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-001

Nº Documento Cliente	

Título	Informe de Modelación N°1

Fecha	Revisión
14-11-2019	2
25-09-2019	1

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-001

INFORME DE MODELACIÓN N°1

Índice

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 7

5. Principales Resultados 9

5.1. S/E Batuco 9

5.2. S/E Los Almendros 13

5.3. S/E Pajaritos 19

5.4. S/E Lo Aguirre 23

5.5. S/E Santa Raquel 26

6. Conclusiones y Recomendaciones 30

Índice de figuras

Figura 1: Modelo de línea Las Vegas - Batuco 9
Figura 2: Malla de Puesta a Tierra SE Batuco 10
Figura 3: Malla de Puesta a Tierra SE Batuco Modelada en SES CDEGS 11
Figura 4: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Batuco 12
Figura 5: Modelo de línea Alfalfal-Los Almendros 13
Figura 6: Modelo de línea Alto Jahuel-Los Almendros 14
Figura 7: Modelo de línea El Salto-Los Almendros 14
Figura 8: Modelo de línea Florida-Los Almendros 15
Figura 9: Malla de Puesta a Tierra SE Los Almendros 16
Figura 10: Malla de Puesta a Tierra SE Los Almendros Modelada en SES CDEGS 17

Figura 11: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Los Almendros 18
Figura 12: Modelo de línea Cerro Navia-Pajaritos 19
Figura 13: Malla de Puesta a Tierra SE Pajaritos 20
Figura 14: Malla de Puesta a Tierra SE Pajaritos Modelada en SES CDEGS 21
Figura 15: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Pajaritos 22
Figura 17: Malla de Puesta a Tierra SE Lo Aguirre 23
Figura 18: Malla de Puesta a Tierra SE Lo Aguirre Modelada en SES CDGES 24
Figura 19: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Lo Aguirre..... 25
Figura 20: Modelo de línea Alto Jahuel-Santa Raquel..... 26
Figura 21: Malla de Puesta a Tierra SE Santa Raquel 27
Figura 22: Malla de Puesta a Tierra SE Santa Raquel Modelada en SES CDEGS..... 28
Figura 23: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Santa Raquel..... 29

Índice de anexos

Anexo I: Resistividad de Terreno 31

Índice de tablas

Tabla 1: Estratificación del terreno S/E Batuco 7
Tabla 2: Estratificación del terreno S/E Los Almendros 7
Tabla 3: Estratificación del terreno S/E Pajaritos 7
Tabla 4: Estratificación del terreno S/E Lo Aguirre 7
Tabla 5: Estratificación del terreno S/E Santa Raquel 7
Tabla 6: Cables de guardia de las subestaciones.....8

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 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 Batuco:

La resistencia de puesta a tierra de la subestación alcanza un valor calculado de 1,52 ohm, comparado con valor medido por el propietario que es de 0,37 Ohm.

S/E Los Almendros:

La resistencia de puesta a tierra de la subestación alcanza un valor calculado de 0,79 ohm, comparado con valor medido por el propietario que es de 0,86 Ohm.

S/E Pajaritos:

La resistencia de puesta a tierra de la subestación alcanza un valor calculado de 0,62 ohm, comparado con valor medido por el propietario es de 0,72 Ohm.

S/E Lo Aguirre:

La resistencia de puesta a tierra de la subestación alcanza un valor calculado de 0,40 ohm, comparado con valor medido por el propietario que es de 0,40 Ohm.

S/E Santa Raquel:

La resistencia de puesta a tierra de la subestación alcanza un valor calculado de 2,41 ohm, comparado con valor medido por el propietario que es de 0,64 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 "CHM-17746-001" Malla Puesta a Tierra-Planta S/E Batuco.

[5]. Plano "CMD-15254-001" Malla Puesta a Tierra-Planta S/E Los Almendros.

[6]. Plano "CHM-17895-001" Malla Puesta a Tierra-Planta S/E Pajaritos.

[7]. Plano "SDO-12706-001" Malla Puesta a Tierra-Planta S/E Lo Aguirre.

[8]. Plano "CMD-15342-001" Malla Puesta a Tierra-Planta S/E Santa Raquel.

4.1.2. Resistividad de Terreno

[9]. Documento "Informe diagnóstico del sistema de puesta a tierra subestaciones de chilectra, Batuco, septiembre 2009".

[10]. Documento "Estudio y Análisis Malla de Tierra SE Batuco".

[11]. Documento "Informe diagnóstico del sistema de puesta a tierra subestaciones de chilectra, Los Almendros, septiembre 2009".

[12]. Documento "Informe diagnóstico del sistema de puesta a tierra subestaciones de chilectra, Pajaritos, septiembre 2009".

[13]. Documento "Informe diagnóstico del sistema de puesta a tierra subestaciones de chilectra, Lo Aguirre, septiembre 2009".

[14]. Documento "Informe diagnóstico del sistema de puesta a tierra subestaciones de chilectra, Santa Raquel, septiembre 2009".

4.1.3. Medición de Resistencia de Malla de Puesta a Tierra

[15]. Documentos "medición de resistencia de malla puesta a tierra S/E Batuco".

[16]. Documentos "medición de resistencia de malla puesta a tierra S/E Los Almendros".

[17]. Documentos "medición de resistencia de malla puesta a tierra S/E Pajaritos".

[18]. Documentos "medición de resistencia de malla puesta a tierra S/E Lo Aguirre".

[19]. Documentos "medición de resistencia de malla puesta a tierra S/E Santa Raquel".

4.1.4. Geometría de las Torres

[20]. Plano "DE-C0701-C-10-A" geometría de las torres de la línea Cerro Navia-Las Vegas para la subestación Batuco.

[21]. Plano "DT2452-PD4010" geometría de las torres de la línea Alfalfal - Los Almendros para la subestación Los Almendros.

[22]. Plano "CMD-14616-001" geometría de las torres de la línea Alto Jahuel - Los Almendros para la subestación Los Almendros.

[23]. Plano "CHI-20183-001" geometría de las torres de la línea El Salto - Los Almendros para la subestación Los Almendros.

[24]. Plano "CHI-22155-001" geometría de las torres de la línea La Florida - Los Almendros para la subestación Los Almendros.

[25]. Plano "20528010" geometría de las torres de la línea Cerro Navia - Chena para la subestación Pajaritos.

[26]. Plano "CHI-19474-001" geometría de las torres de la línea Cerro Navia – Lo Aguirre para la subestación Lo Aguirre.

[27]. Plano "CHI-18394-001" geometría de las torres de la línea Alto Jahuel – La Florida para la subestación Santa Raquel.

4.1.5. Cables de Guardia

[28]. Documento "147_OPGW_DNO5777" cable de guardia de la línea Cerro Navia-Las Vegas de la subestación Batuco.

[29]. Documento "135_OPGW_DNO5777" cable de guardia de la línea Alfalfal - Los Almendros de la subestación Los Almendros.

[30]. Documento "FE 3-8" cable de guardia subestación de la línea Alto Jahuel - Los Almendros de la subestación Los Almendros.

[31]. Documento "FE 5-16" cable de guardia subestación de la línea El Salto - Los Almendros de la subestación Los Almendros.

[32]. Documento "FE 3-8" cable de guardia subestación de la línea Florida - Los Almendros de la subestación Los Almendros.

[33]. Documento "OPGW 126,7 mm2" cable de guardia subestación de la línea Cerro Navia - Chena de la subestación Pajaritos.

[34]. Documento "FE 5-16" cable de guardia subestación de la línea Alto Jahuel – La Florida de la subestación Santa Raquel.

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 Batuco

Capas	Resistividad (Ωm)	Profundidad (m)
1	30,80	0,18
2	20,02	10,80
3	∞	∞

Tabla 2: Estratificación del terreno S/E Los Almendros

Capas	Resistividad (Ωm)	Profundidad (m)
1	67,50	∞

Tabla 3: Estratificación del terreno S/E Pajaritos

Capas	Resistividad (Ωm)	Profundidad (m)
1	550	∞

Tabla 4: Estratificación del terreno S/E Lo Aguirre

Capas	Resistividad (Ωm)	Profundidad (m)
1	44	∞

Tabla 5: Estratificación del terreno S/E Santa Raquel

Capas	Resistividad (Ωm)	Profundidad (m)
1	115,00	0,21
2	575,00	7,35
3	172	∞

Para la modelación del cable de guarda, se utilizará el máximo valor de cortocircuito residual y se le aplicará el Factor Split, que considera el efecto de los cables de guardia de las líneas que llegan a las subestaciones, cálculo que se realiza con el módulo FCDIST del software CDEGS.

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

- Valor máximo de cortocircuito a tierra.
- 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).
- Para las subestaciones en derivación se utilizará la distancia más larga de la línea para el cable de guardia con el fin de considerarlo como un modelo tipo líneas largas bajo la cual se desprecia la influencia de puesta a tierra remoto, de acuerdo a la metodología de la Especificación de Estudios DID N° 03 Verificación de la Capacidad de Malla de Tierra.

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)	Resistencia de CD (Ohm/km)	Longitud (km)	Altura Cable Guardia (m)	Altura Fase (m)	Distancia Fase-Eje (m)	Vano (m)	Resistencia (ohm)	Nombre	Resistencia (ohm)
Batuco	Cerro Navia - Las Vegas	110	OPGW	112,74	0,385	56,1	25,61	17,9	2,75	200	25	Las Vegas	5
Los Almendros	ALFALFAL - LOS ALMENDROS	220	EHS	3/8"	4,18804	44,2	42,36	26,36	4	250	25	Alfalfal	5
	ALTO JAHUEL - LOS ALMENDROS	220	EHS	2x3/8"	4,18804	40,7	40	25,5	3,8	369	25	Alto Jahuel	5
	EL SALTO - LOS ALMENDROS	110	EHS	3/8"	4,18804	17,59	26,5	16	2,6	200	25	El Salto	5
	FLORIDA - LOS ALMENDROS	110	EHS	3/8"	4,18804	18,1	26,35	15	2,6	200	25	Florida	5
Pajaritos	Cerro Navia - Chena	110	OPGW 18 Fibras	126,68	0,315	9,05	27,33	14,7	2,4	200	25	Cerro Navia	5
Santa Ranquel	ALTO JAHUEL - FLORIDA	110	EHS	5/16"	0,315	21,43	33,9	17,5	2,35	200	25	ALTO JAHUEL	5

Notas. A) Para S/E Batuco se usa la longitud de cable de guardia asociada a S/E seccionadora más lejana, Las Vegas.
B) Para S/E Pajaritos se usa la longitud de cable de guardia asociada a S/E seccionadora más lejana, Cerro Navia.
C) Para S/E Santa Raquel se usa la longitud de cable de guardia asociada a S/E seccionadora más lejana, Alto Jahuel.
D) La S/E Lo Aguirre no posee cable de guardia

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.

Las modelaciones de los cables de guardia se realizan para las siguientes cinco subestaciones: Batuco, Los Almendros, Pajaritos, Lo Aguirre, Santa Raquel. Para aquello se modela en el módulo de análisis de distribución de la corriente de falla (FCDIST) del software CDEGS.

5.1. S/E Batuco

S/E Batuco propiedad de Enel Distribución, ubicada a 120 metros de la Panamericana Norte y al frente de la calle Lo Pinto, Latitud: 33°16'03.56" S, Longitud: 70°43´51.11" O, en la región de metropolitana.

Se modela el cable de guardia de la línea Cerro Navia – Las Vegas 110 kV, tramo Las Vegas-Batuco.

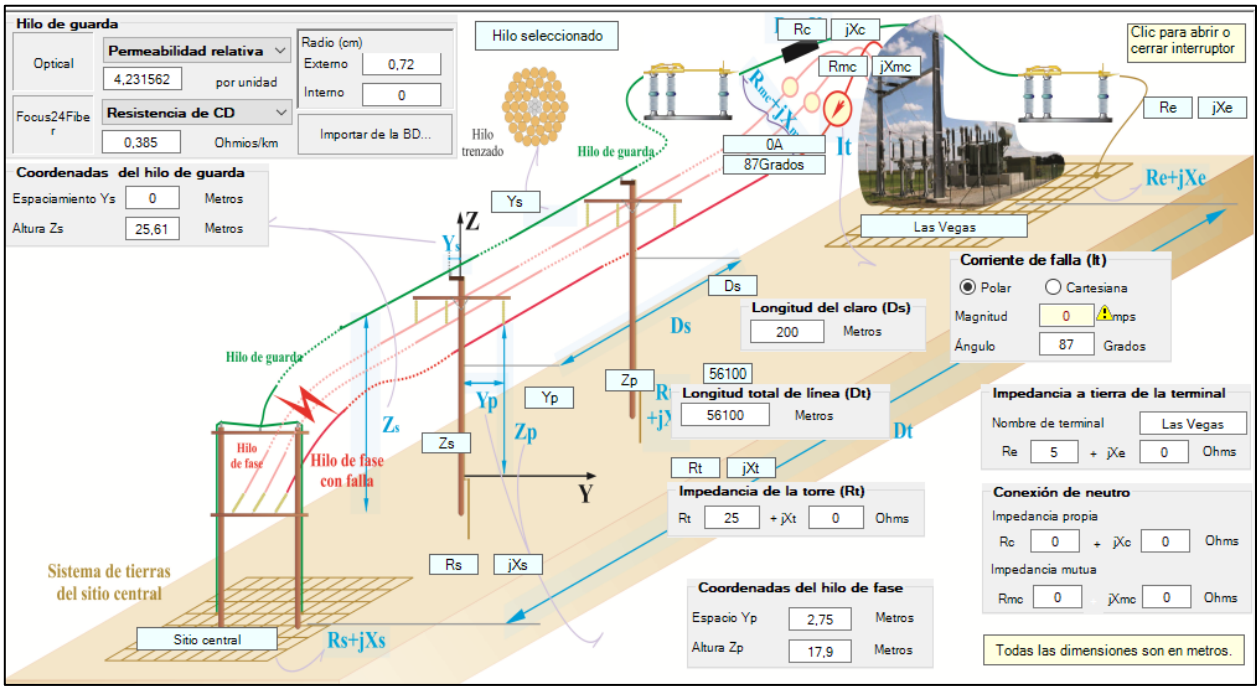

Figura 1: Modelo de línea Las Vegas - Batuco

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): 90x30 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.
- Barras Copperweld: 29 barras de 5/8” x 1,5 m.

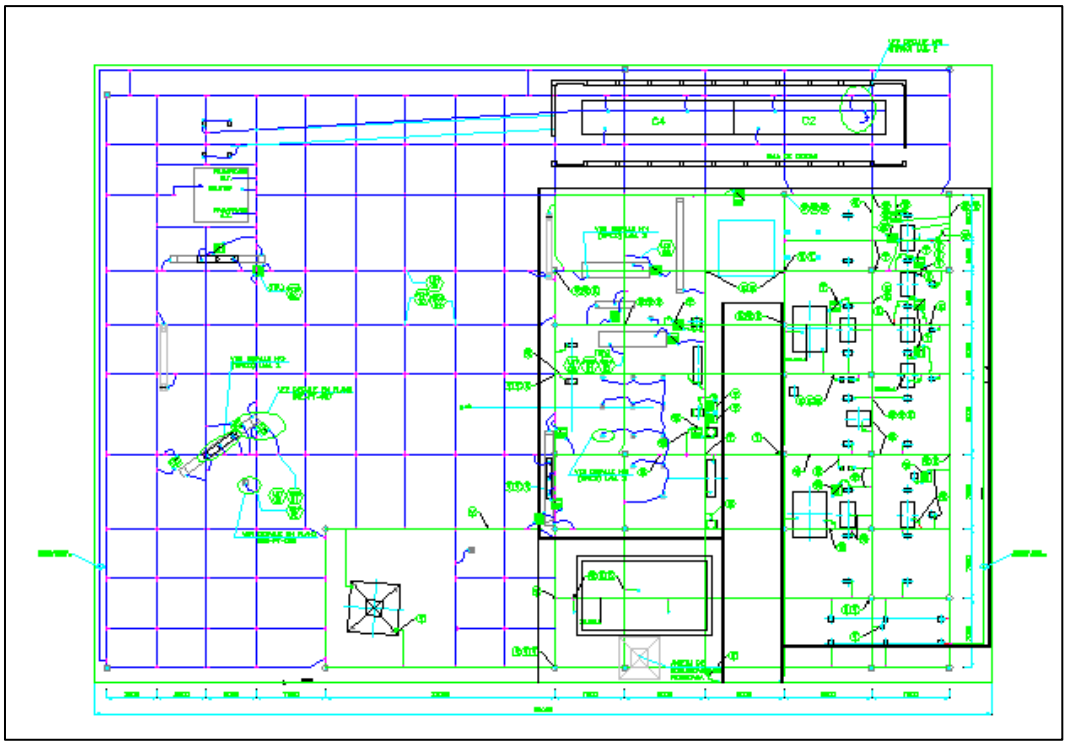

Figura 2: Malla de Puesta a Tierra S/E Batuco

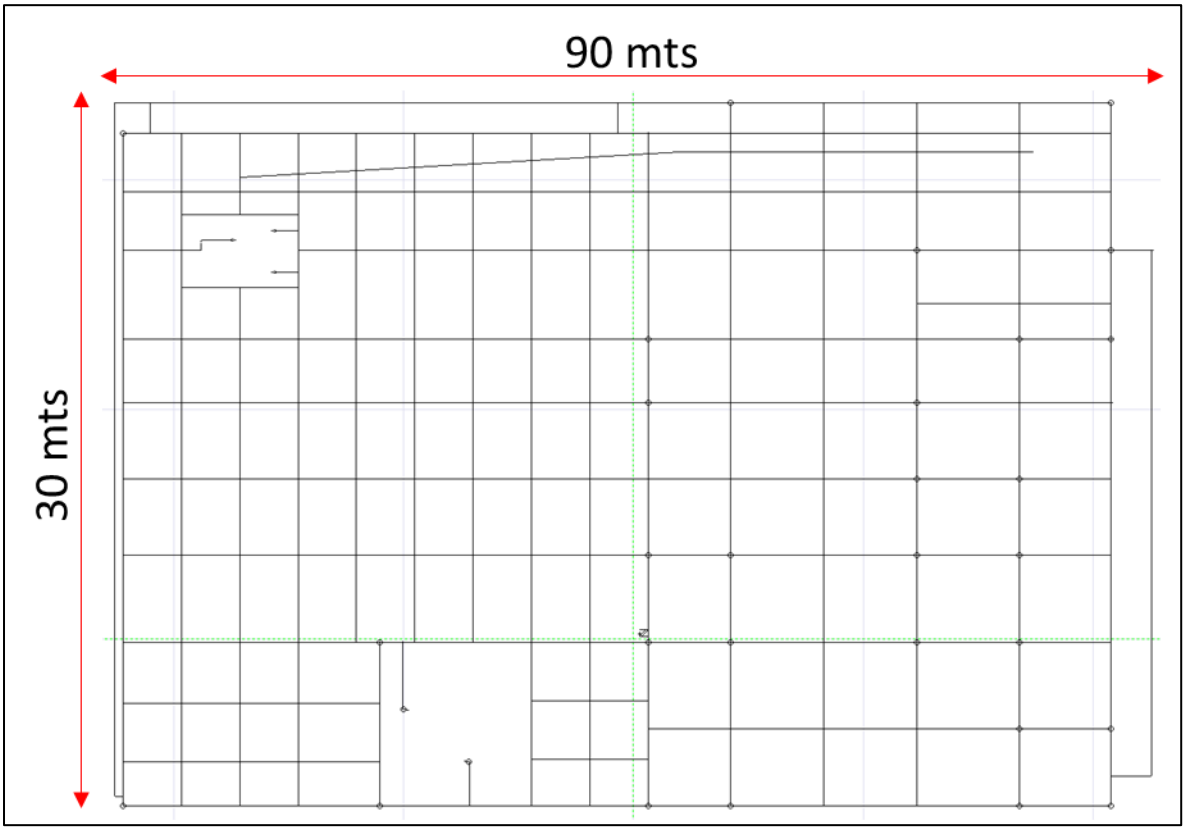

Figura 3: Malla de Puesta a Tierra S/E Batuco Modelada en SES CDEGS

```
===========< 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       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..:   11720.     amperes
Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:   1.0000
Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   11720.     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......:   11720.     amperes
Total Buried Length of Main Electrode........:   2104.4     meters


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

Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   17755.     volts
```

Figura 4: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Batuco

La resistencia de puesta a tierra de la subestación, alcanza un valor calculado de 1,52 ohm, y el valor medido por el propietario es de 0,37 Ohm.

5.2. S/E Los Almendros

S/E Los Almendros propiedad de Enel Distribución, ubicada en la calle Francisco Bulnes Correa, Latitud: 33°25'40.31" S, Longitud: 70°30´28.42" O, en la región de metropolitana.

Se modela los cables de guardia de la línea Alfalfal – Los Almendros 220 kV, la línea Alto Jahuel - Los Almendros 2x220 kV, la línea El Salto - Los Almendros 110 kV, la línea Florida - Los Almendros 110 kV.

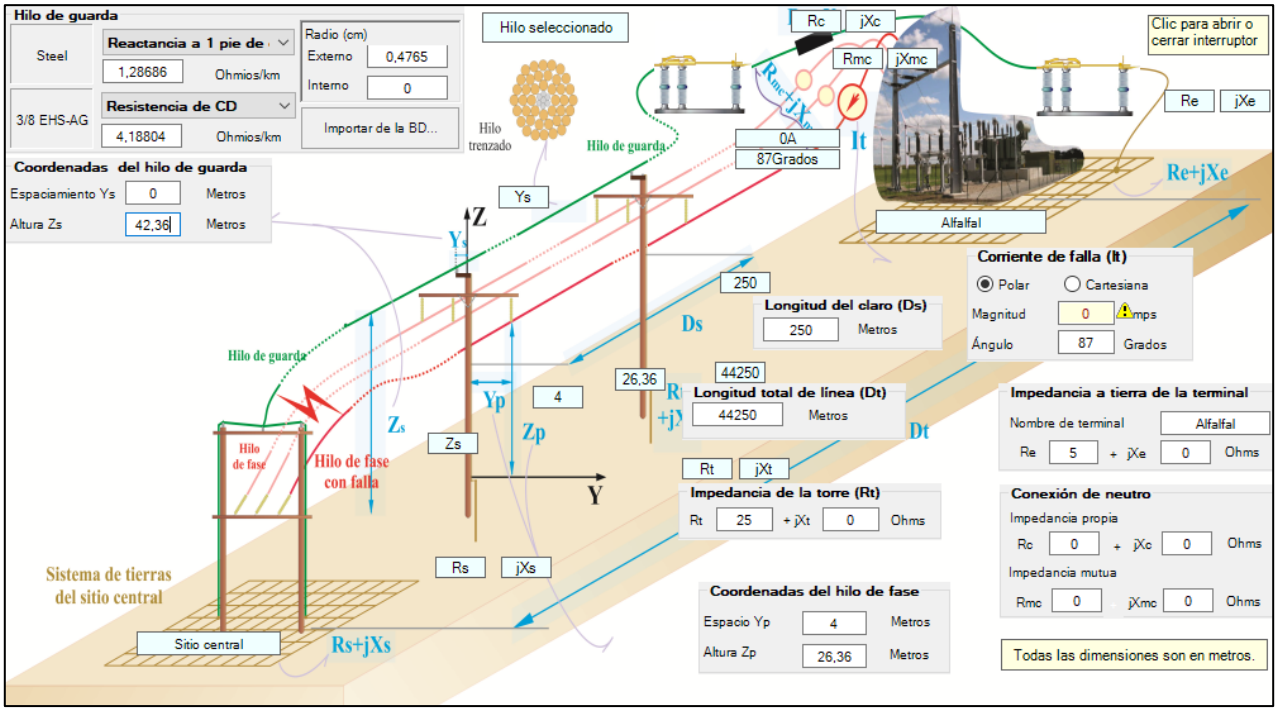

Figura 5: Modelo de línea Alfalfal-Los Almendros

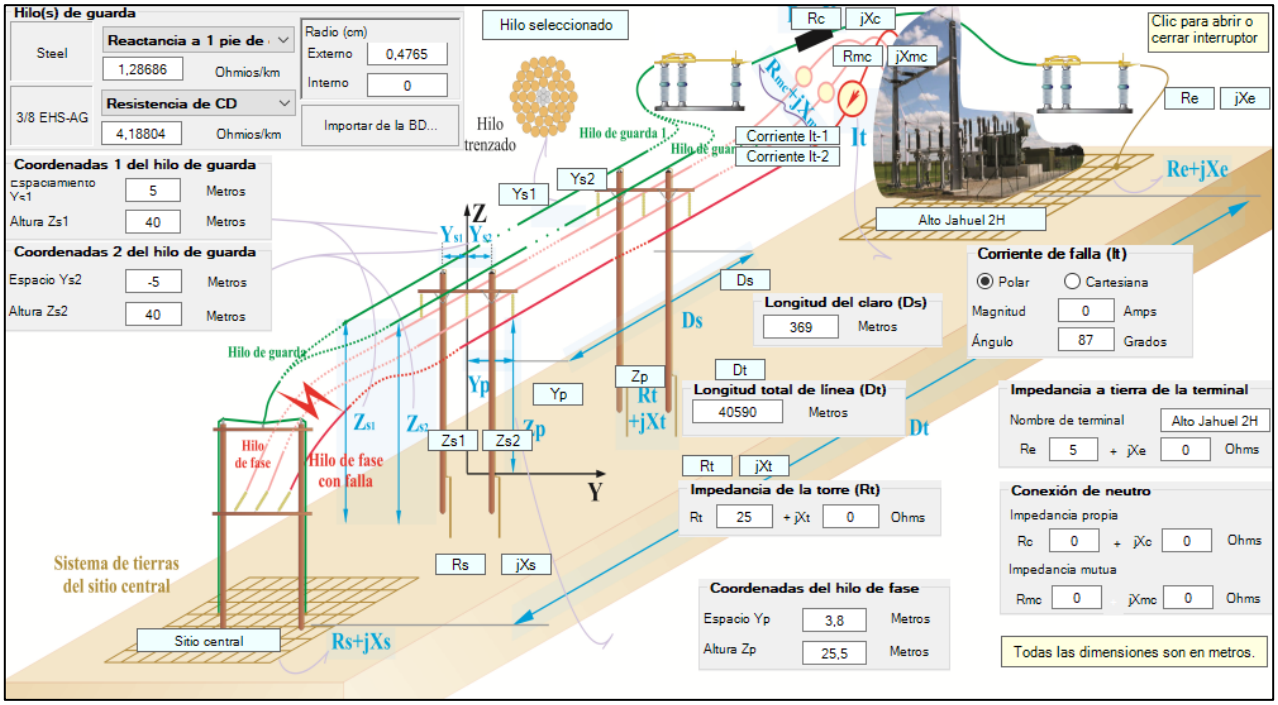

Figura 6: Modelo de línea Alto Jahuel-Los Almendros

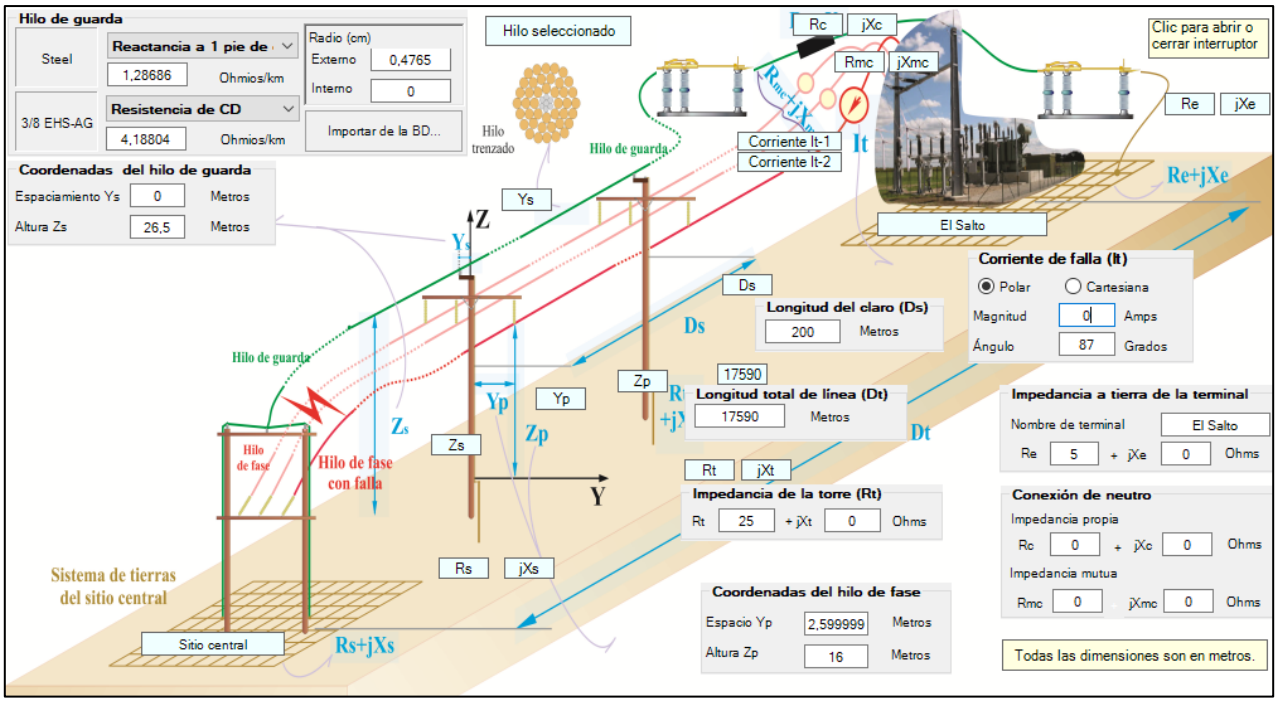

Figura 7: Modelo de línea El Salto-Los Almendros

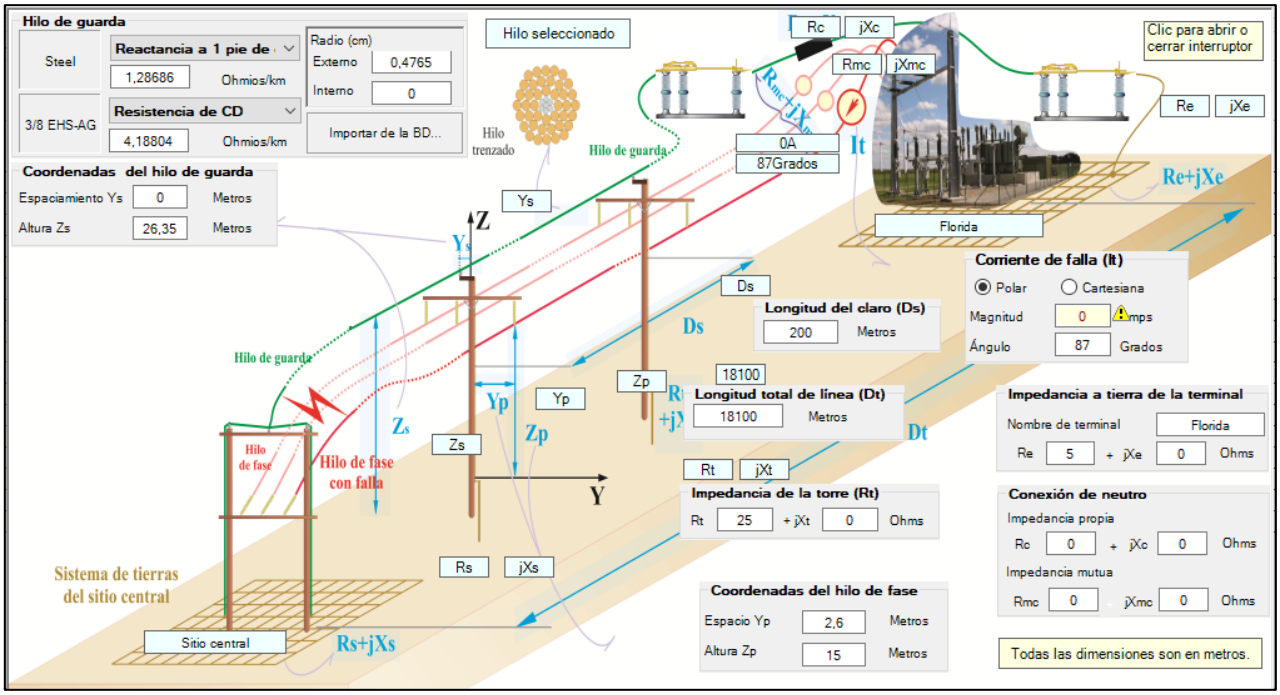

Figura 8: Modelo de línea Florida-Los Almendros

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): 109,5x110 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.
- Se posee una sola capa de resistividad de terreno, lo cual asumiría homogeneidad en las capas de terreno.

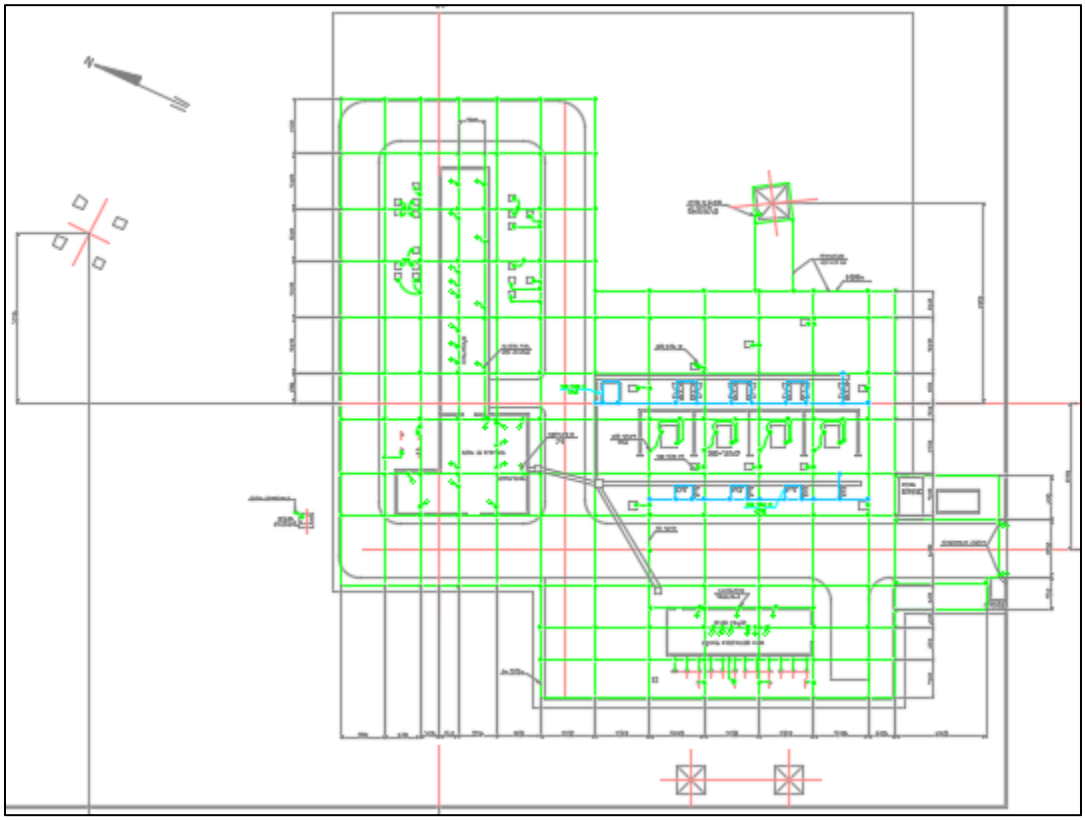

Figura 9: Malla de Puesta a Tierra S/E Los Almendros

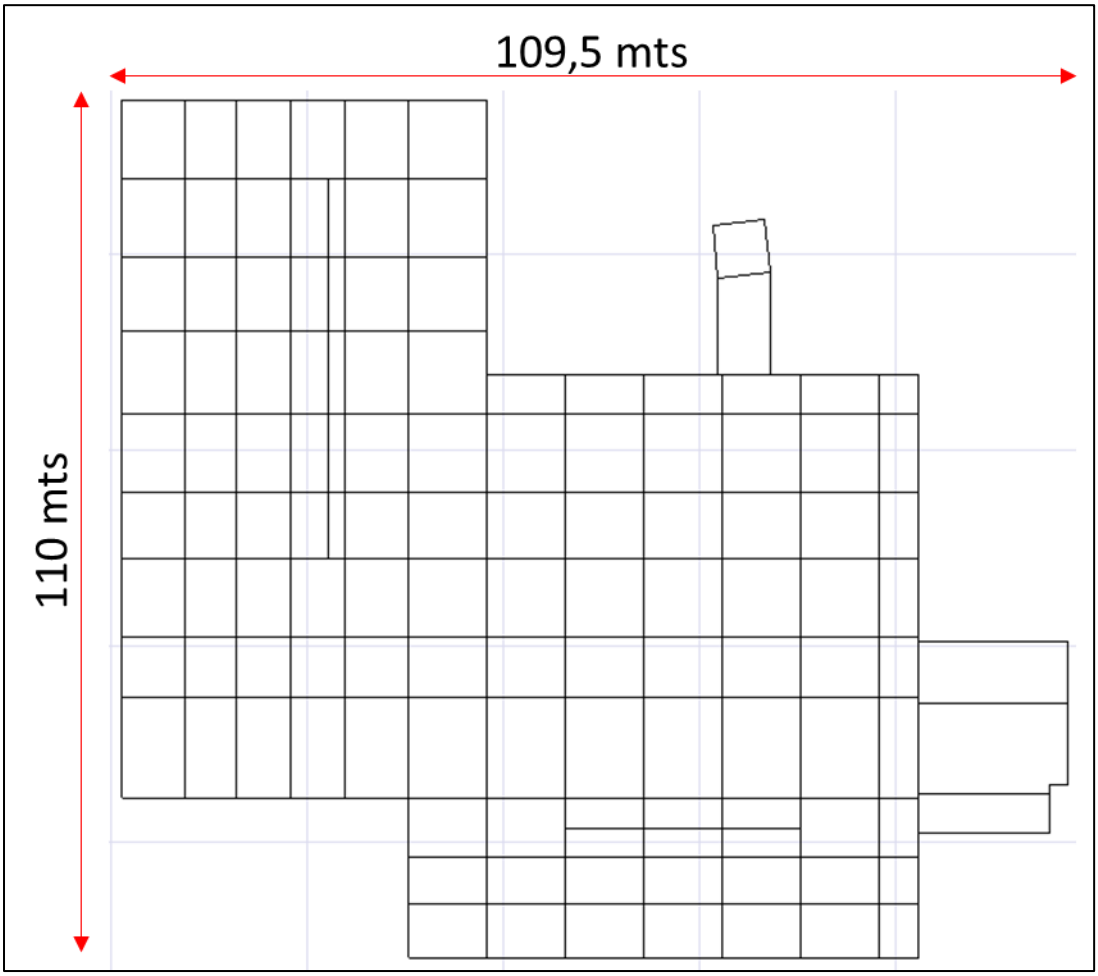

Figura 10: Malla de Puesta a Tierra S/E Los Almendros Modelada en SES CDEGS

```
===========< 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       67.5000       10.0000
       3   Soil    0.00000       67.5000          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.................:    42
 Resistance of Electrode System....................:  0.78613     ohms


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


 Total Current Flowing In Main Electrode......:   1000.0     amperes
 Total Buried Length of Main Electrode........:   954.07     meters


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

 Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   786.13     volts
```

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

La resistencia de puesta a tierra de la subestación, alcanza un valor calculado de 0,79 ohm, el valor medido es de 0,86 Ohm.

5.3. S/E Pajaritos

S/E Pajaritos propiedad de Enel Distribución., 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 Cerro Navia – Chena 110 kV, tramo Cerro Navia-Pajaritos.

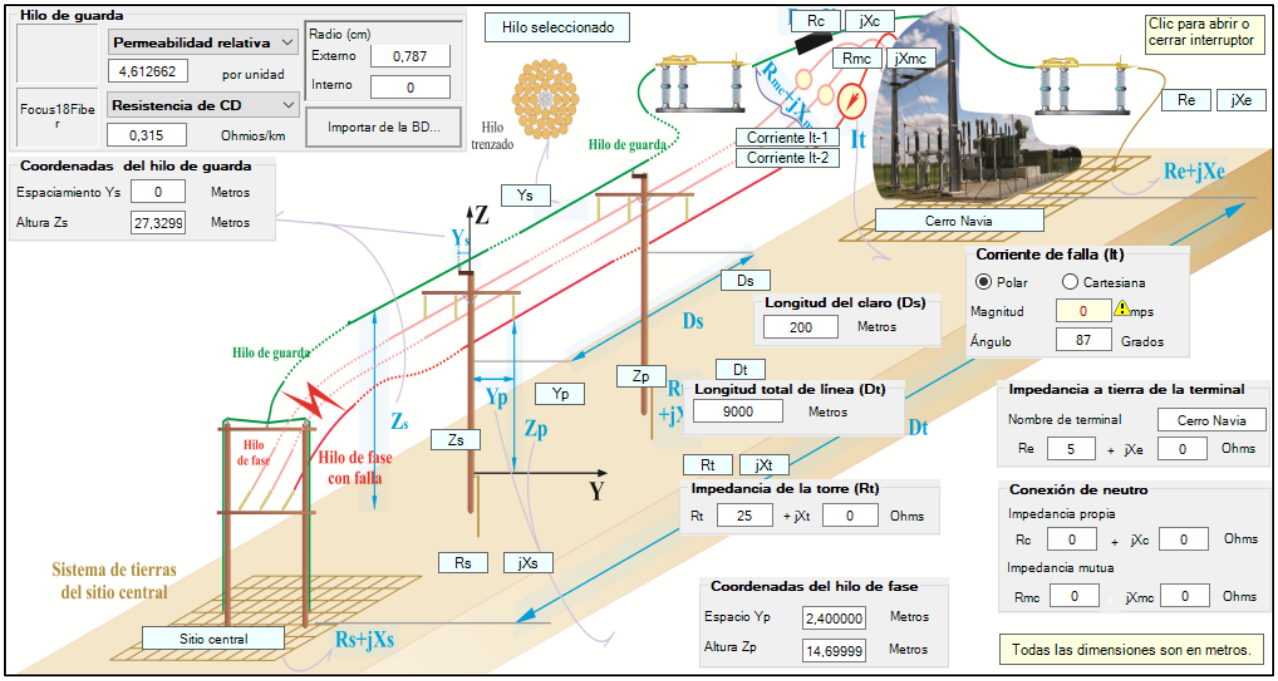

Figura 12: Modelo de línea Cerro Navia-Pajaritos

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): 38,3x36,8 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.
- Se posee una sola capa de resistividad de terreno, lo cual asumiría homogeneidad en las capas de terreno.

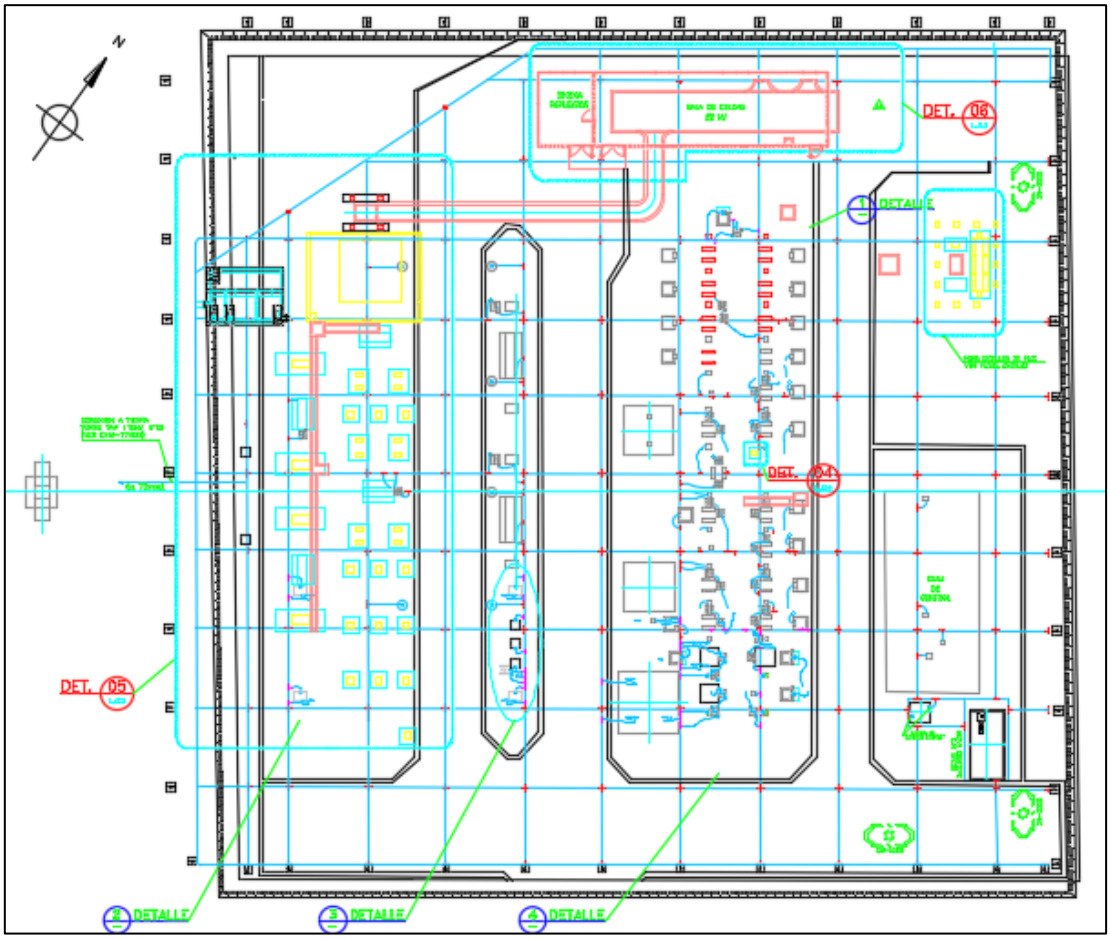

Figura 13: Malla de Puesta a Tierra S/E Pajaritos

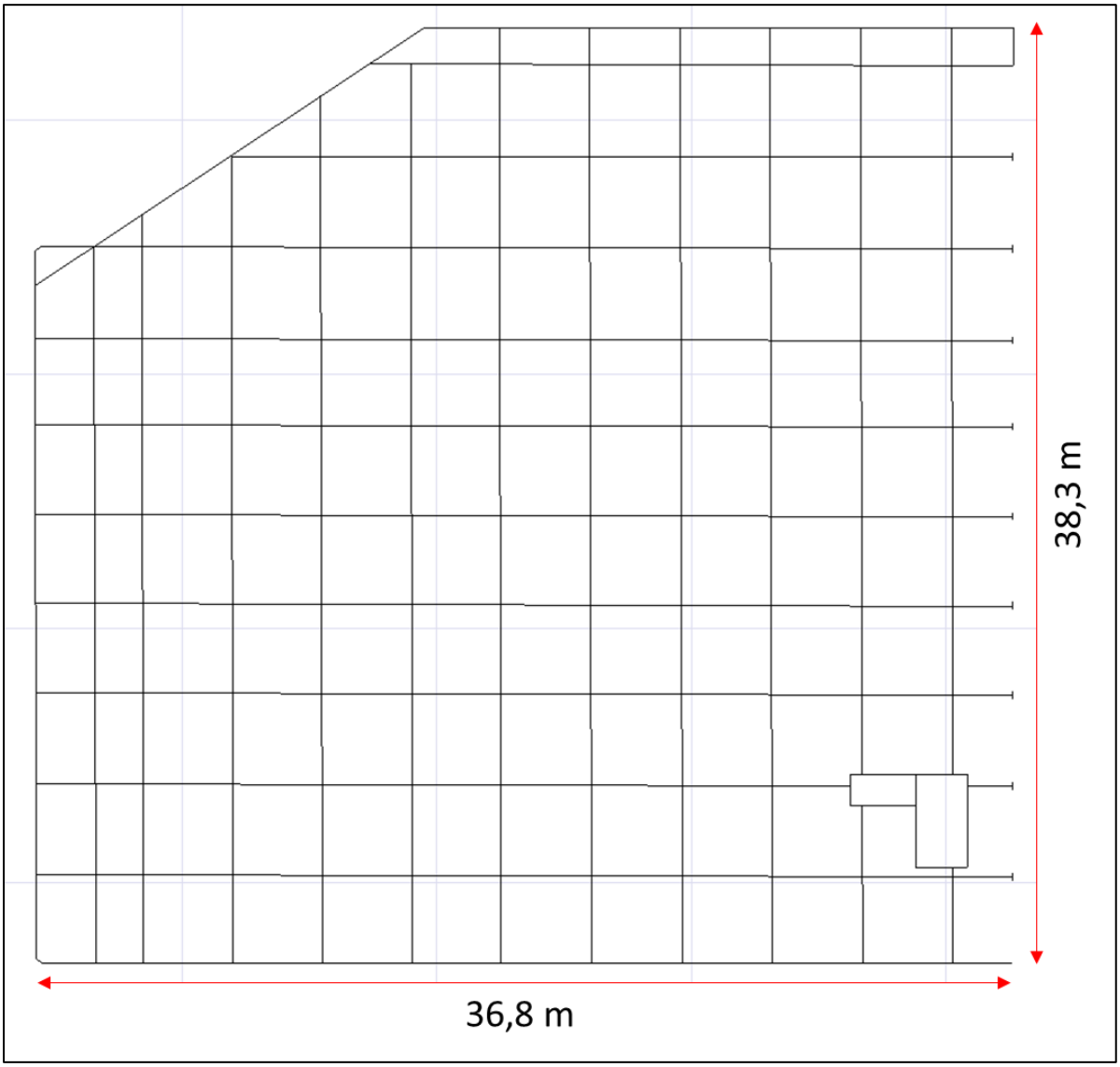

Figura 14: Malla de Puesta a Tierra S/E Pajaritos Modelada en SES CDEGS

```
===========< 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       550.000       1.00000
      3   Soil    0.00000       550.000          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.................:    51
Resistance of Electrode System....................:   6.6970     ohms


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


Total Current Flowing In Main Electrode......:   1000.0     amperes
Total Buried Length of Main Electrode........:   863.35     meters


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

Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   6697.0     volts
```

Figura 15: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Pajaritos

La resistencia de puesta a tierra de la subestación, alcanza un valor calculado de 6,70 ohm, el valor medido es de 0,72 Ohm.

5.4. S/E Lo Aguirre

S/E Lo Aguirre propiedad de Enel Distribución, ubicada en la calle Planta a 1 km del peaje lo prado, Latitud: 33°26'53.23" S, Longitud: 70°59´28.25" O, en la región de metropolitana.

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: 50x50 m.
- El conductor de la malla es de cobre desnudo, Cu 4 AWG.
- Barras Copperweld: 19 barras de 5/8" x 1,5 m.
- Se posee una sola capa de resistividad de terreno, lo cual asumiría homogeneidad en las capas de terreno.

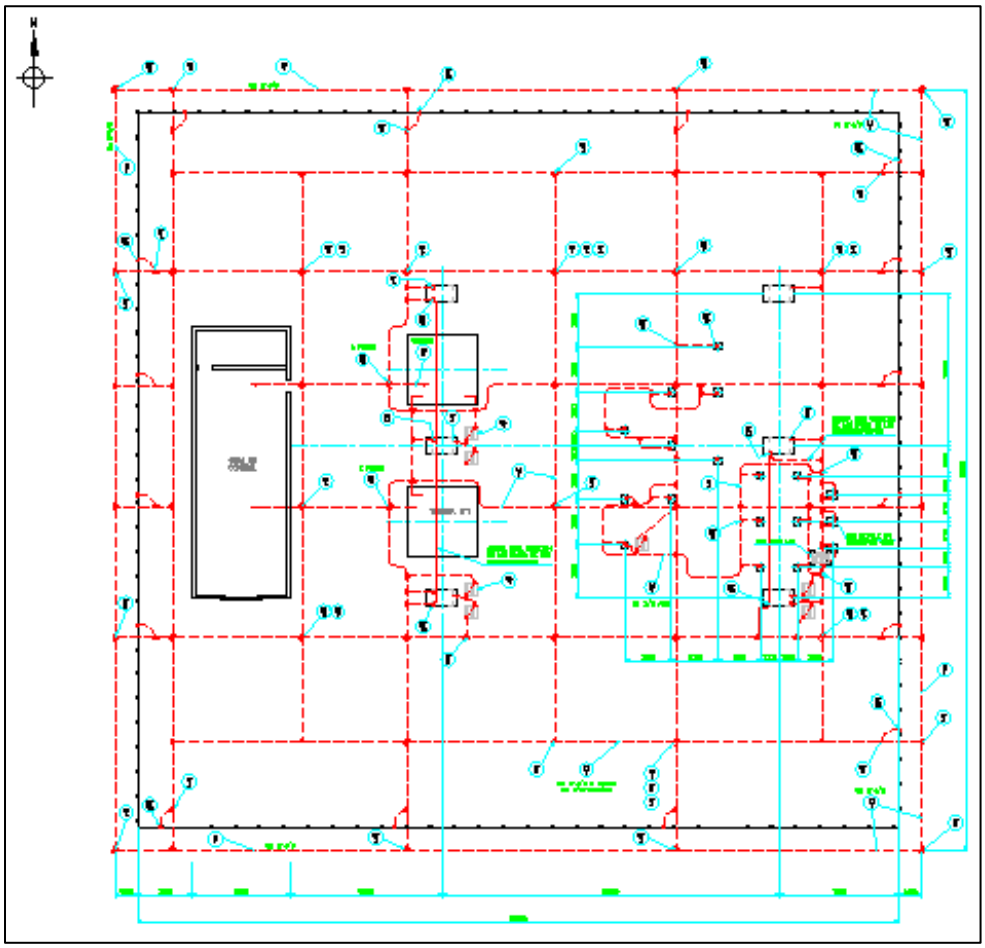

Figura 16: Malla de Puesta a Tierra S/E Lo Aguirre

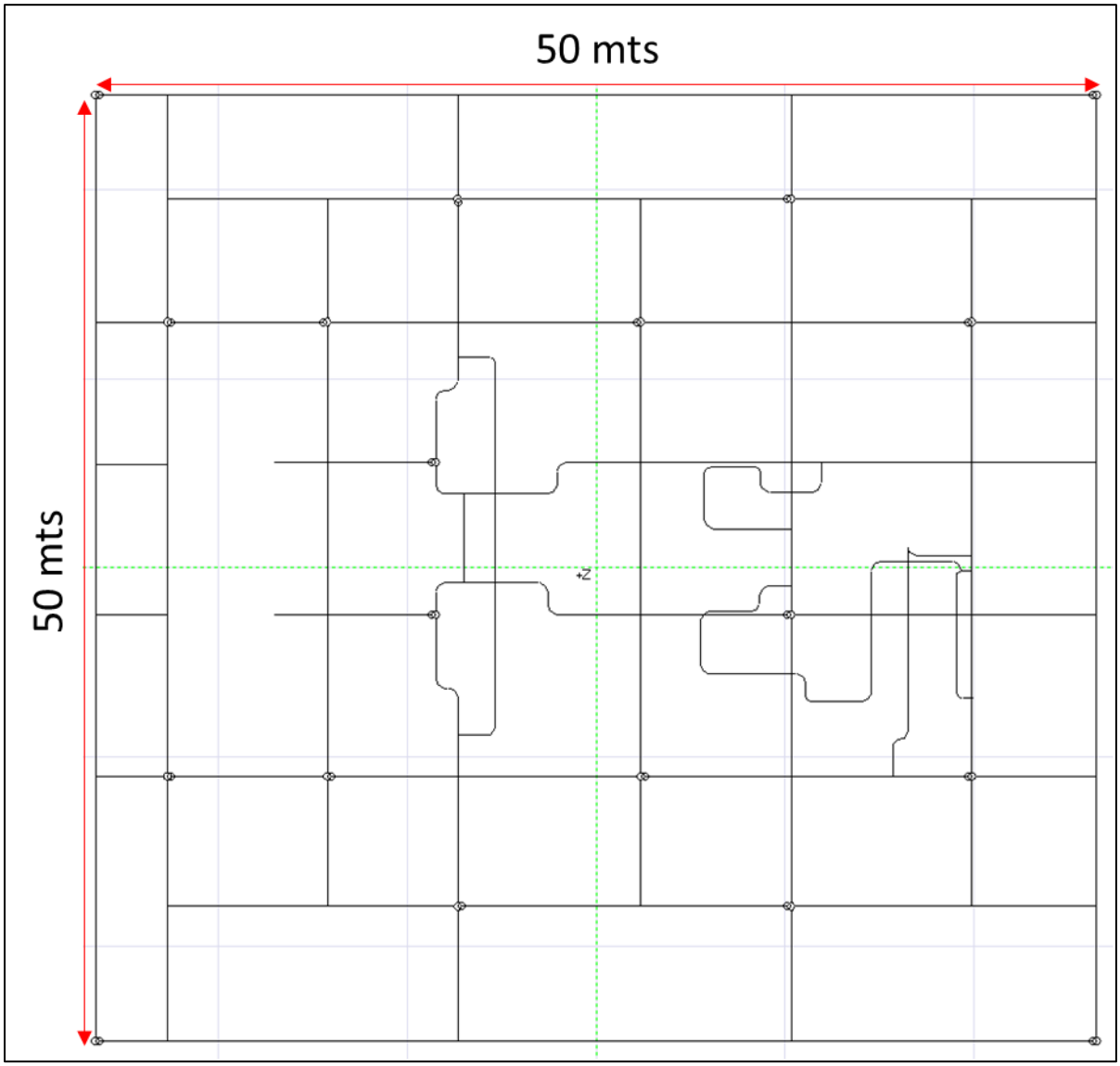

Figura 17: Malla de Puesta a Tierra S/E Lo Aguirre Modelada en SES CDGES

```
===========< 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       44.0000       5.00000
      3   Soil    0.00000       44.0000          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.................:   380
Resistance of Electrode System....................:  0.39706     ohms


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


Total Current Flowing In Main Electrode......:   1000.0     amperes
Total Buried Length of Main Electrode........:   904.84     meters


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

Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   397.06     volts
```

Figura 18: Resultados de resistencia puesta a tierra S/E Lo Aguirre

La resistencia de puesta a tierra de la subestación, alcanza un valor calculado de 0,40 ohm, el valor medido por el propietario es de 0,40 Ohm.

5.5. S/E Santa Raquel

S/E Santa Raquel propiedad de Enel Distribución, ubicada en la calle Planta a 1 km del peaje lo prado, Latitud: 33°26'53.23" S, Longitud: 70°59´28.25" O, en la región de metropolitana.

Se modela el cable de guardia de la línea Alto Jahuel - Florida 110 kV, tramo Alto Jahuel-Santa Raquel.

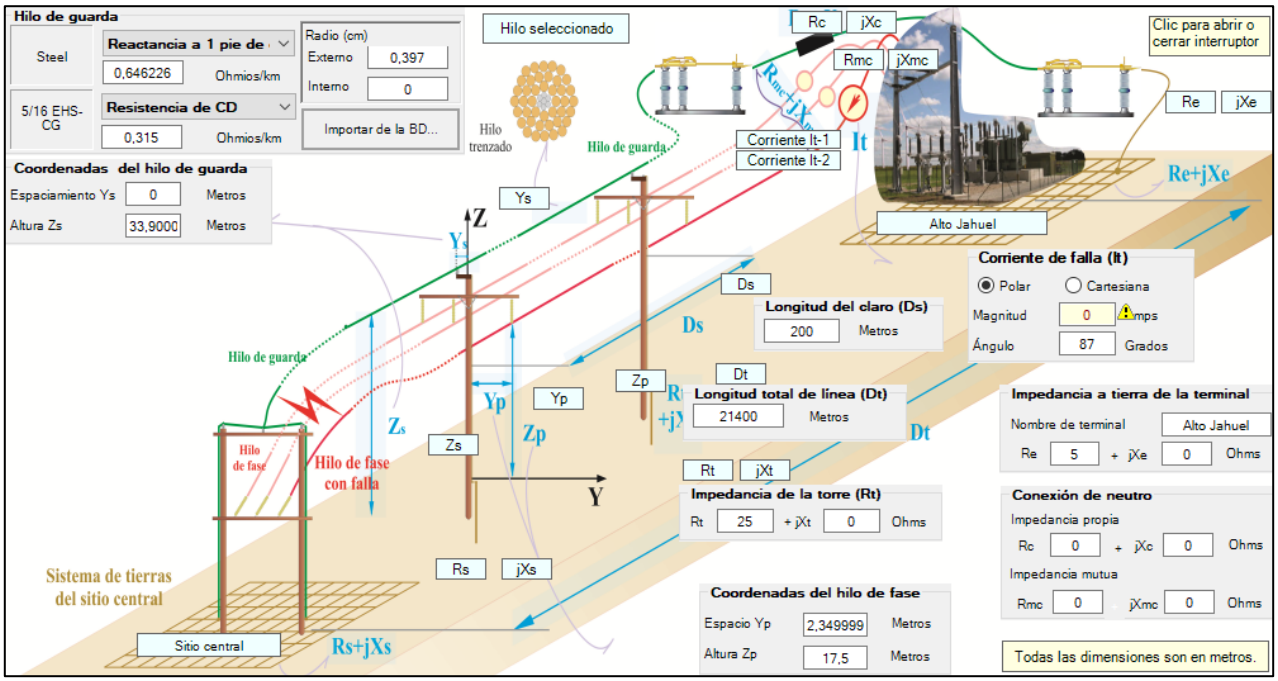

Figura 19: Modelo de línea Alto Jahuel-Santa Raquel

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): 95x84 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.

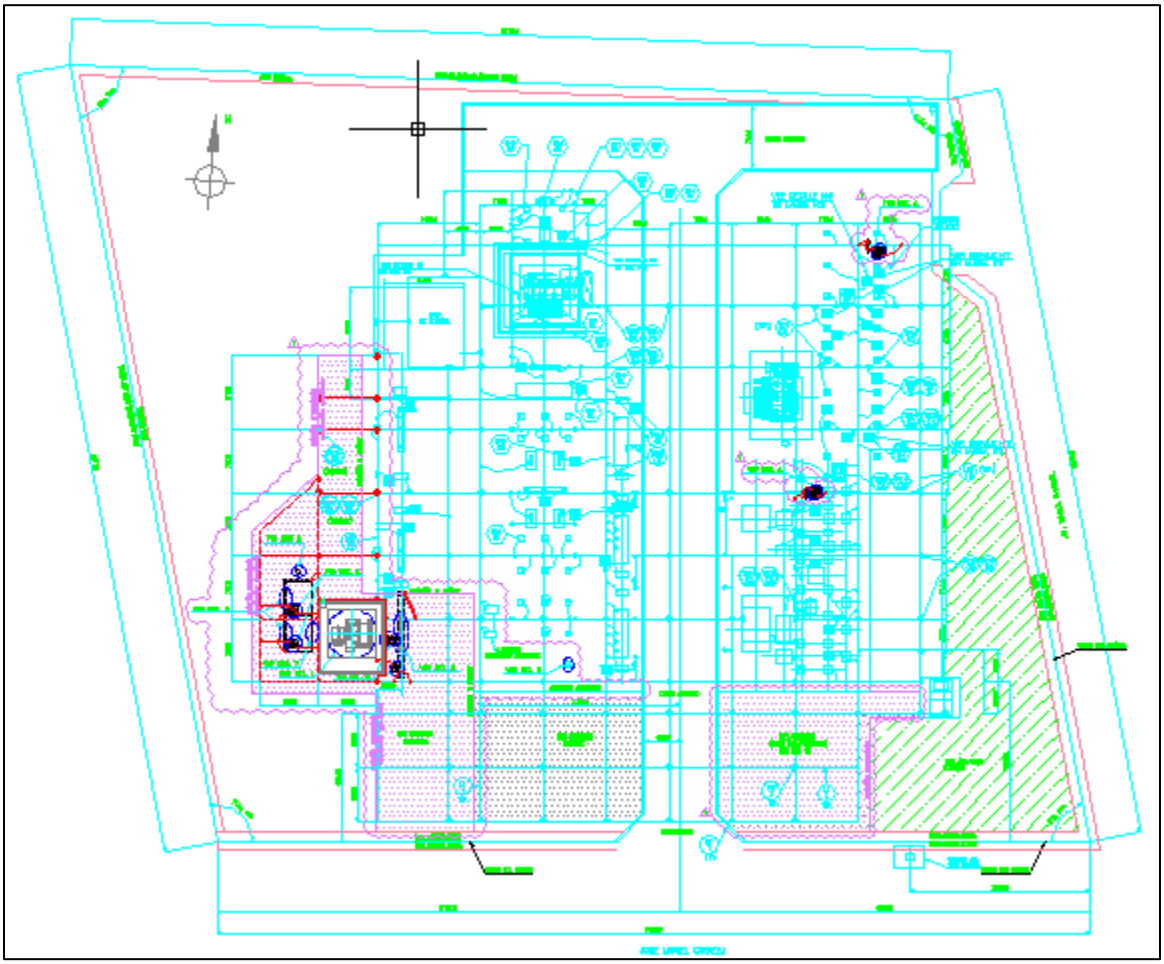

Figura 20: Malla de Puesta a Tierra S/E Santa Raquel

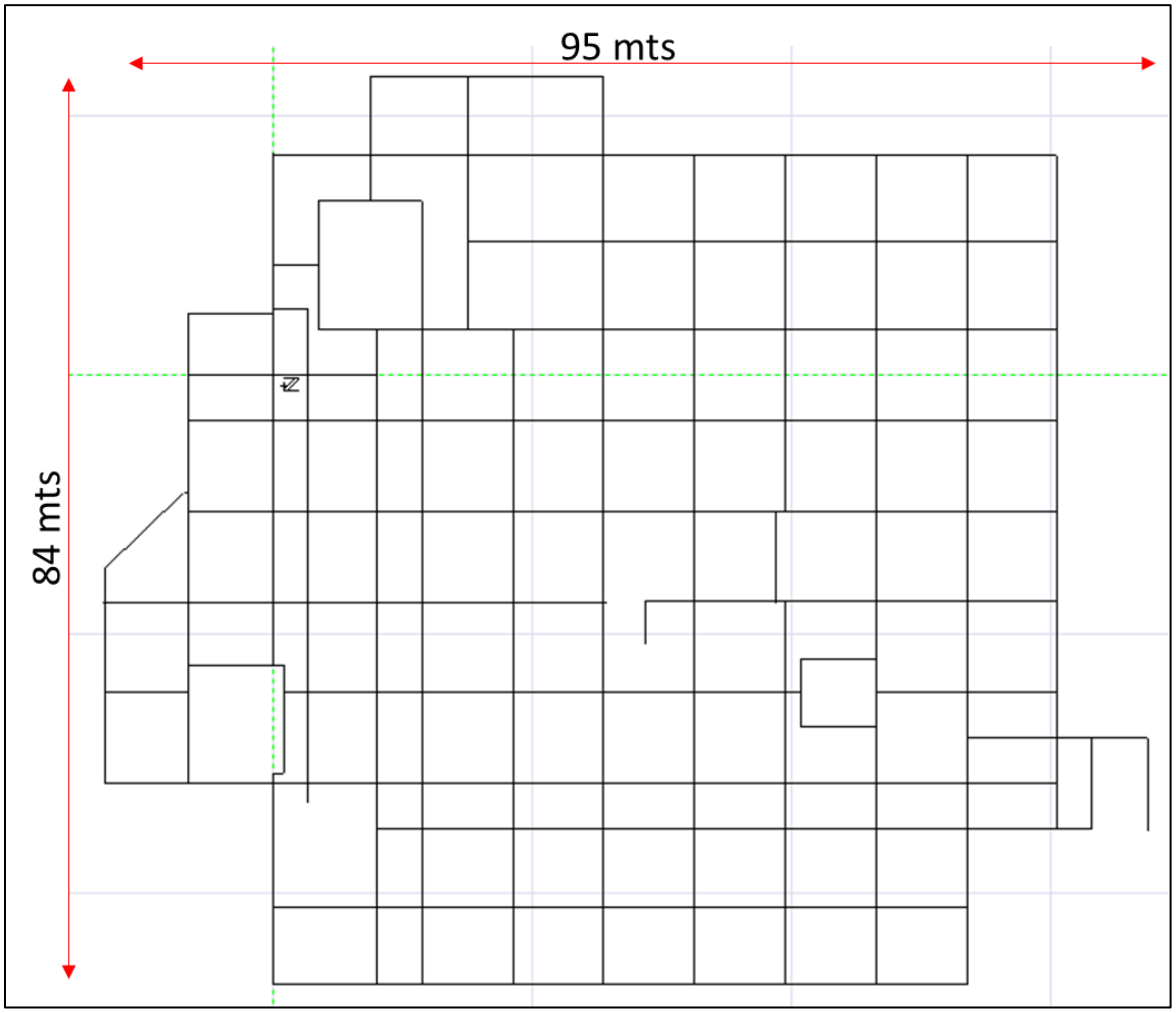

Figura 21: Malla de Puesta a Tierra S/E Santa Raquel Modelada en SES CDEGS

```
===========< 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       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..:   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.................:    55
Resistance of Electrode System....................:   2.4114     ohms


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


Total Current Flowing In Main Electrode......:   1000.0     amperes
Total Buried Length of Main Electrode........:   1517.1     meters


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

Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   2411.4     volts
```

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

La resistencia de puesta a tierra de la subestación, alcanza un valor calculado de 2,41 ohm, el valor medido por el propietario es de 0,64 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 puesta a 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 sólo se posee una capa para lograr una mayor exactitud de la resistencia de las mallas de puesta a tierra.

Anexo I: Resistividad de Terreno

S/E Batuco:

CHILECTRA METROPOLITANA
DPTO. PROTEC. Y CONTROLES

MEDIDA DE RESISTIVIDAD DE TERRENO

FECHA DE MEDICION	17-12-85	METODO UTILIZADO	SCHLUMBERGER

CARACTERISTICAS AMBIENTALES Y DE SUELO AL MOMENTO DE REALIZAR LA MEDICION

HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE	40 %
TEMPERATURA AMBIENTAL	33 °C
TIPO DE SUELO MEDIDO	Terreno blando, húmedo y vegetal.

LUGAR DE LA MEDICION

VALORES OBTENIDOS

RESISTIVIDAD POR CAPAS (ohm-mt)	ESPESOR POR CAPAS (mt)
ρ_1= 30.8	E_1= 0.18
ρ_2= 20.02	E_2= 10.8
ρ_3= ∞	E_3= ∞
ρ_4= ---	E_4= ---

RESISTIVIDAD EQUIVALENTE (ohm-mt): 50.76

S/E Los Almendros:

Subestación LOS ALMENDROS	
Niveles de tensión [kV]	220/110

Archivos disponibles	
Plano de la malla	• CMD-15254-001
Informes	• Tensión de PyC LOS ALMENDROS 2007-03 • Tensión de PyC LOS ALMENDROS 2007-11 • Resistividad LOS ALMENDROS 1986-09 • Resistencia LOS ALMENDROS 1988-09

Parámetros		
	2009	**2018**
Corriente de falla [kA]	12,4	14,6
Resistividad equivalente [Ω-m]	67,5	
Tipo de conductor	120 [mm2]	
Cantidad de conductor [m]	2254,16	
Tipo de barras	-	
Cantidad de barras	-	

Resultados de salida		
Resistencia de tierra [Ω]	Simulación	0,32
	Mantenimiento	0,36

	Tolerables	Máximos	
		2009	**2018**
Tensión de paso [V]	2740.1	148,5	168,7
Tensión de contacto [V]	822,6	559,9	657,6

S/E Pajaritos:

Subestación PAJARITOS	
Niveles de tensión [kV]	110/12

Archivos disponibles	
Plano de la malla	• CHM-17895-001
Informes	• Resistencia PAJARITOS 2003-02 • Tensión PyC PAJARITOS 2006-03

Parámetros		
	2009	**2018**
Corriente de falla [kA]	10,6	11,4
Resistividad equivalente [Ω-m]	550	
Tipo de conductor	120 [mm2]	
Cantidad de conductor [m]	1765,08	
Tipo de barras	-	
Cantidad de barras	-	

Resultados de salida		
Resistencia de tierra [Ω]	Simulación	3,45
	Mantenimiento	1,25

	Tolerables	Máximos	
		2009	**2018**
Tensión de paso [V]	2862,6	886,6	611,8
Tensión de contacto [V]	853,2	5131,7	5551,9

S/E Lo Aguirre:

Subestación LO AGUIRRE	
Niveles de tensión [kV]	110/12

Archivos disponibles	
Plano de la malla	• SDO-12706-001
Informes	• Resistencia LO AGUIRRE 2006-03 • Tensión de PyC LO AGUIRRE 2006-03 • Tensión de PyC LO AGUIRRE 2006-11 • Tensión de PyC LO AGUIRRE 2008-12 • Tensión de PyC LO AGUIRRE 2009-05

Parámetros		
	2009	**2018**
Corriente de falla [kA]	4,1	4,1
Resistividad equivalente [Ω-m]	44	
Tipo de conductor	4/0	
Cantidad de conductor [m]	761,6	
Tipo de barras	5/8´´ x 1,5 [m]	
Cantidad de barras	19	

Resultados de salida		
Resistencia de tierra [Ω]	Simulación	0,4
	Mantenimiento	0,42

	Tolerables	Máximos	
		2009	**2018**
Tensión de paso [V]	2734,1	66,8	66,8
Tensión de contacto [V]	821,1	328,8	328,8

S/E Santa Raquel: