figura 13: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Alto Bonito

La resistencia de puesta a tierra de la subestación, alcanza un valor calculado de 6,86 ohm, el valor calculado por el propietario es de 1,09 Ohm S/E Alto Bonito.

5.5. S/E Castro

S/E Castro propiedad de STS, ubicada en la calle Manuel Ojeda, Latitud: 52°95'795.95"N, Longitud: 59°97´25.00"E, en la región de Los Lagos, providencia Chiloé, comuna Castro.

Se modela la malla de puesta a tierra de la subestación, con los siguientes datos.

Las dimensiones principales de la malla existente y sus magnitudes básicas son las siguientes:

- Dimensión global de la malla (forma irregular): 47x40 m.
- La profundidad de enterramiento de la malla es 0,6 m.
- El conductor de la malla es de cobre desnudo, 120 mm2 de sección.

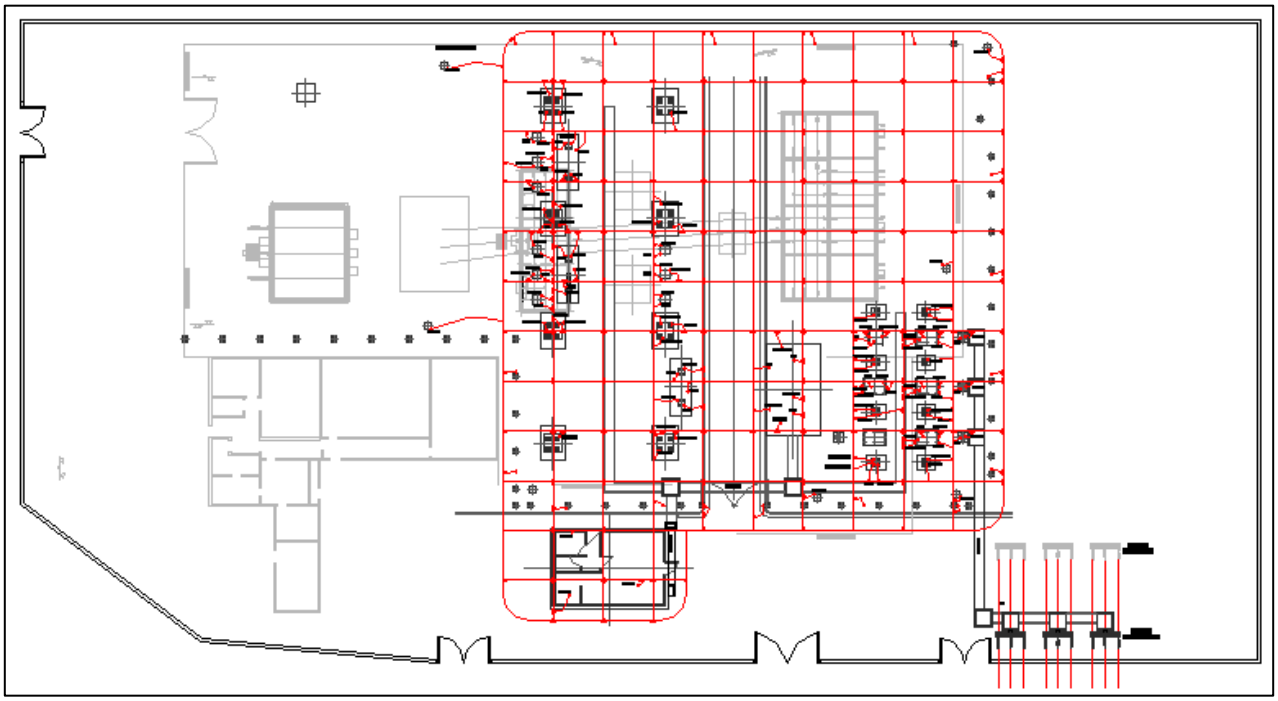


Figura 14: Malla de Puesta a Tierra S/E Castro

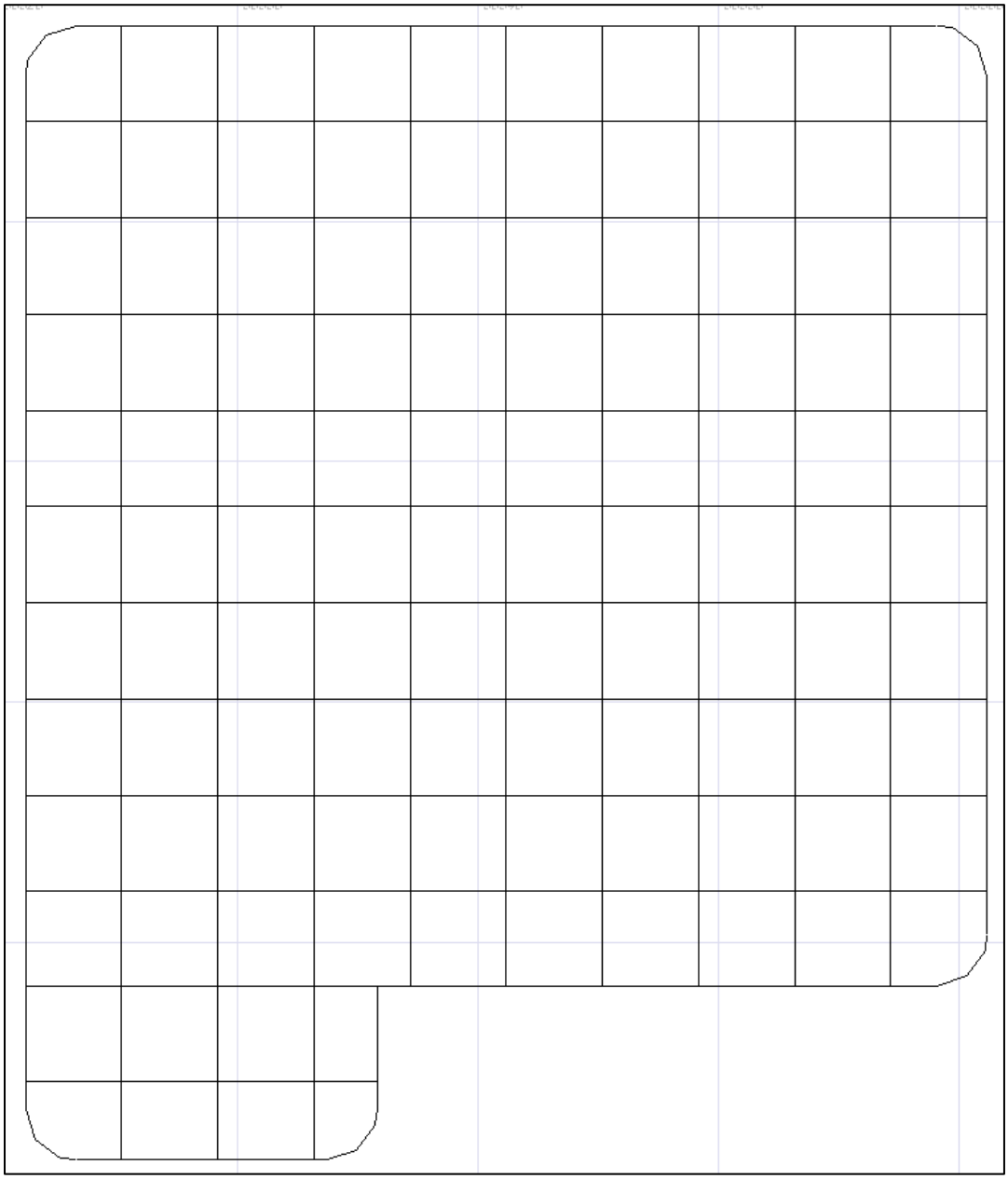


Figura 15: Malla de Puesta a Tierra S/E Castro Modelada en SES CDEGS

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

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


     MULTI-LAYER EARTH CHARACTERISTICS USED BY PROGRAM



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

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

 Original Electrical Current Flowing In Electrode..:   1000.0     amperes
 Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:   1.0000
 Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   1000.0     amperes
 Number of Conductors in Electrode................:    40
 Resistance of Electrode System...................:   7.3619     ohms


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


 Total Current Flowing In Main Electrode......:   1000.0     amperes
 Total Buried Length of Main Electrode........:   939.92     meters


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

 Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   7361.9     volts
```

Figura 16: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Castro

La resistencia de puesta a tierra de la subestación, alcanza un valor calculado de 7,36 ohm, el valor medido por el propietario es de 3,40 Ohm.

6. 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 80-2013 "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. Se modelará en el informe técnico de diagnóstico con la misma cantidad de cable de guardia, ya que las nuevas obras de las subestaciones estudiada no contemplan obras de líneas.

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

La modelación arroja valores bajos de resistencia que están en el orden a las mediciones realizadas, se recomienda realizar mediciones de resistividad de terreno en aquellas subestaciones que no poseen mediciones de resistividad de terreno para lograr una mayor exactitud de la resistencia de las mallas de puesta a tierra.

Anexo I: Resistividad de Terreno

S/E Quinquimo y S/E Cabildo:

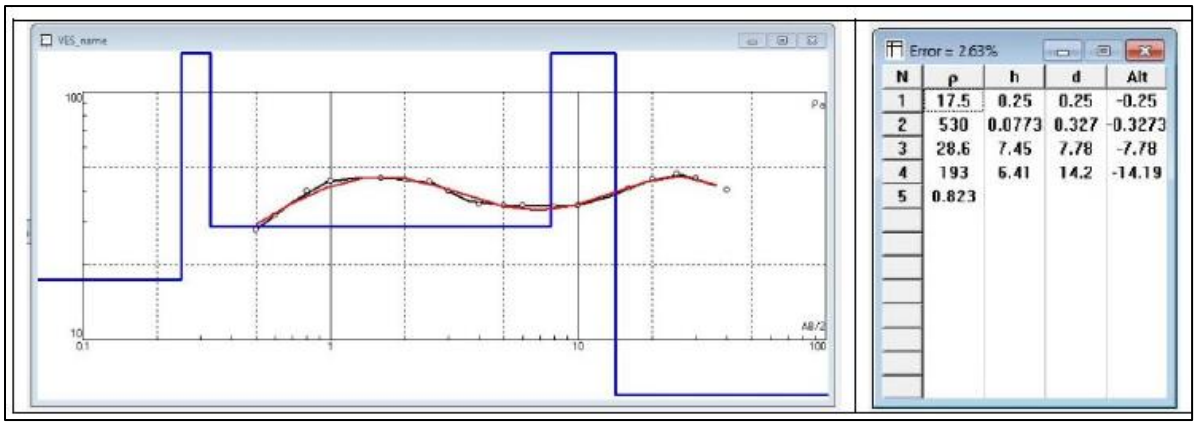
Table 8—Range of earth resistivity

Type of earth	Average resistivity (Ω-m)
Wet organic soil	10
Moist soil	10^2
Dry soil	10^3
Bedrock	10^4

Para las SS/EE Quinquimo y Cabildo se utilizará una resistividad promedio entre terreno húmedo y seco, el cual sería un valor de 500 ohm-m (tabla 8 de la norma IEEE 80-2013), lo cual asumiría homogeneidad en las capas de terreno.

S/E Costanera:

L (m)	a (m)	na (m)	n (m)	(n+1) (m)	R=V/I (Ω)	ρap (Ωm)
0,50	0,50	0,25	0,50	1,50	23,60	27,80
0,60	0,50	0,35	0,70	1,70	16,95	31,68
0,80	0,50	0,55	1,10	2,10	11,01	39,95
1,00	0,50	0,75	1,50	2,50	7,43	43,77
1,60	0,50	1,X35	2,70	3,70	2,86	44,88
2,00	0,50	1,75	3,50	4,50	1,80	44,53
2,50	0,50	2,25	4,50	5,50	1,12	43,54
3,00	0,50	2,75	5,50	6,50	0,71	39,87
4,00	1,00	3,50	3,50	4,50	0,71	35,13
5,00	1,00	4,50	4,50	5,50	0,45	34,99
6,00	3,00	4,50	1,50	2,50	0,99	34,99
8,00	3,00	6,50	2,17	3,17	0,53	34,27
10,00	3,00	8,50	2,83	3,83	0,34	34,80
16,00	5,00	13,50	2,70	3,70	0,26	40,80
20,00	5,00	17,50	3,50	4,50	0,18	44,53
25,00	5,00	22,50	4,50	5,50	0,12	46,65
30,00	5,00	27,50	5,50	6,50	0,08	44,92
40,00	5,00	37,50	7,50	8,50	0,04	40,06



S/E Alto Bonito:

Medición N°1

n	a [m]	L [m]	R [Ohm]	ρ aparente[Ohm-m]
1	0,60	1,00	15,430	73,52
2	0,60	1,30	11,940	100,03
3	0,60	1,60	9,160	118,47
4	0,60	2,00	7,630	156,21
5	0,60	2,50	5,900	190,30
6	0,60	3,00	5,000	233,26
7	0,60	4,00	11,290	940,51
8	0,60	5,00	8,220	1072,12
9	0,60	6,50	5,370	1185,42
10	0,60	8,00	3,730	1248,18
11	0,60	10,00	2,510	1313,05
12	0,60	13,00	2,430	2149,12
13	0,60	16,00	2,290	3068,47
14	0,60	20,00	2,530	5297,63
15	0,60	25,00	0,318	1040,50
16	0,60	30,00	2,310	10884,53

Dado a que el espesor 2 (E_2) es igual a 0, se considera un terreno de 2 capas

$\rho_1 = 60\ \Omega\text{m}$ $\quad$ $\rho_2 = 1000m$

$E_1 = 0{,}8\text{m}$ $\quad$ $E_2 = 1000m$

$h_1 = E_1 = 1{,}2\text{m}$ $\quad$ $h_2 = E_2 + h_1 = 1001{,}2\text{m}$

Medición N°2

n	a [m]	L [m]	R [Ohm]	ρ aparente[Ohm-m]
1	0,60	1,00	28,500	135,80
2	0,60	1,30	19,520	163,53
3	0,60	1,60	15,180	196,32
4	0,60	2,00	11,900	243,63
5	0,60	2,50	9,610	309,96
6	0,60	3,00	8,130	379,29
7	0,60	4,00	6,000	499,83
8	0,60	5,00	5,210	679,53
9	0,60	6,50	4,540	1002,20
10	0,60	8,00	4,230	1415,49
11	0,60	10,00	3,880	2029,73
12	0,60	13,00	3,360	2971,62
13	0,60	16,00	2,880	3859,03
14	0,60	20,00	2,840	5946,74
15	0,60	25,00	3,160	10339,59
16	0,60	30,00	3,180	14983,90

Dado a que el espesor 2 (E_2) es igual a 0, se considera un terreno de 2 capas

$\rho_1 = 110\ \Omega\text{m}$ $\quad$ $\rho_2 = 1000m$

$E_1 = 0{,}9\text{m}$ $\quad$ $E_2 = 1000m$

$h_1 = E_1 = 1{,}2\text{m}$ $\quad$ $h_2 = E_2 + h_1 = 1001{,}2\text{m}$

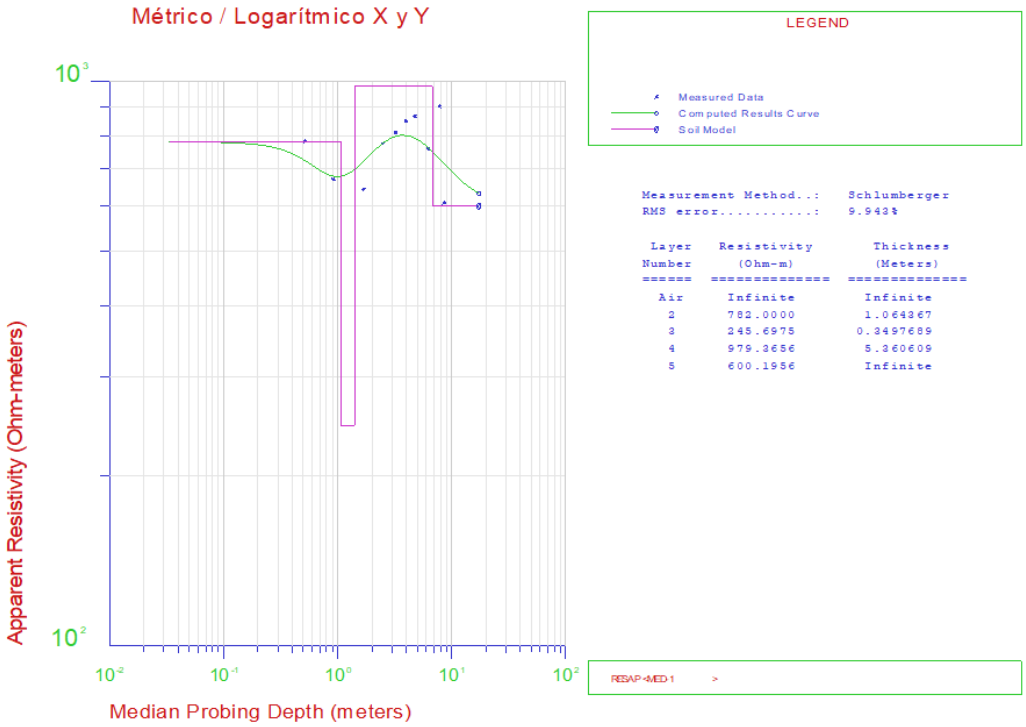
S/E Castro:

Medición N°1

Lugar: Frente marco línea 110 kV lado calle

ESTACION	DIST. L m	RESISTENCIA Ohms	RESISTIVIDAD Ohms-m
1	1	332	782
2	2	56,9	670
3	4	13	643
4	6	6,89	774
5	8	4,05	811
6	10	2,71	849
7	12	1,918	866
8	16	0,944	758
9	20	0,718	902
10	22	0,4	608
11	28		0

Las estratificaciones de resistividad del terreno se obtuvieron mediante el software RESAP

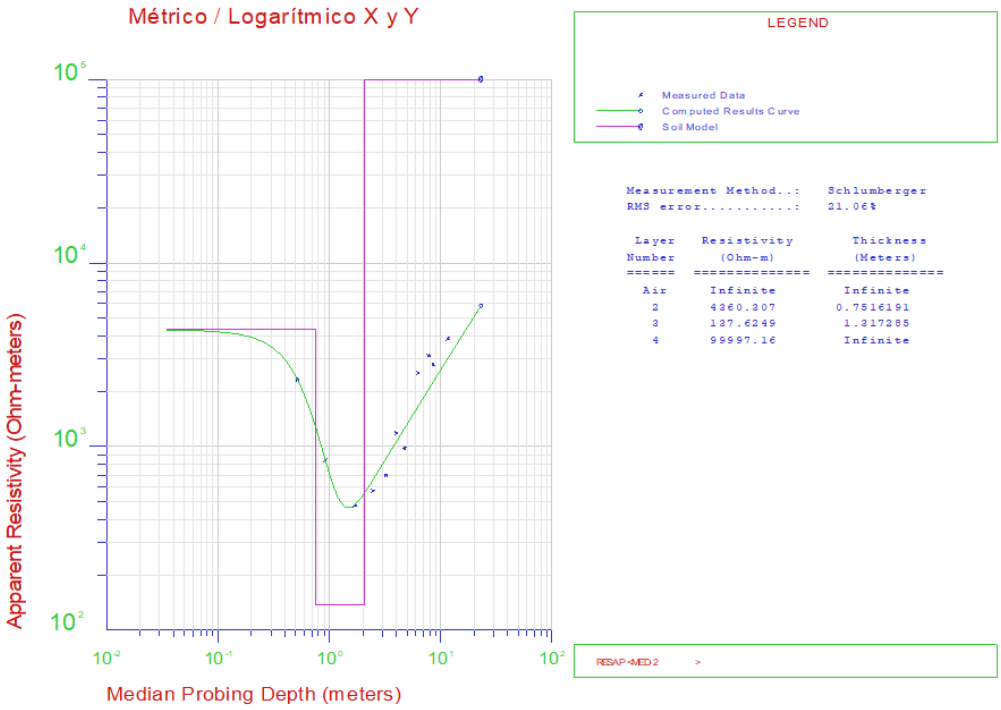


Medición N°2

Lugar: Patio AT, frente a fundación.

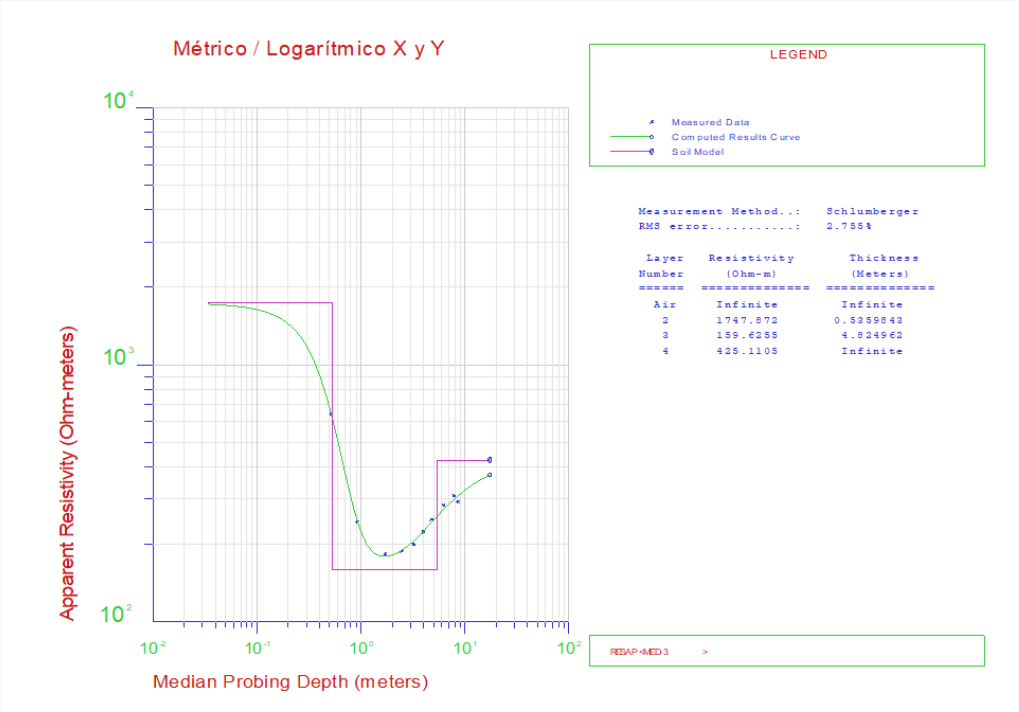
ESTACION	DIST. L m	RESISTENCIA Ohms	RESISTIVIDAD Ohms-m
1	1	981	2.311
2	2	71,3	840
3	4	9,61	476
4	6	5,11	574
5	8	3,48	697
6	10	3,78	1.185
7	12	2,17	980
8	16	3,132	2.516
9	20	2,49	3.127
10	22	1,84	2.796
11	30	1,364	3.856

Las estratificaciones de resistividad del terreno se obtuvieron mediante el software RESAP



Medición N°3

Lugar: Patio Entrenamiento

ESTACION	DIST. L m	RESISTENCIA Ohms	RESISTIVIDAD Ohms-m
1	1	273	643
2	2	20,8	245
3	4	3,7	183
4	6	1,672	188
5	8	0,998	200
6	10	0,716	224
7	12	0,554	250
8	16	0,354	284
9	20	0,246	309
10	24	0,162	293
11	30		0
			0

Las estratificaciones de resistividad del terreno se obtuvieron mediante el software RESAP