



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**



**DISEÑO DE MALLA DE PUESTA A TIERRA MEDIANTE LA
NORMA IEEE-80, UTILIZANDO ETAP, ASPIX Y EXCEL, PARA
LA SUBESTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DEL
ESTADIO DE LA UNA-PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

JONATHAN ESTEBAN CAMA FARROÑAY

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

A mis padres, (Esteban Cama C. y María E. Farroñay Ch.) A quienes va dedicado con todo mi amor, por darme la vida, cuidar de mí en la infancia y por sus enormes sacrificios que hicieron por darme una buena educación.

A mi hermana, (Miriam P. Cama Farroñay) Con todo cariño esta investigación se la dedico también, porque siempre me apoyó y me dio buenos consejos para superar los momentos más críticos de mi vida y toda la carrera profesional.

A mis tíos, (familia Cama Cabrera) Con todo cariño esta investigación se las dedico a ustedes también, Daniel, Edgar, Leocadia, Manuel, Luis, y difunto José

A mis tíos, (familia Farroñay Chicoma) Rosa, Manuel, Fernando, Elsa, Otilia, Wilmer, Flemi, Olga y difunta Maruja, por darme un lugar dentro de su familia, por los consejos en lo profesional y emocional.

Jonathan Esteban Cama Farroñay



AGRADECIMIENTOS

A Dios, porque puedo tener un nuevo día para vivir en este mundo maravilloso, por no dejarme caer, por darme fuerzas para continuar con mi propósito.

A la Universidad Nacional Del Altiplano, principalmente a la escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por haberme permitido en sus aulas, gracias por forjarme como profesional listo para enfrentar a nuevos retos.

Al Electro Puno S.A.A., por la accesibilidad e información brindada para el desarrollo de la presente tesis.

Al Director de Tesis, Jurados y Docentes, que dedicaron una parte de su valioso tiempo para guiarme, enseñarme los valores y transmitirme todos sus conocimientos en el proceso de mi formación profesional.

A mis mejores amigos, quienes han sido como mis hermanos con quienes he compartido alegrías u tristezas, a mi amigo Ing. Renzo Illacutipa Mamani que siempre me dijo que yo iba ser grande y que cuando falleció me sentí triste, pero ya está al lado del señor Dios.

A todos, a mi grupo de tesis, quienes de una u otra forma hicieron posible esto, les estoy eternamente agradecido; Dr. Leonardo Payé Colquehuanca.

Jonathan Esteban Cama Farroñay



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN.....	15
ABSTRACT.....	16

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.1.1 Planteamiento del problema.....	18
1.1.2 Problema general	18
1.1.3 Problemas específicos.....	18
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.2.1 Justificación académica	19
1.2.2 Justificación económica.....	19
1.2.3 Justificación social.....	20
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
1.3.1 Objetivo general.....	20
1.3.2 Objetivo específicos.....	20

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 MARCO TEÓRICO.....	21
2.1.1 Introducción	21
2.1.2 Objetivos de una puesta a tierra	21
2.1.3 Clasificación de los sistemas de puesta a tierra	22
2.1.3.1 Puesta a tierra de protección	22
2.1.3.2 Puesta a tierra de operación y/o servicio	22
2.1.3.3 Requisitos de una puesta a tierra.....	22
2.1.3.4 Requisitos del proyecto.....	23
2.1.3.5 Requisitos del diseño	24
2.1.4 Resistividad del terreno	24



2.1.5	Características eléctricas del terreno.....	25
2.1.6	Factores que influyen en la resistividad del terreno	26
2.1.7	Modelo de suelo uniforme	27
2.1.8	Método BOX COX	27
2.1.9	Modelo de suelo a dos capas.....	29
2.1.10	Efectos de corriente, tensión de toque y de paso en el cuerpo humano	31
2.1.10.1	Tensión de Paso	32
2.1.10.2	Tensión de Contacto o Toque	32
2.1.10.3	Valores admisibles de las Tensión de Paso aplicada	33
2.1.10.4	Valores admisibles de las Tensión de Paso aplicada	34
2.1.11	Criterios de diseño de mallas utilizando la norma IEEE-80.....	35
2.1.11.1	Corriente máxima a disipar por la malla (I_G).....	35
2.1.11.2	Corriente simétrica de falla a tierra (I_F)	36
2.1.11.3	Factor de Decremento (D_f).....	37
2.1.11.4	Factor de Crecimiento (C_p).....	37
2.1.11.5	Calculo de factor de División de Corriente (S_f).....	37
2.1.11.6	Duración de Falla (t_f) y Duración de Choque (t_s)	38
2.1.11.7	Geometría de la Malla.....	38
2.1.11.8	Selección de la Sección del Conductor.....	39
2.1.12	Evaluación de la resistencia de puesta a tierra (R_G)	40
2.1.12.1	Cálculos simplificados.....	40
2.1.12.2	Ecuaciones de Schwarz para suelo Homogéneo.....	41
2.1.12.3	Ecuaciones de Schwartz para suelo a dos capas	43
2.1.12.4	Calculo de la tensión máxima de la Malla de puesta a tierra.....	44
2.1.13	Medición de la resistividad del terreno.....	46
2.1.13.1	Medición de Wenner o de los 4 puntos.....	46
2.1.14	Criterios prácticos a tener en cuenta al medir la resistividad del terreno	49

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	MATERIALES	51
3.1.1	Telurómetro (MEGABRAS MTD 20KWE).....	51
3.1.2	Instrumento GPS (GARMIN ETREX 22X).....	53



3.1.3	Cinta métrica de 50M	54
3.1.4	Cámara fotográfica	55
3.2	MÉTODOS	55
3.3	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	55
3.4	EL ESTUDIO DONDE SE REALIZÓ EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE DISEÑO DE PUESTA A TIERRA (PAT)	56
3.5	PROCEDIMIENTO.....	56
3.6	ANÁLISIS DE RESULTADOS	56
3.7	VARIABLES	57

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	RESULTADOS	58
4.1.1	Resultados de mediciones de las resistividades en direcciones N-S Y E-O	58
4.1.1.1	Punto 1A (Mediciones N-S y E-O).....	58
4.1.1.2	Punto 2A (Mediciones N-S y E-O).....	59
4.1.1.3	Punto 3C (Mediciones N-S y E-O).....	61
4.1.1.4	Punto 4D (Mediciones N-S y E-O).....	62
4.1.2	Resistividad del terreno bajo modelo suelo uniforme mediante método de BOX COX.....	64
4.1.2.1	Resistividad aparente metodología BOX COX para el perfil N°1 (Punto 1A)	65
4.1.2.2	Resistividad aparente metodología BOX COX para el perfil N°2 (Punto 2B).....	67
4.1.2.3	Resistividad aparente metodología BOX COX para el perfil N°3 (Punto 3C).....	70
4.1.2.4	Resistividad aparente metodología BOX COX para el perfil N°4 (Punto 4D)	73
4.1.2.5	Resumen de resistividades aparentes de los perfiles de los puntos A, B, C, y D, aplicando la metodología BOX COX.....	76
4.1.3	Resistividad del terreno bajo modelo a dos capas por el método de SUNDE	76
4.1.3.1	Método de SUNDE Punto 1A.....	77
4.1.3.2	Método de SUNDE Punto 2B.....	81



4.1.3.3	Método de SUNDE Punto 3C	84
4.1.3.4	Método de SUNDE Punto 4D.....	87
4.1.4	Parámetros del sistema eléctrico de alimentación en MT.....	89
4.1.4.1	Calculo de corrientes de cortocircuito	89
4.1.4.2	Calculo de Fusible Limitador	91
4.1.5	Consideraciones y geometría de diseño de la malla de puesta a tierra ...	93
4.1.5.1	Geometría de la malla de la Subestación de distribución	93
4.1.5.2	Consideraciones para el diseño de la malla	94
4.2	RESULTADOS DE CÁLCULOS Y COMPARACION EXCEL, ETAP, ASPIX	96
4.2.1	Resultados programa Excel	96
4.2.2	Resultados programa ETAP.....	104
4.2.3	Resultados Programa Aspix.....	113
4.2.4	Cuadro comparativo de valores de EXCEL, ETAP, ASPIX	127
4.3	DISCUSIÓN	128
V.	CONCLUSIONES.....	130
VI.	RECOMENDACIONES	131
VII.	REFERENCIAS.....	132
ANEXOS	133	
A.	ANEXOS FOTOGRÁFICOS	133
B.	ANEXOS: DE PROTOCOLOS DE MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO.....	151
C.	ANEXOS: RESULTADOS DE ETAP.....	159
D.	ANEXOS: DOCUMENTOS DE LA CONCESIONARIA ELECTRO PUNO S.A.A.	167

Área : Instalaciones Eléctricas

Tema : Diseño de Malla de Puesta a Tierra

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 19-02-2021



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Relación de Resistividad.....	25
Figura N° 2: Gráfico de Sunde.....	30
Figura N° 3: Tensiones de Paso y Contacto.....	33
Figura N° 4: Grafico de V_{ca} vs $T(s)$ admisible	34
Figura N° 5: Grafico de V_{pa} vs $T(s)$ admisible	35
Figura N° 6: Arreglo de Método Wenner	49
Figura N° 7: Imagen de teluro metro MTD 20KWe.....	53
Figura N° 8: Imagen de GPS eTREX 22X	54
Figura N° 9: Imagen de cinta métrica de 50m	54
Figura N° 10: Promedio de Resistividades a iguales distancias en N-S, E-O, 1A	59
Figura N° 11: Promedio de Resistividades a iguales distancias en N-S, E-O, 2B.....	61
Figura N° 12: Promedio de Resistividades a iguales distancias en N-S, E-O, 3C.....	62
Figura N° 13: Promedio de Resistividades a iguales distancias en N-S, E-O, 4D	64
Figura N° 14: Curva de resistividad aparente (ρ_a) de la tabla 15	65
Figura N° 15: Curva de resistividad aparente (ρ_a) de la tabla 17	68
Figura N° 16: Curva de resistividad aparente (ρ_a) de la tabla 19	71
Figura N° 17: Curva de resistividad aparente (ρ_a) de la tabla 21	74
Figura N° 18: Método Grafico de SUNDE – Punto 1A.....	77
Figura N° 19: Valor de separación “a” de la resistividad aparente calculada en el Punto- 1A.....	79
Figura N° 20: Modelo a dos capas del Punto-1A	80
Figura N° 21: Método Grafico de SUNDE – Punto 2B.....	81
Figura N° 22: Valor de separación “a” de la resistividad aparente calculada en el Punto- 2B.....	82
Figura N° 23: Modelo a dos capas del Punto-2B.....	83
Figura N° 24: Método Grafico de SUNDE – Punto 3C.....	84
Figura N° 25: Valor de separación “a” de la resistividad aparente calculada en el Punto- 3C.....	85
Figura N° 26: Modelo a dos capas del Punto-3C.....	86
Figura N° 27: Método Grafico de SUNDE – Punto 4D.....	87



Figura N° 28: Valor de separación “a” de la resistividad aparente calculada en el Punto-4D.....	88
Figura N° 29: Modelo a dos capas del Punto-4D	89
Figura N° 30: Cálculo de corriente de cortocircuito monofásico a tierra en NEPLAN. 89	
Figura N° 31: Resultados de cálculo de falla monofásica a tierra NEPLAN	90
Figura N° 32: Curva de protección de FLC de 80A, Energización y Daño térmico	92
Figura N° 33: Configuración de la geometría de la malla de la puesta a tierra	94
Figura N° 34: Entrada de datos de la disposición de los conductores-1	104
Figura N° 35: Entrada de datos de la disposición de los conductores-2.....	104
Figura N° 36: Entrada de datos de la disposición de las varillas	105
Figura N° 37: Disposición de los elementos y las capas del terreno	105
Figura N° 38: Entrada de datos al editor de los casos de estudio	106
Figura N° 39: Entrada de datos al editor de los suelos para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$	107
Figura N° 40: Resultado de las tensiones de paso y contacto para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$...	108
Figura N° 41: Modelado del terreno de la tensión de Paso para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$	109
Figura N° 42: Modelado del terreno de la tensión de Contacto para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$	109
Figura N° 43: Tensiones Absolutas de la malla para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$	110
Figura N° 44: Entrada de datos al editor de los suelos para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$	110
Figura N° 45: Resultado de las tensiones de paso y contacto para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$	111
Figura N° 46: Grafico del modelado del terreno de la tensión de Paso para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$	112
Figura N° 47: Grafico del modelado del terreno de la tensión de Contacto para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$	112
Figura N° 48: Tensiones Absolutas de la malla para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$	113
Figura N° 49: Disposición de la Malla Aspix para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$	116
Figura N° 50: Planta de la Malla y los perfiles Aspix para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$	117
Figura N° 51: Malla 3D Aspix para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$	117
Figura N° 52: Grafico 3D de la Tensión de Toque (V) Aspix, para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$	118
Figura N° 53: Grafico 3D de la Tensión de Paso (V) Aspix, para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$...	118
Figura N° 54: Grafico 2D de la Tensión de Toque (V) Aspix, para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$	119
Figura N° 55: Grafico 3D de la Tensión de Paso (V) Aspix, para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$...	119



Figura N° 56: Perfil de Tensión de Toque (V) Aspix, para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$	120
Figura N° 57: Perfil de Tensión de Paso (V) Aspix, para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$	121
Figura N° 58: Datos de entrada del terreno y corrientes de falla para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$..	122
Figura N° 59: Datos de entrada para la disposición de conductores y varillas.....	122
Figura N° 60: Resultados para la para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$	123
Figura N° 61: Disposición de la Malla Aspix para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$	123
Figura N° 62: Planta de la Malla y los perfiles Aspix para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$	124
Figura N° 63: Malla 3D Aspix para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$	124
Figura N° 64: Grafico 3D de la Tensión de Toque (V) Aspix, para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$	125
Figura N° 65: Grafico 3D de la Tensión de Paso (V) Aspix, para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$...	125
Figura N° 66: Grafico 2D de la Tensión de Toque (V) Aspix, para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$	126
Figura N° 67: Grafico 2D de la Tensión de Paso (V) Aspix, para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$	126
Figura N° 68: Perfil de Tensión de Toque (V) Aspix, para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$	127
Figura N° 69: Perfil de Tensión de Paso (V) Aspix, para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$	127



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Datos de Ficha de telurómetro.....	52
Tabla N° 2: Datos de ficha de GPS eTREX 22X.....	53
Tabla N° 3: Medición 1A N-S	58
Tabla N° 4: Medición 1A E-O	59
Tabla N° 5: Medición 2B N-S.....	60
Tabla N° 6: Medición 2B E-O	60
Tabla N° 7: Medición 3C N-S.....	61
Tabla N° 8: Medición 3C E-O	62
Tabla N° 9: Medición 4D N-S	63
Tabla N° 10: Medición 4D E-O	63
Tabla N° 11: BOX COX valores promedios a una misma separación	65
Tabla N° 12: BOX COX valores de conjunto de datos.....	66
Tabla N° 13: BOX COX valores promedios a una misma separación	67
Tabla N° 14: BOX COX valores de conjunto de datos.....	69
Tabla N° 15: BOX COX valores promedios a una misma separación	70
Tabla N° 16: BOX COX valores de conjunto de datos.....	72
Tabla N° 17: BOX COX valores promedios a una misma separación	73
Tabla N° 18: BOX COX valores de conjunto de datos.....	75
Tabla N° 19: Cuadro Resumen de valores de resistividad aparente utilizando método de BOX COX.....	76
Tabla N° 20: Valores promedios para el uso de METODO DE SUNDE.....	77
Tabla N° 21: Resumen de valores encontrados de los puntos por el método de SUNDE	89
Tabla N° 22: Valores de fusible a seleccionar	91



Tabla N° 23: Corrientes de Magnetización	93
Tabla N° 24: Corrientes de magnetización Seleccionados	93
Tabla N° 25: Constante de los materiales empleados en mallas	95
Tabla N° 26: Cuadro -1 de caculo Excel.....	97
Tabla N° 27: Cuadro - 2 de caculo Excel.....	98
Tabla N° 28: Cuadro - 3 de caculo Excel.....	99
Tabla N° 29: Cuadro - 4 de caculo Excel.....	100
Tabla N° 30: Cuadro - 5 de caculo Excel.....	101
Tabla N° 31: Cuadro - 6 de caculo Excel.....	102
Tabla N° 32: Cuadro - 7 de caculo Excel.....	103
Tabla N° 33: Datos de entrada del terreno y corrientes de falla para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$	114
Tabla N° 34: Datos de entrada para la disposición de conductores y varillas	115
Tabla N° 35: Resultados para la para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$	116
Tabla N° 36: Cuadro de resultados de los tres programas	128



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- a: Distancia entre electrodos de medida
- A: Área del sistema de puesta a tierra
- AT: Alta Tensión
- BT: Baja Tensión
- C1 y C2: Electrodo de corriente
- CP: Factor de crecimiento, Factor de crecimiento futuro de la subestación
- dc: Diámetro de la varilla
- dC: Diámetro de conductor de la malla
- Df: Factor de decremento, Factor de decremento de la componente en corriente continua
- Dm: Distancia máxima entre dos puntos
- E: Tensión de fase
- GPR: Gradiente de potencia a tierra
- h: Profundidad de instalación de los conductores de la malla
- H: Profundidad de la malla, Profundidad de la capa superior
- IF: Corriente simétrica de falla, Corriente simétrica de falla
- Io: Corriente simétrica de secuencia cero
- Kf: Constante del material
- Kh: Factor de corrección por profundidad
- Ki: Factor de irregularidad
- Km: Valor geométrico del espaciamiento de la malla
- LC: Longitud total de todos los conductores de la malla
- LM: Longitud efectiva enterrada
- LP: Longitud del perímetro de la malla
- Lr: Longitud de cada varilla
- LR: Longitud real de todas las varillas
- LT: Longitud total de los conductores enterrados
- LX: Largo de la malla
- LY: Ancho de la malla
- MT: Media Tensión
- nr: Número de varillas de tierra



P1 y P2: Electrodo de Potencial

PAT: Puesta a tierra

R1: Resistencia de tierra de los conductores de la malla

R2: Resistencia de todas las varillas de tierra

Rg: Resistencia de puesta a tierra, Resistencia de puesta a tierra de la subestación

Rm: Resistencia mutua entre grupo de conductores y varillas

Sf: Factor de división de corriente, Factor de división de corriente

Ta: Temperatura ambiente

TC: Duración de la corriente

TCAP: Capacidad térmica del conductor

TDC: Constante de tiempo de la componente de corriente continua

tf: Duración de la falla, Duración de la falla

Tm: Máxima Temperatura de fusión

Tr: Temperatura de referencia

ts: Duración del choque

Vca: Tensión de contacto aplicado admisible

Z1: Impedancia equivalente de secuencia positiva (+)

Z2: Impedancia equivalente de secuencia negativa (-)

Zo: Impedancia equivalente de secuencia cero (0)

α_0 : Coeficiente térmico de resistividad

α_r : Coeficiente térmico de resistividad de referencia

ρ : Resistividad del terreno

ρ_1 : Resistividad de la capa superior

ρ_2 : Resistividad de la capa inferior

ρ_a : Resistividad aparente



RESUMEN

Un problema típico que se tiene en el momento de diseño de los sistemas de puesta a tierra, es que se tienen una variedad de criterios de diseño ya sea del carácter técnico y/o económico, a su vez pocas veces se realizan los cálculos adecuados, toma y recolección de datos de la resistividad del terreno y el nivel de profundidad a la cual se realizara la instalación, colocación de las varillas, los conductores de la malla, así como el uso de la norma IEEE-80-2000 que es una de las más completas al momento de diseñar mallas de sistemas de puesta a tierra de subestaciones, esto en el cumplimiento de las tensiones de paso y contacto. En el presente trabajo se pretende desarrollar el diseño del sistema de mallas y modelamiento del suelo a dos capas que nos indica una forma más aproximada el nivel de estratificación del suelo real, posteriormente el diseño y modelamiento con los softwares ETAP, ASPIX y comparar los resultados obtenidos por referencia a la IEEE-80-2000, para ello se realizarán las mediciones en campo para la obtención de la resistividad del terreno aparente.

Palabras Clave: Diseño, Modelamiento, Suelo, Norma, Resistividad, Tensión, Malla.



ABSTRACT

A typical problem encountered when designing grounding systems is that there are a variety of design criteria, be it of a technical and / or economic nature, in turn, adequate calculations are rarely performed, data collection and collection of soil resistivity and the depth level at which the installation will be carried out, the placement of the rods, the conductors of the mesh, as well as the use of the IEEE-80-2000 standard, which is one of the the most complete at the time of designing substation grounding system meshes, this in compliance with step and contact voltages. The present work aims to develop the design of the mesh system and modeling of the two-layer soil that indicates a more approximate level of stratification of the real soil, later the design and modeling with the ETAP, ASPIX software and compare the results Obtained by reference to IEEE-80-2000, for this, field measurements will be made to obtain the apparent ground resistivity.

Keywords: Design, Modeling, Soil, Norm, Resistivity, Tension, Mesh



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las subestaciones de distribución con implementación de transformadores mayores o iguales a 1 MVA requieren de cálculos y diseño más cuidadosos, como son los conductores, sistemas de barras, tableros o cuadros eléctricos, aparata de protección y maniobra, sistema de puesta a tierra entre otros, esto con la finalidad de garantizar un adecuado funcionamiento de las instalaciones, así como garantizar la seguridad del personal encargado de la operación y mantenimiento, y las personas ajenas que pudieran entrar en contacto con las instalaciones. hoy en día la mayoría de proyectos no cuenta con estudios de los sistemas de puesta a tierra, que es una de las partes más importantes de todo sistema, que va desde el más pequeño y simple al más grande y complejo. Algunos proyectistas asumen valores de resistividad del terreno o suelo en sus diseños, sin realizar los estudios previos de medición de la misma, teniendo como resultado en la etapa de funcionamiento de las instalaciones algunas fallas que pueden venir desde pequeñas perturbaciones al sistema, a comprometer el mal funcionamiento de los equipos de protección y/o medición, hasta provocar daños graves o la muerte en las personas.

De todo lo comentado anteriormente se irán desarrollando en cada uno de los capítulos de la presente tesis de investigación, desde un marco teórico fundamental, para llegar luego a un análisis detallado de los resultados y posterior diseño de malla de puesta a tierra que es objetivo principal de este proyecto.



1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 Planteamiento del problema

Actualmente en los proyectos nuevos de este tipo no se tienen estudios en cuanto a la medición y diseño de los sistemas de puesta a tierra, muchos proyectistas obvian el diseño, un caso en particular es la SED del Estadio Nuevo de Juliaca, donde se tuvieron graves errores en el dimensionamiento y selección del transformador, así como el diseño del sistema de puesta a tierra.

Es por ello que se tiene como planteamiento del problema la mala práctica en el dimensionamiento de los sistemas de puesta a tierra, en subestaciones de distribución mayores o iguales a 0.5MVA, que vienen desde la medición de la resistividad del terreno, así como el valor seleccionado de la resistividad, el modelo de suelo a utilizar en el diseño, cálculo y modelamiento y que influyen de forma directa en las tensiones de paso y contacto a los que puedes estar sometido una persona en el momento de una falla en el sistema.

El presente trabajo de investigación tiene las siguientes interrogantes:

1.1.2 Problema general

¿el uso inadecuado de la norma IEEE-80, así como las mediciones y valores erróneas o asumidas del suelo pueden llevar a cálculos y diseño de mallas a tierra ineficientes e inseguras?

1.1.3 Problemas específicos

- a. ¿es necesario el modelamiento de dos capas o biestratificado en subestaciones menores o iguales a 1MVA
- b. ¿afectan el tamaño de las muestras de las mediciones, así como la anisotropía del terreno, para determinar la resistividad del suelo a utilizar en el diseño de la malla de puesta a tierra?



- c. ¿influye de forma directa las dimensiones y configuración de las mallas de puesta a tierra, para limitar las tensiones de paso y contacto admisibles de la instalación?
- d. ¿difieren mucho en los resultados el uso de los diferentes softwares dedicados al diseño de mallas de puesta a tierra aplicando la norma IEEE-80?

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El desarrollo de esta investigación es de importancia, puesto que se tienen las consideraciones necesarias y exigidas por la norma IEEE-80, para el dimensionamiento de mallas de puesta a tierra, así como el estudio detallado del mismo y que se pueden utilizar al momento de la implementación del sistema de puesta a tierra en el estadio de la UNA-PUNO.

1.2.1 Justificación académica

La presente tesis está motivada al diseño adecuado de un sistema de malla de puesta a tierra, así como las mediciones adecuadas del terreno utilizando los procedimientos y métodos para el correcto uso de la norma IEEE-80

1.2.2 Justificación económica

El diseño y la implementación del sistema de malla de puesta a tierra, no solo debe velar el aspecto técnico del proyecto, sino que tiene que garantizar la economía del mismo, teniendo siempre en cuenta la premisa de la seguridad de las personas y las instalaciones.



1.2.3 Justificación social

El diseño debe garantizar la seguridad de las personas encargadas de las instalaciones, así como de las personas ajenas que puedan entrar en contacto con las mismas.

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un Sistema de mallas de tierra mediante IEEE-80 la para la subestación de distribución de las instalaciones del estadio de la UNA – PUNO.

1.3.2 Objetivo específicos

- a. Dimensionamiento de la malla de puesta a tierra mediante un modelo de resistividad de suelo a dos capas o biestratificado
- b. Medición y uso adecuado de los valores de resistividad del suelo para el diseño de la malla de puesta a tierra
- c. Cumplimiento de las tensiones de paso y contacto admisibles o tolerables de la instalación, análisis comparativo con las dimensiones, configuración y elementos de la malla de puesta a tierra
- d. Análisis comparativo de los resultados con los softwares ETAP, ASPIX y EXCEL



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Introducción

El ser humano desarrolla sus actividades cotidianas y diarias sobre la superficie de la tierra, sobre ella se construyen casas, edificios, fábricas, calles, avenidas centros de recreación y otros, de otro lado en un mundo globalizado y en constante crecimiento se tienen en cuenta el suministro de la energía eléctrica, que es una de las fuentes más importantes en la sociedad, razón por la cual hoy en día se tienen que construir fuentes de generación que van desde la convencionales hasta las fuentes renovables, a su vez se tienen que instalar centros de transformación de AT (F., 1997)/MT y de MT/BT, para que estos a su vez sean distribuidos por líneas de transmisión, redes primarias y secundarias de distribución, estas instalaciones están directamente vinculadas y coexisten diariamente con la sociedad, para ello es imprescindible tomar las medidas necesarias para minimizar los riesgos frente a contactos directos e indirectos con estas instalaciones. (F., 1997)

2.1.2 Objetivos de una puesta a tierra

Los objetivos de un sistema de puesta a tierra son múltiples y obedecen a distintas razones y situaciones para ello se tienen dos principales objetivos

- Garantizar la seguridad de las personas que laboran en una instalación
- Asegurar el comportamiento técnicamente adecuado del sistema

Este estudio de investigación tiene como principal objetivo el diseño de la malla de puesta a tierra, para garantizar la seguridad de las personas, frente a contactos directos e indirectos, teniendo en consideración los límites máximos admisibles de la tensión de paso y contacto, exigidos por las normas internacionales. (F., 1997)



Por otro lado, desde un punto de vista técnico del sistema eléctrico la puesta a tierra tiene las siguientes funciones

- a. Reducir los valores de sobre voltaje que pueden aparecer en condiciones anormales de operación en los sistemas eléctricos
- b. Proporcionar una vía de baja resistencia o impedancia, para lograr la operación correcta de los elementos protección, como son los relés, fusibles etc. del sistema eléctrico
- c. Conducir de forma eficiente a tierra las descargas de origen atmosférico, limitando las diferencias de potencial que pudieran aparecer en las instalaciones

2.1.3 Clasificación de los sistemas de puesta a tierra

2.1.3.1 Puesta a tierra de protección

En este tipo de sistemas se conectan conductivamente los elementos metálicos expuestos de una instalación, que son elementos conductores, y que normalmente se encuentran sin tensión como son: carcazas, tuberías, crucetas metálicas, elementos de ferretería metálica etc. Pero que por algún evento de falla dentro de las instalaciones pueden adquirir un potencial con respecto a puntos del terreno, o respecto a otros objetos metálicos (F., 1997)

2.1.3.2 Puesta a tierra de operación y/o servicio

En este se pueden considerar un punto de unión común a tierra de las partes activas como son: neutro de los transformadores, generadores etc.

2.1.3.3 Requisitos de una puesta a tierra

Se deben determinar ciertos requisitos o características que son

- a. **Requisito del proyecto:** que establezca las características generales de la puesta a tierra, para que cumpla con los objetivos fundamentales perseguidos.



- b. Requisitos de diseño:** características que deben poseer los elementos del sistema de puesta a tierra, para que sea efectiva, duradera, soporte solicitudes máximas tanto mecánicas como eléctricas a que puedan estar sometidas

2.1.3.4 Requisitos del proyecto

Los requisitos normales de un sistema de puesta a tierra son:

- La puesta a tierra o sistema deberá tener, como máximo un determinado valor de resistencia establecido, aunque la norma IEEE-80 no habla acerca de valores de resistencia de puesta a tierra, solo indica que no deben pasar límites máximos admisibles de tensión de paso y contacto.
- La puesta a tierra deberá abarcar un área tal que integre todos los elementos de la instalación que puedan adquirir potenciales peligrosos al ocurrir una falla, además los elementos de la puesta a tierra deben estar dispuestos de manera que se cumplan con los requerimientos de seguridad para las personas que trabajan o transitan dentro de las instalaciones
- Deben tener todos los posibles riesgos que pueden presentarse para los equipos en el interior y exterior de la instalación protegida, y realizar las acciones necesarias para disminuir estos riesgos de un daño al mínimo, considerando aspectos de costo/beneficio
- La condición de seguridad para las personas y equipos, impone a la puesta a tierra una combinación apropiada de resistencia y disposición de los elementos, electrodos que constituyen la puesta a tierra (F., 1997)



2.1.3.5 Requisitos del diseño

Los requisitos del diseño de una puesta a tierra dependen de las características particulares de esta y de las condiciones del medio en que se encuentran estos pueden ser:

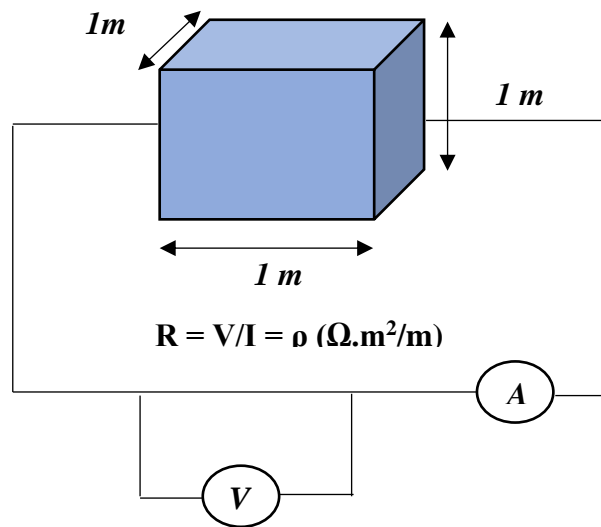
- Los diferentes elementos que constituyen la puesta a tierra deberán poder conducir las corrientes máximas que eventualmente puedan circular por estas durante el máximo tiempo posible, sin exceder la temperatura máxima admisible.
- Los elementos de la puesta a tierra deberán soportar sin deterioro, los esfuerzos mecánicos a que puedan estar sometidas durante la instalación
- No pueden utilizarse en la puesta a tierra, materiales que puedan producir corrosión galvánica en otros elementos metálicos enterrados. Ejemplo bases de estructuras. (F., 1997)

2.1.4 Resistividad del terreno

Se responde al primer interrogante que, posiblemente, pueda apuntarse sobre qué es lo que caracteriza una puesta a tierra eléctrica, esto es, la naturaleza de la resistencia de los electrodos que la establecen, razonándose sobre la dependencia que, en grado sumo, tiene la resistividad del terreno en la resistencia que presentan los mismos y la fuerte influencia que, sobre la resistividad, ejercen una serie de factores. (MARQUEZ, 1999)

La resistividad del terreno (ρ) se expresa en $\Omega.m$, que equivale a la resistencia que ofrece al paso de la corriente un cubo de terreno de un metro de arista como se muestra en la figura

Figura N° 1: Relación de Resistividad



Elaboración propia

la expresión general de resistencia es

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Para el caso de la figura 1 sería

$$R(\Omega) = \rho \frac{1(\text{m})}{1(\text{m}^2)}$$

De donde

$$\rho = R \left(\frac{\Omega.m^2}{m} \right) = R(\Omega.m)$$

2.1.5 Características eléctricas del terreno

para la concepción de un sistema de puesta a tierra requiere, inicialmente, el análisis de la naturaleza del suelo sobre el cual se vaya a realizar. Puede parecer que la investigación de la naturaleza y la estructura geológica, para determinar la variación de la resistividad en función de la profundidad es más propia que la geofísica, pero esto no es así, pues si bien para calcular la resistencia de una toma de tierra puntual es suficiente el conocimiento del perfil de la resistividad aparente de un terreno, no sucede lo mismo



en el caso de una malla de gran extensión, como la de una subestación. (MARQUEZ, 1999)

Una de las bases necesarias para determinar la configuración de una red mallada que abarque una gran superficie es el conocimiento de la resistividad a diversas profundidades. En efecto, si bien la presencia de filones profundos muy resistentes o muy conductores puede tener escasa influencia sobre la resistividad aparente del terreno, esas particularidades pueden ser capaces, no obstante, de variar notablemente la resistencia de la red de tierra que se establezca más a flor de la superficie por la deformación que provocan sobre los filetes de corriente. Sin embargo, las resistividades del terreno en la superficie o en profundidad, raramente se conocen antes del establecimiento de las obras y es frecuente que la realización de las redes de tierra sean las que aporten las primeras indicaciones sobre la calidad de los terrenos cuando, en buena lógica, debería ser el proceso inverso el que prevaleciera. (MARQUEZ, 1999)

2.1.6 Factores que influyen en la resistividad del terreno

Si bien los componentes más importantes del terreno son, en estado seco, aislante (la sílice, el óxido de aluminio, etc.), su resistividad disminuye rápidamente en presencia de sales solubles y de la humedad. (MARQUEZ, 1999)

Por otro lado, la composición de la tierra, incluso en un lugar determinado, es muy heterogénea, presentándose capas, bolsas, depósitos, etc., tanto horizontal como verticalmente. Las zonas superficiales en que se instalan las tomas de tierra tampoco son uniformes y, además, están afectadas fuertemente por los cambios climáticos, lluvias y heladas. Todo ello hace que la resistividad sea muy variable de un lugar a otro y pueda resumirse en que la modifican, de manera muy notable, los siguientes factores del terreno:

- La composición
- Sales solubles y su concentración



- Estado higrométrico
- La temperatura
- La granulometría
- La compactación
- La estratigrafía

2.1.7 Modelo de suelo uniforme

Cuando el contraste entre las diferentes resistividades de las capas es moderado, se puede usar un valor promedio para la resistividad del suelo, como una primera aproximación o para establecer el orden de magnitudes (Castaño, 2010). La resistividad aproximada para un suelo uniforme se puede obtener tomando un promedio aritmético de las resistividades aparentes medidas en varios sitios y direcciones dentro del patio, así:

$$\rho_{a \text{ promedio}} = \frac{\rho_{a1} + \rho_{a2} + \rho_{a3} + \dots + \rho_{an}}{n}$$

$\rho_{a1} + \rho_{a2} + \rho_{a3} + \dots + \rho_{an}$ = son las resistividades aparentes mediadas a diferentes espaciamientos.

n = número total de medidas

tomar este tipo de metodología no es el más conveniente, porque la resistividad del terreno varía significativamente, y el uso del promedio aritmético no es correcto, el lugar de ello se puede emplearse el log normal o el método de Cox Box.

2.1.8 Método BOX COX

Para calcular el valor de la resistividad del terreno necesario para el diseño de un Sistema de Puesta a Tierra existen métodos donde se supone que el terreno es de una sola capa o de n capas. Se considera que el modelamiento del suelo como homogéneo es adecuado cuando los diversos valores medidos no se apartan en más de un 30% del valor máximo. Cuando se aplica el método unicapa, se asume que el terreno es homogéneo es por tanto que se requiere un único valor de resistividad, en este caso la Metodología Box-



Cox es aplicable porque permite calcular un solo valor de resistividad con una probabilidad del 70%. Este modelo homogéneo es el que se supone en la metodología de cálculo propuesta por la norma ANSI/IEEE 80. (KAREN LORENA ORREGO, 2007)

Cálculo del valor aproximado para la resistividad

Para el cálculo de este parámetro se emplea el método probabilístico (transformación de Box-Cox), para lo cual se tomará una probabilidad del 70% como aceptable para la asignación de la resistividad a partir del ajuste de distribución normal.

Partiendo de los datos de resistividad obtenidos de las lecturas, se aplica el siguiente procedimiento:

- Se halla el promedio de la resistividad aparente X_p .
- Se tabulan los datos de resistividad aparente medida ρ_i .
- En una columna se colocan los logaritmos naturales de cada una de las medidas.

$$X_i = \text{Ln}\rho_i$$

- Se halla la resistividad promedio X como:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} X_i}{n}$$

- En otra columna se coloca el resultado de

$$(X_i - \bar{x})^2$$

- Se calcula la desviación estándar S como:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (X_i - \bar{x})^2}{n}}$$

- De la distribución normal se toma Z para 70% de 0,524400513
- Se halla la resistividad (con probabilidad del 70% de no ser superada) por la siguiente fórmula

$$\rho = \text{AntiLn}(S * Z + \bar{x})$$



2.1.9 Modelo de suelo a dos capas

Un modelo de suelo de dos capas puede representarse por una capa superior de profundidad finita, por encima de una capa inferior de profundidad infinita. (Castaño, 2010) El cambio abrupto de la resistividad en las proximidades de cada capa de suelo puede describirse por medio del factor de reflexión K , definido como:

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1 + \rho_2} \quad (1)$$

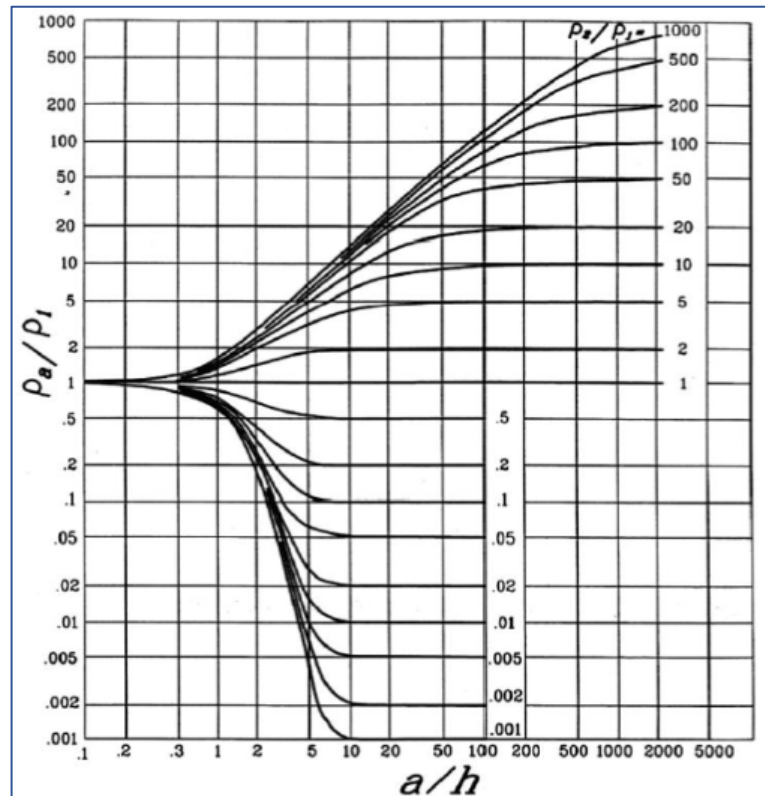
Donde se tiene:

ρ_1 : resistividad de la capa superior $\Omega.m$

ρ_2 : resistividad de la capa inferior $\Omega.m$

En muchos casos, la representación de un electrodo de tierra basado en un modelo equivalente de dos capas es suficiente para diseñar un sistema seguro de puesta a tierra. Un modelo de suelo de dos capas puede aproximarse empleando el método gráfico de Sunde. (Castaño, 2010)

Figura N° 2: Gráfico de Sunde



Fuente: <https://pdfslide.tips/documents/metodo-de-sunde-para-modelar-suelos-2-estratos.html>

Los parámetros ρ_1 y ρ_2 se obtienen por inspección de las medidas de resistividad.

Solamente H es obtenido por el método de Sunde, como sigue:

- Dibujar el gráfico ρ_a vs. a .
- De la gráfica anterior se estiman ρ_1 y ρ_2 , extendiendo el gráfico en ambos extremos para obtener los valores de resistividad, si los datos de campo son insuficientes.
- Determinar ρ_2/ρ_1 y seleccionar una curva del gráfico de la figura 2.2, o interpolar y dibujar una nueva curva en el gráfico.
- Seleccionar el valor de ρ_a/ρ_1 sobre el eje Y dentro de la región pendiente de la curva ρ_2/ρ_1 apropiada.



- Leer el valor correspondiente a/h sobre el eje X.
- Calcular ρ_a multiplicando el valor seleccionado ρ_a/ρ_1 por ρ_1 .
- Leer el espaciamiento de prueba correspondiente de la gráfica de ρ_a vs. a.
- Calcular la profundidad del nivel superior H usando la separación de prueba apropiada a. (SOCIETY, 2013)

2.1.10 Efectos de corriente, tensión de toque y de paso en el cuerpo humano

Debido a las elevadas corrientes a tierra en las instalaciones eléctricas, ya sea por descargas atmosféricas o por fallas de maniobra, nos lleva a tomar precauciones tanto para el personal que labora en las instalaciones u otro tipo de personal. Corrientes del orden de miles de amperios, ocasionan gradientes de potencial elevados en la vecindad o en los puntos de contacto a tierra. Si al producirse estos gradientes de potencial, se encuentra un individuo el cual este entre dos puntos en el que existe diferencia de potencial, este individuo puede sufrir una descarga que puede sobrepasar su límite de contracción muscular y ocasioné su caída. En tal situación la corriente que circule por su cuerpo aumenta y si esta pasa por un órgano vital que pueda ocasionar su muerte. El umbral de percepción se acepta generalmente como de aproximadamente 1mA. Si el camino de la corriente incluye la mano y el antebrazo, las contracciones musculares, el malestar, y el dolor aumenta al incrementarse la corriente y bastan corrientes de algunos cuantos mA para evitar que el sujeto pueda soltar el electrodo agarrado con la palma de la mano. Se puede tolerar corrientes, sin originar fibrilación, si la duración es muy corta. La ecuación que liga los parámetros de la intensidad de corriente tolerable y el tiempo que pueda tolerarla un organismo es:

$$I_c = \frac{0.116}{\sqrt{t}} : \text{para personas de } 50Kg \quad (2)$$

$$I_c = \frac{0.157}{\sqrt{t}} : \text{para personas de } 70Kg \quad (3)$$

En donde I_c es el valor efectivo de la corriente que circula por el cuerpo, en amperios y t es el tiempo de duración del choque eléctrico en segundos

2.1.10.1 Tensión de Paso

Es la parte de la tensión de puesta a tierra que puede ser puentada por un ser humano entre los dos pies, considerándose el paso de una longitud de 1 metro" aunque resulta más intuitivo el facilitado por la IEEE Standard 80_2000, al destacar la ausencia de la persona en su definición: "La tensión de paso es la diferencia de potencial entre dos puntos de la superficie del terreno, separados por una distancia de un paso, que se asimila a un metro, en la dirección del gradiente de potencial máximo"

$$V_{P50} = (1000 + 6C_S\rho_S) * \frac{0.116}{\sqrt{t}} \quad (4)$$

$$V_{P70} = (1000 + 6C_S\rho_S) * \frac{0.157}{\sqrt{t}} \quad (5)$$

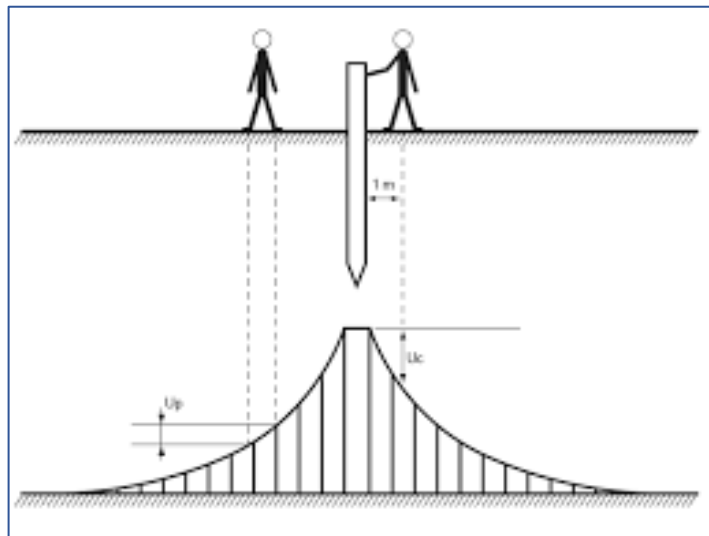
2.1.10.2 Tensión de Contacto o Toque

Es la fracción de la tensión de puesta a tierra que puede ser puentada por una persona entre la mano y el pie (considerando un metro) o entre ambas manos", aunque, a semejanza de la de paso, resulta también más intuitiva la proporcionada por la IEEE Standard 80_2000, que dice así: La tensión de contacto es la diferencia de potencial entre una estructura metálica puesta a tierra y un punto de la superficie del terreno a una distancia igual a la distancia horizontal máxima que se puede alcanzar, o sea, aproximadamente, 1 metro".

$$V_{c50} = (1000 + 1.5C_S\rho_S) * \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$

$$V_{c70} = (1000 + 1.5C_S\rho_S) * \frac{0.157}{\sqrt{t}}$$

Figura N° 3: Tensiones de Paso y Contacto



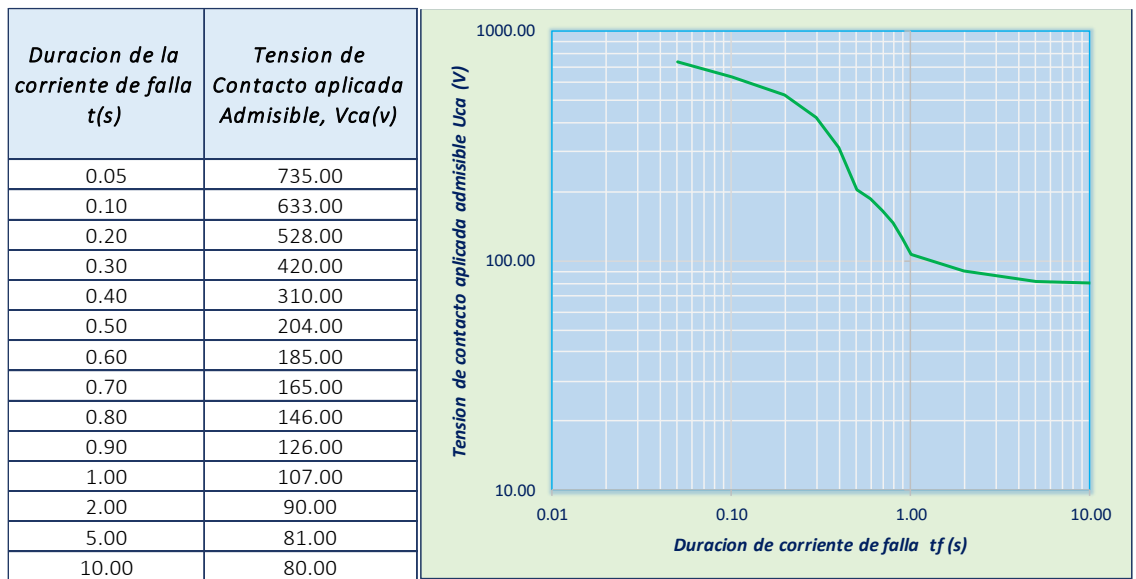
Fuente: (López, 2018)

2.1.10.3 Valores admisibles de las Tensión de Paso aplicada

Cuando se produce una falta a tierra, partes de la instalación se pueden poner en tensión, y en el caso de que una persona o animal estuviese tocándolas, podría circular a través de él una corriente peligrosa. (IBERDROLA, 2013)

Los valores admisibles de la tensión de contacto aplicada, V_{ca} , a la que puede estar sometido el cuerpo humano entre la mano y los pies, en función de la duración de la corriente de falta, se dan en la siguiente figura

Figura N° 4: Grafico de Vca vs T(s) admisible



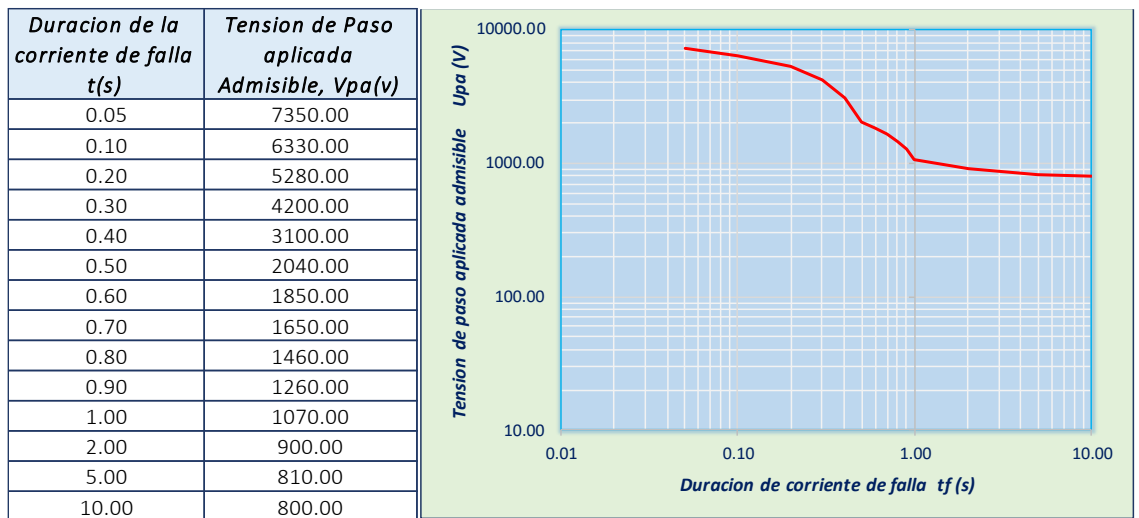
Fuente: MIE.RAT-13 de 2014

2.1.10.4 Valores admisibles de las Tensión de Paso aplicada

Cuando se produce una falta a tierra, partes de la instalación se pueden poner en tensión, y en el caso de que una persona o animal estuviese cerca del punto de falla, podría circular a través de él una corriente peligrosa. (Castaño, 2010)

Los valores admisibles de la tensión de paso aplicada, V_{pa} , a la que puede estar sometido el cuerpo humano entre los pies, en función de la duración de la corriente de falta, se dan en la siguiente figura.

Figura N° 5: Grafico de Vpa vs T(s) admisible



Fuente: MIE.RAT-13 de 2014

Donde se puede observar que la tensión que los valore admisibles de las tensiones de paso y contacto tienen una relación de

$$V_{pa} = 10V_{ca} \quad (6)$$

Z_B = Impedancia del cuerpo humano. Se considerará un valor de 1000 Ω .

2.1.11 Criterios de diseño de mallas utilizando la norma IEEE-80

A continuación, se presenta una descripción de los criterios de diseño de sistemas de puesta a tierra (SPT) con el algoritmo propuesto en IEEE- 80. Como se ha indicado en el capítulo anterior, un sistema de puesta a tierra debe instalarse para limitar los gradientes de potencial de tierra a niveles de tensión y corriente que no pongan en peligro la seguridad de las personas y de los equipos bajo condiciones normales y de falla. (Castaño, 2010)

2.1.11.1 Corriente máxima a disipar por la malla (I_G)

valor máximo de diseño de la corriente de falla a tierra que fluye a través de la malla de la subestación hasta la tierra circundante está dado por:

$$I_G = I_F \cdot D_f \cdot S_f \cdot C_p \quad (7)$$

Donde se tienen:

$I_F = 3I_0$: Corriente simétrica de falla a tierra en A.

D_f : Factor de decremento para tener en cuenta la componente DC.

S_f : Factor de división de corriente.

C_P : Factor de crecimiento futuro de la subestación, considera el incremento

futuro de la corriente de falla

2.1.11.2 Corriente simétrica de falla a tierra (I_F)

- Falla línea – línea – tierra, ignorando la resistencia de la falla y la resistencia de puesta a tierra de la subestación:

$$(I_{F(L-L-T)}) = 3 \cdot I_0 = \frac{3EZ_2}{Z_1(Z_0 + Z_2) + Z_2 \cdot Z_0} \quad (8)$$

- Falla línea – tierra, ignorando la resistencia de la falla y la resistencia de puesta a tierra de la subestación:

$$(I_{F(L-T)}) = 3 \cdot I_0 = \frac{3E}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (9)$$

Donde se tienen:

I_0 : Valor RMS de secuencia cero de la corriente simétrica de falla en A.

E : Tensión fase – neutro RMS en V.

Z_1 : Impedancia equivalente de secuencia (+) del sistema en el punto de falla.

Z_2 : Impedancia equivalente de secuencia (-) del sistema en el punto de falla.

Z_0 : Impedancia equivalente de secuencia (0) del sistema en el punto de falla.

En una ubicación dada, una falla simple línea – tierra será la peor si $Z_1 \cdot Z_0 > (Z_2)^2$ en el punto de la falla y una falla línea – línea – tierra será la peor si $Z_1 \cdot Z_0 < (Z_2)^2$, es común que en un sistema dado $Z_1 = Z_2$.

2.1.11.3 Factor de Decremento (D_f)

En el diseño de la malla a tierra, se debe considerar la corriente asimétrica de falla, la cual resulta de multiplicar la corriente simétrica de falla por el factor de decremento, que a su vez está dado por:

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{T_{DC}}{t_f} \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot t_f}{T_{DC}}}\right)} \quad (10)$$

Donde se tienen:

t_f : Duración de la falla en s.

T_{DC} : Constante de tiempo de la componente DC.

$$T_a = \frac{X}{wR} = \frac{X}{R} \cdot \frac{1}{2\pi f} \quad (11)$$

2.1.11.4 Factor de Crecimiento (C_p)

Si la malla de puesta a tierra se construye teniendo en cuenta la capacidad total de la subestación, y no se consideran aumentos futuros de carga ni de alimentadores, $C_p = 1$.

2.1.11.5 Calculo de factor de División de Corriente (S_f)

El proceso del cálculo consiste en derivar una representación equivalente de los cables de guarda, neutros, etc. Esto es, contactarlos a la malla en la subestación y luego resolver el equivalente para determinar qué fracción de la corriente total de falla fluye entre la malla y la tierra circundante, y qué fracción fluye a través de los cables de guarda o neutros, hacia las tierras del pie de torres que entran y sacan líneas de la subestación. S_f depende de:

- Localización de la falla.
- Magnitud de la resistencia de la malla de puesta a tierra de la subestación.
- Cables y tubos enterrados en las vecindades de la subestación o directamente conectados al sistema de puesta a tierra.
- Cables de guarda, neutros u otras trayectorias de retorno por tierra.



- Líneas de transmisión que entran y alimentadores que salen de la subestación; cantidad, número de cables de guarda y la impedancia de cada uno; cantidad y resistencia de puestas a tierra de pies de torre; longitud de líneas de transmisión y alimentadores; material y calibre de cables de guarda y neutros.

El factor de división de corriente será entonces:

$$(S_f) \frac{x}{y} = \frac{Z_{eq_{x/y}}}{R_g + (Z_{eq})_{x/y}} \quad (12)$$

$(Z_{eq})_{X/Y}$: impedancia equivalente de X cables de guarda de líneas de transmisión e Y neutros de alimentadores de distribución.

R_g : resistencia del sistema de puesta a tierra de la subestación.

2.1.11.6 Duración de Falla (t_f) y Duración de Choque (t_s)

La duración de la falla y la duración del choque normalmente se asumen iguales, a menos que la duración de la falla sea la suma de choques sucesivos, como los producidos por los recierres automáticos de los reclosers. La selección de t_f puede reflejar tiempos de despeje rápidos de la subestación de transmisión y tiempos de despeje lentos para subestaciones de distribución e industriales. La selección de t_f y t_s puede resultar en la combinación más pesimista de factores de decremento de corrientes de falla y corrientes permitidas por el cuerpo humano. Valores típicos para t_f y t_s están en el rango de 0.25 s a 1 s. (Castaño, 2010)

2.1.11.7 Geometría de la Malla

Las limitaciones de los parámetros físicos de una malla de puesta a tierra están basadas en las restricciones físicas y económicas de la misma. Es poco práctico instalar una placa de cobre como sistema de puesta a tierra.

- Los espaciamientos típicos entre conductores (D) están en el rango:

$$15m > D > 3m$$



- Las profundidades típicas (h) están en el rango:

$$1.5\text{m} > h \geq 0.5 \text{ m}$$

- Los calibres típicos de conductores (ACM) están en el rango:

$$500 \text{ MCM} > \text{ACM} \geq 2/0 \text{ AWG}$$

- El diámetro del conductor de la malla tiene un efecto despreciable sobre la tensión de malla.
- El área del sistema de puesta a tierra (A) es el factor más importante en la determinación de la resistencia de malla (R_g). Entre mayor sea A, menor será R_g y, por lo tanto, es menor la elevación del potencial de tierra (GPR). (Castaño, 2010)

2.1.11.8 Selección de la Sección del Conductor

La elevación de temperatura de corto tiempo en un conductor de tierra, o el tamaño requerido del conductor como una función de la corriente de falla que pasa por el conductor, se encuentra mediante la ecuación:

$$A_{MCM} = I_F \frac{197.4}{\sqrt{\frac{TCAP}{t_c \alpha_r \rho_r} * \ln\left(\frac{K_a + T_m}{K_a + T_a}\right)}} \quad (13)$$

Donde se tienen:

I_F : Corriente asimétrica de falla RMS en KA, se usa la más elevada encontrada.

A_{MCM} : Área del conductor en MCM.

T_m : Máxima temperatura disponible o temperatura de fusión en °C.

T_a : Temperatura ambiente en °C.

T_r : Temperatura de referencia para las constantes del material en °C.

α_0 : Coeficiente térmico de resistividad a 0°C en 1/°C.

α_r : Coeficiente térmico de resistividad a la temperatura de referencia T_r 1/°C.

P_r : Resistividad del conductor de tierra a la temperatura de referencia T_r $\mu\Omega$ -cm.



K_0 : $1/\alpha_0$ o $[(1/\alpha_0) - Tr]$ en °C.

T_C : Duración de la corriente en seg.

T_{CAP} : Capacidad térmica por unidad de volumen en J / (cm³*°C).

La fórmula simplificada da una aproximación muy buena:

$$A_{MCM} = I_F \cdot K_f \cdot \sqrt{t_C} \quad (14)$$

K_f : constante de material

El tamaño del conductor realmente seleccionado es usualmente más grande que el que se basa en la fusión, debido a factores como:

- El conductor debe resistir los esfuerzos mecánicos esperados y la corrosión durante la vida útil de la instalación.
- El conductor debe tener alta conductancia para prevenir caídas de tensión peligrosas durante una falla.
- La necesidad de limitar la temperatura del conductor. d) Debe aplicarse un factor de seguridad a la instalación de puesta a tierra y a los demás componentes eléctricos

Se acostumbra entonces emplear como calibre mínimo el N° 2/0 AWG de cobre de 7 hilos, con el fin de mejorar la rigidez mecánica de la malla y soportar la corrosión

2.1.12 Evaluación de la resistencia de puesta a tierra (RG)

Un buen sistema de puesta a tierra proporciona una resistencia baja a una tierra remota, con el fin de minimizar la elevación del potencial de tierra GPR, dada por:

$$GPR = I_g \cdot R_g \quad (15)$$

2.1.12.1 Cálculos simplificados

La resistencia de una malla de puesta a tierra fue formulada por Sverak como:

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left[1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right] \right] \quad (16)$$

Donde se tienen:

L_T : Longitud total de conductores enterrados en m.

ρ : Resistividad del terreno Ω -m.

A : Área ocupada por la malla de tierra m²

H : Profundidad de la malla en m.

Para mallas sin varillas de tierra, esta fórmula ha sido probada y da resultados que son prácticamente idénticos a los obtenidos con la fórmula de Schwarz.

2.1.12.2 Ecuaciones de Schwarz para suelo Homogéneo

Schwarz desarrolló el siguiente conjunto de ecuaciones para determinar la resistencia de un sistema de puesta a tierra en un suelo homogéneo que consta de una malla horizontal con electrodos verticales (varillas). Schwarz empleó la siguiente ecuación para cambiar la resistencia de la malla, varillas y la resistencia mutua, para calcular la resistencia de puesta a tierra R_g : (Castaño, 2010)

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 + 2R_m} \quad (17)$$

Donde se tienen:

R_1 : Resistencia de tierra de los conductores de la malla en Ω .

R_2 : Resistencia de tierra de todas las varillas de tierra en Ω .

R_m : Resistencia mutua entre el grupo de conductores de la malla R_1 y el grupo de varillas de tierra R_2 , en Ω .

La resistencia de tierra de la malla está dada por:



$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_C} \left[\text{Ln} \left\{ \frac{2L_C}{d_c h} \right\} - \frac{K_1 L_C}{\sqrt{A}} - K_2 \right] \quad (18)$$

$$K_1 = -0.05 \frac{L_X}{L_Y} + 1.2 \quad (19)$$

$$K_2 = 0.1 \frac{L_X}{L_Y} + 4.68 \quad (20)$$

Donde se tienen:

ρ : Resistividad del terreno Ω -m.

L_C : Longitud total de todos los conductores de la malla en m.

h : Profundidad de los conductores de la malla en m.

d_c : Diámetro del conductor de la malla en m.

A : Área cubierta por los conductores de la malla de tierra m^2 .

L_X, L_Y : Largo, ancho de la malla en m.

La resistencia de las varillas de tierra está dada por:

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi n_r L_r} \left[\text{Ln} \left\{ \frac{8L_r}{d_r} \right\} - 1 + \frac{2K_1 L_r}{\sqrt{A}} - \{\sqrt{n_r} - 1\}^2 \right] \quad (21)$$

Donde se tienen:

n_r : Número de varillas de tierra.

L_r : Longitud de cada varilla en m.

d_c : Diámetro de la varilla en m.

La resistencia de tierra mutua entre la malla y las varillas está dada por:

$$R_m = \frac{\rho}{\pi L_C} \left[\text{Ln} \left\{ \frac{2L_C}{L_r} \right\} + \frac{K_1 L_C}{\sqrt{A}} - K_2 + 1 \right] \quad (22)$$

La resistencia combinada de R_1 y R_2 será menor que la resistencia a tierra, analizando ambos componentes por sí solos; pero será más alta que la de la combinación en paralelo ($R_m < R_1$, $R_m < R_2$, $R_g > R_m$).

2.1.12.3 Ecuaciones de Schwartz para suelo a dos capas

En la práctica, es deseable enterrar varillas de tierra profundas para alcanzar suelos de menor resistividad. En las ecuaciones que siguen, las expresiones para R_1 , R_2 y R_m se han modificado, para tener en cuenta esta situación. (Castaño, 2010)

$$R_1 = \frac{\rho_1}{\pi L_C} \left[\text{Ln} \left\{ \frac{2L_C}{\sqrt{d_c h}} \right\} + \frac{K_1 L_C}{\sqrt{A}} - K_2 \right] \quad (23)$$

$$R_2 = \frac{\rho_a}{2\pi n_r L_r} \left[\text{Ln} \left\{ \frac{8L_r}{d_2} \right\} - 1 + \frac{2K_2 L_r}{\sqrt{A}} - \{\sqrt{n_r} - 1\}^2 \right] \quad (24)$$

$$R_m = \frac{\rho_a}{\pi L_C} \left[\text{Ln} \left\{ \frac{2L_C}{L_r} \right\} + \frac{K_1 L_C}{\sqrt{A}} - K_2 + 1 \right] \quad (25)$$

$$\rho_a = \frac{L_r \rho_1 \rho_2}{\rho_2 (H - h) + \rho_1 (L_r + h - H)} \quad (26)$$

Donde se tienen:

ρ_1 : Resistividad de la capa superior en Ω -m.

ρ_2 : Resistividad de la capa profunda en Ω -m.

H : Espesor de la capa superior (valor encontrado por método de Sunde).

h : Profundidad de la malla en m.

L_r : Longitud de las varillas (c/u). $\rho_a \rightarrow$ Resistividad aparente en Ω -m.

Si $\rho_2 \leq 0.2 \rho_1$ y $H \geq 0.1 L_X$, las anteriores ecuaciones son razonablemente exactas para la mayor parte de los cálculos prácticos

2.1.12.4 Cálculo de la tensión máxima de la Malla de puesta a tierra

El valor de la tensión real de la malla se obtiene mediante la expresión:

$$E_m = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_m \cdot K_i}{L_M} \quad (27)$$

Donde:

K_m : Valor geométrico de espaciamiento de la malla, calculado así:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\text{Ln} \left[\frac{D^2}{16hd_c} + \frac{(D + 2h)^2}{8Dd_c} - \frac{h}{4d_c} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \text{Ln} \left[\frac{8}{\pi(2n - 1)} \right] \right] \quad (28)$$

Para mallas con varillas de tierra a lo largo del perímetro, o para mallas con varias varillas de tierra en las esquinas, así como para ambas, $K_{ii} = 1$; donde K_{ii} es un factor de corrección que ajusta los efectos de los conductores sobre la esquina de la malla. Para mallas sin varillas de tierra, o sólo unas pocas, ninguna localizada en las esquinas o sobre el período:

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{\frac{2}{n}}} \quad (29)$$

K_h es un factor de corrección que tiene en cuenta los efectos de la profundidad de la malla, dado por:

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \quad \text{con } h_0 = 1m \quad (30)$$

n representa el número de conductores paralelos de una malla rectangular equivalente, y está dado por:

$$n = n_a n_b n_c n_d \quad (31)$$

$$n_a = \frac{2L_C}{L_p}; \quad n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{A}}}; \quad n_c = \left[\frac{L_X L_Y}{A} \right]^{\frac{0.7A}{L_X L_Y}}; \quad n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_X^2 + L_Y^2}} \quad (32)$$

Para mallas cuadradas: $n = n_a$ ya que $n_b = n_c = n_d = 1$



Para mallas rectangulares: $n = n_a \cdot n_b$ ya que $n_c = n_d = 1$

Para mallas en forma de L: $n = n_a \cdot n_b \cdot n_c$ ya que $n_d = 1$

Donde se tienen:

L_C : Longitud total de los conductores de la malla horizontal en m.

L_P : Longitud del perímetro de la malla en m.

L_X : Longitud máxima de la malla en la dirección X, en m.

L_Y : Longitud máxima de la malla en la dirección Y, en m.

D_m : Distancia máxima entre dos puntos cualesquiera de la malla, en m.

K_i es el factor de irregularidad y se define como:

$$K_i = 0.644 + 0.148n \quad (33)$$

Para mallas sin varillas de tierra o para mallas con sólo unas pocas varillas esparcidas a través de la malla, pero ninguna localizada en las esquinas o a lo largo del perímetro, la longitud efectiva enterrada (L_M) es:

$$L_M = L_C + L_R \quad (34)$$

Donde se tienen:

$L_R = n_r L_r$: Longitud total de todas las varillas. (44)

n_r : Numero de varillas.

L_r : Longitud de cada varilla.

Para mallas con muchas varillas de tierra en las esquinas, así como a lo largo del perímetro, la longitud efectiva enterrada (L_M) es:

$$L_M = L_C + \left[1.55 + 1.22 \left[\frac{L_r}{\sqrt{L_X^2 + L_Y^2}} \right] \right] L_R \quad (35)$$



2.1.13 Medición de la resistividad del terreno

El conocimiento de las resistividades o resistencias específicas de un terreno es esencial en el proyecto y análisis de puestas a tierra, pues influye proporcionalmente en los valores de resistencia y en las solicitaciones de voltaje que pueden aparecer en una instalación. Otras características tales como sus propiedades magnéticas o dieléctricas pueden requerirse en situaciones particulares. La resistividad de los suelos normales varía dentro de un amplio rango que puede alcanzar relaciones de 1 a 100 o incluso 1 a 1.000. Por tanto, es necesario conocer para cada situación particular el valor real de la resistividad del terreno que corresponde, de manera de no subdimensionar la puesta a tierra, con los consecuentes riesgos para las personas y equipos; o sobredimensionarla, con costos mayores que los necesarios. (F., 1997)

Lo normal es que los terrenos estén configurados por diferentes estratos de minerales ubicados aproximadamente paralelos a la superficie del suelo. El objetivo de la medición de resistividad en la zona donde se construirá una puesta a tierra, es determinar esta propiedad para cada uno de los estratos presentes y su espesor medio, hasta una cierta profundidad de interés. Esta profundidad depende principalmente del tamaño de la puesta a tierra que se desea construir. Se utiliza para determinar estos Parámetros, un tipo de medición en profundidad denominado sondeo eléctrico. (F., 1997)

2.1.13.1 Medición de Wenner o de los 4 puntos

El método de cuatro puntos es el más utilizado para la medición de la resistividad aparente del suelo en superficies grandes de tierra. En este método se instalan cuatro puntas de pruebas, también llamados electrodos, todos con la misma profundidad y con un espaciamiento el cual depende del arreglo que se utilice. Para conocer la resistividad más profunda se aumenta la separación entre los electrodos. El método consiste en inyectar una corriente controlada en los electrodos externos llamados electrodos de



corriente, y a partir de esta y con la resistencia que presenta la tierra, se genera una diferencia de potencial entre los dos electrodos internos llamados electrodos de potencial con estos dos parámetros medidos se calcula la resistividad aparente mediante una fórmula que depende del factor geométrico del arreglo.

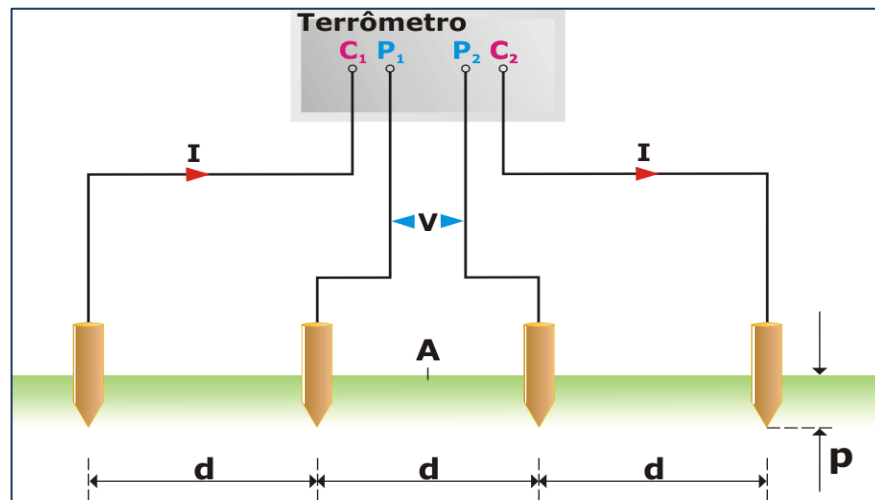
En 1915, el Dr. Frank Wenner del U.S. Bureau of Standards desarrolló la teoría de este método de prueba, y la ecuación que lleva su nombre. Es el más útil para diseños eléctricos. Es un caso particular del método de los cuatro electrodos solo que aquí se disponen en línea recta y equidistantes una distancia “a”, simétricamente respecto al punto en el que se desea medir la resistividad del suelo, no siendo necesario que la profundidad de los electrodos auxiliares, sobrepase los 30 cm. El aparato de medida es un termómetro clásico con cuatro terminales, siendo los dos electrodos extremos los de inyección de la corriente de medida (A) y los dos centrales los electrodos de medida del potencial (V). En esta metodología se asume que el suelo es homogéneo. Las mediciones de resistividad dependerán de la distancia entre electrodos y de la resistividad del terreno, y por el contrario no dependen en forma apreciable del tamaño y del material de los electrodos, aunque sí dependen de la clase de contacto que se haga con la tierra. La profundidad a la cual se deben enterrar los electrodos debe ser igual o menor al 5% del espaciamiento de los electrodos. El electrodo debe tener contacto únicamente en el fondo del orificio. En la práctica se puede admitir que la resistividad aparente es, básicamente la de las capas comprendidas entre la superficie del suelo y la profundidad a la cual la densidad de corriente se ha reducido a la mitad del valor en superficie, es decir, la profundidad de investigación es “0,75 a”. El eje del sondeo eléctrico vertical y, en consecuencia, de medida de resistividad, se encuentra en el medio del sistema simétrico compuesto por los cuatro electrodos, entre los dos de potencial. El principio básico de este método es la inyección de una corriente directa o de baja frecuencia a través de la



tierra entre dos electrodos A y B mientras que el potencial que aparece se mide entre dos electrodos M y N. Estos electrodos están enterrados en línea recta y a igual separación entre ellos. La razón V/I es conocida como la resistencia aparente. La resistividad aparente del terreno es una función de esta resistencia y de la geometría del electrodo.

(KAREN LORENA ORREGO, 2007)

Figura N° 6: Arreglo de Método Wenner



Fuente: <https://www.infocontrol.pt/artigos-tecnicos/redes-de-terra-resistividade-do-solo/>

Donde se tienen:

C₁ y C₂ : Electrodo de corriente

P₁ y P₂ : Electrodo de potencial

La profundidad *b* no debe ser mayor de 0.1*a*. A partir de la resistencia se puede calcular la resistividad aparente del suelo medida en Ω.m para una profundidad “*a*” igual a la separación entre electrodos con la siguiente ecuación ya establecida para el arreglo Wenner:

$$\rho_a = \frac{4\pi d R}{1 + \frac{2d}{\sqrt{d^2 + 4a^2}} - \frac{d}{\sqrt{d^2 + a^2}}} \quad (36)$$

Si $a \ll d$ como caso más común se tendrá entonces

$$\rho_a = 2\pi a R \quad (\Omega \cdot m)$$

2.1.14 Criterios prácticos a tener en cuenta al medir la resistividad del terreno

- Es conveniente que se realicen mediciones en diferentes direcciones para un mismo sondeo, por ejemplo, de Norte a Sur y de Este a Oeste, debido a las



- características de heterogéneas de los suelos, y a las características anisotropías del mismo. (KAREN LORENA ORREGO, 2007)
- Al elegir la profundidad de exploración no se recomiendan profundidades mayores a los 8 m, puesto que es muy difícil poder llegar con las tomas de tierra hasta esos niveles. c. No es conveniente que las mediciones se realicen donde existan tomas de tierra o tuberías, puesto que las mismas provocan que la corriente que se inyecta en el terreno tome otra trayectoria no deseada perturbando así el resultado. (KAREN LORENA ORREGO, 2007)
 - Si se quiere conocer la resistividad existente en una puesta a tierra, es obligatorio realizar la medición en una zona cercana a la misma, con características similares y con la misma conformación geológica, a una separación igual o mayor a tres veces la separación de los electrodos. (KAREN LORENA ORREGO, 2007)
 - Al realizar las mediciones en las diferentes direcciones (Norte-Sur), (Este Oeste), los valores de resistencia obtenidos para cada separación entre electrodos “a” pueden ser promediados, no pueden ser promediados valores obtenidos con diferentes “a”. (KAREN LORENA ORREGO, 2007)
 - No hacer medidas cuando el suelo esté húmedo por causa de la lluvia; la medida de resistividad se debe hacer en tiempo seco preferiblemente. (KAREN LORENA ORREGO, 2007)
 - No se deben hacer medidas con condiciones atmosféricas adversas (lluvias y tormentas). (KAREN LORENA ORREGO, 2007)
 - Los electrodos deben de ser de cobre. (KAREN LORENA ORREGO, 2007)



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

Los materiales utilizados para la presente tesis de investigación constan de los siguientes:

3.1.1 Telurómetro (MEGABRAS MTD 20KWE)

El telurómetro digital MTD-20KWe permite medir resistencias de puesta a tierra (PAT), resistividad del terreno por el método de Wenner y las tensiones espurias provocadas por las corrientes parásitas en el suelo.

El campo de aplicación de este equipo incluye la verificación de la PAT de edificios, instalaciones industriales, hospitalarias y domiciliarias, pararrayos, antenas, subestaciones, etc. Midiendo la resistividad puede evaluarse la estratificación del terreno para optimizar el diseño de los sistemas de PAT más complejos. (MEGABRAS, 2015)

La corriente de medición, regulada electrónicamente, es alternada con una frecuencia de 1470Hz, lo cual permite evaluar adecuadamente el comportamiento de la instalación de PAT tanto en relación a una falla de frecuencia industrial como frente a una descarga atmosférica. (MEGABRAS, 2015)

Posee una señal acústica que alerta al operador cuando la corriente inyectada en el terreno es insuficiente para realizar la medición. Esta alarma evita que, por no advertirse esta situación, se informen valores de resistencias inválidos. (MEGABRAS, 2015)

Por su amplio rango de medición (desde 0,01W hasta 20K), este equipo permite mediciones confiables en todo tipo de terreno, incluso aquellos con muy alta resistividad.

Adecuado para operar en condiciones geográficas y ambientales adversas, con temperaturas extremas en regiones frías o tropicales y elevadas alturas en zonas



montañosas, por lo que presenta un óptimo desempeño en los trabajos de campo, en cualquier situación. (MEGABRAS, 2015)

Tabla N° 1: Datos de Ficha de telurómetro

DESCRIPCION	RANGO
<i>Inmunidad a perturbaciones</i>	$f_g = \frac{2n + 1}{2} * f_i$ Resistencia: 0-20, 0-200, 0-2000, 0-20kΩ
<i>Escalas de medición</i>	Tensión: 0-200V Medición de resistencia: ±2% del valor medido ±1% del fondo de escala
<i>Exactitud</i>	Medición de tensión: ±2% del valor medido ±1% del fondo de escala
<i>Resolución de lecturas</i>	0.01Ω en la medición de resistencia 0.1V en la medición de tensión
<i>Potencia y corriente de salida</i>	Potencia de salida inferior a 5W Corriente inferior a 15mA (pico a pico)
<i>Alimentación</i>	Batería recargable
<i>Temperatura de operación</i>	Fuente externa para 95-240V
<i>Temperatura de almacenamiento</i>	-10°C a 50°C
<i>Humedad</i>	-25°C a 65°C
<i>Altura máxima</i>	95% RH (sin condensación)
<i>Peso del equipo</i>	2.3 Kg
<i>Dimensiones</i>	221 x 189 x 99 mm

Fuente: MEGABRAS

Figura N° 7: Imagen de teluro metro MTD 20KWe



Fuente: <https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-441372739-teluometro-mtd-20kwe-megabras- JM>

3.1.2 Instrumento GPS (GARMIN ETREX 22X)

Instrumento utilizado para el posicionamiento de los puntos en coordenadas UTM de las mediciones, con las siguientes características y/o especificaciones

Tabla N° 2: Datos de ficha de GPS eTREX 22X

DESCRIPCION	RANGO
<i>Resolución</i>	240 x 320 pixeles
<i>Pantalla</i>	TFT Transflectiva de 65.000 colores
<i>Peso</i>	141 g (incluido pilas)
<i>Fuente</i>	02 pilas AA
<i>Memoria Interna</i>	8 GB
<i>Acepta tarjeta de datos</i>	Si Tarjeta MICRO SD
<i>Interfaz del equipo</i>	USB
<i>Waypoints and routes</i>	2.000 waypoints/ 200 rutas
<i>Tracks</i>	10,000 puntos, 200 tracks guardados

Fuente: GARMIN

Figura N° 8: Imagen de GPS eTREX 22X



Fuente: <https://www.zonaoutdoor.es/gps-garmin-etrex-32x-con-brujula-y-altimetro>

3.1.3 Cinta métrica de 50M

Cinta métrica para la medición de las distancias de los puntos de distanciamiento de las picas de prueba a considerar en el terreno.

Figura N° 9: Imagen de cinta métrica de 50m



Fuente: <https://es.aliexpress.com/item/32740721213.html>



3.1.4 Cámara fotográfica

Para la toma de imágenes fotográficas se realizó mediante un celular de alta resolución, esto con la finalidad de recoger todas las mediciones en campo, a fin de poder garantizar los datos tomados en campo de los valores medidos de la resistividad del terreno.

3.2 MÉTODOS

Para los métodos de las mediciones en campo de los valores de resistividad fueron por el método WENNER el cual se describió en el capítulo 2. de Revisión de Literatura, donde se tomaron distanciamientos para profundidades que van de 1m a 7m, en cada punto se realizó dichas mediciones de N-S (Norte – Sur), y E-O (Este – Oeste),

Los valores medidos fueron llenados en una ficha para poder procesarlo en unos formatos o protocolos de medición en Excel los cuales están en los Anexos

Así mismo para la recolección de datos del sistema eléctrico para el suministro o diseño de la malla de puesta a tierra, estos fueron solicitados a la concesionaria ELECTRO PUNO S.A.A. en donde se detallan en los ANEXOS, los parámetros más relevantes del sistema,

Las corrientes de cortocircuito suministrado por la concesionaria son de vital importancia a fin de garantizar niveles de diseño aceptables de dimensionamiento.

3.3 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación de este proyecto es de carácter descriptivo, analítico y cuantitativo debido a que presenta una metodología de diseño a través de una matriz de cálculo basado en la norma americana IEEE Std. 80-2000, para un sistema de puesta a tierra de una S/E, donde se desarrollan los cálculos y análisis de forma conjunta y la comparación de la aplicación de los distintos programas de diseño de mallas



3.4 EL ESTUDIO DONDE SE REALIZÓ EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE DISEÑO DE PUESTA A TIERRA (PAT)

Se ubica en:

Región: Puno

Provincia: Puno

Distrito: Puno

Con coordenadas UTM X: 391257 Y: 8249818

Dirección: Av. Sesquicentenario N^a1150 –Universidad Nacional Del Altiplano

Donde se realizó todas las mediciones en las instalaciones en referencia donde está el estadio de la UNA PUNO, para tomar los datos de la resistividad del suelo, con el telurómetro para lo cual se aplicará el método WENNER, BOX COX por ser uno de los métodos más conocidos y más utilizados.

3.5 PROCEDIMIENTO

Se evaluará el comportamiento de las variables independientes y dependientes de cada una de estas variables en el sistema de mallas de puesta a tierra.

Se tomará la muestra de varias pruebas realizadas en diferentes direcciones para ver el comportamiento anisotrópico del terreno, las cuales serán tratadas en el Excel y de ahí su exportación los diferentes softwares con los que se realizarán el estudio

Los datos obtenidos de las mediciones serán procesadas y graficadas en el programa Excel, a su vez también se realizar el uso de los programas ETAP, ASPIX Y EXCEL para ver los resultados de cada uno de los programas en mención, para hacer una comparación de tratamientos de datos de la resistividad del suelo

3.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados que se esperan de acuerdo a la ubicación de proyecto se tienen que son terrenos húmedos y con niveles freáticos bajos en referencia a estar casia nivel del



lago, lo cual hace que se tengan terrenos óptimos en referencia a la resistividad del mismo, y la instalación y uso de una malla de puesta a tierra para tener mejores resultados en cuando a la resistencia del sistema, se obtendrán valores que garanticen la tensión de paso y contacto y con ello se contribuirá a la seguridad del personal encargado de dichas instalaciones.

3.7 VARIABLES

En este proyecto la variable es La resistividad del terreno, puede resumirse de manera muy notoria en los siguientes factores.

La composición, Las sales solubles en su concentración, Humedad, Granulometría, Estratigrafía, Compactación, Temperatura, Anisotropía

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS

4.1.1 Resultados de mediciones de las resistividades en direcciones N-S Y

E-O

Se tienen Los siguientes resultados de las mediciones en 04 puntos donde se tomaron dentro de las instalaciones del Estadio de la UNA-PUNO, las muestras de las resistividades del terreno se detallan a continuación

4.1.1.1 Punto 1A (Mediciones N-S y E-O)

Medición de Norte a Sur (N-S), Este a Oeste (E-O)

Tabla N° 3: Medición 1A N-S

MEDICION DE RESISTIVIDAD PERFIL N° 1 - EQUIPO MEGABRASS								
PERFIL N°	1	X	391287	Y	8250055	DIRECCION DE MEDICION		N-S
DATO	MEDICION	TEMPERATURA AMBIENTE	ESCALA DE MEDICION	ENTERRA. DE ELECTRODOS	ESPACIAMIENTO ENTRE ELECTRODOS	PROFUNDIDAD DE EXPLORACION	RESISTENCIA MEDIDA	RESISTIVIDAD CALCULADA
N°	FECH. MED.	°C	(ohm)	b(m)	a (m)	70% (a) (m)	R(a)-EQU. (ohm)	$\rho(a)$ -CAL. (ohm-m)
1	08/05/2020	14.00	200-ohm	0.15	1.00	0.70	20.70	130.06
2	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	2.00	1.40	13.90	174.67
3	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	3.00	2.10	9.40	177.19
4	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	4.00	2.80	6.23	156.58
5	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	5.00	3.50	4.19	131.63
6	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	7.00	4.90	1.28	56.30

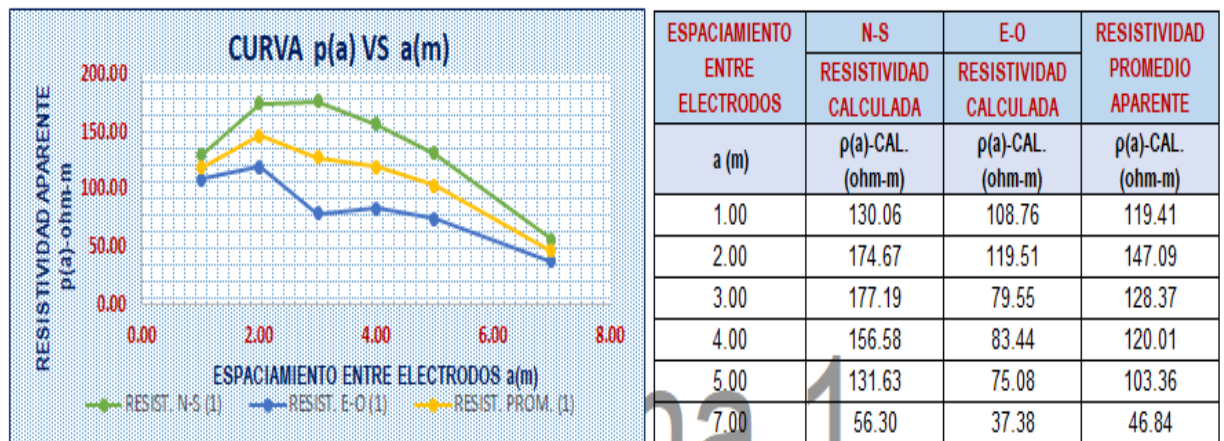
Elaboración Propia

Tabla N° 4: Medición 1A E-O

MEDICION DE RESISTIVIDAD PERFIL N° 1 - EQUIPO MEGABRASS								
PERFIL N°	1	X	391287	Y	8250055	DIRECCION DE MEDICION		E-O
DATO	MEDICION	TEMPERATURA AMBIENTE	ESCALA DE MEDICION	ENTERRA. DE ELECTRODOS	ESPACIAMIENTO ENTRE ELECTRODOS	PROFUNDIDAD DE EXPLORACION	RESISTENCIA MEDIDA	RESISTIVIDAD CALCULADA
N°	FECH. MED.	°C	%	b(m)	a (m)	70% (a)	R(a)-EQU. (ohm)	$\rho(a)$ -CAL. (ohm-m)
1	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	1.00	0.70	17.31	108.76
2	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	2.00	1.40	9.51	119.51
3	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	3.00	2.10	4.22	79.55
4	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	4.00	2.80	3.32	83.44
5	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	5.00	3.50	2.39	75.08
6	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	7.00	4.90	0.85	37.38

Elaboración Propia

Figura N° 10: Promedio de Resistividades a iguales distancias en N-S, E-O, 1A



Elaboración Propia

4.1.1.2 Punto 2A (Mediciones N-S y E-O)

Medición de Norte a Sur (N-S), Este a Oeste (E-O)



Tabla N° 5: Medición 2B N-S

MEDICION DE RESISTIVIDAD PERFIL N° 2 - EQUIPO MEGABRASS								
PERFIL N°	1	X	391286	Y	8250046	DIRECCION DE MEDICION		N-S
DATO	MEDICION	TEMPERATURA AMBIENTE	ESCALA DE MEDICION	ENTERRA. DE ELECTRODOS	ESPACIAMIENTO ENTRE ELECTRODOS	PROFUNDIDAD DE EXPLORACION	RESISTENCIA MEDIDA	RESISTIVIDAD CALCULADA
N°	FECH. MED.	°C	(ohm)	b(m)	a (m)	70% (a) (m)	R(a)-EQU. (ohm)	ρ(a)-CAL. (ohm-m)
1	08/05/2020	14.00	200-ohm	0.15	1.00	0.70	20.70	130.06
2	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	2.00	1.40	13.90	174.67
3	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	3.00	2.10	9.40	177.19
4	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	4.00	2.80	6.23	156.58
5	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	5.00	3.50	4.19	131.63
6	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	7.00	4.90	1.28	56.30

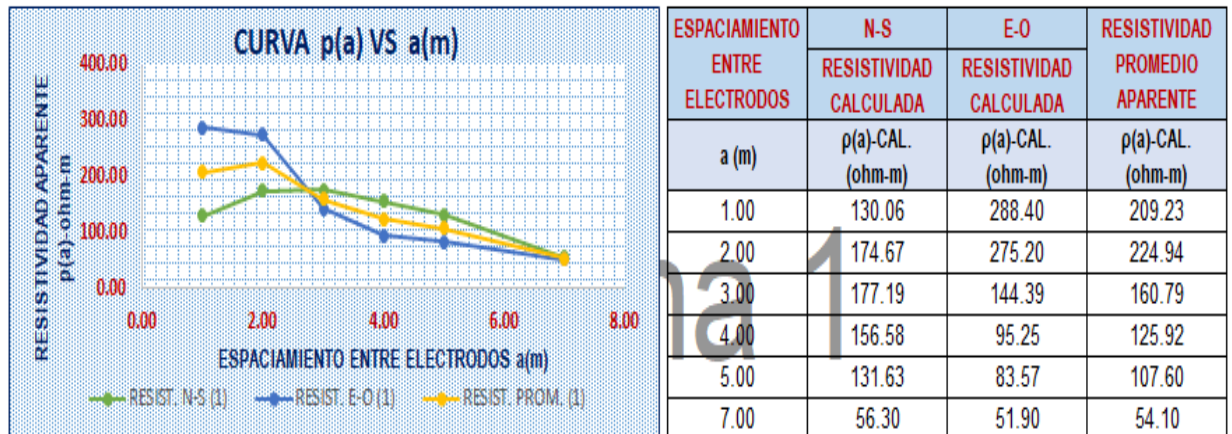
Elaboración Propia

Tabla N° 6: Medición 2B E-O

MEDICION DE RESISTIVIDAD PERFIL N° 2 - EQUIPO MEGABRASS								
PERFIL N°	1	X	391286	Y	8250046	DIRECCION DE MEDICION		E-O
DATO	MEDICION	TEMPERATURA AMBIENTE	ESCALA DE MEDICION	ENTERRA. DE ELECTRODOS	ESPACIAMIENTO ENTRE ELECTRODOS	PROFUNDIDAD DE EXPLORACION	RESISTENCIA MEDIDA	RESISTIVIDAD CALCULADA
N°	FECH. MED.	°C	%	b(m)	a (m)	70% (a)	R(a)-EQU. (ohm)	ρ(a)-CAL. (ohm-m)
1	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	1.00	0.70	45.9	288.40
2	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	2.00	1.40	21.9	275.20
3	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	3.00	2.10	7.66	144.39
4	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	4.00	2.80	3.79	95.25
5	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	5.00	3.50	2.66	83.57
6	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	7.00	4.90	1.18	51.90

Elaboración Propia

Figura N° 11: Promedio de Resistividades a iguales distancias en N-S, E-O, 2B



Elaboración Propia

4.1.1.3 Punto 3C (Mediciones N-S y E-O)

Medición de Norte a Sur (N-S), Este a Oeste (E-O)

Tabla N° 7: Medición 3C N-S

MEDICION DE RESISTIVIDAD PERFIL N° 3 - EQUIPO MEGABRASS								
PERFIL N°	1	X	391276	Y	8250046	DIRECCION DE MEDICION		N-S
DATO	MEDICION	TEMPERATURA AMBIENTE	ESCALA DE MEDICION	ENTERRA. DE ELECTRODOS	ESPACIAMIENTO ENTRE ELECTRODOS	PROFUNDIDAD DE EXPLORACION	RESISTENCIA MEDIDA	RESISTIVIDAD CALCULADA
N°	FECH. MED.	°C	(ohm)	b(m)	a (m)	70% (a) (m)	R(a)-EQU. (ohm)	$\rho(a)$ -CAL. (ohm-m)
1	08/05/2020	14.00	200-ohm	0.15	1.00	0.70	13.95	87.65
2	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	2.00	1.40	6.37	80.05
3	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	3.00	2.10	3.40	64.09
4	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	4.00	2.80	1.58	39.71
5	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	5.00	3.50	0.56	17.59
6	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	7.00	4.90	0.89	39.14

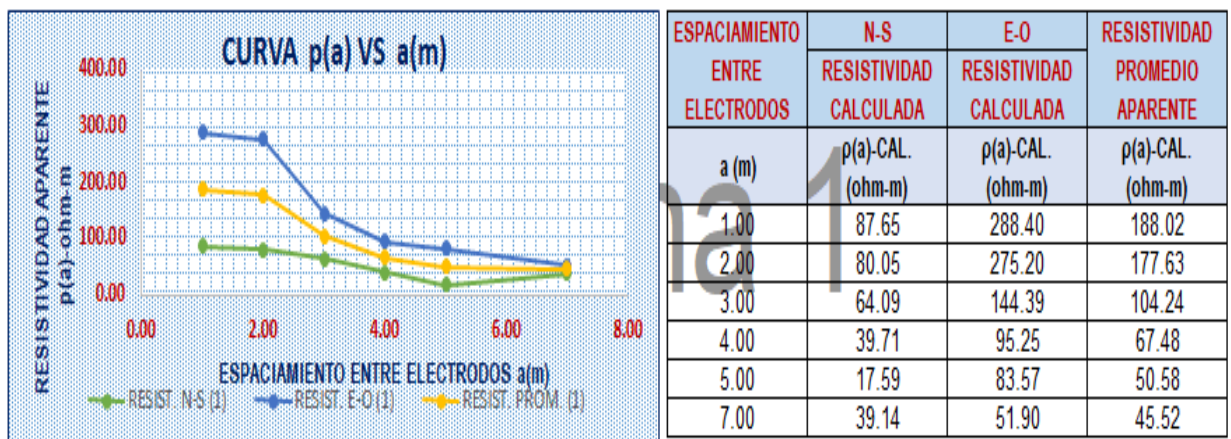
Elaboración propia

Tabla N° 8: Medición 3C E-O

MEDICION DE RESISTIVIDAD PERFIL N° 3 - EQUIPO MEGABRASS								
PERFIL N°	1	X	391276	Y	8250046	DIRECCION DE MEDICION		E-O
DATO	MEDICION	TEMPERATURA AMBIENTE	ESCALA DE MEDICION	ENTERRA. DE ELECTRODOS	ESPACIAMIENTO ENTRE ELECTRODOS	PROFUNDIDAD DE EXPLORACION	RESISTENCIA MEDIDA	RESISTIVIDAD CALCULADA
N°	FECH. MED.	°C	%	b(m)	a (m)	70% (a)	R(a)-EQU. (ohm)	$\rho(a)$ -CAL. (ohm-m)
1	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	1.00	0.70	45.9	288.40
2	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	2.00	1.40	21.9	275.20
3	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	3.00	2.10	7.66	144.39
4	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	4.00	2.80	3.79	95.25
5	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	5.00	3.50	2.66	83.57
6	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	7.00	4.90	1.18	51.90

Elaboración Propia

Figura N° 12: Promedio de Resistividades a iguales distancias en N-S, E-O, 3C



Elaboración Propia

4.1.1.4 Punto 4D (Mediciones N-S y E-O)

Medición de Norte a Sur (N-S), Este a Oeste (E-O)

Tabla N° 9: Medición 4D N-S

MEDICION DE RESISTIVIDAD PERFIL N° 4 - EQUIPO MEGABRASS								
PERFIL N°	1	X	391277	Y	8250054	DIRECCION DE MEDICION		N-S
DATO	MEDICION	TEMPERATURA AMBIENTE	ESCALA DE MEDICION	ENTERRA. DE ELECTRODOS	ESPACIAMIENTO ENTRE ELECTRODOS	PROFUNDIDAD DE EXPLORACION	RESISTENCIA MEDIDA	RESISTIVIDAD CALCULADA
N°	FECH. MED.	°C	(ohm)	b(m)	a (m)	70% (a) (m)	R(a)-EQU. (ohm)	$\rho(a)$ -CAL. (ohm-m)
1	08/05/2020	14.00	200-ohm	0.15	1.00	0.70	13.95	87.65
2	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	2.00	1.40	6.37	80.05
3	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	3.00	2.10	3.40	64.09
4	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	4.00	2.80	1.58	39.71
5	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	5.00	3.50	0.56	17.59
6	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	7.00	4.90	0.89	39.14

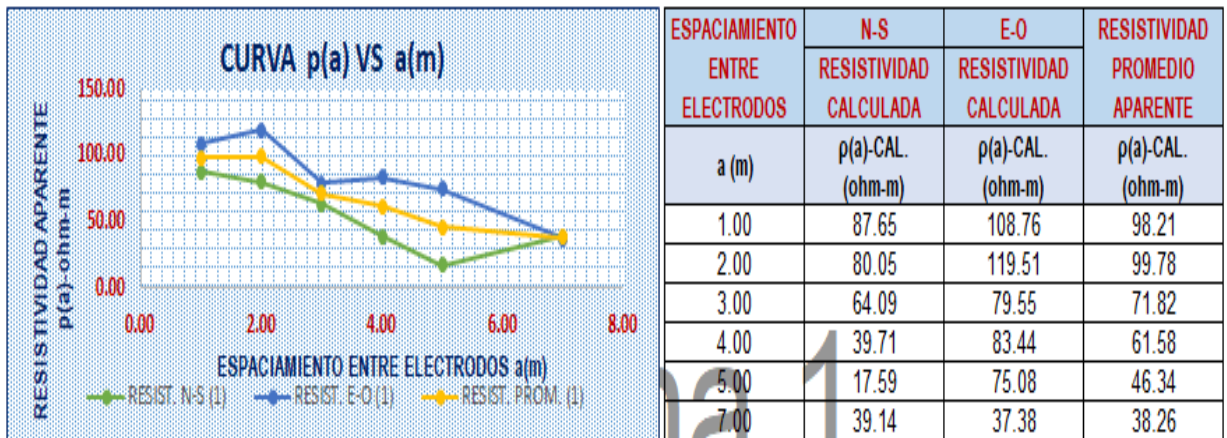
Elaboración Propia

Tabla N° 10: Medición 4D E-O

MEDICION DE RESISTIVIDAD PERFIL N° 4 - EQUIPO MEGABRASS								
PERFIL N°	1	X	391277	Y	8250054	DIRECCION DE MEDICION		E-O
DATO	MEDICION	TEMPERATURA AMBIENTE	ESCALA DE MEDICION	ENTERRA. DE ELECTRODOS	ESPACIAMIENTO ENTRE ELECTRODOS	PROFUNDIDAD DE EXPLORACION	RESISTENCIA MEDIDA	RESISTIVIDAD CALCULADA
N°	FECH. MED.	°C	%	b(m)	a (m)	70% (a)	R(a)-EQU. (ohm)	$\rho(a)$ -CAL. (ohm-m)
1	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	1.00	0.70	17.31	108.76
2	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	2.00	1.40	9.51	119.51
3	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	3.00	2.10	4.22	79.55
4	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	4.00	2.80	3.32	83.44
5	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	5.00	3.50	2.39	75.08
6	08/05/2020	14.00	20-ohm	0.15	7.00	4.90	0.85	37.38

Elaboración Propia

Figura N° 13: Promedio de Resistividades a iguales distancias en N-S, E-O, 4D



Elaboración Propia

4.1.2 Resistividad del terreno bajo modelo suelo uniforme mediante método de BOX COX

Para esta metodología se considera la resistividad del suelo homogéneo y/o uniforme, el cual nos indicara con una probabilidad del 70% el valor de dicho valor.

4.1.2.1 Resistividad aparente metodología BOX COX para el perfil N°1

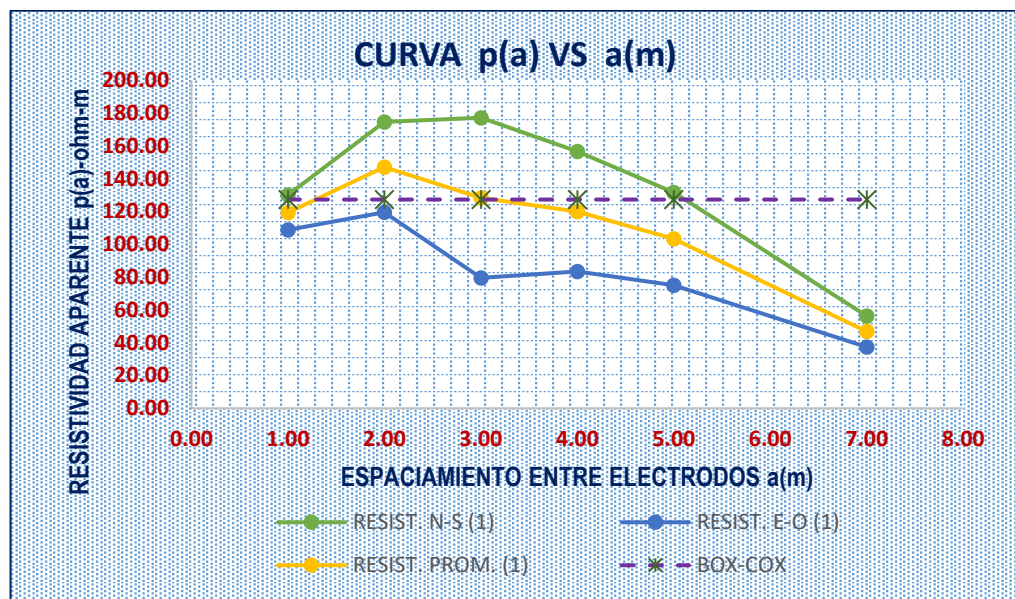
(Punto 1A)

Tabla N° 11: BOX COX valores promedios a una misma separación

ESTUDIO DE SUELO COMO HOMOGENEO UTILIZANDO UNA TRANSFORMACION A BOX-COX PARA PERFIL N° 1						
VALORES PROMEDIOS A UNA MISMA SEPARACION DE LOS ELECTRODOS						
ESPACIAMIENTO ENTRE ELECTRODOS	N-S RESISTIVIDAD CALCULADA	E-O RESISTIVIDAD CALCULADA	RESISTIVIDAD PROMEDIO APARENTE	$X = LN(\rho_a)$	$(X-x_i)^2$	BOX-COX
a (m)	$\rho(a)$ -CAL. (ohm-m)	$\rho(a)$ -CAL. (ohm-m)	$\rho(a)$ -CAL. (ohm-m)			
1.00	130.06	108.76	119.41	4.7826	0.0175	127.2811
2.00	174.67	119.51	147.09	4.9910	0.1162	127.2811
3.00	177.19	79.55	128.37	4.8549	0.0419	127.2811
4.00	156.58	83.44	120.01	4.7876	0.0189	127.2811
5.00	131.63	75.08	103.36	4.6382	0.0001	127.2811
7.00	56.30	37.38	46.84	3.8468	0.6455	127.2811
VALOR PROMEDIO			110.85	4.6502	0.1400	
DESVIACION ESTANDAR S					0.3742	
DISTRIBUCION NORMAL INVERTIDA Z				70%	0.5244	
VALOR A					4.8464	
= $ANTILN(S * Z + X)$ RESISTIVIDAD CON PROBABILIDAD DEL 70% DE NO SER SUPERADA					127.2811	ohm-m

Elaboración propia – Punto 1A

Figura N° 14: Curva de resistividad aparente (ρ_a) de la tabla 15



Elaboración propia – punto 1A



Aplicación de la metodología BOX COX al conjunto de datos de muestra de la del perfil N°1 (Punto 1A)

Tabla N° 12: BOX COX valores de conjunto de datos

ESTUDIO DE SUELO COMO HOMOGENEO UTILIZANDO UNA TRANSFORMACION A BOX-COX PARA PERFIL N° 1				
VALORES DE CONJUNTO DE DATOS MEDIDOS				
CONJUNTO DE DATOS	RESISTIVIDAD PROMEDIO APARENTE	X = LN(pa)	(X-xi) ²	BOX-COX
	ρ(a)-CAL. (ohm-m)			
1	130.06	4.8680	0.0638	128.2730
2	174.67	5.1629	0.2997	128.2730
3	177.19	5.1772	0.3156	128.2730
4	156.58	5.0535	0.1919	128.2730
5	131.63	4.8800	0.0700	128.2730
6	56.30	4.0306	0.3420	128.2730
7	108.76	4.6892	0.0054	128.2730
8	119.51	4.7834	0.0282	128.2730
9	79.55	4.3763	0.0572	128.2730
10	83.44	4.4241	0.0366	128.2730
11	75.08	4.3186	0.0881	128.2730
12	37.38	3.6213	0.9884	128.2730
VALOR PROMEDIO		4.6154	0.2072	
DESVIACION ESTANDAR S =			0.4552	
DISTRIB. NORMAL INVERTIDA Z		70%	0.5244	
VALOR A=			4.8542	
RESISTIVIDAD CON PROBABILIDAD DEL 70% DE NO SER SUPERADA				128.2730 ohm-m

Elaboración propia – Punto 1A

4.1.2.2 Resistividad aparente metodología BOX COX para el perfil N°2

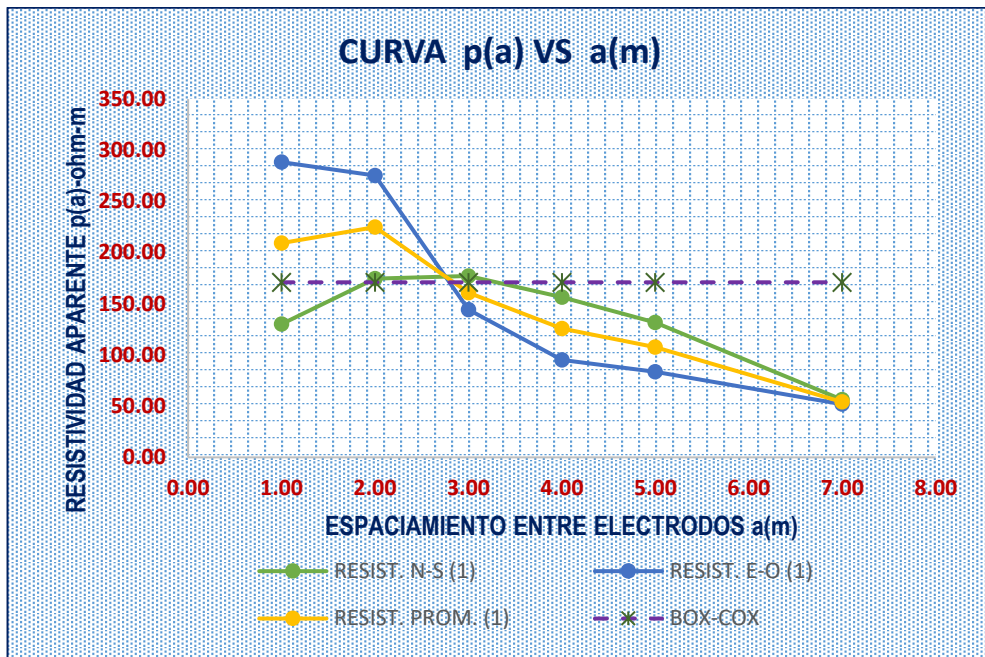
(Punto 2B)

Tabla N° 13: BOX COX valores promedios a una misma separación

ESTUDIO DE SUELO COMO HOMOGENEO UTILIZANDO UNA TRANSFORMACION A BOX-COX PARA PERFIL N° 2						
VALORES PROMEDIOS A UNA MISMA SEPARACION DE LOS ELECTRODOS						
ESPACIAMIENTO ENTRE ELECTRODOS	N-S RESISTIVIDAD CALCULADA	E-O RESISTIVIDAD CALCULADA	RESISTIVIDAD PROMEDIO APARENTE	$X = LN(\rho_1)$	$(X-x_i)^2$	BOX-COX
a (m)	$\rho(a)$ -CAL. (ohm-m)	$\rho(a)$ -CAL. (ohm-m)	$\rho(a)$ -CAL. (ohm-m)			
1.00	130.06	288.40	209.23	5.3434	0.2050	171.0039
2.00	174.67	275.20	224.94	5.4158	0.2758	171.0039
3.00	177.19	144.39	160.79	5.0801	0.0359	171.0039
4.00	156.58	95.25	125.92	4.8356	0.0030	171.0039
5.00	131.63	83.57	107.60	4.6784	0.0451	171.0039
7.00	56.30	51.90	54.10	3.9908	0.8098	171.0039
VALOR PROMEDIO			147.09	4.8907	0.2291	
DESVIACION ESTANDAR S					0.4786	
DISTRIBUCION NORMAL INVERTIDA Z				70%	0.5244	
VALOR A					5.1417	
RESISTIVIDAD CON PROBABILIDAD DEL 70% DE NO SER SUPERADA (ohm-m)					171.0039	ohm-m

Elaboración propia – Punto 2B

Figura N° 15: Curva de resistividad aparente (ρ_a) de la tabla 17



Elaboración propia – punto 2B

Aplicación de la metodología BOX COX al conjunto de datos de muestra de la del perfil N°2 (Punto 2B)

Tabla N° 14: BOX COX valores de conjunto de datos

ESTUDIO DE SUELO COMO HOMOGENEOS UTILIZANDO UNA TRANSFORMACION A BOX-COX PARA PERFIL N° 2				
VALORES DE CONJUNTO DE DATOS MEDIDOS				
CONJUNTO DE DATOS	RESISTIVIDAD PROMEDIO APARENTE	X = LN(ρ 1)	(X-xi) ²	BOX-COX
	ρ (a)-CAL. (ohm-m)			
1	130.06	4.8680	0.0000	170.1317
2	174.67	5.1629	0.0898	170.1317
3	177.19	5.1772	0.0986	170.1317
4	156.58	5.0535	0.0362	170.1317
5	131.63	4.8800	0.0003	170.1317
6	56.30	4.0306	0.6931	170.1317
7	288.40	5.6643	0.6419	170.1317
8	275.20	5.6175	0.5690	170.1317
9	144.39	4.9725	0.0120	170.1317
10	95.25	4.5565	0.0940	170.1317
11	83.57	4.4256	0.1914	170.1317
12	51.90	3.9493	0.8352	170.1317
VALOR PROMEDIO		4.8632	0.2718	
DESVIACION ESTANDAR S =			0.5213	
DISTRIB. NORMAL INVERTIDA Z		70%	0.5244	
VALOR A=			5.1366	
RESISTIVIDAD CON PROBABILIDAD DEL 70% DE NO SER SUPERADA				170.1317 ohm-m

Elaboración propia – Punto 2B



4.1.2.3 Resistividad aparente metodología BOX COX para el perfil N°3

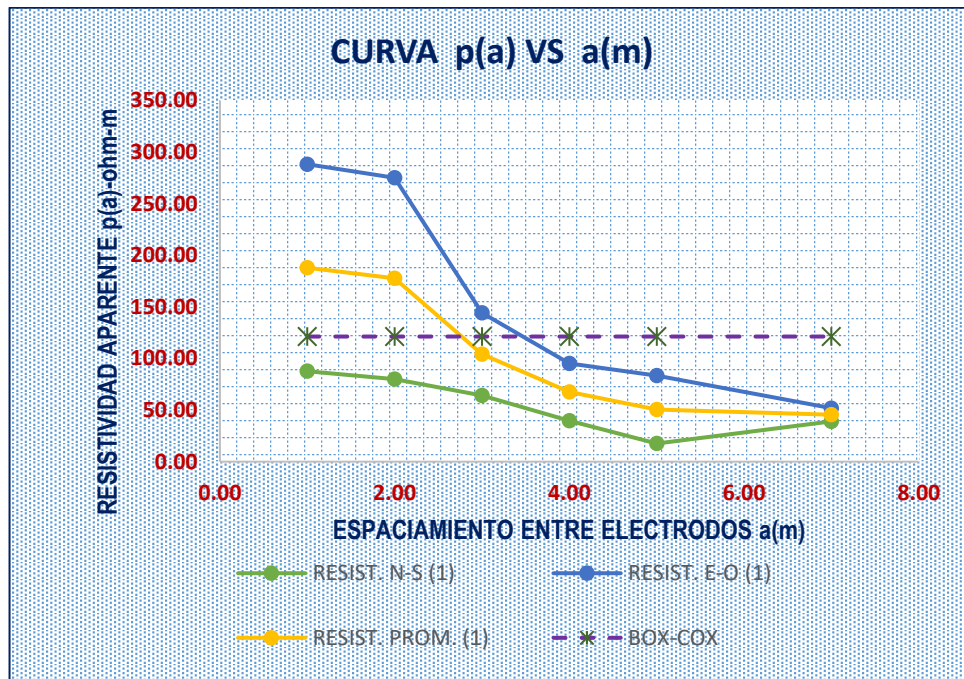
(Punto 3C)

Tabla N° 15: BOX COX valores promedios a una misma separación

ESTUDIO DE SUELO COMO HOMOGENEO UTILIZANDO UNA TRANSFORMACION A BOX-COX PARA PERFIL N° 3 VALORES PROMEDIOS A UNA MISMA SEPARACION DE LOS ELECTRODOS						
ESPACIAMIENTO ENTRE ELECTRODOS	N-S RESISTIVIDAD CALCULADA	E-O RESISTIVIDAD CALCULADA	RESISTIVIDAD PROMEDIO APARENTE	$X = LN(p1)$	$(X-xi)^2$	BOX-COX
a (m)	$\rho(a)$ -CAL. (ohm-m)	$\rho(a)$ -CAL. (ohm- m)	$\rho(a)$ -CAL. (ohm- m)			
1.00	87.65	288.40	188.02	5.2366	0.5385	121.3074
2.00	80.05	275.20	177.63	5.1797	0.4582	121.3074
3.00	64.09	144.39	104.24	4.6467	0.0207	121.3074
4.00	39.71	95.25	67.48	4.2119	0.0846	121.3074
5.00	17.59	83.57	50.58	3.9235	0.3355	121.3074
7.00	39.14	51.90	45.52	3.8182	0.4686	121.3074
VALOR PROMEDIO			105.58	4.5028	0.3177	
DESVIACION ESTANDAR S					0.5636	
DISTRIBUCION NORMAL INVERTIDA Z				70%	0.5244	
VALOR A					4.7983	
RESISTIVIDAD CON PROBABILIDAD DEL 70% DE NO SER SUPERADA					121.3074	ohm-m

Elaboración propia – Punto 3C

Figura N° 16: Curva de resistividad aparente (ρ_a) de la tabla 19



Elaboración propia - Punto 3C

Aplicación de la metodología BOX COX al conjunto de datos de muestra de la del perfil N°3 (Punto 3C)

Tabla N° 16: BOX COX valores de conjunto de datos

ESTUDIO DE SUELO COMO HOMOGENEO UTILIZANDO UNA TRANSFORMACION A BOX-COX PARA PERFIL N° 3				
VALORES DE CONJUNTO DE DATOS MEDIDOS				
CONJUNTO DE DATOS	RESISTIVIDAD PROMEDIO APARENTE	$X = LN(\rho_1)$	$(X-x_i)^2$	BOX-COX
	$\rho(a)$ -CAL. (ohm-m)			
1	87.65	4.4734	0.0111	118.0695
2	80.05	4.3826	0.0002	118.0695
3	64.09	4.1603	0.0432	118.0695
4	39.71	3.6816	0.4714	118.0695
5	17.59	2.8675	2.2521	118.0695
6	39.14	3.6673	0.4913	118.0695
7	288.40	5.6643	1.6800	118.0695
8	275.20	5.6175	1.5608	118.0695
9	144.39	4.9725	0.3652	118.0695
10	95.25	4.5565	0.0355	118.0695
11	83.57	4.4256	0.0033	118.0695
12	51.90	3.9493	0.1755	118.0695
VALOR PROMEDIO		4.3682	0.5908	
DESVIACION ESTANDAR S =			0.7686	
DISTRIB. NORMAL INVERTIDA Z		70%	0.5244	
VALOR A=			4.7713	
RESISTIVIDAD CON PROBABILIDAD DEL 70% DE NO SER SUPERADA				118.0695 ohm-m

Elaboración propia – Punto 3C

4.1.2.4 Resistividad aparente metodología BOX COX para el perfil N°4

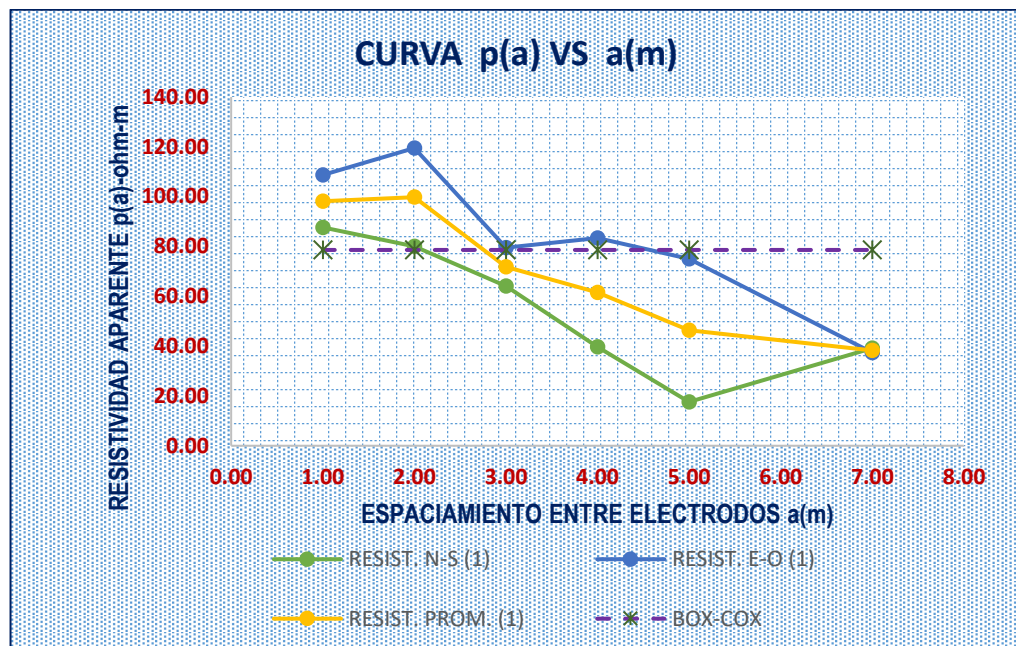
(Punto 4D)

Tabla N° 17: BOX COX valores promedios a una misma separación

ESTUDIO DE SUELO COMO HOMOGENEO UTILIZANDO UNA TRANSFORMACION A BOX-COX PARA PERFIL N° 4 VALORES PROMEDIOS A UNA MISMA SEPARACION DE LOS ELECTRODOS						
ESPACIAMIENTO ENTRE ELECTRODOS	N-S	E-O	RESISTIVIDAD PROMEDIO APARENTE	$X = LN(\rho_1)$	$(X-x_i)^2$	BOX-COX
	RESISTIVIDAD CALCULADA	RESISTIVIDAD CALCULADA				
a (m)	$\rho(a)$ -CAL. (ohm-m)	$\rho(a)$ -CAL. (ohm- m)	$\rho(a)$ -CAL. (ohm- m)			
1.00	87.65	108.76	98.21	4.5871	0.1678	78.5998
2.00	80.05	119.51	99.78	4.6029	0.1810	78.5998
3.00	64.09	79.55	71.82	4.2741	0.0093	78.5998
4.00	39.71	83.44	61.58	4.1203	0.0033	78.5998
5.00	17.59	75.08	46.34	3.8360	0.1166	78.5998
7.00	39.14	37.38	38.26	3.6445	0.2840	78.5998
VALOR PROMEDIO			69.33	4.1775	0.1270	
DESVIACION ESTANDAR S					0.3564	
DISTRIB. NORMAL INVERTIDA Z				70%	0.5244	
VALOR A					4.3644	
RESISTIVIDAD CON PROBABILIDAD DEL 70% DE NO SER SUPERADA					78.5998	ohm-m

Elaboración propia – Punto 4D

Figura N° 17: Curva de resistividad aparente (ρ_a) de la tabla 21



Elaboración propia –Punto 4D

Aplicación de la metodología BOX COX al conjunto de datos de muestra de la del perfil N°4 (Punto 4D)

Tabla N° 18: BOX COX valores de conjunto de datos

ESTUDIO DE SUELO COMO HOMOGENEO UTILIZANDO UNA TRANSFORMACION A BOX-COX PARA PERFIL N° 4				
VALORES DE CONJUNTO DE DATOS MEDIDOS				
CONJUNTO DE DATOS	RESISTIVIDAD PROMEDIO APARENTE	$X = LN(\rho_1)$	$(X-xi)^2$	BOX-COX
	$\rho(a)$ -CAL. (ohm-m)			
1	87.65	4.4734	0.1245	81.3229
2	80.05	4.3826	0.0687	81.3229
3	64.09	4.1603	0.0016	81.3229
4	39.71	3.6816	0.1926	81.3229
5	17.59	2.8675	1.5699	81.3229
6	39.14	3.6673	0.2054	81.3229
7	108.76	4.6892	0.3234	81.3229
8	119.51	4.7834	0.4395	81.3229
9	79.55	4.3763	0.0655	81.3229
10	83.44	4.4241	0.0922	81.3229
11	75.08	4.3186	0.0393	81.3229
12	37.38	3.6213	0.2492	81.3229
VALOR PROMEDIO		4.1205	0.2810	
DESVIACION ESTANDAR S =			0.5301	
DISTRIB. NORMAL INVERTIDA Z		70%	0.5244	
VALOR A=			4.3984	
RESISTIVIDAD CON PROBABILIDAD DEL 70% DE NO SER SUPERADA				81.3229 ohm-m

Elaboración propia – Punto 4D

4.1.2.5 Resumen de resistividades aparentes de los perfiles de los puntos A, B, C, y D, aplicando la metodología BOX COX

Tabla N° 19: Cuadro Resumen de valores de resistividad aparente utilizando método de BOX COX

CUADRO RESUMEN RESISTIVIDAD ($\Omega.m$)				
PERFIL	PUNTO 1A	PUNTO 2B	PUNTO 3C	PUNTO 4D
Igual espaciamiento	127.28	171.00	121.31	78.5997545
conjunto de datos	128.27	170.13	118.07	81.3228719
ERROR	0.77%	0.51%	2.74%	3.35%

Elaboración propia

De la tabla N° 22 se ve que para tomar el valor de diseño de la malla a tierra es recomendable el que tiene menor error, así como también el valor más elevado a fin de garantizar el diseño del sistema de la malla de puesta a tierra

4.1.3 Resistividad del terreno bajo modelo a dos capas por el método de SUNDE

Resumen de valores promedios de los 04 puntos medidos en las direcciones indicadas, para la utilización del método Grafico de Sunde.

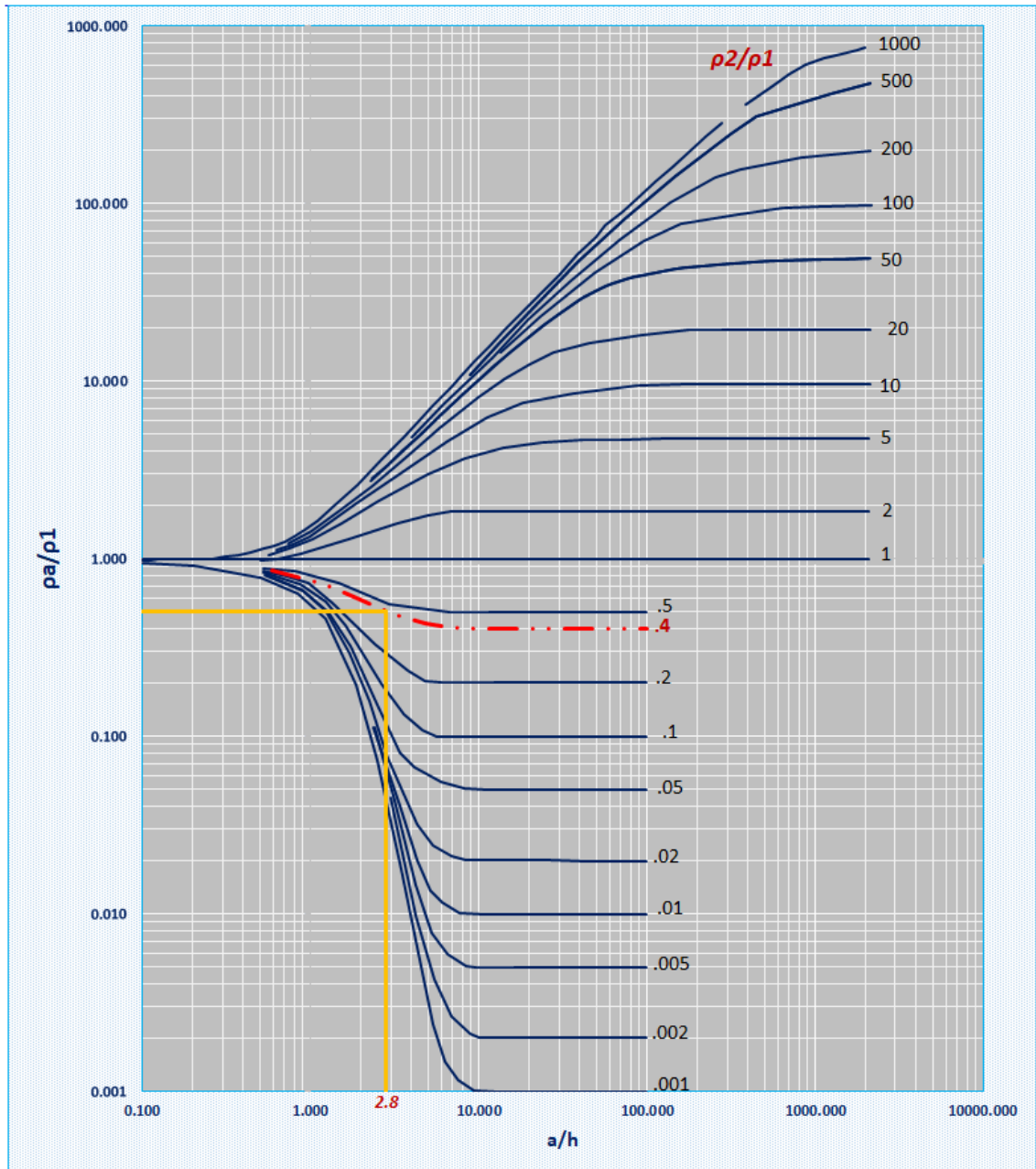
Tabla N° 20: Valores promedios para el uso de METODO DE SUNDE

RESUMEN DE VALORES PROMEDIOS MEDIDOS EN DIRECCIONES NORTE-SUR, ESTE-OESTE, DE LOS 04 PUNTOS				
ESPACIAMIENTO ENTRE ELECTRODOS	PUNTO 1A	PUNTO 2B	PUNTO 3C	PUNTO 4D
	RESISTIVIDAD PROMEDIO APARENTE	RESISTIVIDAD PROMEDIO APARENTE	RESISTIVIDAD PROMEDIO APARENTE	RESISTIVIDAD PROMEDIO APARENTE
a (m)	$\rho(a)$-CAL. (ohm-m)	$\rho(a)$-CAL. (ohm-m)	$\rho(a)$-CAL. (ohm-m)	$\rho(a)$-CAL. (ohm-m)
1.00	119.41	209.23	188.02	98.21
2.00	147.09	224.94	177.63	99.78
3.00	128.37	160.79	104.24	71.82
4.00	120.01	125.92	67.48	61.58
5.00	103.36	107.60	50.58	46.34
7.00	46.84	54.10	45.52	38.26

Elaboración Propia

4.1.3.1 Método de SUNDE Punto 1A

Figura N° 18: Método Grafico de SUNDE – Punto 1A



Elaboración propia

Para hallar los valores en la relación a/h en el gráfico, se procedió por interpolación de la nueva curva en la relación siguiente para la gráfica de la nueva curva.

$$\rho_1 = 119.41 \Omega - m$$

$$\rho_2 = 46.84 \Omega - m$$

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = 0.4$$

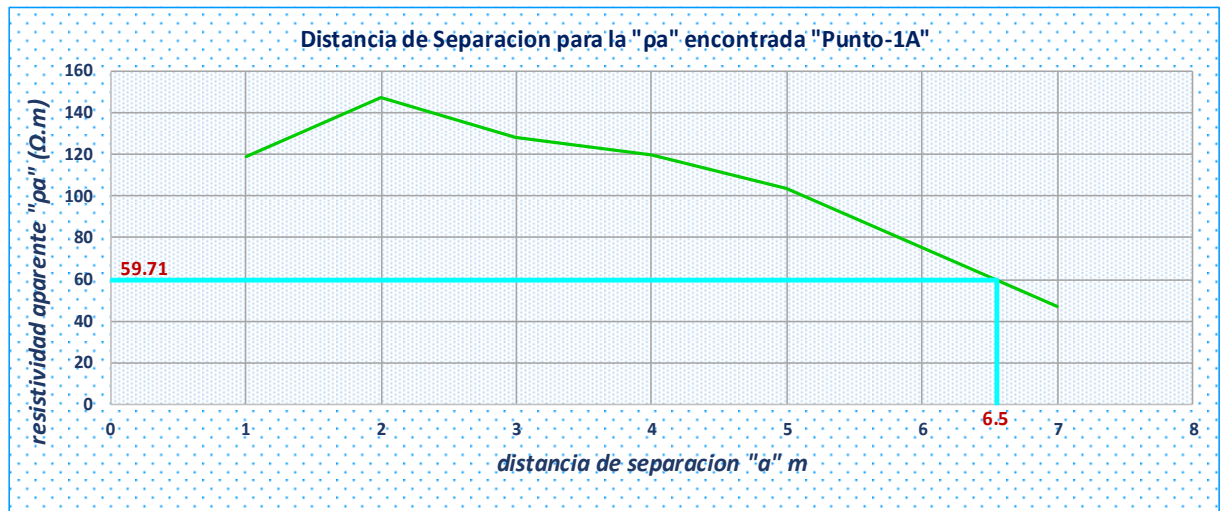
La nueva curva en la figura N° 14 se obtiene por interpolación en 0.4, para luego proyectamos a la curva más cercana de corte de las ordenas teniendo lo siguiente:

$$\frac{\rho_a}{\rho_1} = 0.5$$

$$\rho_a = 59.71 \Omega - m$$

Se procede a realizar la verificación de la resistividad aparente ρ_a para encontrar el corte en la curva de valores de resistividad promedio del Punto-1A, la distancia de separación “a” de la siguiente figura

Figura N° 19: Valor de separación “a” de la resistividad aparente calculada en el Punto-1A



Elaboración propia

De la figura N° 15 se tiene que valor de la “a” = 6.5

Calculo de la altura real de la primera capa se tiene:

De la figura N° 14 se tiene de la curva 0.4 y su proyección de corte el eje de las abscisas siguiente valor:

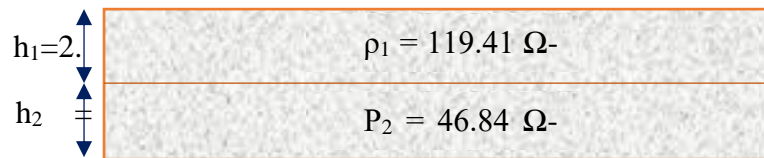
$$\frac{a}{h} = 2.8$$

Altura real “h” de la primera capa

$$h = 2.32 m$$

finalmente tenemos resultados por el método a dos capas

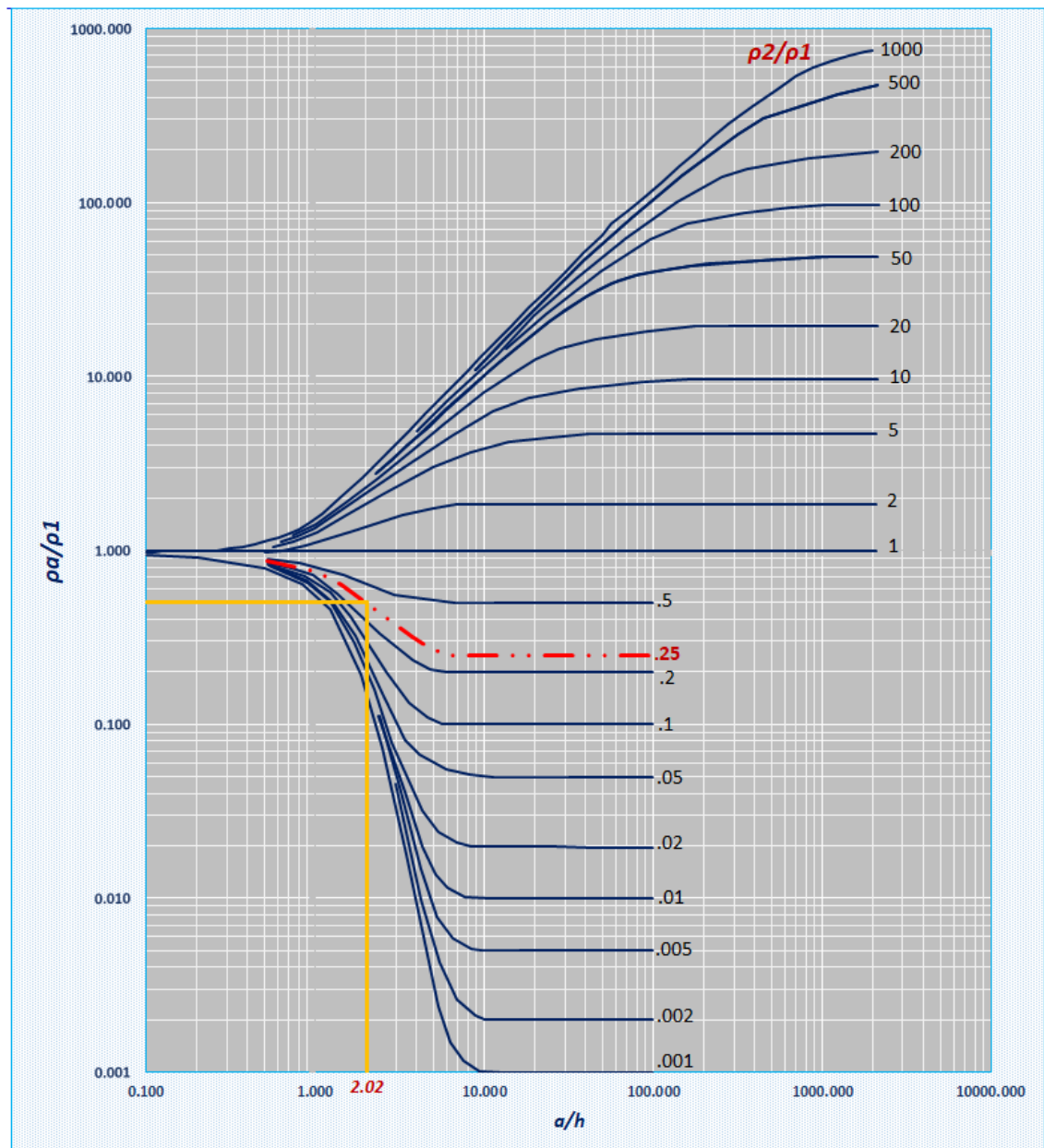
Figura N° 20: Modelo a dos capas del Punto-1A



Elaboración propia

4.1.3.2 Método de SUNDE Punto 2B

Figura N° 21: Método Grafico de SUNDE – Punto 2B



Elaboración propia

Para hallar los valores en la relación a/h en el gráfico, se procedió por interpolación de la nueva curva en la relación siguiente para la gráfica de la nueva curva.

$$\rho_1 = 209.23 \Omega - m$$

$$\rho_2 = 54.10 \Omega - m$$

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = 0.25$$

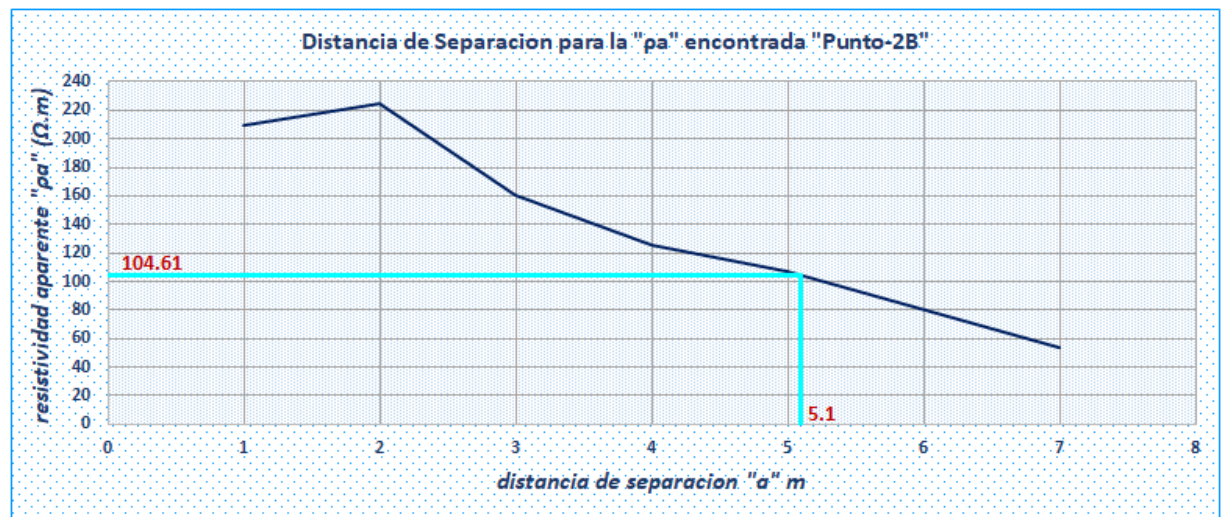
La nueva curva en la figura N° 17 se obtiene por interpolación en 0.25, para luego proyectamos a la curva más cercana de corte de las ordenas teniendo lo siguiente:

$$\frac{\rho_a}{\rho_1} = 0.5$$

$$\rho_a = 104.62 \Omega - m$$

Se procede a realizar la verificación de la resistividad aparente ρ_a para encontrar el corte en la curva de valores de resistividad promedio del Punto-2B, la distancia de separación “a” de la siguiente figura.

Figura N° 22: Valor de separación “a” de la resistividad aparente calculada en el Punto-2B



Elaboración Propia

De la figura N° 18 se tiene que valor de la “a” = 5.1

Calculo de la altura real de la primera capa se tiene:

De la figura N° 17 se tiene de la curva 0.25 y su proyección de corte el eje de las abscisas siguiente valor:

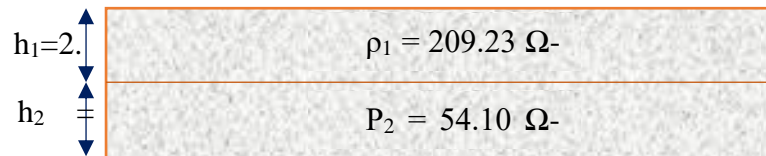
$$\frac{a}{h} = 2.02$$

Altura real “h” de la primera capa

$$h = 2.53 \text{ m}$$

finalmente tenemos resultados por el método a dos capas

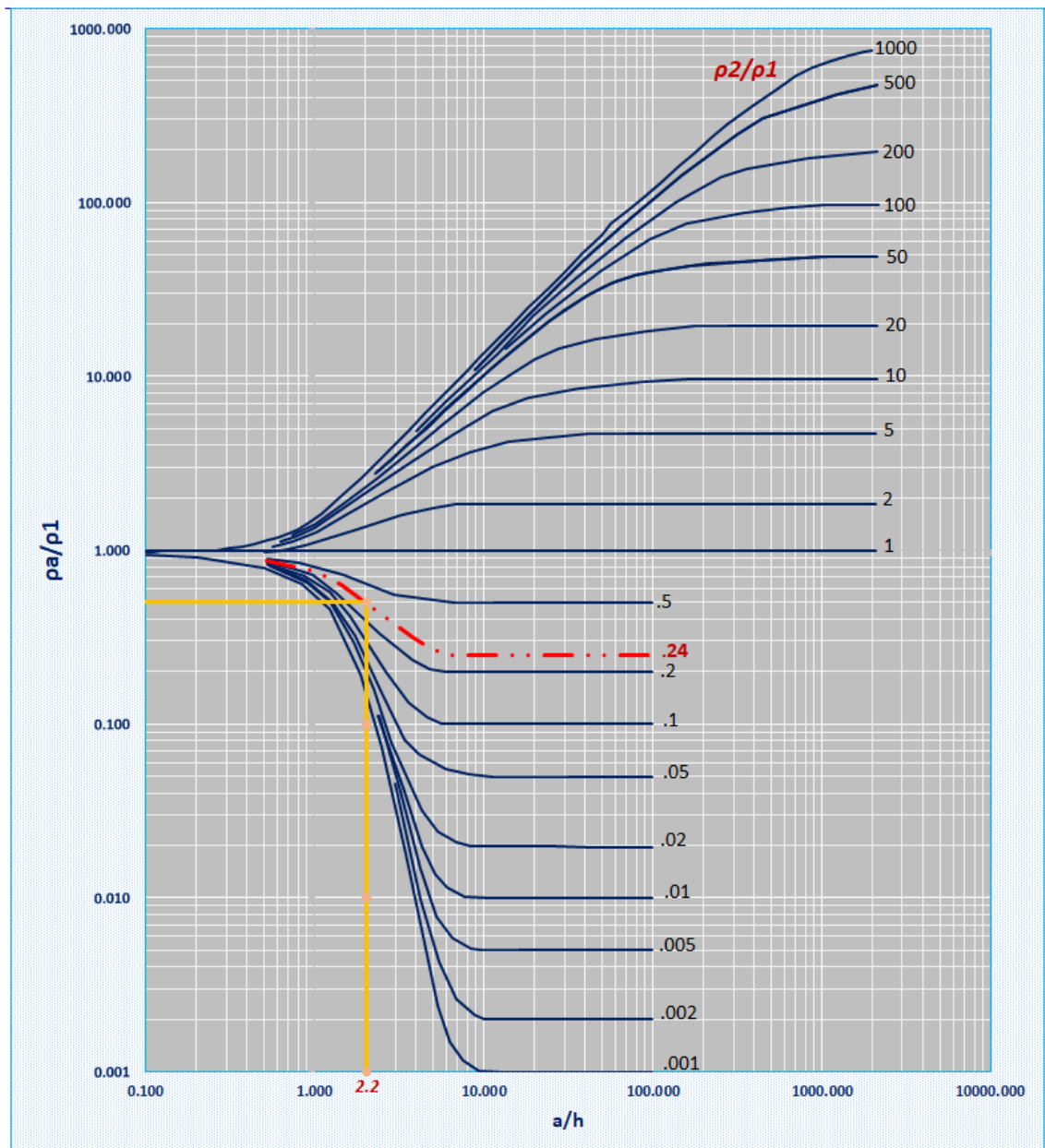
Figura N° 23: Modelo a dos capas del Punto-2B



Elaboración Propia

4.1.3.3 Método de SUNDE Punto 3C

Figura N° 24: Método Grafico de SUNDE – Punto 3C



Elaboración propia

Para hallar los valores en la relación a/h en el gráfico, se procedió por interpolación de la nueva curva en la relación siguiente para la gráfica de la nueva curva.

$$\rho_1 = 188.02 \Omega - m$$

$$\rho_2 = 45.52 \Omega - m$$

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = 0.24$$

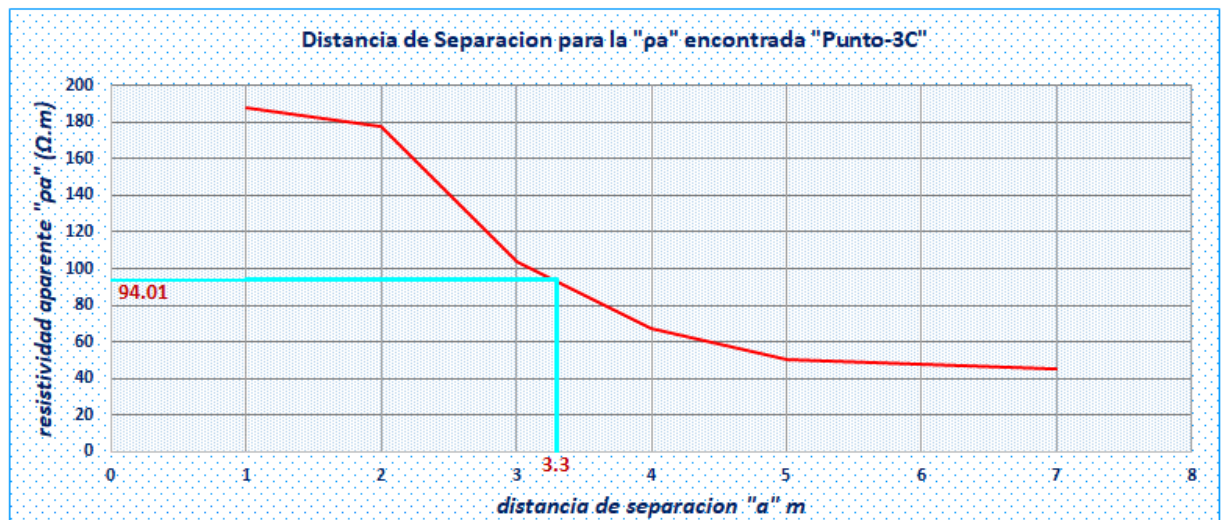
La nueva curva en la figura N° 20 se obtiene por interpolación en 0.24, para luego proyectamos a la curva más cercana de corte de las ordenas teniendo lo siguiente:

$$\frac{\rho_a}{\rho_1} = 0.5$$

$$\rho_a = 94.01 \Omega - m$$

Se procede a realizar la verificación de la resistividad aparente ρ_a para encontrar el corte en la curva de valores de resistividad promedio del Punto-3C, la distancia de separación “a” de la siguiente figura

Figura N° 25: Valor de separación “a” de la resistividad aparente calculada en el Punto-3C



Elaboración propia

De la figura N° 21 se tiene que valor de la “a” = 3.3

Calculo de la altura real de la primera capa se tiene:

De la figura N° 20 se tiene de la curva 0.24 y su proyección de corte el eje de las abscisas siguiente valor:

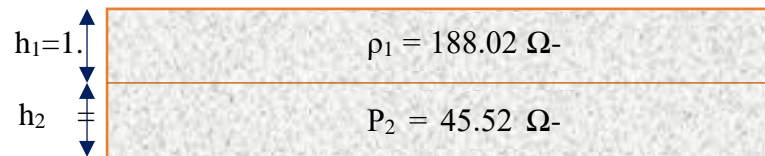
$$\frac{a}{h} = 2.2$$

Altura real “h” de la primera capa

$$h = 1.50 \text{ m}$$

finalmente tenemos resultados por el método a dos capas

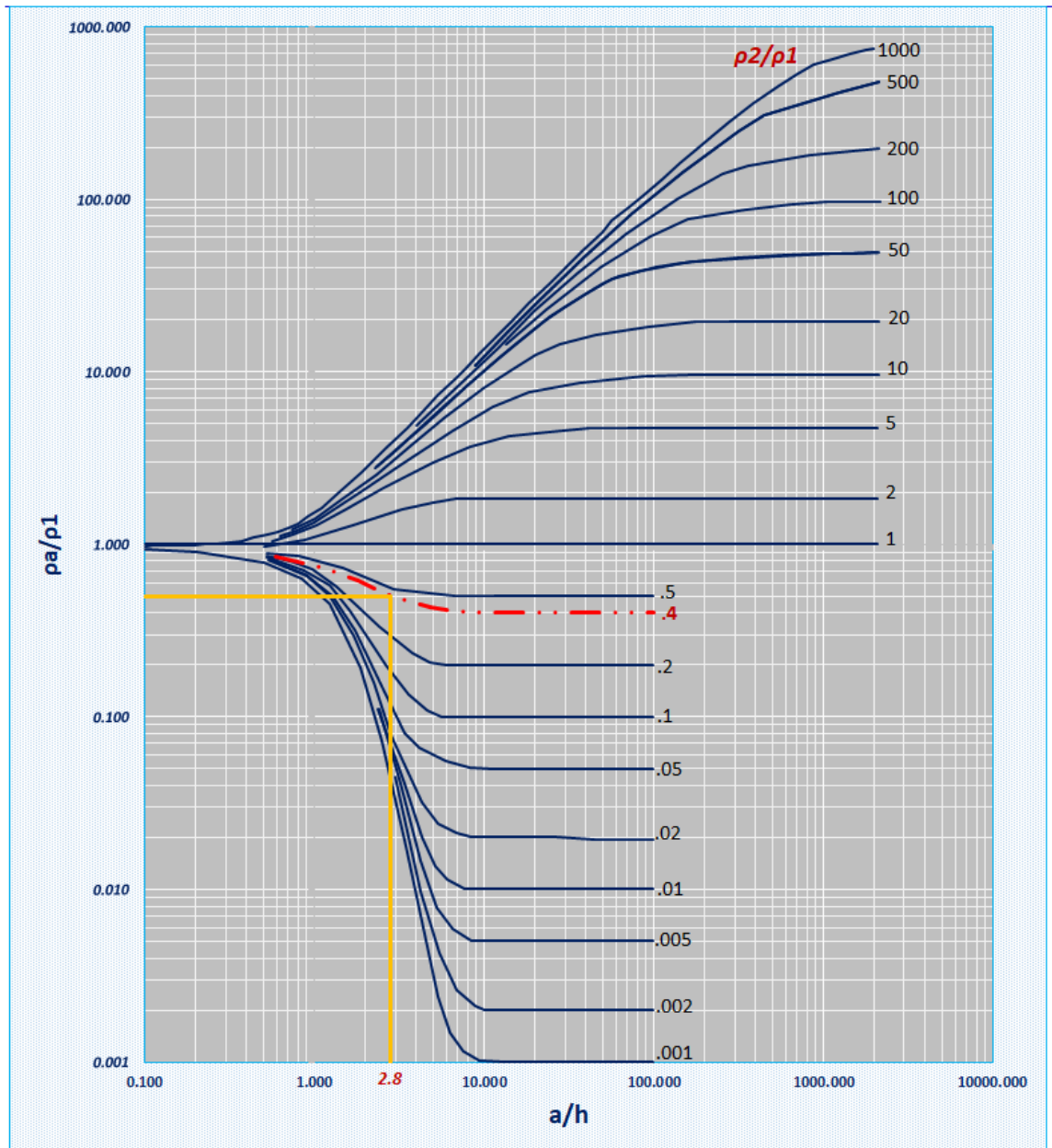
Figura N° 26: Modelo a dos capas del Punto-3C



Elaboración propia

4.1.3.4 Método de SUNDE Punto 4D

Figura N° 27: Método Grafico de SUNDE – Punto 4D



Elaboración propia

Para hallar los valores en la relación a/h en el gráfico, se procedió por interpolación de la nueva curva en la relación siguiente para la gráfica de la nueva curva.

$$\rho_1 = 98.21 \Omega - m$$

$$\rho_2 = 38.26 \Omega - m$$

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = 0.4$$

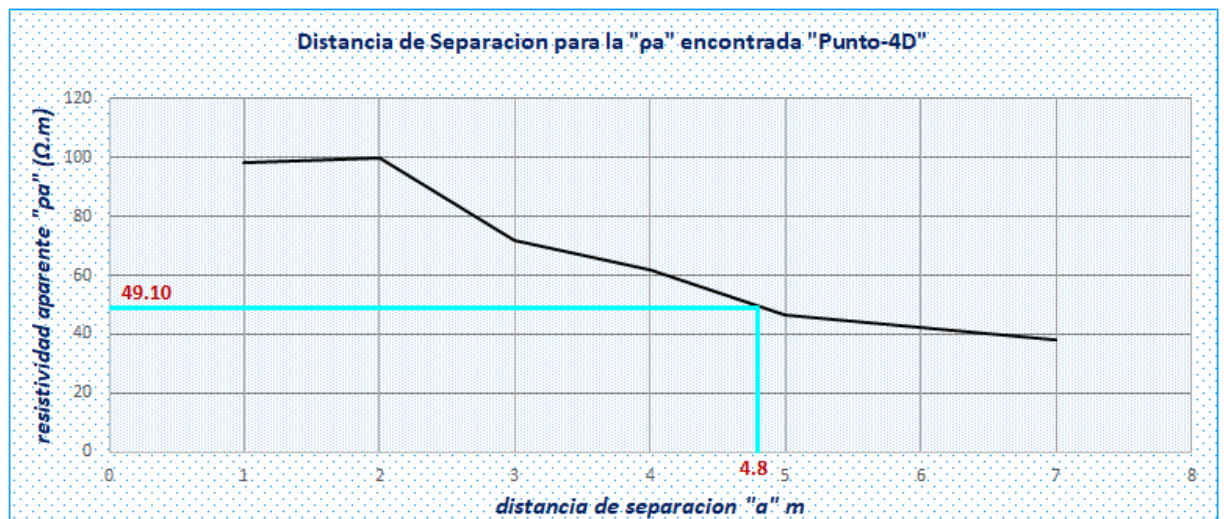
La nueva curva en la figura N° 23 se obtiene por interpolación en 0.4, para luego proyectamos a la curva más cercana de corte de las ordenas teniendo lo siguiente:

$$\frac{\rho_a}{\rho_1} = 0.5$$

$$\rho_a = 49.11 \Omega - m$$

Se procede a realizar la verificación de la resistividad aparente ρ_a para encontrar el corte en la curva de valores de resistividad promedio del Punto-4D, la distancia de separación "a" de la siguiente figura.

Figura N° 28: Valor de separación "a" de la resistividad aparente calculada en el Punto-4D



Elaboración Propia

De la figura N° 24 se tiene que valor de la "a" = 4.8

Calculo de la altura real de la primera capa se tiene:

De la figura N° 23 se tiene de la curva 0.4 y su proyección de corte el eje de las abscisas siguiente valor:

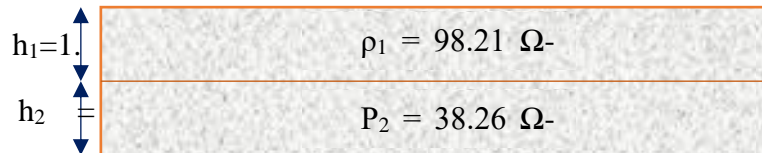
$$\frac{a}{h} = 2.8$$

Altura real “h” de la primera capa

$$h = 1.71 \text{ m}$$

finalmente tenemos resultados por el método a dos capas

Figura N° 29: Modelo a dos capas del Punto-4D



Elaboración Propia

Tabla N° 21: Resumen de valores encontrados de los puntos por el método de SUNDE

RESUMEN DE PUNTOS POR EL METODO DE SUNDE								
PERFIL	RESISTIVIDAD APARENTE "ρa" (Ω.m)	RESISTIVIDAD APARENTE "ρ1" (Ω.m)	RESISTIVIDAD APARENTE "ρ2" (Ω.m)	DISTANCIA "a" (m)	RELACION "ρ2/ρ1"	RELACION "ρa/ρ1"	RELACION a/h	ALTURA PRIMERA CAPA "h" (m)
PUNTO 1A	59.51	119.41	46.84	6.50	0.40	0.50	2.80	2.32
PUNTO 2B	104.62	209.23	54.10	5.10	0.25	0.50	2.02	2.53
PUNTO 3C	94.01	188.02	45.52	3.30	0.24	0.50	2.20	1.50
PUNTO 4D	49.11	98.21	38.26	4.80	0.40	0.50	2.80	1.71

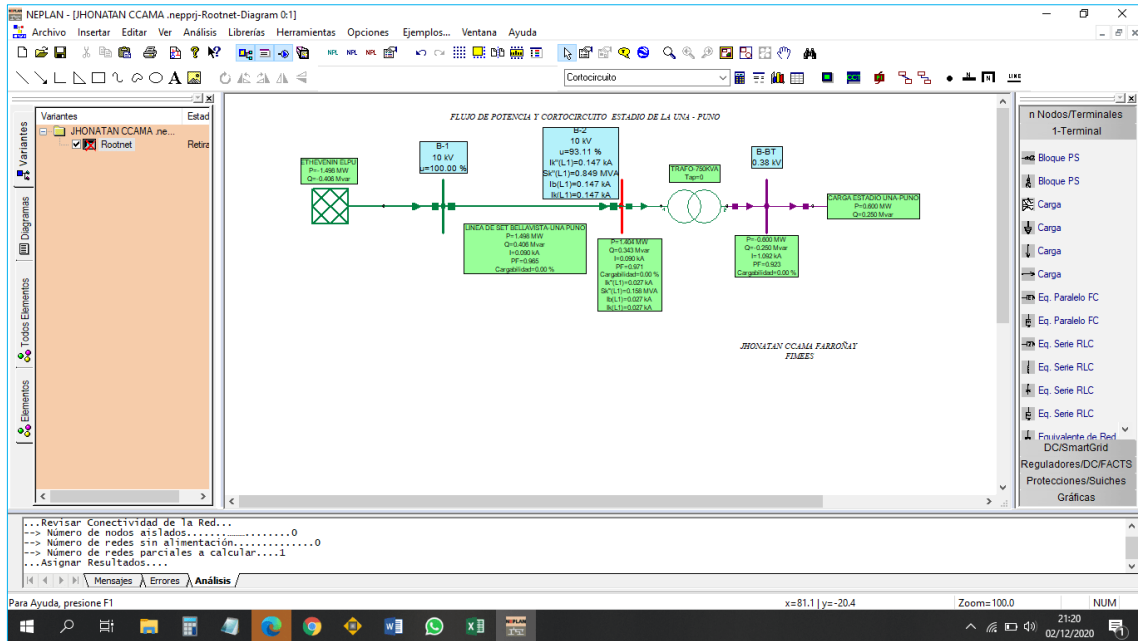
Elaboración propia

4.1.4 Parámetros del sistema eléctrico de alimentación en MT

4.1.4.1 Cálculo de corrientes de cortocircuito

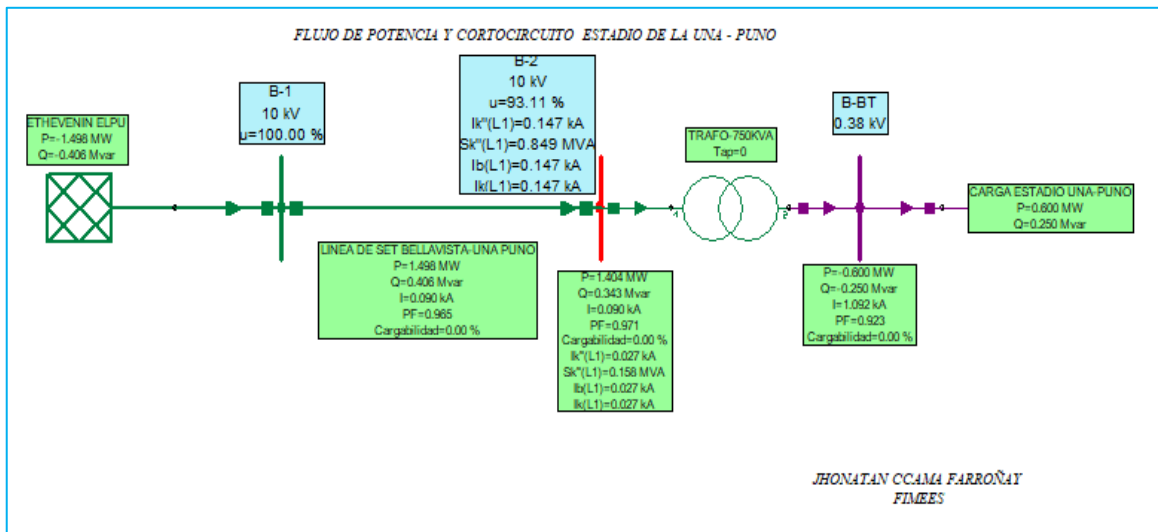
Para el cálculo de la corriente para el dimensionamiento de la malla se tendrá la falla monofásica a tierra en la barra de llegada del primario de la subestación, para el cual se considera llegada a tableros o celdas de llegada, protección medición, la corriente de falla se realizó con el software NEPLAN.

Figura N° 30: Cálculo de corriente de cortocircuito monofásico a tierra en NEPLAN



Elaboración propia

Figura N° 31: Resultados de cálculo de falla monofásica a tierra NEPLAN



Elaboración propia

Para el cálculo de la falla monofásica a tierra en el método de cálculo se realizó por el método de superposición de flujo de potencia

Corriente de falla calculada:

$$I_{1\phi-t} = 147 \text{ A}$$

Calculo de la corriente máxima asimétrica de interrupción se tiene

$$I_{asim.max} = 2.5 * I_{1\phi-t}$$

$$I_{asim.max} = 2.5 * 147 A$$

$$I_{asim.max} = 368 A$$

4.1.4.2 Calculo de Fusible Limitador

La llegada de la alimentación de media tensión (MT) será mediante celdas las cuales tienen como equipo de protección a los fusibles limitadores de corriente, que se tienen por calculo

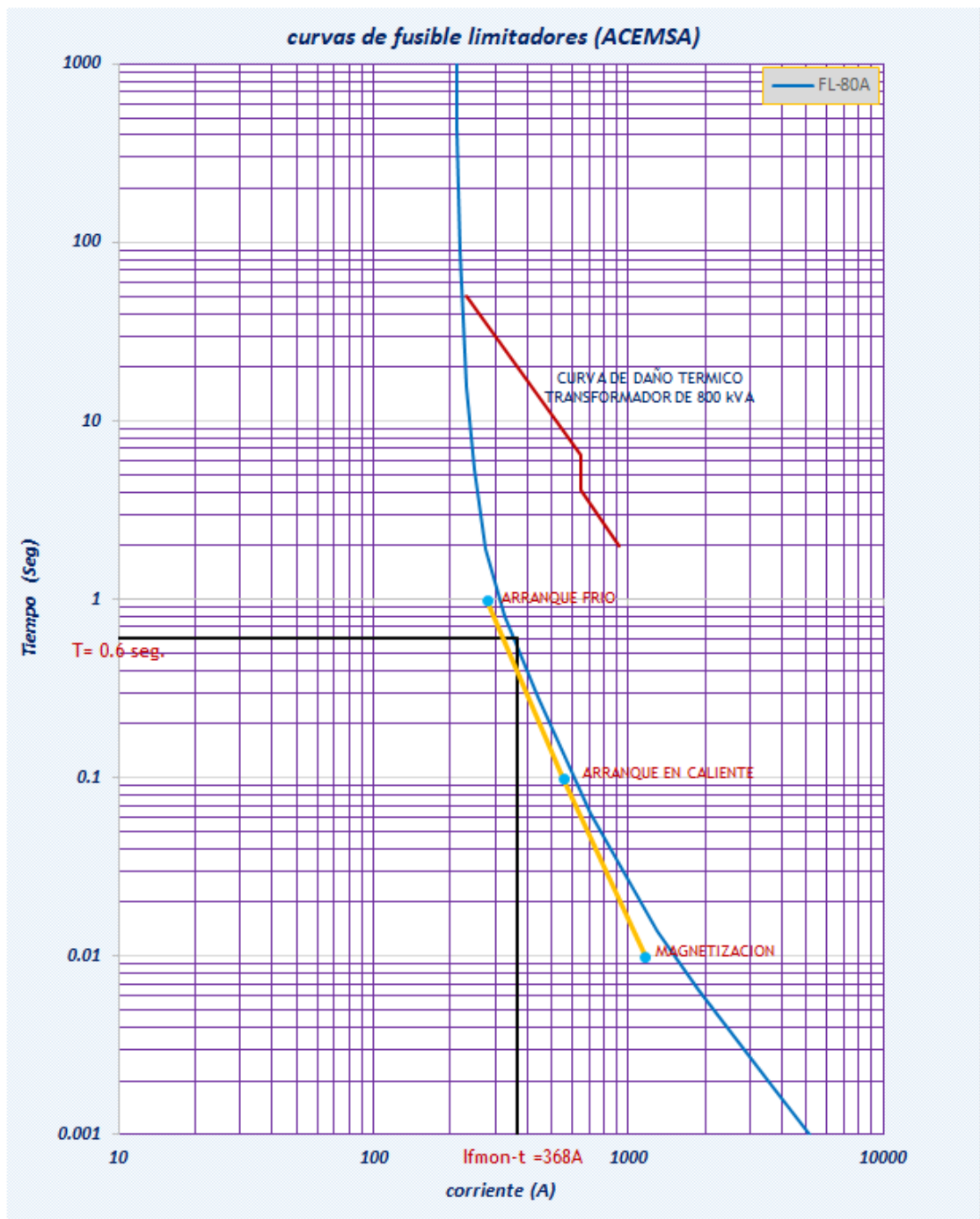
Tabla N° 22: Valores de fusible a seleccionar

CALCULO DE FUSIBLE (FLC)					
POTENCIA	Vnp	Inp	In-FUSIBLE	F. Sobrecarga	In-comercial
kVA	kV	A	A	50% (A)	A
800	10	46.24	46.24	69.36	80

Elaboración propia

Se tienen la curva del fusible con detalles de curva de daño térmico del transformador de 800kVA, teniendo en cuenta las corrientes de energización del transformador que se muestran en las tablas N°27 y 28 siguientes

Figura N° 32: Curva de protección de FLC de 80A, Energización y Daño térmico



Elaboración propia

Tabla N° 23: Corrientes de Magnetización

CORRIENTES DE ENERGIZACION DE TRANSFORMADOR								
INRUSH			HOT LOAD INRUSH			COLD LOAD INRUSH		
TIEMPO	CORRIENTE	CORRIENTE	TIEMPO	CORRIENTE	CORRIENTE	TIEMPO	CORRIENTE	CORRIENTE
(s)	(p.u)	A	(s)	(p.u)	A	(s)	(p.u)	A
0.01	25	1156.1	0.1	12	554.9	1	6	277.5
0.1	12	554.9				10	3	138.7

Elaboración propia

Tabla N° 24: Corrientes de magnetización Seleccionados

DESCRIPCION	TIEMPO	CORRIENTE
	(s)	A
MAGNETIZACION	0.01	1156
ARRANQUE EN CALIENTE	0.10	554.9
ARRANQUE EN FRIO	1.00	277.5

Elaboración propia

De la figura 32, se puede indicar el tiempo de respuesta de apertura del elemento de protección, donde para la corriente de falla indicada es de **368A** su tiempo de respuesta es de **0.6 seg.**, las curvas de energización están por debajo de la curva de protección del fusible, es decir no operan ante dichas corrientes de energización en valores y tiempos, al buscar que ante una falla a tierra tiene que apertura primero dicho fusible por un tema de selectividad.

En la gráfica no se indica coordinación de protección con los elementos de protección aguas arriba, al interesarnos el tiempo de actuación del elemento de protección en la zona para el despeje de la falla y limitar el tiempo de exposición del riesgo frente a las tensiones de paso y contacto.

El fusible tipo FLC cumple con los requerimientos de protección del transformador

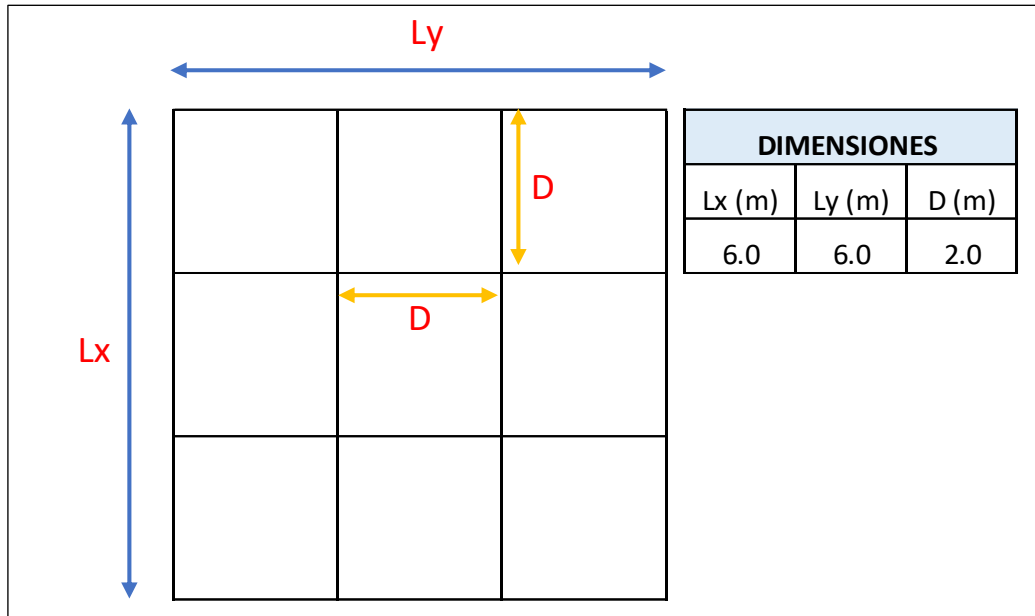
4.1.5 Consideraciones y geometría de diseño de la malla de puesta a tierra

4.1.5.1 Geometría de la malla de la Subestación de distribución

Para el presente cálculo de la malla se tendrá una geométrica cuadrada, de dimensiones en ancho y largo iguales L_x , L_y . Las dimensiones están en metros, así como

la separación de la cuadrícula de la malla que a continuación, se muestra en la siguiente figura.

Figura N° 33: Configuración de la geometría de la malla de la puesta a tierra



Elaboración propia

Estas dimensiones son de acuerdo al espacio que se tiene para la ubicación de la subestación dentro del estadio, si bien hay consejos y/o recomendaciones por parte de la IEEE-80, se realizar los caculos correspondientes.

4.1.5.2 Consideraciones para el diseño de la malla

Para el diseño de la siguiente malla se tendrán las siguientes consideraciones generales de los parámetros críticos y otros

- A. De la corriente máxima a disipar por la malla I_G , será igual a la corriente máxima monofásica calculada la cual es $I_{1\phi} = 368$ A, siendo:
 - a. D_i , factor de decremento = 1
 - b. S_f , factor de división de corriente = 1
 - c. C_p , factor de crecimiento = 1

- B. La duración de la falla y la duración del choque serán los mismos, y estos corresponden al tiempo de apertura de los fusibles limitadores
- T_f , duración de la falla = 0.6 seg.
 - T_s , duración del choque = 0.6 seg.
- C. De la capa superficial se tendrá al concreto por encima de la malla, con espesor de capa = 0.20m, así mismo del nivel de piso terminado (NPT) de la subestación, la malla se ubicará a NPT-0.70m
- D. Del modelo de resistividad del suelo se tomará el modelo a dos capas, que son para condiciones reales del terreno.
- E. Del cálculo de la selección del tamaño del conductor, por ser una subestación menor o igual 1MVA, se considerará la formula simplificada siguiente

$$A_{MCM} = I_F * K_f * \sqrt{t_C}$$

Donde:

K_f , = constante del material dado y/o empleado de la siguiente tabla

Tabla N° 25: Constante de los materiales empleados en mallas

Tabla 1 (IEEE 80-2000 sec 3.11) Constantes de materiales							
Tipo de material	Conductividad del material %	Factor α_r @ 20°C [1/°C]	K0 a 0°C (0°C)	Temperatura de fusion T_m [°C]	pr a 20°C [$\mu\Omega \cdot \text{cm}$]	TCAP Capacidad termica [$\text{J}/\text{cm}^3 \cdot \text{°C}$]	Kf
Cobre Puro	100	0.00393	234	1083	1.72	3.42	7.00
Cobre Comercial	97	0.00381	242	1084	1.78	3.42	7.06
Acero recubierto de cobre	40	0.00378	245	1084	4.4	3.85	10.45
Acero recubierto de cobre	30	0.00378	245	1084	5.86	3.85	12.06
Barra de acero recubierto de cobre	20	0.00378	245	1084	8.62	3.85	14.64
Aluminio grado EC	61	0.00403	228	657	2.86	2.56	12.12
Aluminio 5005	53.5	0.00353	263	652	3.22	2.6	12.41
Aluminio 6201	52.5	0.00347	268	654	3.28	2.6	12.47
Acero recubierto de aluminio	20.3	0.0036	258	657	8.48	3.58	17.20
Acero 1020	10.8	0.0016	605	1510	15.9	3.28	15.95
Barra de acero recubierto de acero inoxidable	9.8	0.0016	605	1400	17.5	4.44	14.72
Barra de cobre recubierto de Zinc	8.6	0.0032	293	419	20.1	3.93	28.96
Acero inoxidable 304	2.4	0.0013	749	1400	72	4.03	30.05

Fuente: IEEE-80-2000



- F. Otras consideraciones a fin de simplificar algunos cálculos que son exclusivamente para subestaciones de potencia.
- G. Tabla N°25, Resumen de valores encontrados de los puntos por el método de SUNDE, se tomará el punto 2B, para los cálculos correspondientes.
- H. Para el criterio de tensiones de paso y toque tolerables se asumirá para un cuerpo de 70 Kg. De peso corporal

4.2 RESULTADOS DE CÁLCULOS Y COMPARACION EXCEL, ETAP, ASPIX

De los cálculos realizados se tienen por la resistividad ρ_1 (capa superior) dos valores para el diseño, el primer valor es de la resistividad medida en campo y el segundo valor es el que se tiene asumiendo el tratamiento del suelo con tierra negra, para mejorar la resistividad (disminuir). Los cuales se asumen en los tres programas donde se indican los modelamientos de diseño de la malla de puesta a tierra a fin de garantizar las tensiones de paso y contacto.

4.2.1 Resultados programa Excel

Tabla N° 26: Cuadro -1 de caculo Excel

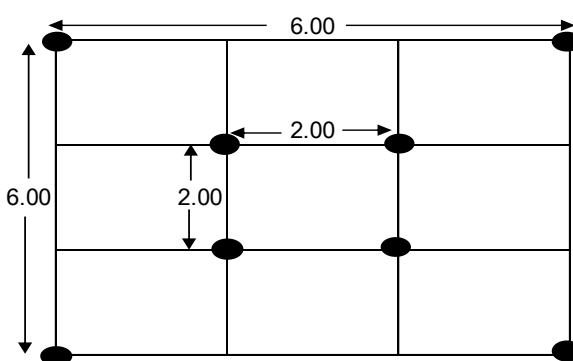
CUADRO DE CALCULO EXCEL			
<u>A.- Selección del tamaño del conductor</u>		$A_{MCM} = I_F * K_f * \sqrt{t_C}$	
Corriente asimetrica de falla	<i>I_F</i>	=	0.368
Duracion de la corriente	<i>T_f</i>	=	0.6
Constante de material (cobre comercial)	<i>K_f</i>	=	7.06
Seccion del conductor en (MCM)	<i>A_(MCM)</i>	=	2.012
Seccion del conductor en (mm2)	<i>A</i>	=	1.018
Seccion del conductor comercial a seleccionar	<i>A</i>	=	25
<u>B.- Datos de resistividad del terreno</u>			
Resistividad de la capa superior	<i>ρ₁</i>	=	209.23
Resistividad de la capa inferior	<i>ρ₂</i>	=	54.10
Resistividad superficial del concreto	<i>ρ_s</i>	=	7500
Espesor de la capa superficial	<i>h_s</i>	=	0.20
<u>C.- Calculo del factor de disminucion de la capa superficial</u>			
Factor de disminucion de la capa superficial	<i>C_s</i>	=	0.821
<u>D.- Criterios de tensiones de paso y toque tolerables</u>			
calculo de tension de paso <i>E_p</i>	$E_{P70} = (1000 + 6 * C_s * \rho_s) * \frac{0.157}{\sqrt{T_c}}$		
Factor de disminucion de la capa superficial	<i>C_s</i>	=	0.821
Resistividad superficial del concreto	<i>ρ_s</i>	=	10000
Duracion de la corriente choque	<i>T_c</i>	=	0.6
Resistencia promedio del cuerpo humano	<i>R_b</i>	=	1000
Tension de paso tolerable (70)	<i>E_{p70}</i>	=	10192.484

Elaboración propia

Tabla N° 27: Cuadro - 2 de caculo Excel

calculo de tension de toque Et	$E_{T70} = (1000 + 1.5 * C_s * \rho_s) * \frac{0.157}{\sqrt{T_c}}$		
Factor de disminucion de la capa superficial	C_s	=	0.821
Resistividad superficial del concreto	ρ_s	=	10000 Ω -m
Duracion de la corriente choque	T_c	=	0.6 s
Resistencia promedio del cuerpo humano	R_b	=	1000 Ω
Tension de toque tolerable (70)	E_{t70}	=	2700.136 V

E.- Diseño Inicial de la malla de pues a tierra



Se ubicaran 8 varillas de Cu de 5/8 de 2.40m de longitud en cada una de las esquinas de la malla, y en la parte central como se observa

Longitud en el eje x	L_x	=	6.00 m
Longitud en el eje y	L_y	=	6.00 m
Distancia de separacion entre reticulares	D	=	2.00 m
Area de la malla de puesta a tierra	A	=	36.00 m ²
altura de enterramiento de la malla	h	=	0.50 m

EVALUACION DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

F.- Calculo de la resistencia de puesta a tierra de la malla

ecuaciones de Schwarz para terreno a dos capas

Resistividad aparente	$\rho_a = \frac{L_r \rho_1 \rho_2}{\rho_2(H - h) + \rho_1(L_r + h - H)}$
Resistencia R1	$R_1 = \frac{\rho_1}{\pi L_c} \left[\ln \left(\frac{2L_c}{\sqrt{d_c h}} \right) + \frac{K_1 L_c}{\sqrt{A}} - K_2 \right]$
Resistencia R2	$R_2 = \frac{\rho_a}{2\pi n_r L_r} \left[\ln \left(\frac{8L_r}{d_r} \right) - 1 + \frac{2K_2 L_r}{\sqrt{A}} - (\sqrt{n_r} - 1)^2 \right]$
Resistencia mutua Rm	$R_m = \frac{\rho_a}{\pi L_c} \left[\ln \left(\frac{2L_c}{L_r} \right) + \frac{K_1 L_c}{\sqrt{A}} - K_2 + 1 \right]$

Elaboración propia

Tabla N° 28: Cuadro - 3 de caculo Excel

Calculo de la resistividad aparente			
Se tomaran datos del valor de resistividad de las capas del punto B, asi como los datos de Tabla N°25			
Resistividad de la capa superior	ρ_1	=	209.23 Ω -m
Resistividad de la capa inferior	ρ_2	=	54.10 Ω -m
altura de la primera capa (o espesor)	H	=	2.53 m
altura de enterramiento de la malla	h	=	0.50 m
Longitud de las varillas	Lr	=	2.54 m
Resistividad aparente	ρ_a	=	132.78 Ω -m
Calculo de la resistencia R1			
Longitud total de los conductores de la malla	Lc	=	46.00 m
Diametro de conductor de la malla	dc	=	0.0064 m
Constante 1	K1	=	1.15
Constante 2	K2	=	4.78
Resistencia de tierra de los conductores	R1	=	16.55 Ω
Calculo de la resistencia R2			
Longitud de las varillas	Lr	=	2.54 m
numero de varillas a instalar	nr	=	8.00
Diametro de la varilla	dr	=	0.0159 m
Resistencia de tierra de todas las varillas	R2	=	7.13 Ω
Calculo de la resistencia Rm			
Resistencia mutua entre varillas y conductores	Rm	=	7.93 Ω
Calculo de la resistencia de puesta a tierra Rg	$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m}$		
Resistencia de puesta a tierra	Rg	=	7.05 Ω
<u>G.- Calculo de elevacion de potencial de tierra</u>	$GPR = I_g \cdot R_g$		
corriente maxima a disipar por la malla	Ig	=	368.00 A
Elevacion de potencial de tierra	GRP	=	2595.33 V

Elaboración propia

Tabla N° 29: Cuadro - 4 de caculo Excel

CALCULO DE LA TENSION MAXIMA DE LA MALLA			
El valor de la tension real de la malla se obtiene mediante la siguiente espresion			
$E_m = \frac{\rho \cdot I_g \cdot K_m \cdot K_I}{L_M}$			
Valor geometrico de espaciamento de la malla Km			
$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16hd_c} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd_c} - \frac{h}{4d_c} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \ln \left(\frac{8}{\pi(2n-1)} \right) \right]$			
Factor de correccion de ajuste de los efectos del conductor sobre las esquinas de la malla Kii			
$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{\frac{2}{n}}} \text{ sin varillas o pocas} \qquad K_{ii} = 1 \text{ con varillas}$			
Factor de correccion que tiene en cuenta los efectos de la profundidad de la malla Kh			
$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \text{ con } h_0 = 1m$			
Numero de conductores paralelos de una malla rectangular equivalente		$n = n_a n_b n_c n_d$	
Para mallas cuadradas se tienen	$n = n_a$	donde :	$n_a = \frac{2L_C}{L_P}$
Calculo de na			
Longitud total de los conductores de la malla	Lc	=	46.00 m
Longitud del perimetro de la malla	Lp	=	24.00 m
valor de na	na	=	3.83
valor de n = na	n	=	3.83
Calculo del factor de correccion de la profundidad			
Altura de enterramiento de la malla	h	=	0.50 m
Altura de enterramiento de la malla para ho	h₀	=	1.00 m
Factor de correccion de profundidad de la malla	Kh	=	0.71
Factor de ajuste conductores con varillas	Kii	=	1.00
Factor de irregularidad Ki	$K_i = 0.644 + 0.148n$		
Factor de irregularidad Ki	Ki	=	1.21

Elaboración propia

Tabla N° 30: Cuadro - 5 de caculo Excel

calculo del Valor geometrico de espaciamiento de la malla Km			
Factor del primer logaritmo	Ln1	=	4.99
Factor del segundo logaritmo	Ln2	=	-0.96
Valor geometrico de espaciamiento de la malla	K _m	=	5.70
Longitud efectiva enterrada para varillas de tierra en las esquinas			
$L_M = L_C + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] L_R$			
Longitud total de todas las varillas nr.Lr	L _R	=	20.32 m
Longitud total de los conductores de la malla	L _c	=	46.00 m
Longitud en el eje x	(L _x) ²	=	36.00 m ²
Longitud en el eje y	(L _y) ²	=	36.00 m ²
Longitud de las varillas	L _r	=	2.54 m
Calculo de la longitud efectiva de enterramiento L_M			
Longitud efectiva enterrada	L _M	=	84.92 m
H.- Calculo de la tension real de la malla			
		$E_m = \frac{\rho \cdot I_g \cdot K_m \cdot K_i}{L_M}$	
Resistividad aparente	ρ _a	=	132.78 Ω-m
corriente maxima a disipar por la malla	I _g	=	368.00 A
Valor geometrico de espaciamiento de la malla	K _m	=	5.70
Factor de irregularidad Ki	K _i	=	1.21
Longitud efectiva enterrada	L _M	=	84.92 m
Tension real de la malla	E _m	=	3969.96 V
I.- Calculo de la tension real de paso E_p			
		$E_P = \frac{\rho \cdot I_g \cdot K_S \cdot K_i}{L_S}$	
Longitud efectiva del conductor enterrado L _s	$L_S = 0.75L_C + 0.85L_R$		
el valor de K _s se calcula de la siguiente formula			
$K_S = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right]$			

Elaboración propia

Tabla N° 31: Cuadro - 6 de caculo Excel

Longitud efectiva del conductor enterrado	L_s	=	51.77	m
factor K_s	K_s	=	0.56	
Tension real de paso	E_p	=	640.38	V
DE LOS RESULTADOS Y LAS MODIFICACIONES DEL DISEÑO				
E_m	3969.96	>	$E_{t_{70}}$	2700.136 No cumple
GRP	2595.33	<	$E_{t_{70}}$	2700.136 Cumple
J.- Rediseño de la malla de puesta a tierra con modificacion de la primera capa				
Resistividad de la capa superior (suelo artificial)	ρ_1	=	120.00	Ω -m
Resistividad de la capa inferior	ρ_2	=	54.10	Ω -m
Altura de la primera capa (o espesor)	H	=	2.53	m
Altura de enterramiento de la malla	h	=	0.50	m
Longitud de las varillas	L_r	=	2.54	m
Resistividad aparente	ρ_a	=	96.42	Ω -m
Recalculando R1				
Longitud total de los conductores de la malla	L_c	=	46.00	m
Diametro de conductor de la malla	dc	=	0.0064	m
Constante 1	K1	=	1.15	
Constante 2	K2	=	4.78	
Resistencia de tierra de los conductores	R1	=	9.49	Ω
Recalculando R2				
Longitud de las varillas	L_r	=	2.54	m
numero de varillas a instalar	nr	=	8.00	
Diametro de la varilla	dr	=	0.0159	m
Resistencia de tierra de todas las varillas	R2	=	5.18	Ω

Elaboración propia



Tabla N° 32: Cuadro - 7 de caculo Excel

Recalculo de la resistencia Rm			
Resistencia mutua entre varillas y conductores	Rm	=	5.76 Ω
Recalculo de la resistencia de puesta a tierra Rg			
Resistencia de puesta a tierra	Rg	=	5.07 Ω
<u>K.- Recalculo de elevacion de potencial de tierra</u>			
corriente maxima a disipar por la malla	Ig	=	368.00 A
Elevacion de potencial de tierra	GRP	=	1867.43 V
<u>L.- Recalculo de la tension real de la malla</u>			
Resistividad aparente	pa	=	120.00 Ω-m
corriente maxima a disipar por la malla	Ig	=	368.00 A
Valor geometrico de espaciamento de la malla	K_m	=	2.54
Factor de irregularidad Ki	K_i	=	1.15
Longitud efectiva enterrada	L_M	=	84.92 m
Tension real de la malla recalculada	E_m	=	1519.03 V
<u>M.- Cumplimiento del diseño de la malla , rediseñando y mejorando la resistividad del terreno y/o suelo</u>			
Resultados conformes			
E_m	1867.43	<	E_{t70} 2700.136 Cumple
GRP	1519.03	<	E_{t70} 2700.136 Cumple

Elaboración propia

4.2.2 Resultados programa ETAP

Desarrollo dentro del entorno del programa Etap Módulo de mallas de puesta a tierra.

Entrada de datos de la disposición de los conductores y varillas (conformación de la malla de puesta a tierra)

Figura N° 34: Entrada de datos de la disposición de los conductores-1

Conductor Editor

Material Constants

Conductivity	Alpha Factor	K Factor	Fusing Temperature	Resistivity @ 20 C	Thermal Capacity
100.0	0.00393	234	1083	1.72	3.42

	Label	Length	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	Type	Size	Insulation	Cost
1	C0	6.56	0	0	1.64	6.56	0	1.64	Copper, annealed soft-drawn	4	Bare	3.3
2	C1	6.56	6.56	0	1.64	13.12	0	1.64	Copper, annealed soft-drawn	4	Bare	3.3
3	C2	6.57	13.12	0	1.64	19.69	0	1.64	Copper, annealed soft-drawn	4	Bare	3.3
4	C3	6.56	0	6.56	1.64	6.56	6.56	1.64	Copper, annealed soft-drawn	4	Bare	3.3
5	C4	6.56	6.56	6.56	1.64	13.12	6.56	1.64	Copper, annealed soft-drawn	4	Bare	3.3
6	C5	6.57	13.12	6.56	1.64	19.69	6.56	1.64	Copper, annealed soft-drawn	4	Bare	3.3
7	C6	6.56	0	13.12	1.64	6.56	13.12	1.64	Copper, annealed soft-drawn	4	Bare	3.3
8	C7	6.56	6.56	13.12	1.64	13.12	13.12	1.64	Copper, annealed soft-drawn	4	Bare	3.3
9	C8	6.57	13.12	13.12	1.64	19.69	13.12	1.64	Copper, annealed soft-drawn	4	Bare	3.3
10	C9	6.56	0	19.69	1.64	6.56	19.69	1.64	Copper, annealed soft-drawn	4	Bare	3.3
11	C10	6.56	6.56	19.69	1.64	13.12	19.69	1.64	Copper, annealed soft-drawn	4	Bare	3.3
12	C11	6.57	13.12	19.69	1.64	19.69	19.69	1.64	Copper, annealed soft-drawn	4	Bare	3.3

Buttons: Add, Insert, Delete, Copy, Help, OK, Cancel

Elaboración propia

Figura N° 35: Entrada de datos de la disposición de los conductores-2

Conductor Editor

Material Constants

Conductivity	Alpha Factor	K Factor	Fusing Temperature	Resistivity @ 20 C	Thermal Capacity
100.0	0.00393	234	1083	1.72	3.42

	Label	Length	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	Type	Size	Insulation	Cost
14	C13	6.56	0	6.56	1.64	0	13.12	1.64	Copper, annealed soft-drawn	4	Bare	3.3
15	C14	6.57	0	13.12	1.64	0	19.69	1.64	Copper, annealed soft-drawn	4	Bare	3.3
16	C15	6.56	6.56	0	1.64	6.56	6.56	1.64	Copper, annealed soft-drawn	4	Bare	3.3
17	C16	6.56	6.56	6.56	1.64	6.56	13.12	1.64	Copper, annealed soft-drawn	4	Bare	3.3
18	C17	6.57	6.56	13.12	1.64	6.56	19.69	1.64	Copper, annealed soft-drawn	4	Bare	3.3
19	C18	6.56	13.12	0	1.64	13.12	6.56	1.64	Copper, annealed soft-drawn	4	Bare	3.3
20	C19	6.56	13.12	6.56	1.64	13.12	13.12	1.64	Copper, annealed soft-drawn	4	Bare	3.3
21	C20	6.57	13.12	13.12	1.64	13.12	19.69	1.64	Copper, annealed soft-drawn	4	Bare	3.3
22	C21	6.56	19.69	0	1.64	19.69	6.56	1.64	Copper, annealed soft-drawn	4	Bare	3.3
23	C22	6.56	19.69	6.56	1.64	19.69	13.12	1.64	Copper, annealed soft-drawn	4	Bare	3.3
24	C23	6.57	19.69	13.12	1.64	19.69	19.69	1.64	Copper, annealed soft-drawn	4	Bare	3.3

Buttons: Add, Insert, Delete, Copy, Help, OK, Cancel

Elaboración propia

Indicar que las dimensiones y medidas de las coordenadas, así como también de longitudes de los elementos dentro del programa están en pies (ft), tanto para los conductores como para las varillas.

Figura N° 36: Entrada de datos de la disposición de las varillas

Rod Editor

Material Constants

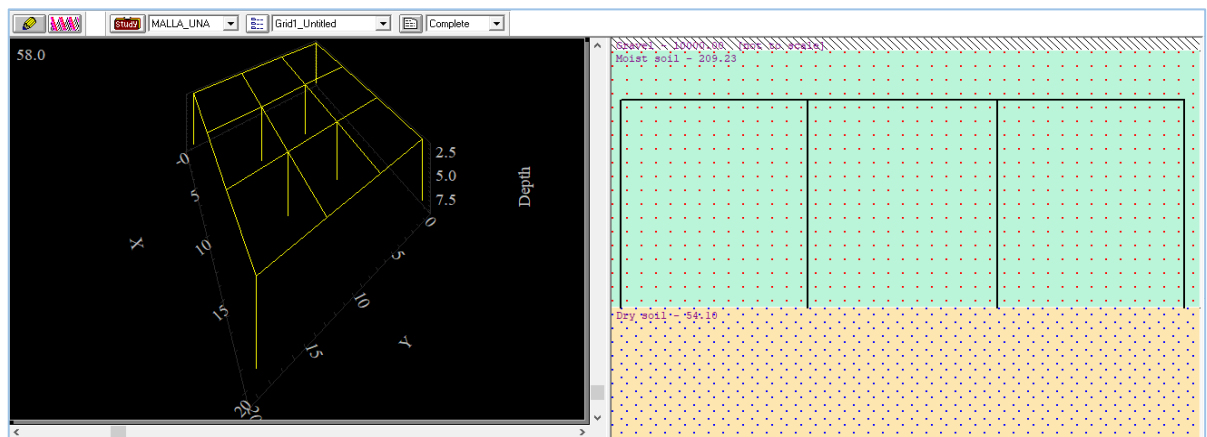
Conductivity	Alpha Factor	K Factor	Fusing Temperature	Resistivity @ 20 C	Thermal Capacity
100.0	0.00393	234	1083	1.72	3.42

	Label	Length	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	Diameter	Type	Cost
1	R0	6.73	0	0	1.64	0	0	8.37	.05	Copper, annealed soft-drawn	100
2	R1	6.73	0	19.69	1.64	0	19.69	8.37	.05	Copper, annealed soft-drawn	100
3	R2	6.73	19.69	19.69	1.64	19.69	19.69	8.37	.05	Copper, annealed soft-drawn	100
4	R3	6.73	19.69	0	1.64	19.69	0	8.37	.05	Copper, annealed soft-drawn	100
5	R4	6.73	6.56	6.56	1.64	6.56	6.56	8.37	.05	Copper, annealed soft-drawn	100
6	R5	6.73	6.56	13.12	1.64	6.56	13.12	8.37	.05	Copper, annealed soft-drawn	100
7	R6	6.73	13.12	13.12	1.64	13.12	13.12	8.37	.05	Copper, annealed soft-drawn	100
8	R7	6.73	13.12	6.56	1.64	13.12	6.56	8.37	.05	Copper, annealed soft-drawn	100

Add Insert Delete Copy Help OK Cancel

Elaboración propia

Figura N° 37: Disposición de los elementos y las capas del terreno



Elaboración propia

En la figura 37 se puede observar el diseño en el entorno del programa donde en la ventana de la izquierda se nota la disposición de los conductores (horizontal) y la varillas (vertical) respectivamente, en la ventana derecha se observa las capas superior e inferior

del terreno, así como la capa superficial del material de relleno para minimizar los efectos de la tensión de paso.

Seguidamente e habilitara dentro del programa los casos de estudio en donde en esa ventana se introducen los valores solicitados de las fallas y corrientes, a fin de modelar las tensiones de paso y contacto.

Figura N° 38: Entrada de datos al editor de los casos de estudio

GRD Study Case Editor

Study Case

Study Case ID: MALLA_UNA

Options: Weight: 50 kg, 70 kg; Ambient Temperature: 18 °C

Method: Finite Element, IEEE 80 - 2000/2013, IEEE 80 - 1986, IEEE 685 - 1995

Reports & Plots: Auto Display Summary & Alert (checked), Report Details (unchecked), Plot Step: 3, Boundary Extension: 0

Update: # of Conductors and Rods (Optimization) (unchecked)

Fault Durations: tf: 0.6 Sec, tc: 0.6 Sec, ts: 0.6 Sec

Ground Short-Circuit Current: User Specified (selected), Ifg: 0.368 kA, X/R: 2; Short-Circuit Study (unselected)

Grid Current Factors: Sf: 100 %, Cp: 100 %

Remarks 2nd line

< GRD1 > Help OK Cancel

Elaboración propia

En la figura del editor se observa los datos ingresados los cuales están resaltados con un cuadro rojo.

Para el modelamiento se realizará con dos valores indicados de resistividad de la capa superior, la primera es con el mismo suelo encontrando la medida y cálculo de la resistividad del terreno, y la segunda es con un tratamiento del terreno de la primera capa a fin de reducir la resistividad del terreno.

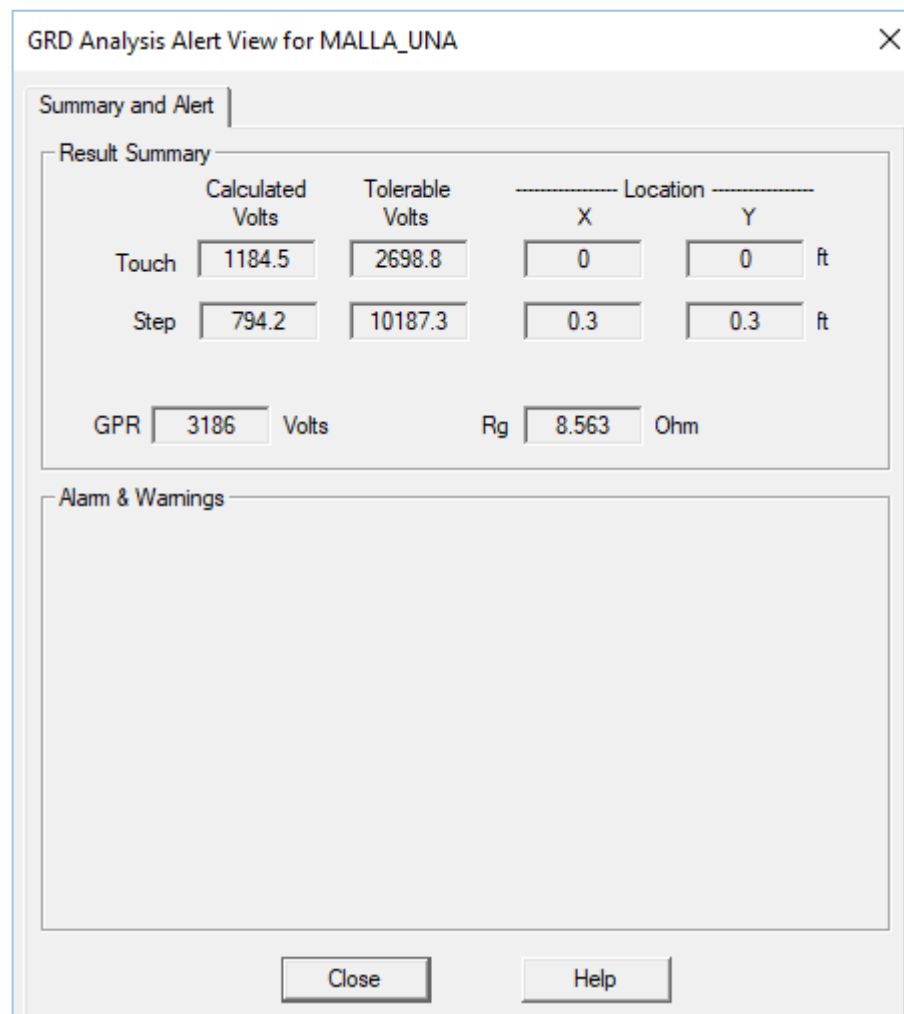
Figura N° 39: Entrada de datos al editor de los suelos para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$

	Resistivity ohm-m	Material	Depth ft
Surface Material	10000	Gravel	0.66
Top Layer	209.23	Moist soil	8.33
Lower Layer	54.1	Dry soil	

Buttons: Help, OK, Cancel

Elaboración propia

Figura N° 40: Resultado de las tensiones de paso y contacto para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$

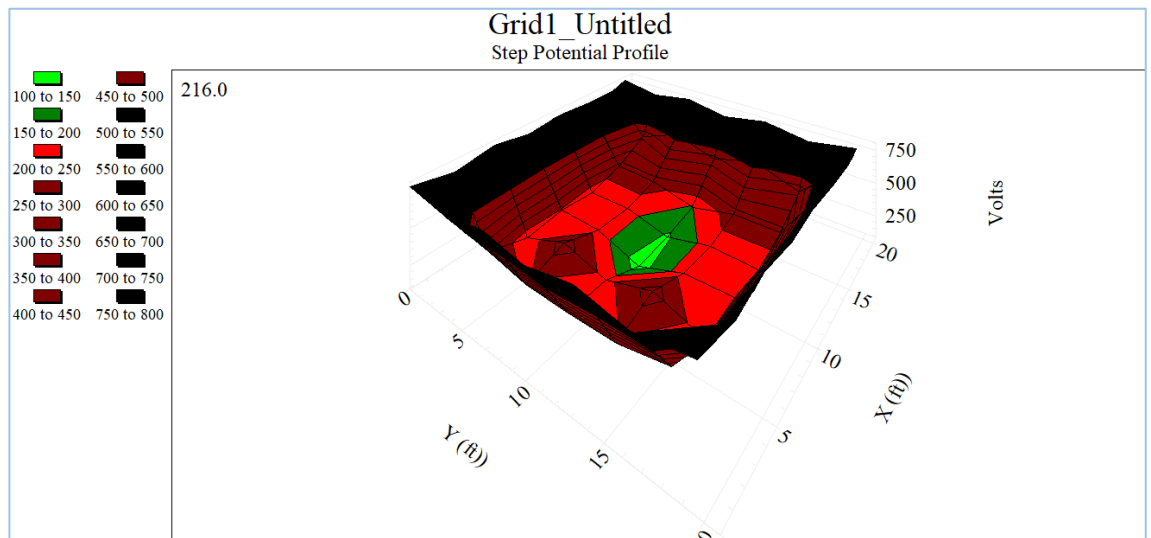


Elaboración propia

En este primer resultado se tienen para la resistividad inicial de la capa superior indicada

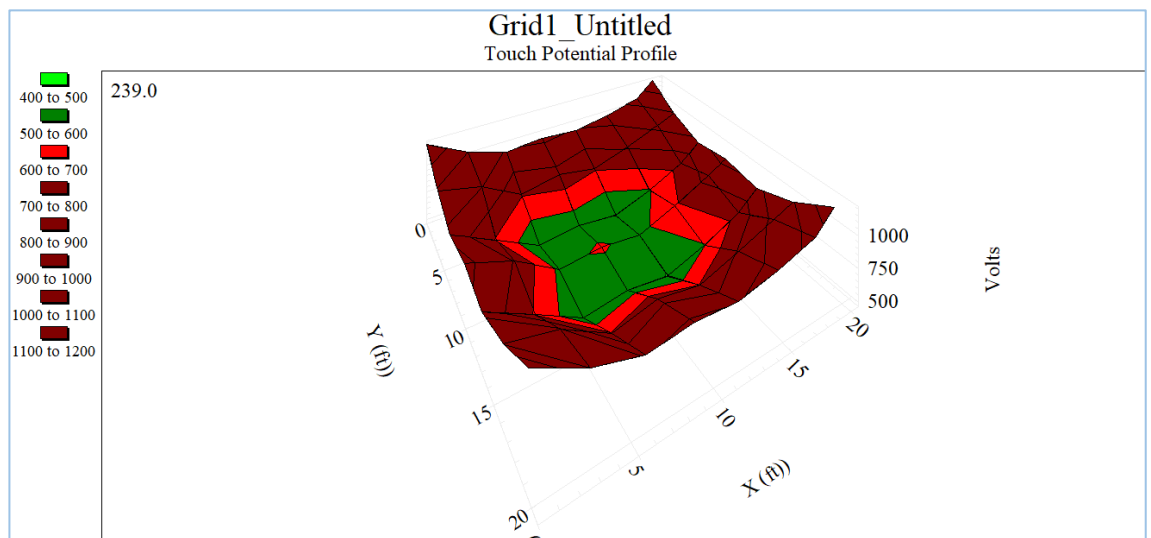
En las siguientes figuras se observa el modelamiento del terreno para las tensiones de paso, contacto.

Figura N° 41: Modelado del terreno de la tensión de Paso para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$



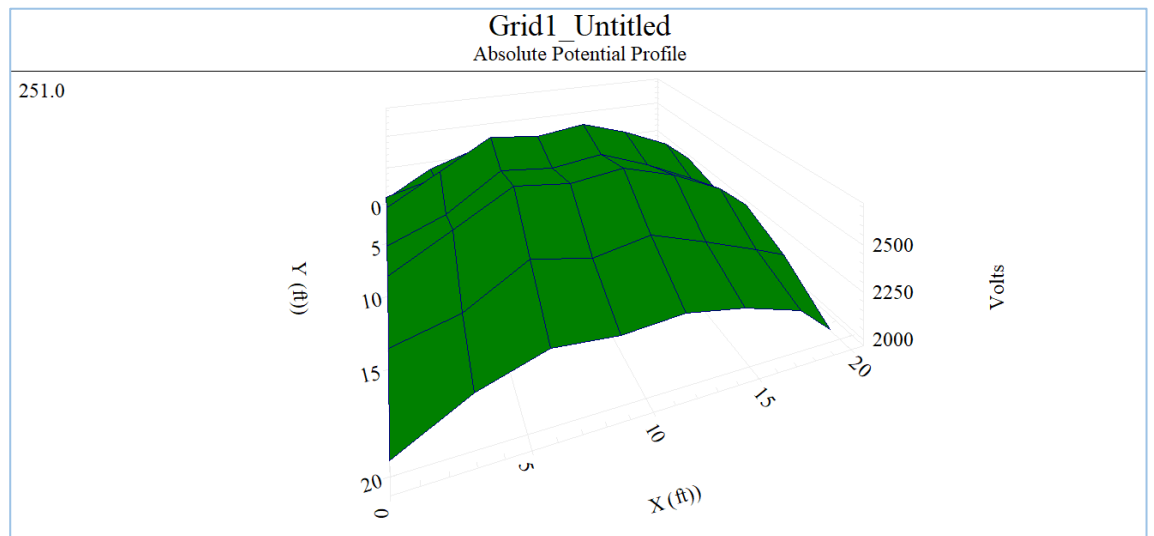
Elaboración propia

Figura N° 42: Modelado del terreno de la tensión de Contacto para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$



Elaboración propia

Figura N° 43: Tensiones Absolutas de la malla para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$



Elaboración propia

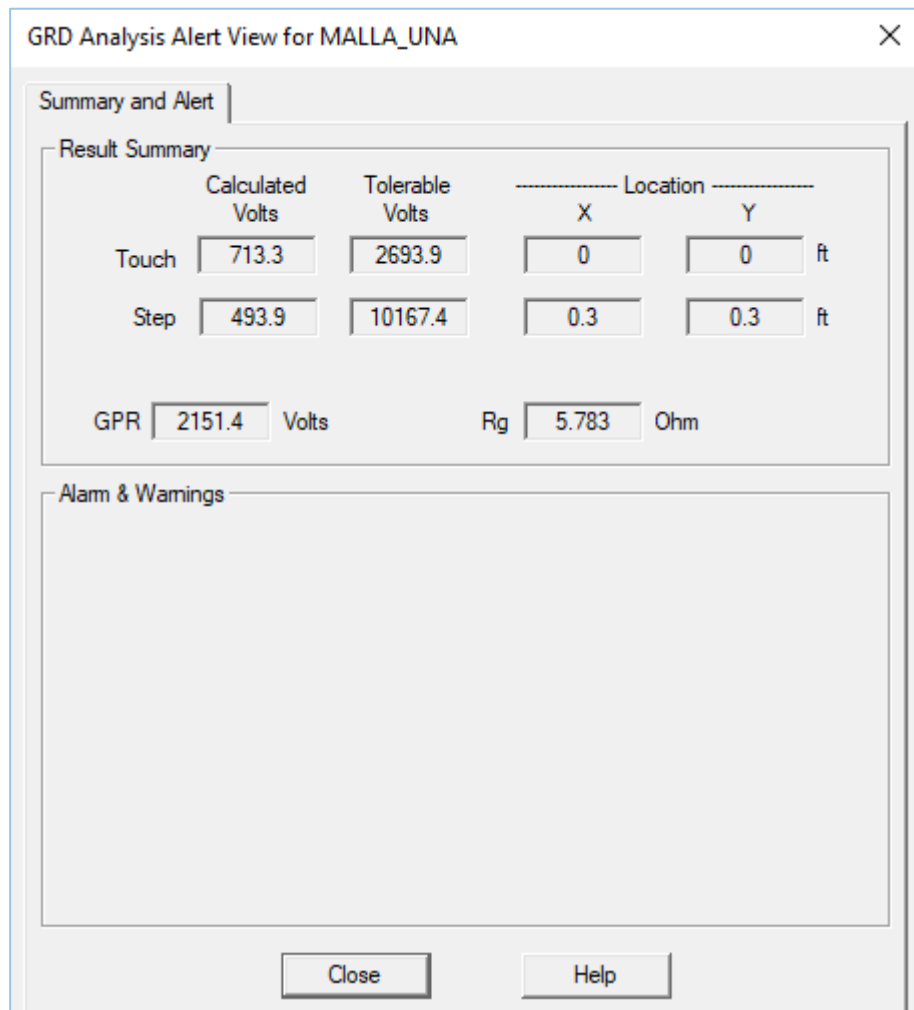
Ahora se calculará el diseño para $\rho_2 = 120 \Omega\text{-m}$, indicar que la primera capa del terreno se está modelando a una altura de capa o espesor de 2.54 m (8.33 pies), la capa superficial es de 0.2 m (0.66 pies)

Figura N° 44: Entrada de datos al editor de los suelos para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$

	Resistivity ohm-m	Material	Depth ft
Surface Material	10000	Gravel	0.66
Top Layer	120	Moist soil	8.33
Lower Layer	54.1	Dry soil	

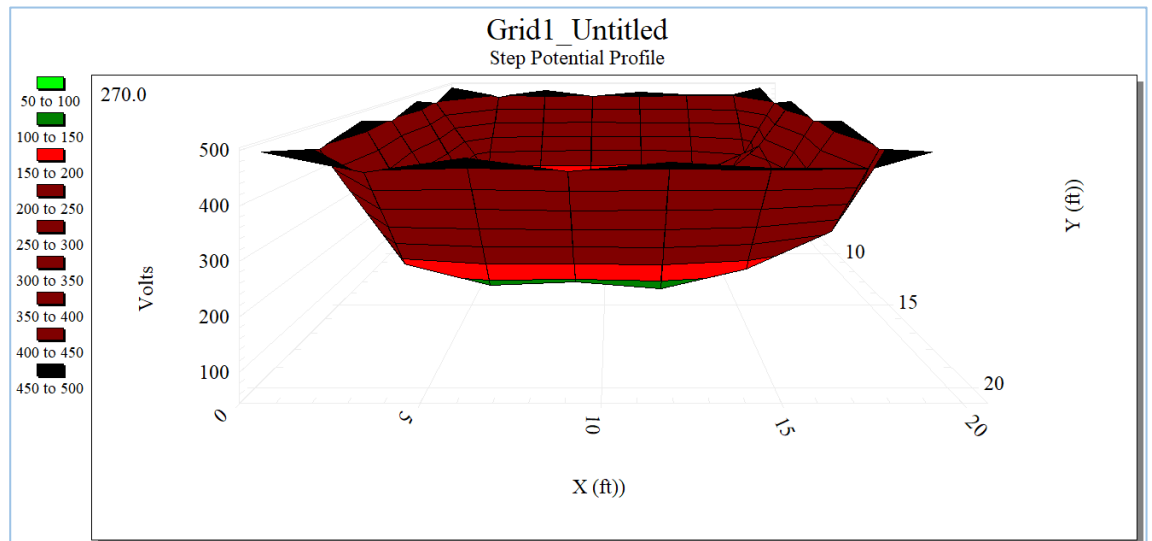
Elaboración propia

Figura N° 45: Resultado de las tensiones de paso y contacto para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$



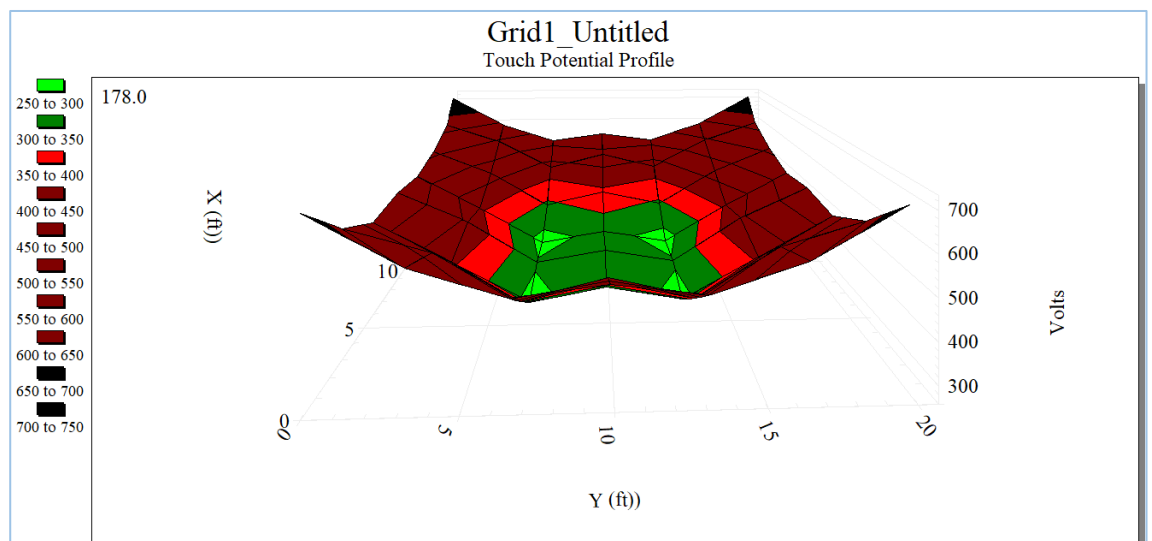
Elaboración propia

Figura N° 46: Grafico del modelado del terreno de la tensión de Paso para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$



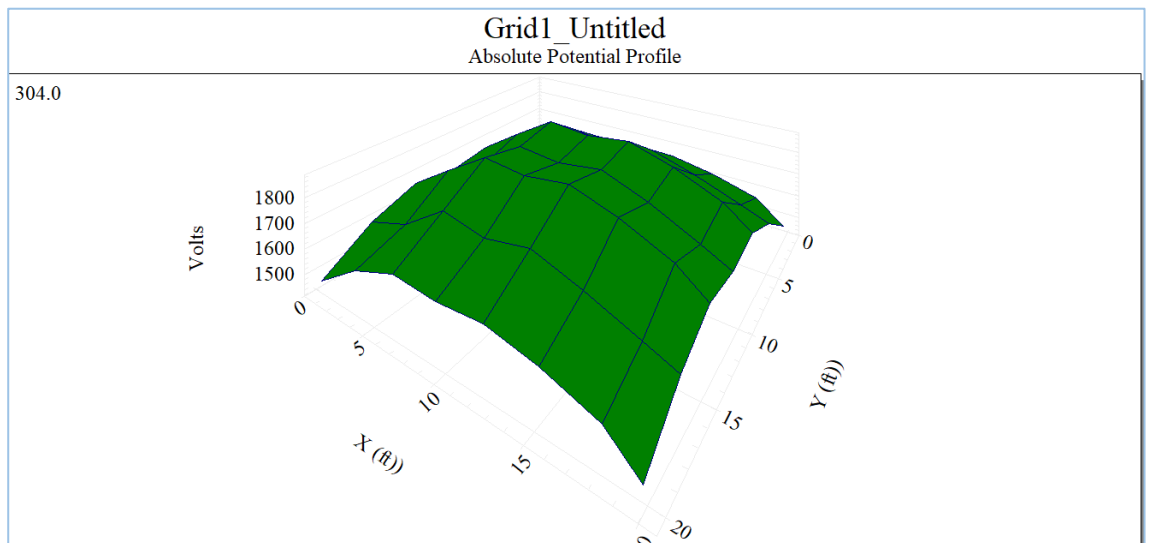
Elaboración propia

Figura N° 47: Grafico del modelado del terreno de la tensión de Contacto para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$



Elaboración propia

Figura N° 48: Tensiones Absolutas de la malla para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$



Elaboración propia

4.2.3 Resultados Programa Aspix

Desarrollo dentro del entorno del programa Aspix es un programa dedicado al modelamiento, diseño y cálculo de mallas de puesta a tierra, por las mismas razones, dentro de este programa se modelará también la resistividad de la capa superior con $\rho_1 = 209.23 \Omega\text{-m}$, $\rho_1 = 120 \Omega\text{-m}$.



Tabla N° 33: Datos de entrada del terreno y corrientes de falla para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$

Datos Generales	
Nombre del proyecto	Estadio_UNA_PUNO
Resistividad de la capa superior (Ohm_m)	209.23
Resistividad de la capa superior (Ohm_m)	54.1
Espesor de la capa superior (m)	2.54
Resistividad de la capa de gravilla (Ohm_m)	10000
Espesor de la capa de gravilla (m)	0.2
Duración de la falla (s)	0.6
Máxima corriente de falla a tierra (A)	368
Contribución remota de corriente (%)	100
Frecuencia del sistema (Hz)	60

Elaboración propia

Tabla N° 34: Datos de entrada para la disposición de conductores y varillas

Conductores						
Nombre	X1(m)	Y1(m)	X2(m)	Y2(m)	h(m)	R(m)
Co1_JECF	0	0	6	0	0.5	0.0032
Co2_JECF	0	2	6	2	0.5	0.0032
Co3_JECF	0	4	6	4	0.5	0.0032
Co4_JECF	0	6	6	6	0.5	0.0032
Co5_JECF	0	0	0	6	0.5	0.0032
Co6_JECF	2	0	2	6	0.5	0.0032
Co7_JECF	4	0	4	6	0.5	0.0032
Co8_JECF	6	0	6	6	0.5	0.0032

Varillas						
Nombre	X(m)	Y(m)	L(m)	h(m)	R(m)	
Va1_JECF	0	0	2.4	0.5	0.00794	
Va2_JECF	0	6	2.4	0.5	0.00794	
Va3_JECF	6	6	2.4	0.5	0.00794	
Va4_JECF	6	0	2.4	0.5	0.00794	
Va5_JECF	2	2	2.4	0.5	0.00794	
Va6_JECF	2	4	2.4	0.5	0.00794	
Va7_JECF	4	4	2.4	0.5	0.00794	
Va8_JECF	4	2	2.4	0.5	0.00794	

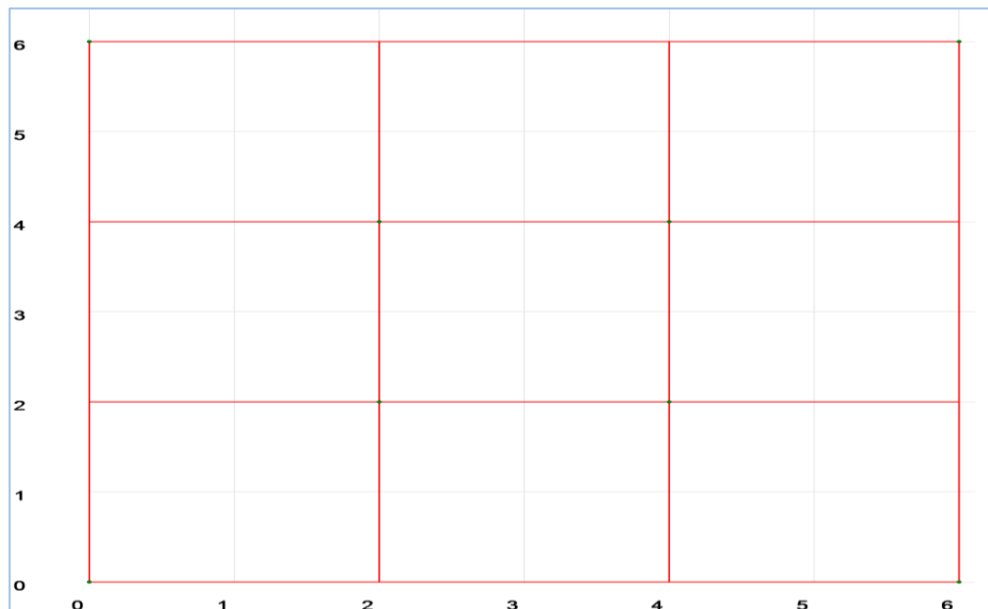
Elaboración propia

Tabla N° 35: Resultados para la para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$

RESULTADOS	
Resistencia de la malla (Ohm)	7.512
Elevación del potencial de tierra GPR (V)	2764.274
Corriente a través de la malla (A)	368.000
Factor de division de corriente Sf	1.000
Tensión de toque tolerable – persona de 70 kg (V)	2696.241
Tensión de toque tolerable – persona de 50 kg (V)	1992.127
Tensión de toque (V)	1099.994
Tensión de paso tolerable – persona de 70 kg (V)	10176.905
Tensión de paso tolerable – persona de 50 kg (V)	7519.242
Tensión de paso (V)	563.181
Longitud total del conductor (m)	96.000
Número total de varillas	8

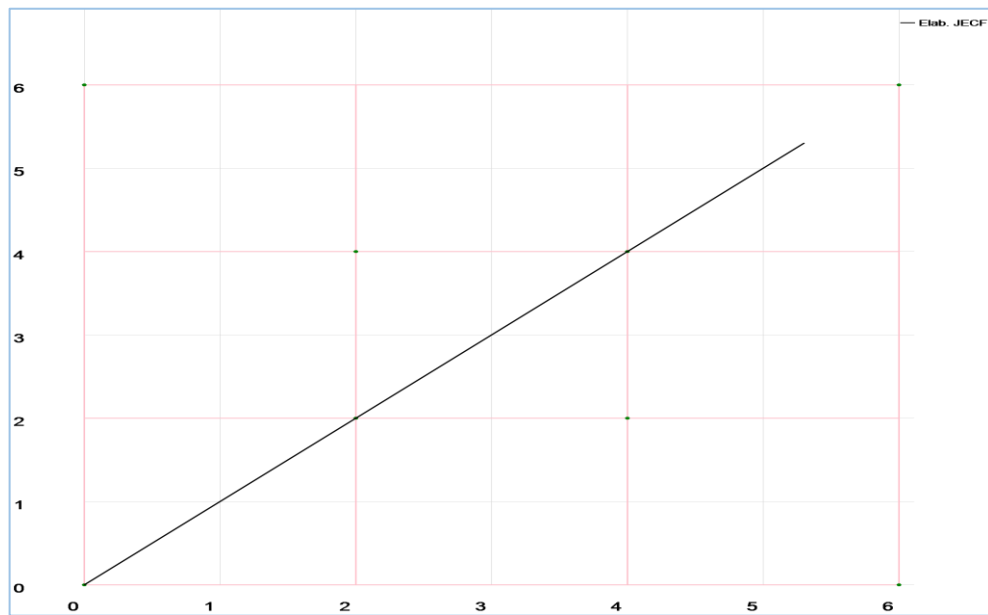
Elaboración propia

Figura N° 49: Disposición de la Malla Aspix para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$



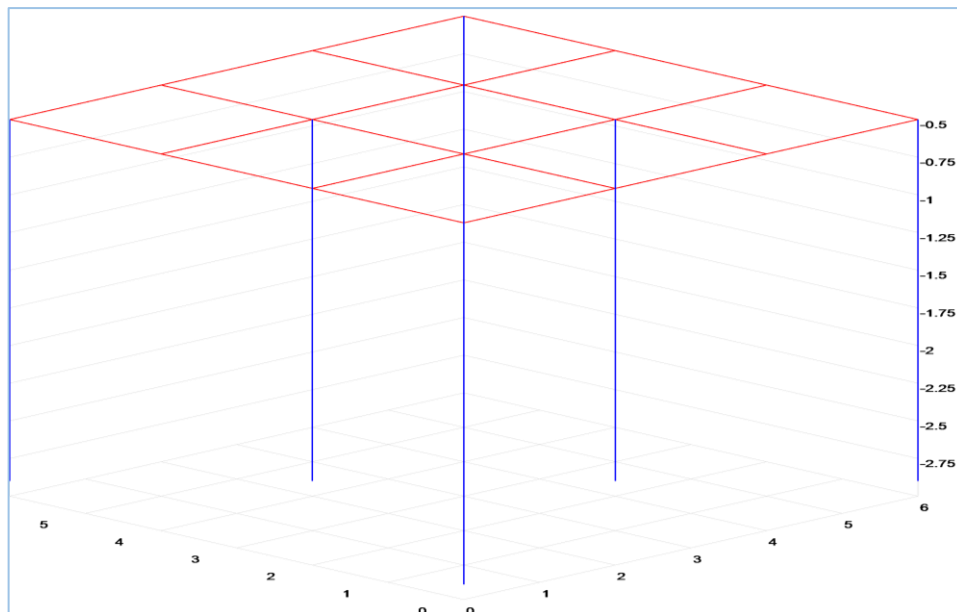
Elaboración propia

Figura N° 50: Planta de la Malla y los perfiles Aspix para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$



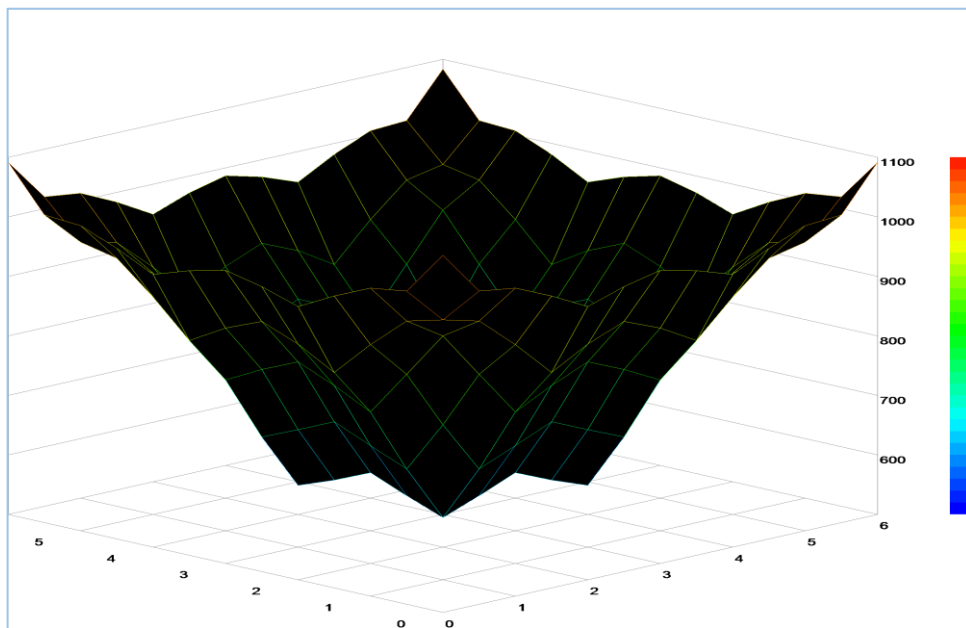
Elaboración propia

Figura N° 51: Malla 3D Aspix para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$



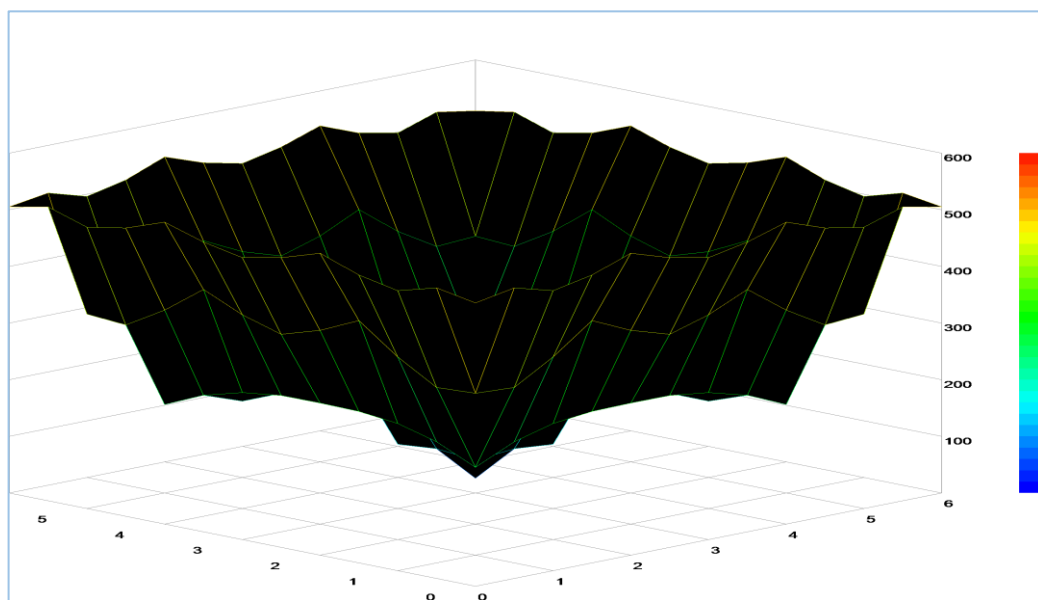
Elaboración propia

Figura N° 52: Grafico 3D de la Tensión de Toque (V) Aspix, para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$



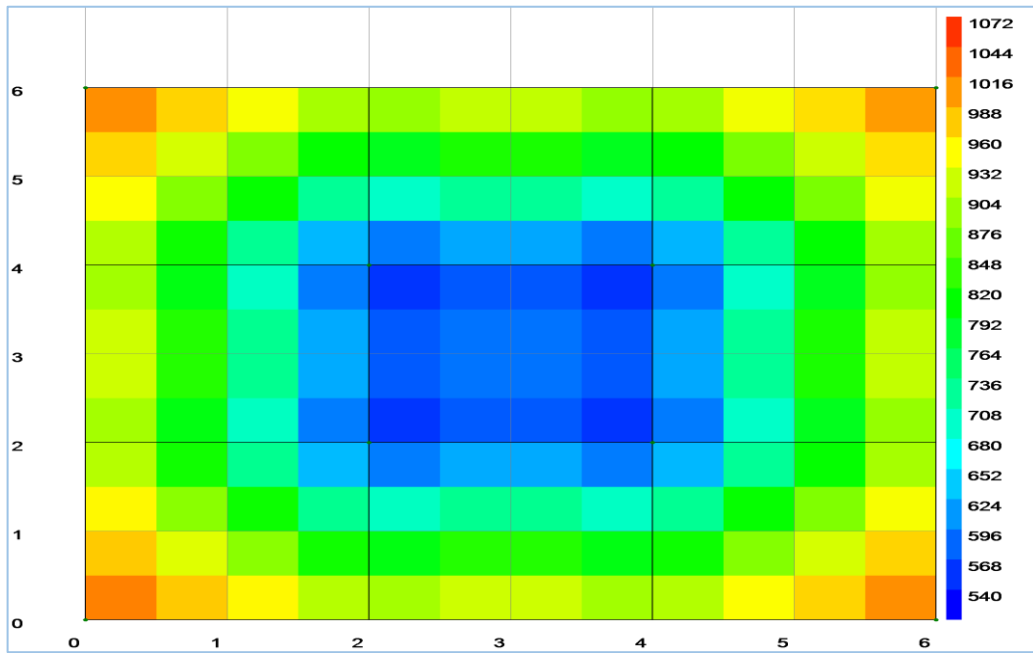
Elaboración propia

Figura N° 53: Grafico 3D de la Tensión de Paso (V) Aspix, para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$



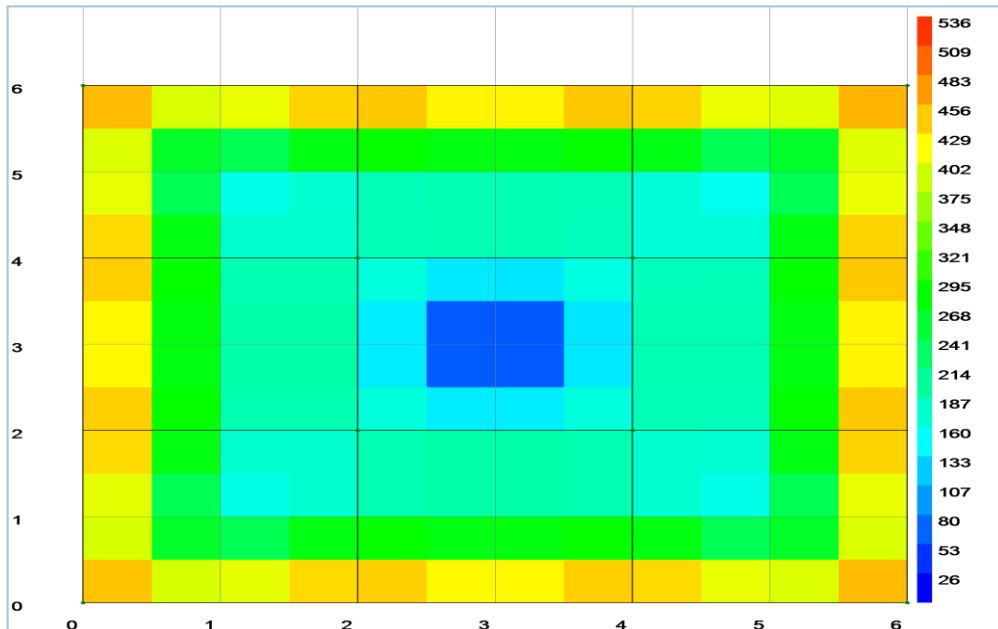
Elaboración propia

Figura N° 54: Grafico 2D de la Tensión de Toque (V) Aspix, para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$



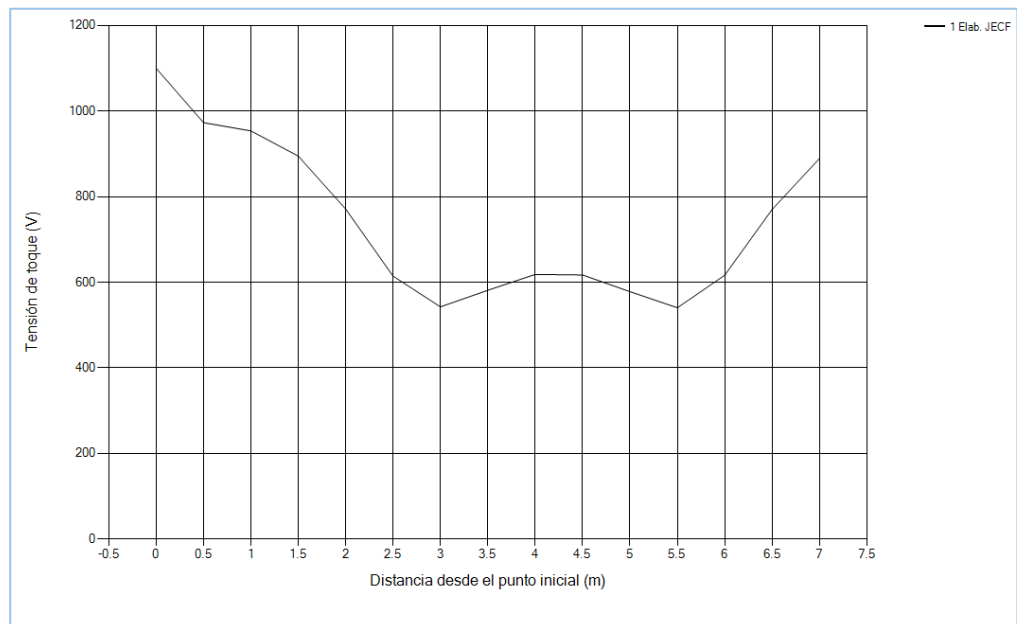
Elaboración propia

Figura N° 55: Grafico 3D de la Tensión de Paso (V) Aspix, para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$



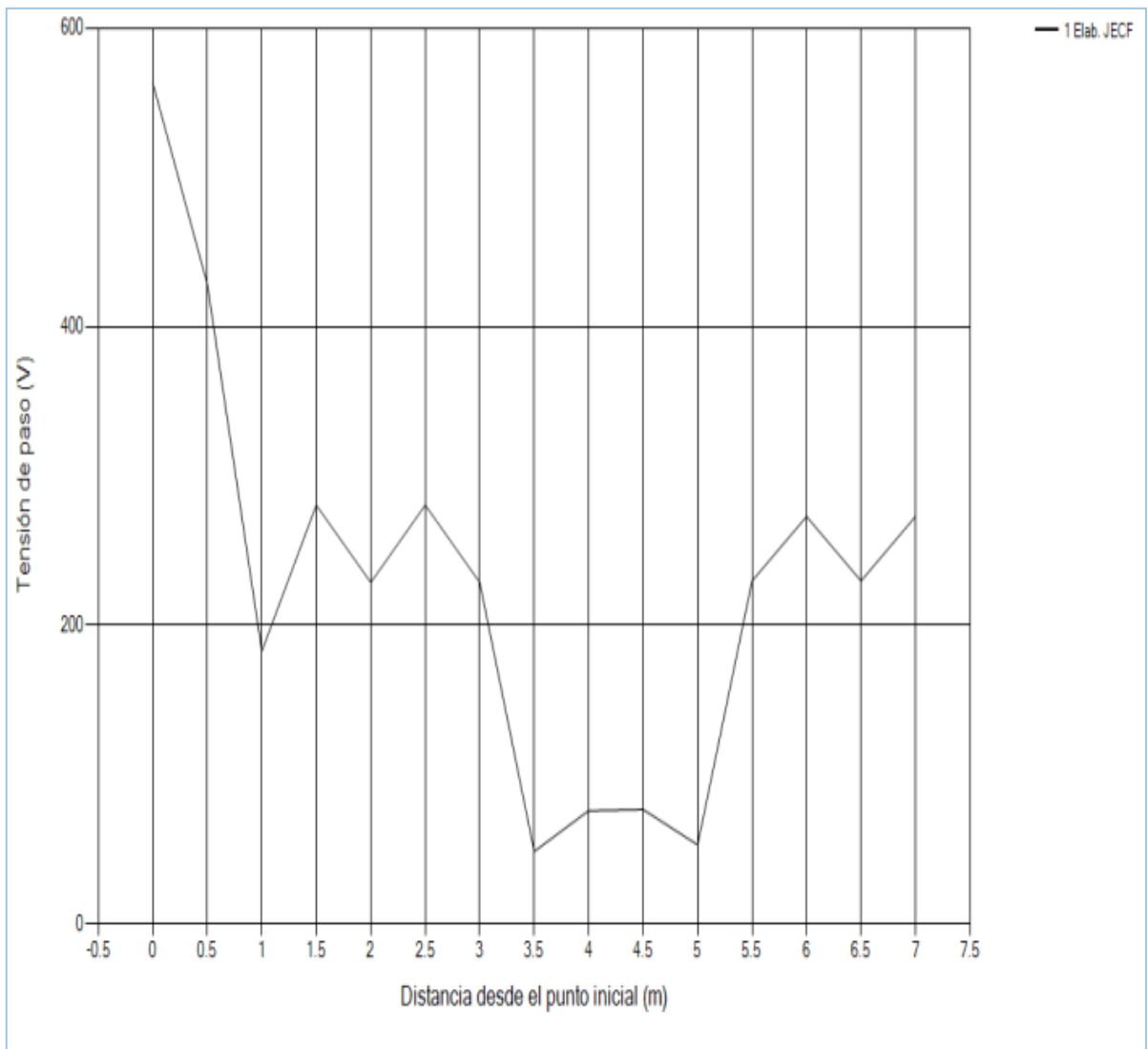
Elaboración propia

Figura N° 56: Perfil de Tensión de Toque (V) Aspix, para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$



Elaboración propia

Figura N° 57: Perfil de Tensión de Paso (V) Aspix, para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$



Elaboración propia

Se procederá a realizar el diseño y cálculo de la malla para $\rho_1 = 120 \Omega\text{-m}$

Figura N° 58: Datos de entrada del terreno y corrientes de falla para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$

Datos Generales	
Nombre del proyecto	Estadio_UNA_PUNO
Resistividad de la capa superior (Ohm_m)	120
Resistividad de la capa superior (Ohm_m)	54.1
Espesor de la capa superior (m)	2.54
Resistividad de la capa de gravilla (Ohm_m)	10000
Espesor de la capa de gravilla (m)	0.2
Duración de la falla (s)	0.6
Máxima corriente de falla a tierra (A)	368
Contribución remota de corriente (%)	100
Frecuencia del sistema (Hz)	60

Elaboración propia

Figura N° 59: Datos de entrada para la disposición de conductores y varillas

Conductores						
Nombre	X1(m)	Y1(m)	X2(m)	Y2(m)	h(m)	R(m)
Co1_JECF	0	0	6	0	0.5	0.0032
Co2_JECF	0	2	6	2	0.5	0.0032
Co3_JECF	0	4	6	4	0.5	0.0032
Co4_JECF	0	6	6	6	0.5	0.0032
Co5_JECF	0	0	0	6	0.5	0.0032
Co6_JECF	2	0	2	6	0.5	0.0032
Co7_JECF	4	0	4	6	0.5	0.0032
Co8_JECF	6	0	6	6	0.5	0.0032

Varillas						
Nombre	X(m)	Y(m)	L(m)	h(m)	R(m)	
Va1_JECF	0	0	2.4	0.5	0.00794	
Va2_JECF	0	6	2.4	0.5	0.00794	
Va3_JECF	6	6	2.4	0.5	0.00794	
Va4_JECF	6	0	2.4	0.5	0.00794	
Va5_JECF	2	2	2.4	0.5	0.00794	
Va6_JECF	2	4	2.4	0.5	0.00794	
Va7_JECF	4	4	2.4	0.5	0.00794	
Va8_JECF	4	2	2.4	0.5	0.00794	

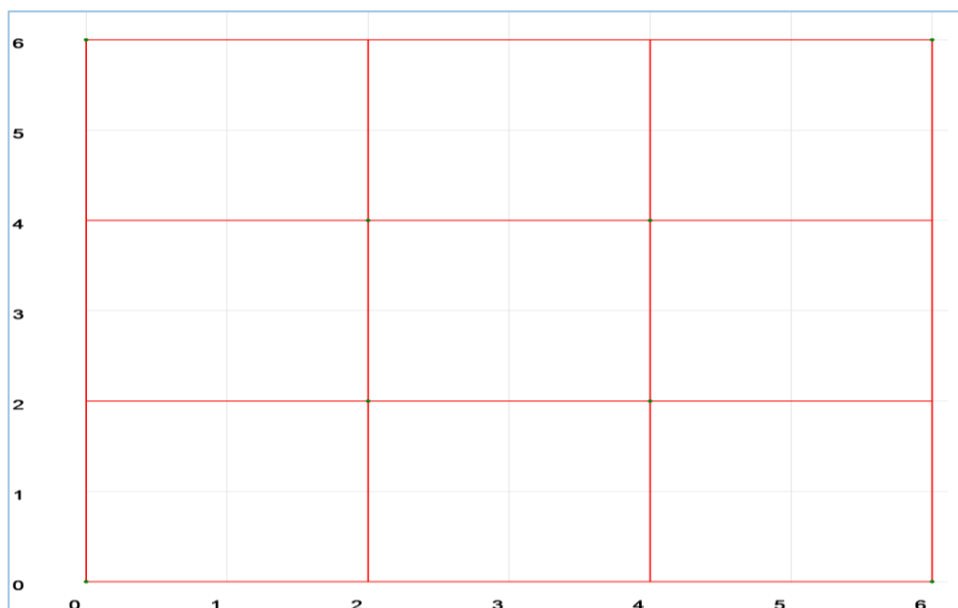
Elaboración propia

Figura N° 60: Resultados para la para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$

RESULTADOS	
Resistencia de la malla (Ohm)	5.194
Elevación del potencial de tierra GPR (V)	1911.463
Corriente a través de la malla (A)	368.000
Factor de división de corriente Sf	1.000
Tensión de toque tolerable – persona de 70 kg (V)	2691.258
Tensión de toque tolerable – persona de 50 kg (V)	1988.446
Tensión de toque (V)	667.553
Tensión de paso tolerable – persona de 70 kg (V)	10156.974
Tensión de paso tolerable – persona de 50 kg (V)	7504.516
Tensión de paso (V)	359.993
Longitud total del conductor (m)	96.000
Número total de varillas	8

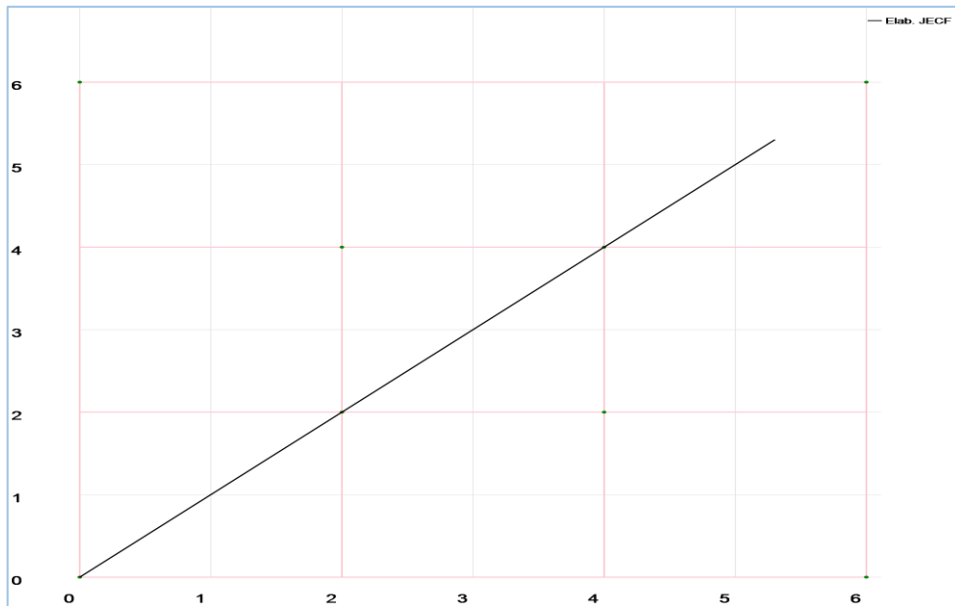
Elaboración propia

Figura N° 61: Disposición de la Malla Aspix para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$



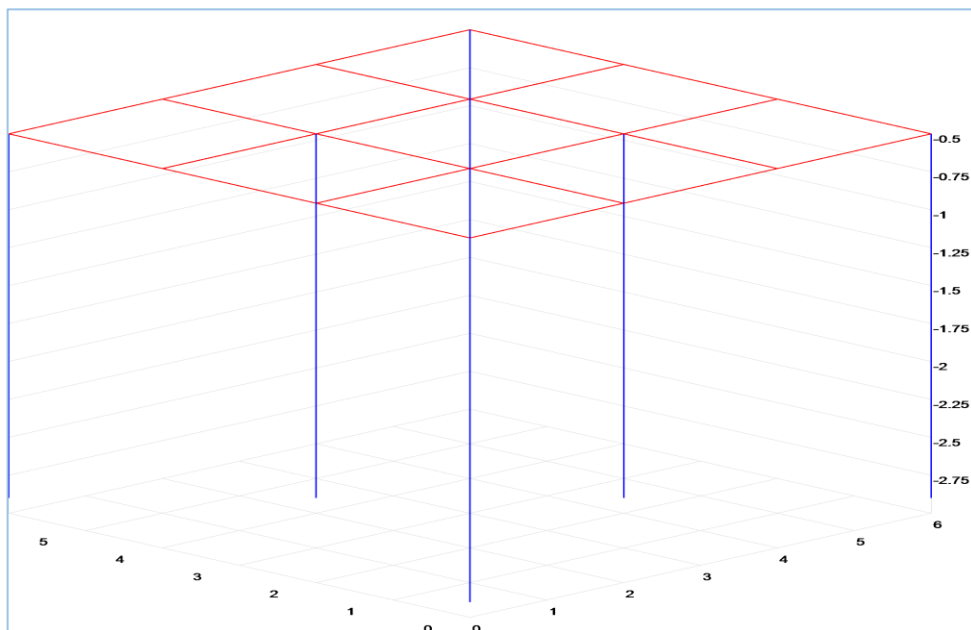
Elaboración propia

Figura N° 62: Planta de la Malla y los perfiles Aspix para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$



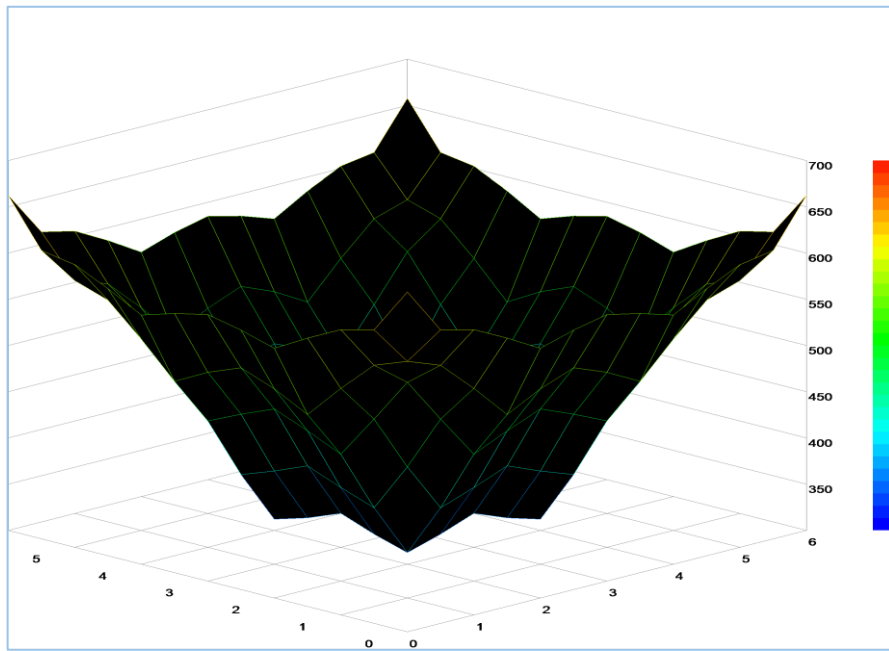
Elaboración propia

Figura N° 63: Malla 3D Aspix para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$



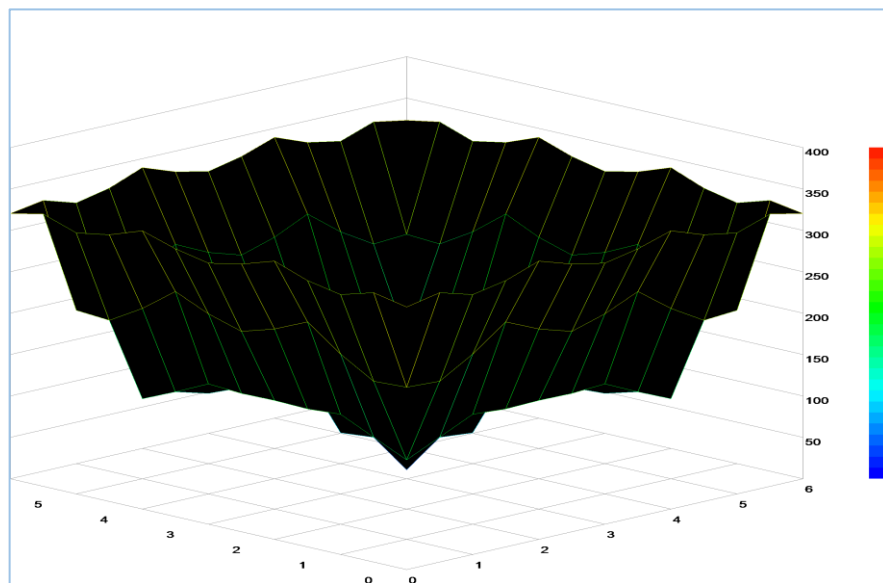
Elaboración propia

Figura N° 64: Grafico 3D de la Tensión de Toque (V) Aspix, para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$



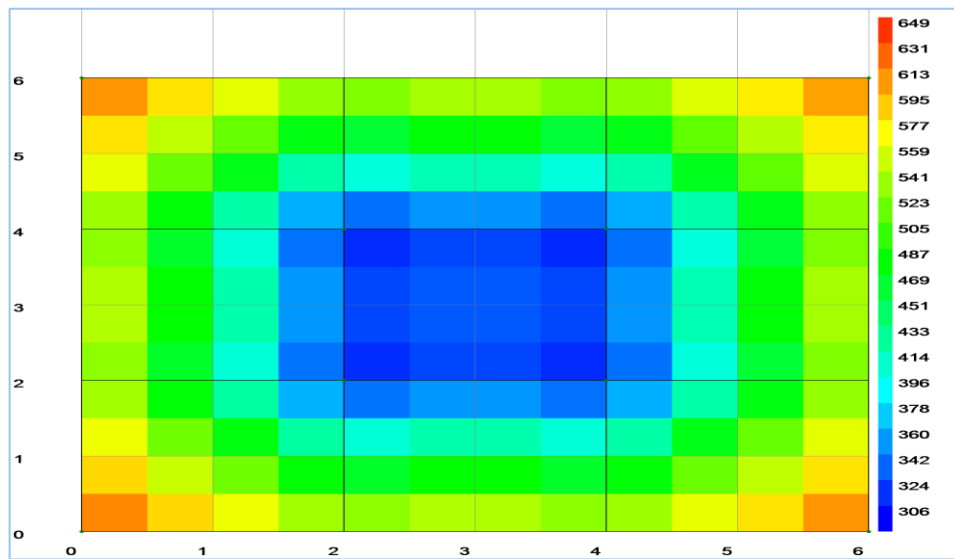
Elaboración propia

Figura N° 65: Grafico 3D de la Tensión de Paso (V) Aspix, para $\rho_1=209.23 \Omega\text{-m}$



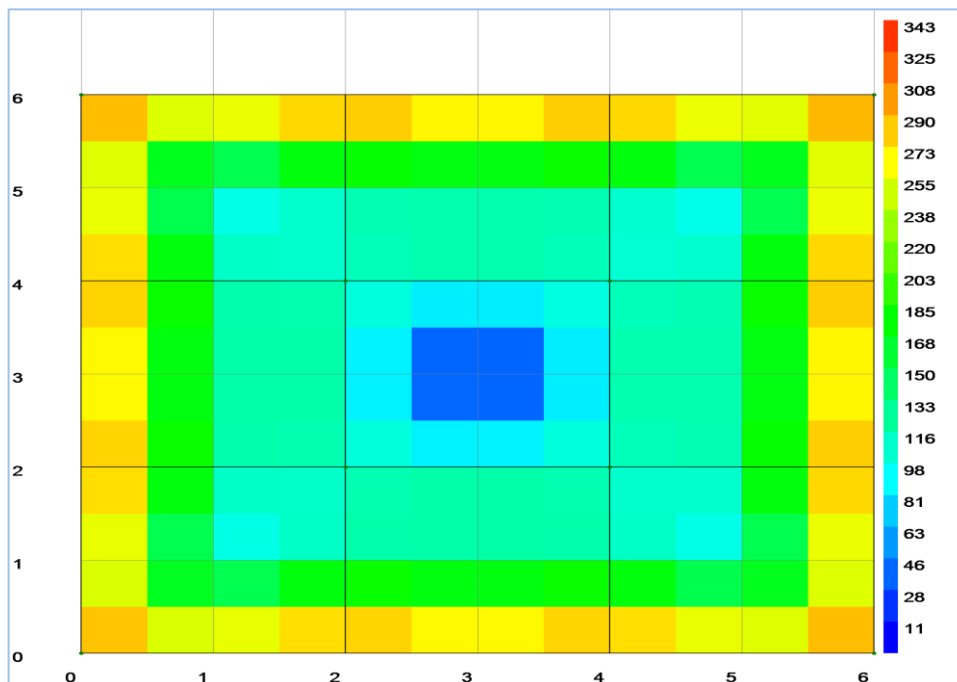
Elaboración propia

Figura N° 66: Grafico 2D de la Tensión de Toque (V) Aspix, para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$



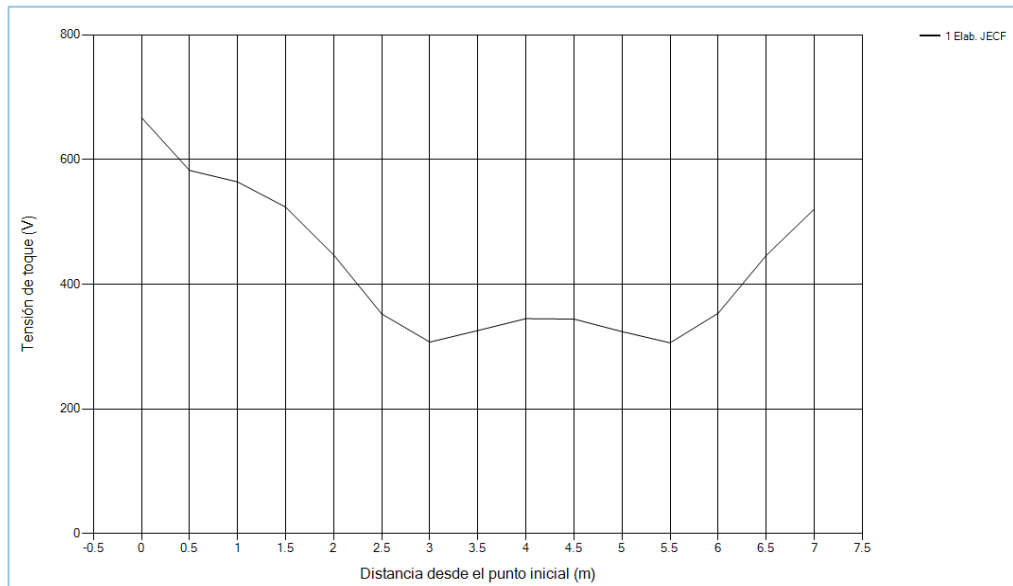
Elaboración propia

Figura N° 67: Grafico 2D de la Tensión de Paso (V) Aspix, para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$



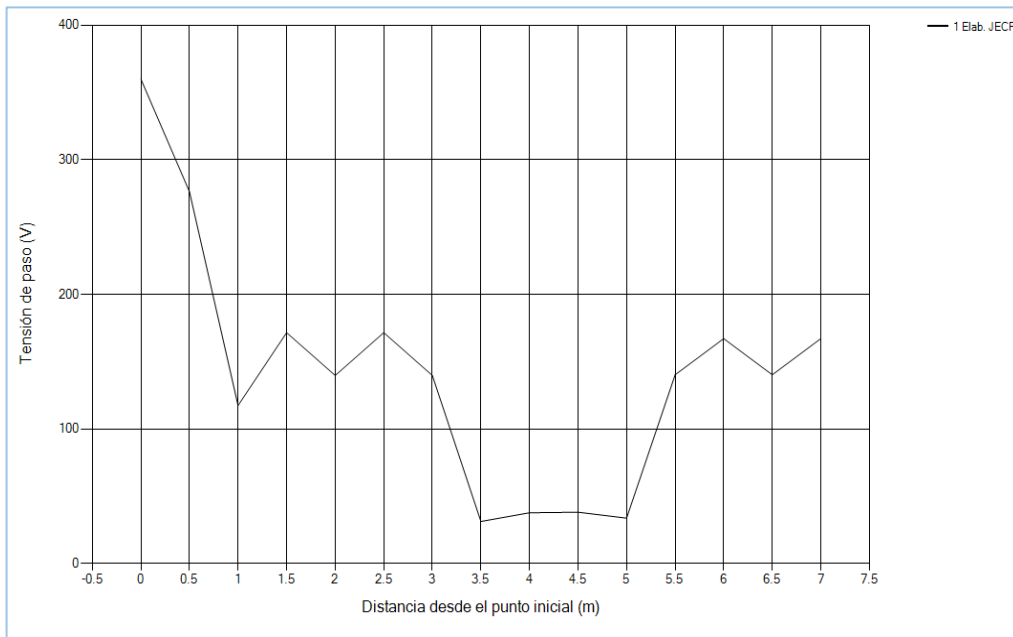
Elaboración propia

Figura N° 68: Perfil de Tensión de Toque (V) Aspix, para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$



Elaboración propia

Figura N° 69: Perfil de Tensión de Paso (V) Aspix, para $\rho_1=120 \Omega\text{-m}$



Elaboración propia

4.2.4 Cuadro comparativo de valores de EXCEL, ETAP, ASPIX

Se tienen como resultado la siguiente tabla

Tabla N° 36: Cuadro de resultados de los tres programas

CUADRO DE RESULTADOS DE LOS PROGRAMAS						
PROGRAMAS	TENSION PASO		TENSION TOQUE		GPR (V)	Rg (Ω)
	CALCULADO (V)	TOLERABLE (V)	CALCULADO (V)	TOLERABLE (V)		
EXCEL	465.01	10192.48	1519.03	2700.14	1867.43	5.07
ETAP	493.90	10167.40	713.30	2693.90	2151.40	5.78
ASPIX	359.99	10156.97	667.55	2691.26	1911.46	5.19

Elaboración propia

4.3 DISCUSIÓN

La presente tesis tiene como principal investigación el diseño de mallas de tierra para subestaciones de distribución mayores a iguales 0.5 MVA, que por su propia característica y el riesgo asociado frente a las tensiones de paso y contacto por ser la mayoría de estas instalaciones de tipo pedestal o a nivel de piso, se deben de diseñar y modelar a fin de garantizar la seguridad de las instalaciones, como se sabe todo diseño de mallas parte de un estudio de la resistividad del terreno, que como bien se diría es el ingrediente primordial para un buen diseño, conocer las características del terreno y a partir de ahí realizar su configuración, disposición y tratamiento del sistema de puesta a tierra, otro punto es la toma de datos y el uso correcto de los aparatos de medición y el método elegido.

Otra consideración es el modelo de suelo a utilizar que pueden ser suelo homogéneo, biestratificado a dos capas o multicapas, todas estas consideraciones son propias para un buen dimensionamiento, por otro lado, el uso de softwares dedicados al cálculo y el modelamiento son también importantes, en este caso se realizaron el cálculo con los programas ETAP, ASPIX y EXCEL, este último en concordancia con las ecuaciones descritas en la norma IEEE-80.

De los cálculos obtenidos con cada uno de los programas se pueden observar que tienen ligeras variaciones en cuanto a resultados, todos estos tienen que estar



programados de acuerdo a la normativa IEEE-80, con esto podemos concluir que, si bien los softwares dedicados tienen mayor precisión en los cálculos, también tienen la desventaja de ser costosos para su adquisición, el Excel como herramienta de solución nos permite poder realizar estos cálculos simples y rápidos, y con una programación en VBA (Visual Basic Application) nos facilitaría de forma óptima el proceso de entrada de datos y la salida de los resultados.



V. CONCLUSIONES

- Para el modelamiento, diseño y cálculos de la malla de puesta a tierra para la subestación del estadio de la UNA-PUNO, en los tres programas se realizaron bajo el modelo a dos capas o biestratificado.
- Uno de los aspectos más importantes para el diseño, cálculo, así como el modelamiento propio del terreno, son los datos tomados en campo, los cuales tienen que garantizar la información obtenida, para ello la toma de muestra de varios puntos para la presente tesis garantizan el diseño del proyecto.
- Dentro del diseño se cumplen con las tensiones de paso y contacto admisibles, garantizando la seguridad del personal trabajador, así como de personal ajeno a las instalaciones, en el cálculo de los tres programas se cumplen con los requisitos solicitados, la configuración del sistema de la malla de puesta a tierra es de forma cuadrada con elementos como conductores cuya disposición es horizontal, así como de las varillas que tienen una disposición vertical.
- Del análisis comparativo de resultados se muestran a la tabla N°41, ahí podemos observar los valores calculados de cada una de las tensiones de paso y contacto, de los tres programas utilizados, así mismo se debe indicar que estos fueron realizados de acuerdo a la norma IEEE-80, para ello se realizaron algunas consideraciones excepcionales a fin de garantizar el diseño de la malla de puesta a tierra de la subestación.
- La última edición de la norma es la IEEE-80, 2013, no presenta muchos cambios en cuanto a la secuencia, formulas y ecuaciones matemáticas utilizadas, como sabemos son ediciones con pequeñas variaciones .



VI. RECOMENDACIONES

- Extender el presente estudio de la presente tesis para el cálculo y diseño de mallas a tierra en subestaciones menores a 1MVA en la ciudad universitaria
- Modelar las curvas y gráficos en entornos como el Matlab
- Realizar una nueva medición en campo, para ver los valores y la diferencia entre los datos actuales
- Para futuras tesis de modelamiento de mallas de puesta a tierra, se recomienda tomar valores con espaciamientos mayores a los descritos en la presente tesis, a fin de ver el comportamiento del terreno
- Recomienda realizar un análisis comparativo con otros programas distintos a los trabajados en la presente tesis.
- La automatización de hojas de cálculo para ingresar los datos de campo a fin de minimizar tiempos de cálculo en el Excel.
- Estudio comparativo del suelo uniforme y con suelo a dos capas, para ver el comportamiento y modelamiento de la malla de puesta a tierra.
- Estudio técnico y económico de la malla de puesta a tierra considerando una mejor disposición de los elementos que lo conforman.



VII. REFERENCIAS

- Castaño, J. S. (2010). *Sistemas de puesta a tierra: Diseñado con IEEE-80 y Evaluado con MEF*. Colombia: Blanecolor Ltda.
- F., P. O. (1997). *Manual para el proyecto y analisis de sistemas de puesta a tierra*.
- IBERDROLA. (2013). *Diseño de puesta a tierra en centros de transformacion en edificios de otros usos, de tension nominal menores a 30 kV*. Madrid.
- KAREN LORENA ORREGO, L. M. (2007). *Analisis de la metodologia COX BOX para medir la resistividad del terreno*.
- López García, M. (2018). *Instalaciones Eléctricas de Media Tension*. Lima.
- MARQUEZ, R. G. (1999). *La puesta a tierra de instalaciones electricas* . Barcelona : Alfaomega, Marcombo .
- MEGABRAS. (2015). *Teluometro Digital*.
- SOCIETY, I. P. (2013). *Guia IEEE para la seguridad en el aterrizamiento de subestaciones en CA*. New York.

ANEXOS

A. Anexos Fotográficos

FOTO N°1				FOTO N°2			
FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C	FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	-	LUGAR	UNA-PUNO	PUNTO	-	LUGAR	UNA-PUNO
FOTO N°3				FOTO N°4			
FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C	FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO	PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

Fig. A. 1



FOTO N°5			
FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO



FOTO N°6			
FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO



FOTO N°7			
FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO



FOTO N°8			
FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

Fig. A. 2



FOTO N°9			
FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°10			
FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO



FOTO N°11			
FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°12			
FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

Fig. A. 3



FOTO N°13			
FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°14			
FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO



FOTO N°15			
FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°16			
FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

Fig. A. 4.





FOTO N°17

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°18

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO



FOTO N°19

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°20

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

Fig. A. 5.



FOTO N°21

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°22

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO



FOTO N°23

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°24

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

Fig. A. 6.



FOTO N°25

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°26

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

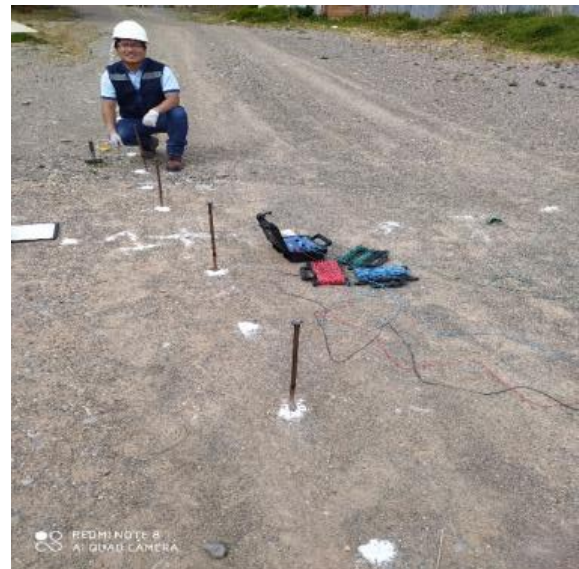


FOTO N°27

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°28

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

Fig. A. 7.



FOTO N°29

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	-	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°30

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	-	LUGAR	UNA-PUNO



FOTO N°31

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°32

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

Fig. A. 8.



FOTO N°33

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	-	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°34

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	-	LUGAR	UNA-PUNO



FOTO N°35

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°36

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

Fig. A. 9.



FOTO N°37

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	-	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°38

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	-	LUGAR	UNA-PUNO



FOTO N°39

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°40

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

Fig. A. 10.



FOTO N°41

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°42

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO



FOTO N°43

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°44

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

Fig. A. 11.



FOTO N°45			
FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°46			
FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO



FOTO N°47			
FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	1A	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°48			
FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	2B	LUGAR	UNA-PUNO

Fig. A. 12.

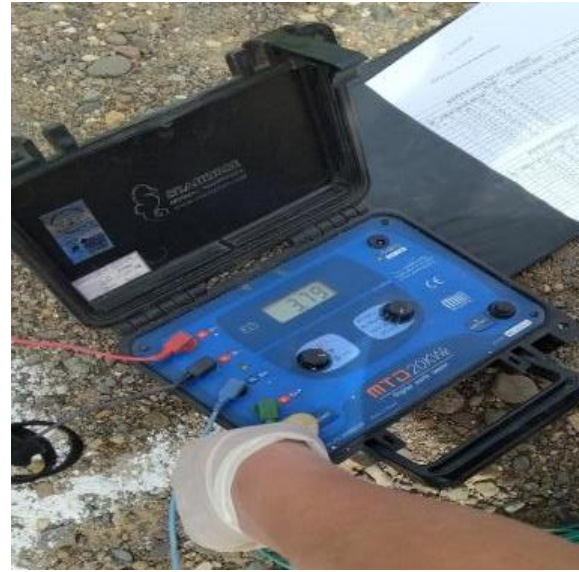


FOTO N°49

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	2B	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°50

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	2B	LUGAR	UNA-PUNO



FOTO N°51

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	2B	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°52

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	2B	LUGAR	UNA-PUNO

Fig. A. 13.



FOTO N°53

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	2B	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°54

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	2B	LUGAR	UNA-PUNO



FOTO N°55

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	2B	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°56

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	3C	LUGAR	UNA-PUNO

Fig. A. 14.



FOTO N°57

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	3C	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°58

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	4D	LUGAR	UNA-PUNO



FOTO N°59

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	4D	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°60

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	4D	LUGAR	UNA-PUNO

Fig. A. 15.



FOTO N°61

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	4D	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°62

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	4D	LUGAR	UNA-PUNO



FOTO N°63

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	4D	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°64

FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	4D	LUGAR	UNA-PUNO

Fig. A. 16.



FOTO N°65			
FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	4D	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°66			
FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	4D	LUGAR	UNA-PUNO



FOTO N°67			
FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	4D	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°68			
FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	4D	LUGAR	UNA-PUNO

Fig. A. 17.



FOTO N°69			
FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	4D	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°70			
FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	ESTADIO	LUGAR	UNA-PUNO



FOTO N°71			
FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	ESTADIO	LUGAR	UNA-PUNO

FOTO N°72			
FECHA	31-05-2020	TEMP.	12°C
PUNTO	ESTADIO	LUGAR	UNA-PUNO

Fig. A. 18.

B. Anexos: De Protocolos De Medición De Resistividad Del

Terreno

B. PROTOCOLOS DE MEDICION DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO

J.E.C.F.	PROYECTO DE TESIS	TE-MRT
	"DISEÑO DE MALLA DE PUESTA A TIERRA MEDIANTE LA NORMA IEEE-80, UTILIZANDO ETAP, ASPIX Y EXCEL, PARA LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DEL ESTADIO DE LA UNA-PUNO"	N° PROTOCOLO 01-2020

MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD DE TERRENO

PROYECTO : TESIS
CLIENTE : JECF
DATOS DEL SITIO DE MEDICIÓN
NOMBRE : ESTADIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
DIRECCIÓN : JR. AV. SESQUICENTENARIO N° 1150
CIUDAD : PUNO

DATOS COMPLEMENTARIOS
 RESPONSABLE DEL EQUIPO Y LAS MEDICIONES : JONATHAN ESTEBAN CAMA FARROÑAY

EQUIPO UTILIZADO

MARCA	MODELO	F. CALIBRACIÓN	F. MEDICIÓN	HORA	PERFIL
MEGABRASS	MTD 20Kwe	10/07/2019	31/05/2020	09:25h	1


PERFIL N°1 UTM	
X	391287
Y	8250055

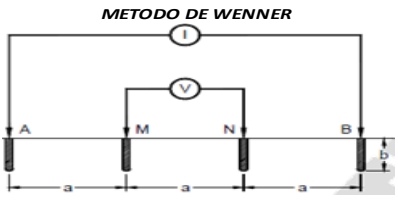
PLANO	MEDICION	DISTANCIA "a" (m)	ESCALA (Ω)	Ra (Ω)	ρa (Ω-m)
N-S	1	1.0	20	20.70	130.06
	2	2.0	20	13.90	174.67
	3	3.0	20	9.40	177.19
	4	4.0	20	6.23	156.58
	5	5.0	20	4.19	131.63
	6	7.0	20	1.28	56.30

PLANO	MEDICION	DISTANCIA "a" (m)	ESCALA (Ω)	Ra (Ω)	ρa (Ω-m)
E-O	1	1.0	20	17.31	108.76
	2	2.0	20	9.51	119.51
	3	3.0	20	4.22	79.55
	4	4.0	20	3.32	83.44
	5	5.0	20	2.39	75.08
	6	7.0	20	0.85	37.38

VALORES PROMEDIOS A DISTANCIAS EQUIVALENTES

MEDICION	DISTANCIA "a" (m)	ESCALA (Ω)	ρa (N-S) (Ω-m)	ρa (E-O) (Ω-m)	ρa (Prom.) (Ω-m)
1	1.0	20	130.06	108.76	119.41
2	2.0	20	174.67	119.51	147.09
3	3.0	20	177.19	79.55	128.37
4	4.0	20	156.58	83.44	120.01
5	5.0	20	131.63	75.08	103.36
6	7.0	20	56.30	37.38	46.84





METODO DE WENNER

ANOTACIONES

- 1.- Metodo utilizado en la medición, Wenner de 4 puntas
- 2.- la profundidad de enterramiento de los electrodos de prueba fueron de **b=0.15m**, razon por la cual para el calculo de la resistividad del terreno se utilizo la formula reducida $\rho_a = 2\pi a R_a$
- 3.- los promedios se realizan sobre la mismas distancias de separacion de los electrodos, en las direcciones **N-S, E-O,**
- 4.- la toma de muestras de la resistividad del terreno se realizaron en epoca seca (sin lluvia) por lo cual el terreno se encontraba con poca humedad

REALIZADO POR : Bach. Ing. JONATHAN E. CAMA FARROÑAY

SUPERVISADO POR :

APROBADO POR :

Fig. B. 1.

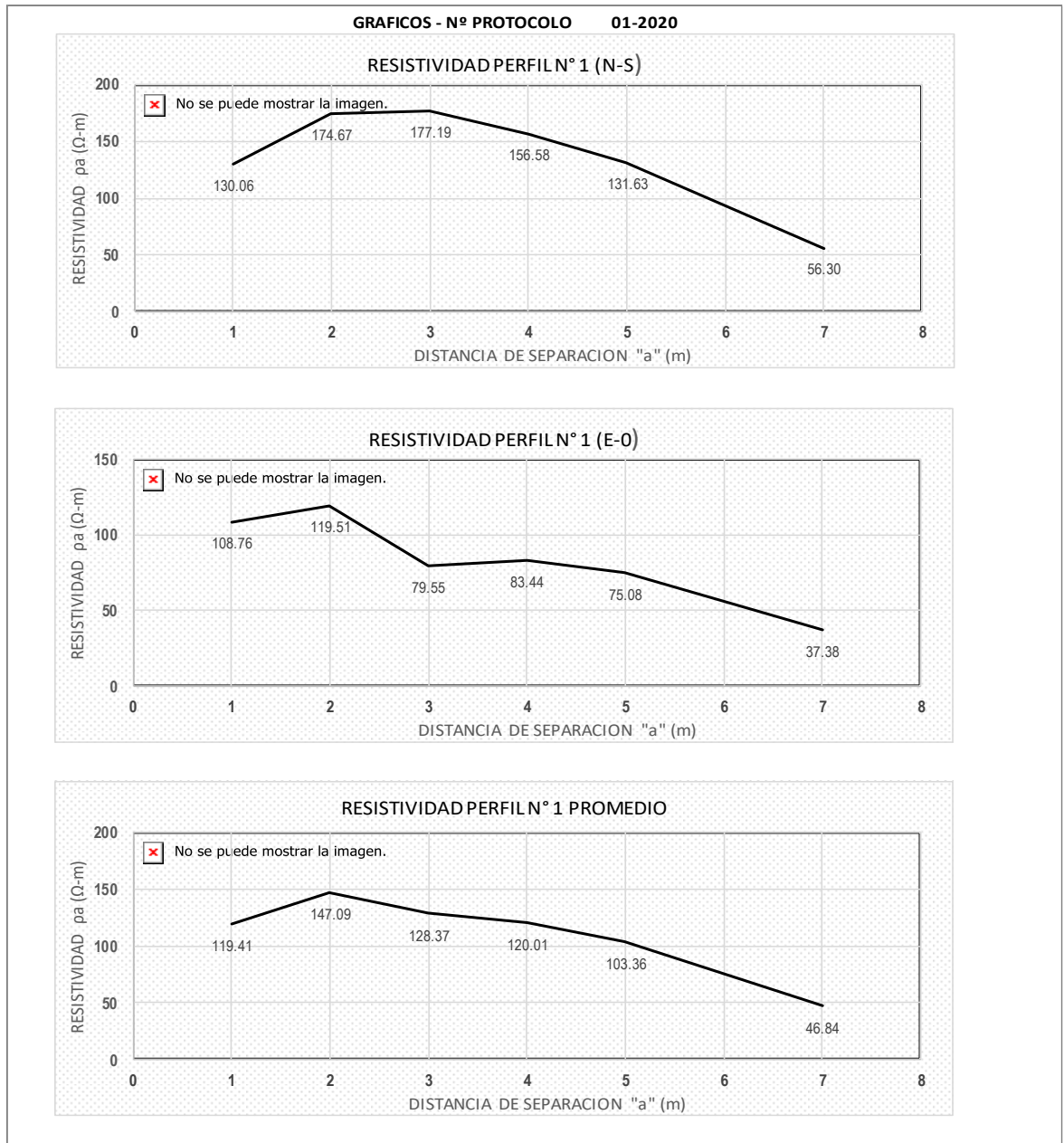


Fig. B. 2.

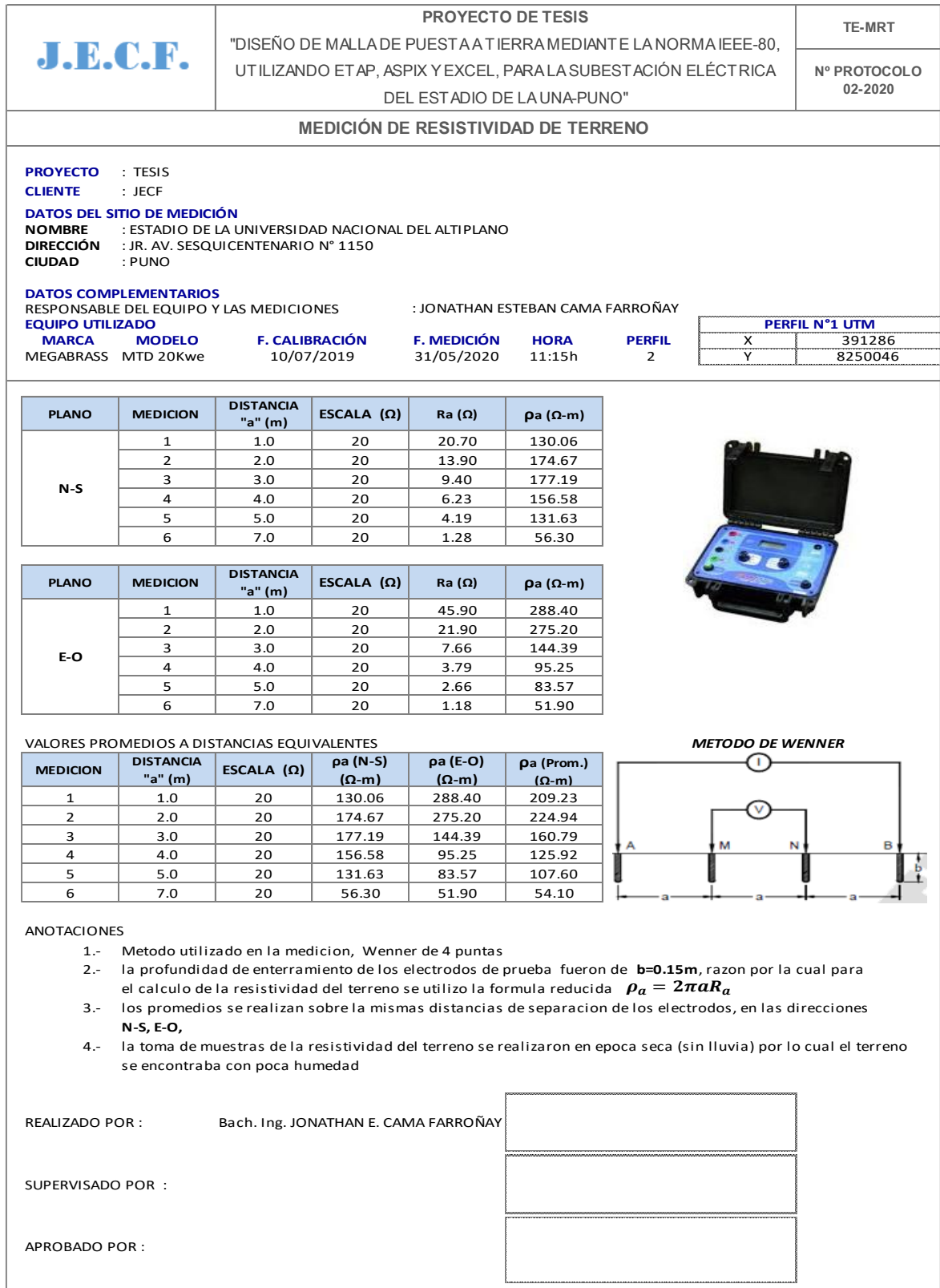


Fig. B. 3.

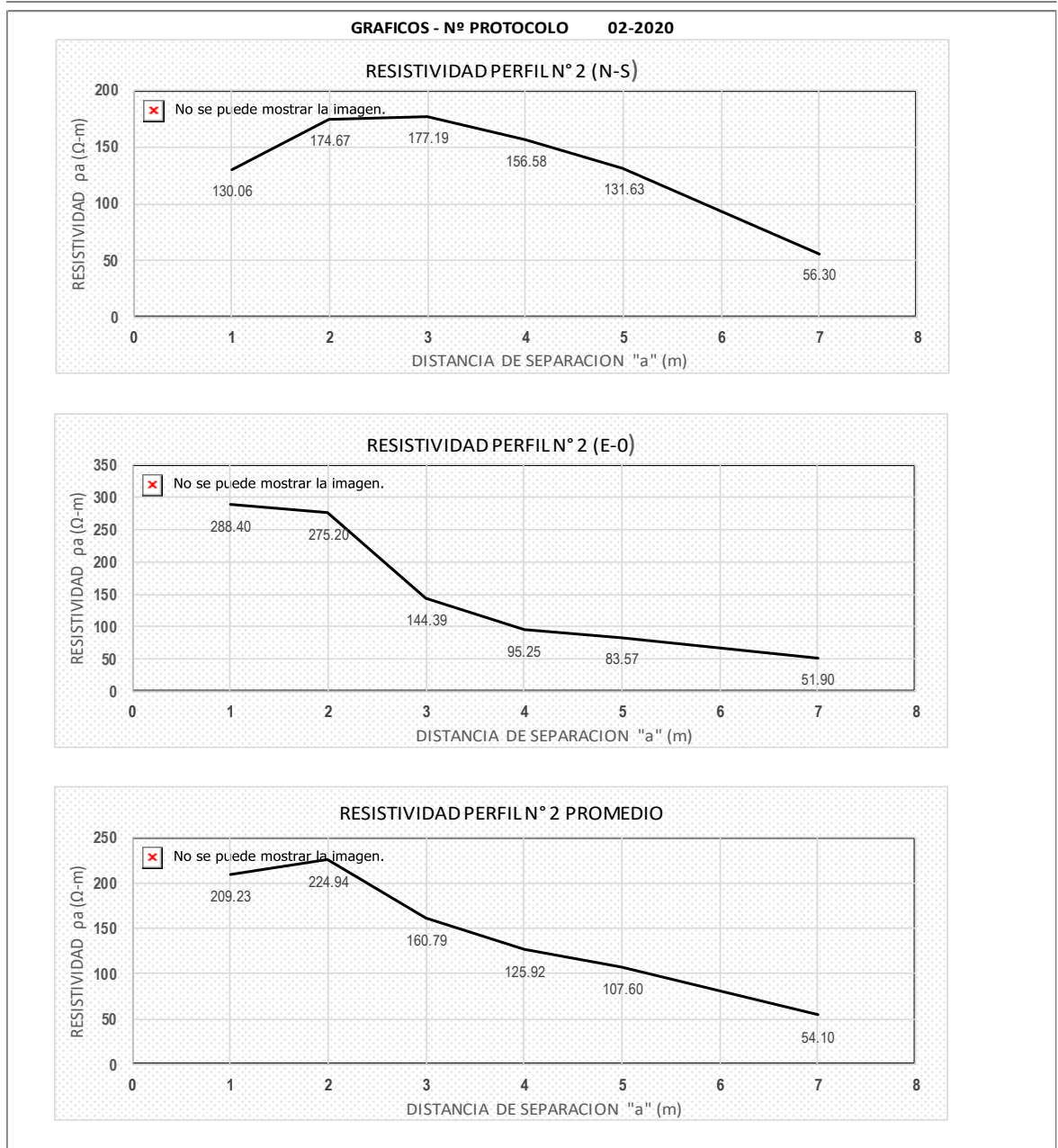


Fig. B. 4.

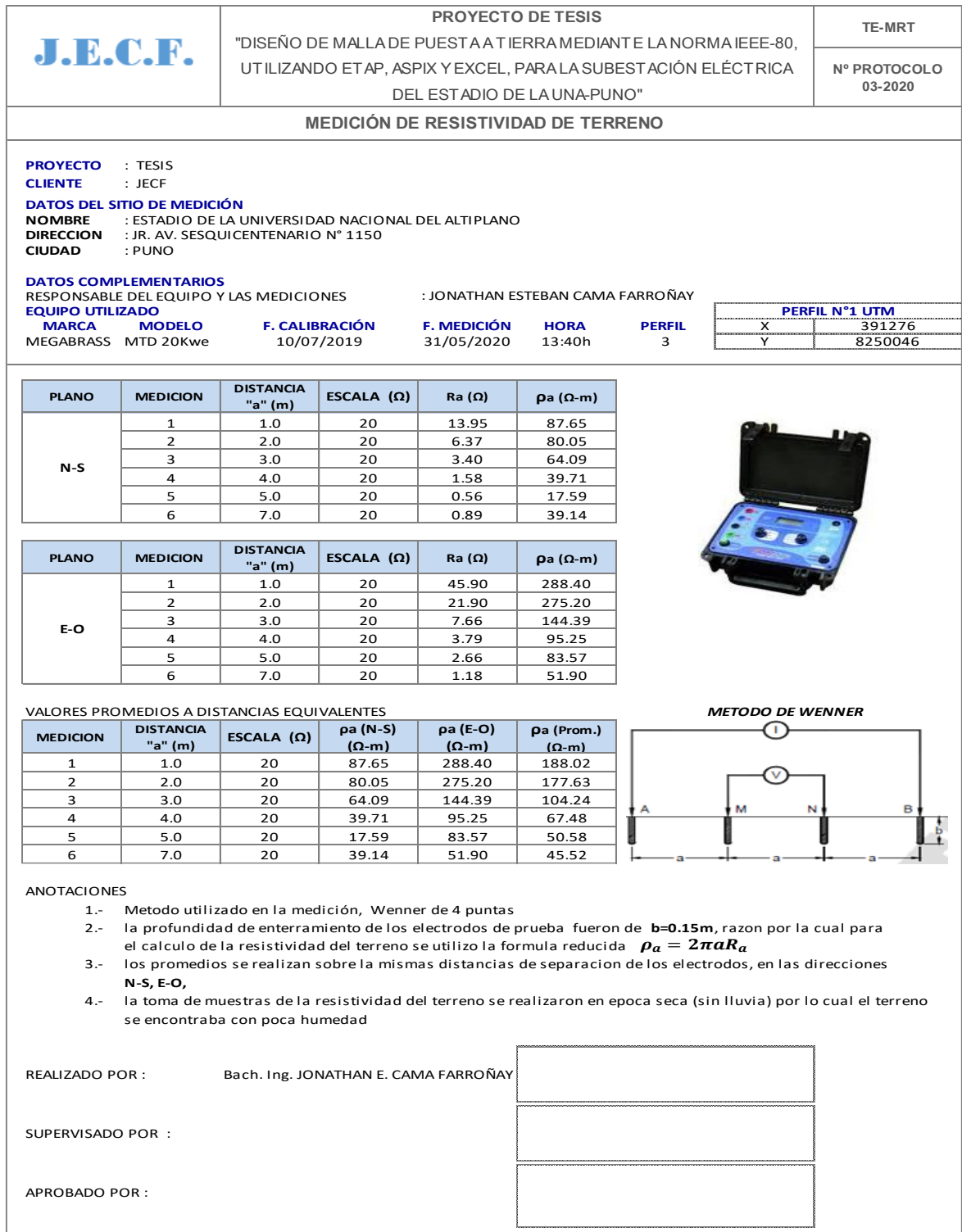


Fig. B. 5.

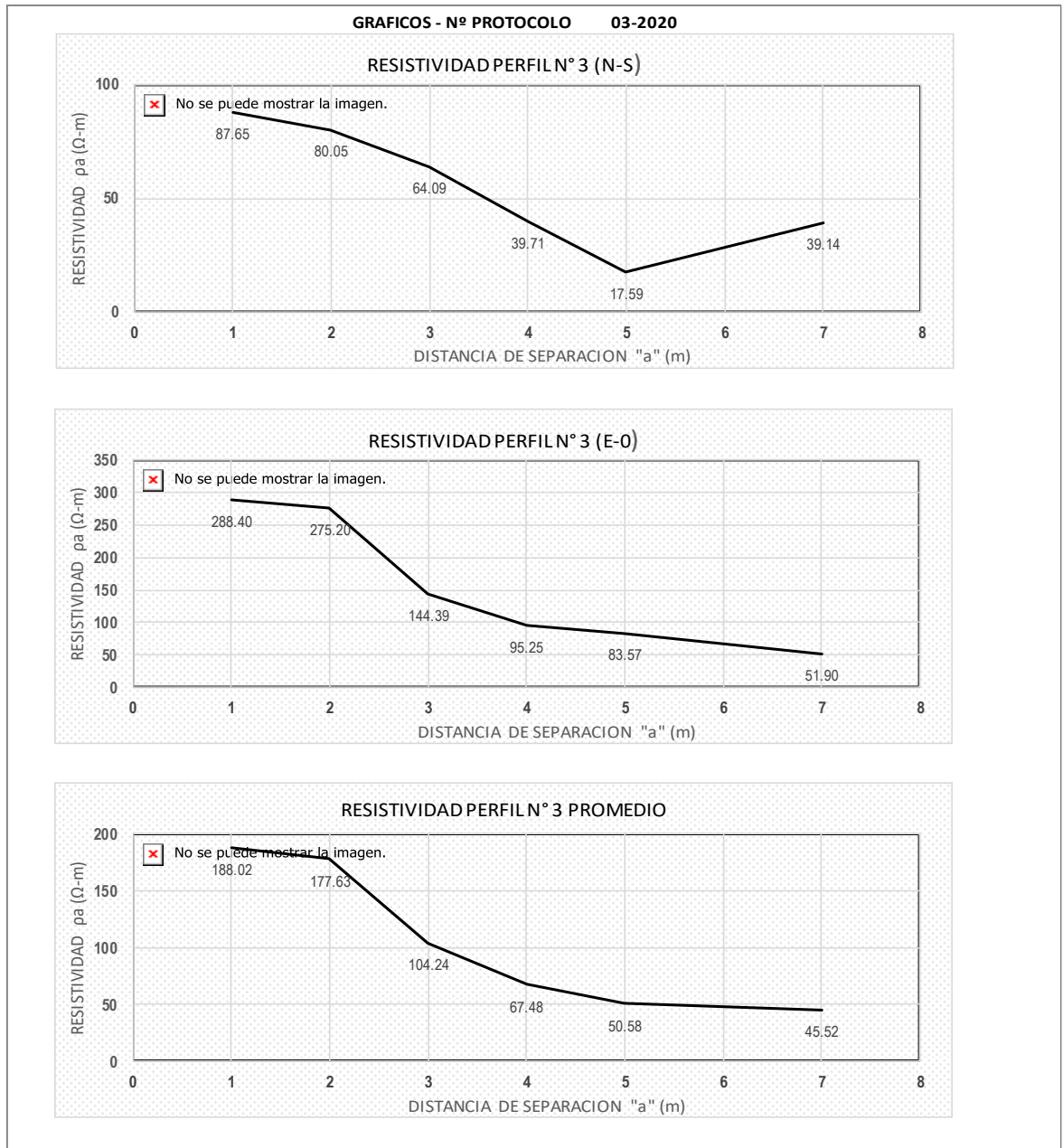


Fig. B. 6.

J.E.C.F.	PROYECTO DE TESIS	TE-MRT																																														
	DISEÑO DE MALLA DE PUESTA A TIERRA MEDIANTE LA NORMA IEEE-80, UTILIZANDO ETAP, ASPIX Y EXCEL, PARA LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DEL ESTADIO DE LA UNA-PUNO"	N° PROTOCOLO 04-2020																																														
MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD DE TERRENO																																																
<p>PROYECTO : TESIS CLIENTE : JECF DATOS DEL SITIO DE MEDICIÓN NOMBRE : ESTADIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DIRECCIÓN : JR. AV. SESQUICENTENARIO N° 1150 CIUDAD : PUNO</p> <p>DATOS COMPLEMENTARIOS RESPONSABLE DEL EQUIPO Y LAS MEDICIONES : JONATHAN ESTEBAN CAMA FARROÑAY</p> <p>EQUIPO UTILIZADO</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">MARCA</td> <td style="width: 15%;">MODELO</td> <td style="width: 15%;">F. CALIBRACIÓN</td> <td style="width: 15%;">F. MEDICIÓN</td> <td style="width: 15%;">HORA</td> <td style="width: 15%;">PERFIL</td> </tr> <tr> <td>MEGABRASS</td> <td>MTD 20kwe</td> <td>10/07/2019</td> <td>31/05/2020</td> <td>15:25h</td> <td>4</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PERFIL N°1 UTM</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">X</td> <td style="width: 50%;">391277</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>8250054</td> </tr> </table>			MARCA	MODELO	F. CALIBRACIÓN	F. MEDICIÓN	HORA	PERFIL	MEGABRASS	MTD 20kwe	10/07/2019	31/05/2020	15:25h	4	PERFIL N°1 UTM		X	391277	Y	8250054																												
MARCA	MODELO	F. CALIBRACIÓN	F. MEDICIÓN	HORA	PERFIL																																											
MEGABRASS	MTD 20kwe	10/07/2019	31/05/2020	15:25h	4																																											
PERFIL N°1 UTM																																																
X	391277																																															
Y	8250054																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>PLANO</th> <th>MEDICION</th> <th>DISTANCIA "a" (m)</th> <th>ESCALA (Ω)</th> <th>Ra (Ω)</th> <th>ρa (Ω-m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6" style="text-align: center;">N-S</td> <td>1</td> <td>1.0</td> <td>20</td> <td>13.95</td> <td>87.65</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2.0</td> <td>20</td> <td>6.37</td> <td>80.05</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>3.0</td> <td>20</td> <td>3.40</td> <td>64.09</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>4.0</td> <td>20</td> <td>1.58</td> <td>39.71</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>5.0</td> <td>20</td> <td>0.56</td> <td>17.59</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>7.0</td> <td>20</td> <td>0.89</td> <td>39.14</td> </tr> </tbody> </table>		PLANO	MEDICION	DISTANCIA "a" (m)	ESCALA (Ω)	Ra (Ω)	ρa (Ω-m)	N-S	1	1.0	20	13.95	87.65	2	2.0	20	6.37	80.05	3	3.0	20	3.40	64.09	4	4.0	20	1.58	39.71	5	5.0	20	0.56	17.59	6	7.0	20	0.89	39.14										
PLANO	MEDICION	DISTANCIA "a" (m)	ESCALA (Ω)	Ra (Ω)	ρa (Ω-m)																																											
N-S	1	1.0	20	13.95	87.65																																											
	2	2.0	20	6.37	80.05																																											
	3	3.0	20	3.40	64.09																																											
	4	4.0	20	1.58	39.71																																											
	5	5.0	20	0.56	17.59																																											
	6	7.0	20	0.89	39.14																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>PLANO</th> <th>MEDICION</th> <th>DISTANCIA "a" (m)</th> <th>ESCALA (Ω)</th> <th>Ra (Ω)</th> <th>ρa (Ω-m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6" style="text-align: center;">E-O</td> <td>1</td> <td>1.0</td> <td>20</td> <td>17.31</td> <td>108.76</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2.0</td> <td>20</td> <td>9.51</td> <td>119.51</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>3.0</td> <td>20</td> <td>4.22</td> <td>79.55</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>4.0</td> <td>20</td> <td>3.32</td> <td>83.44</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>5.0</td> <td>20</td> <td>2.39</td> <td>75.08</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>7.0</td> <td>20</td> <td>0.85</td> <td>37.38</td> </tr> </tbody> </table>		PLANO	MEDICION	DISTANCIA "a" (m)	ESCALA (Ω)	Ra (Ω)	ρa (Ω-m)	E-O	1	1.0	20	17.31	108.76	2	2.0	20	9.51	119.51	3	3.0	20	4.22	79.55	4	4.0	20	3.32	83.44	5	5.0	20	2.39	75.08	6	7.0	20	0.85	37.38										
PLANO	MEDICION	DISTANCIA "a" (m)	ESCALA (Ω)	Ra (Ω)	ρa (Ω-m)																																											
E-O	1	1.0	20	17.31	108.76																																											
	2	2.0	20	9.51	119.51																																											
	3	3.0	20	4.22	79.55																																											
	4	4.0	20	3.32	83.44																																											
	5	5.0	20	2.39	75.08																																											
	6	7.0	20	0.85	37.38																																											
<p>VALORES PROMEDIOS A DISTANCIAS EQUIVALENTES</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>MEDICION</th> <th>DISTANCIA "a" (m)</th> <th>ESCALA (Ω)</th> <th>ρa (N-S) (Ω-m)</th> <th>ρa (E-O) (Ω-m)</th> <th>ρa (Prom.) (Ω-m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1.0</td> <td>20</td> <td>87.65</td> <td>108.76</td> <td>98.21</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2.0</td> <td>20</td> <td>80.05</td> <td>119.51</td> <td>99.78</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>3.0</td> <td>20</td> <td>64.09</td> <td>79.55</td> <td>71.82</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>4.0</td> <td>20</td> <td>39.71</td> <td>83.44</td> <td>61.58</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>5.0</td> <td>20</td> <td>17.59</td> <td>75.08</td> <td>46.34</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>7.0</td> <td>20</td> <td>39.14</td> <td>37.38</td> <td>38.26</td> </tr> </tbody> </table>						MEDICION	DISTANCIA "a" (m)	ESCALA (Ω)	ρa (N-S) (Ω-m)	ρa (E-O) (Ω-m)	ρa (Prom.) (Ω-m)	1	1.0	20	87.65	108.76	98.21	2	2.0	20	80.05	119.51	99.78	3	3.0	20	64.09	79.55	71.82	4	4.0	20	39.71	83.44	61.58	5	5.0	20	17.59	75.08	46.34	6	7.0	20	39.14	37.38	38.26	<p>METODO DE WENNER</p>
MEDICION	DISTANCIA "a" (m)	ESCALA (Ω)	ρa (N-S) (Ω-m)	ρa (E-O) (Ω-m)	ρa (Prom.) (Ω-m)																																											
1	1.0	20	87.65	108.76	98.21																																											
2	2.0	20	80.05	119.51	99.78																																											
3	3.0	20	64.09	79.55	71.82																																											
4	4.0	20	39.71	83.44	61.58																																											
5	5.0	20	17.59	75.08	46.34																																											
6	7.0	20	39.14	37.38	38.26																																											
<p>ANOTACIONES</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Metodo utilizado en la medición, Wenner de 4 puntas 2.- la profundidad de enterramiento de los electrodos de prueba fueron de $b=0.15m$, razon por la cual para el calculo de la resistividad del terreno se utilizo la formula reducida $\rho_a = 2\pi a R_a$ 3.- los promedios se realizan sobre la mismas distancias de separacion de los electrodos, en las direcciones N-S, E-O, 4.- la toma de muestras de la resistividad del terreno se realizaron en epoca seca (sin lluvia) por lo cual el terreno se encontraba con poca humedad 																																																
REALIZADO POR :		Bach. Ing. JONATHAN E. CAMA FARROÑAY																																														
SUPERVISADO POR :																																																
APROBADO POR :																																																

Fig. B. 7.

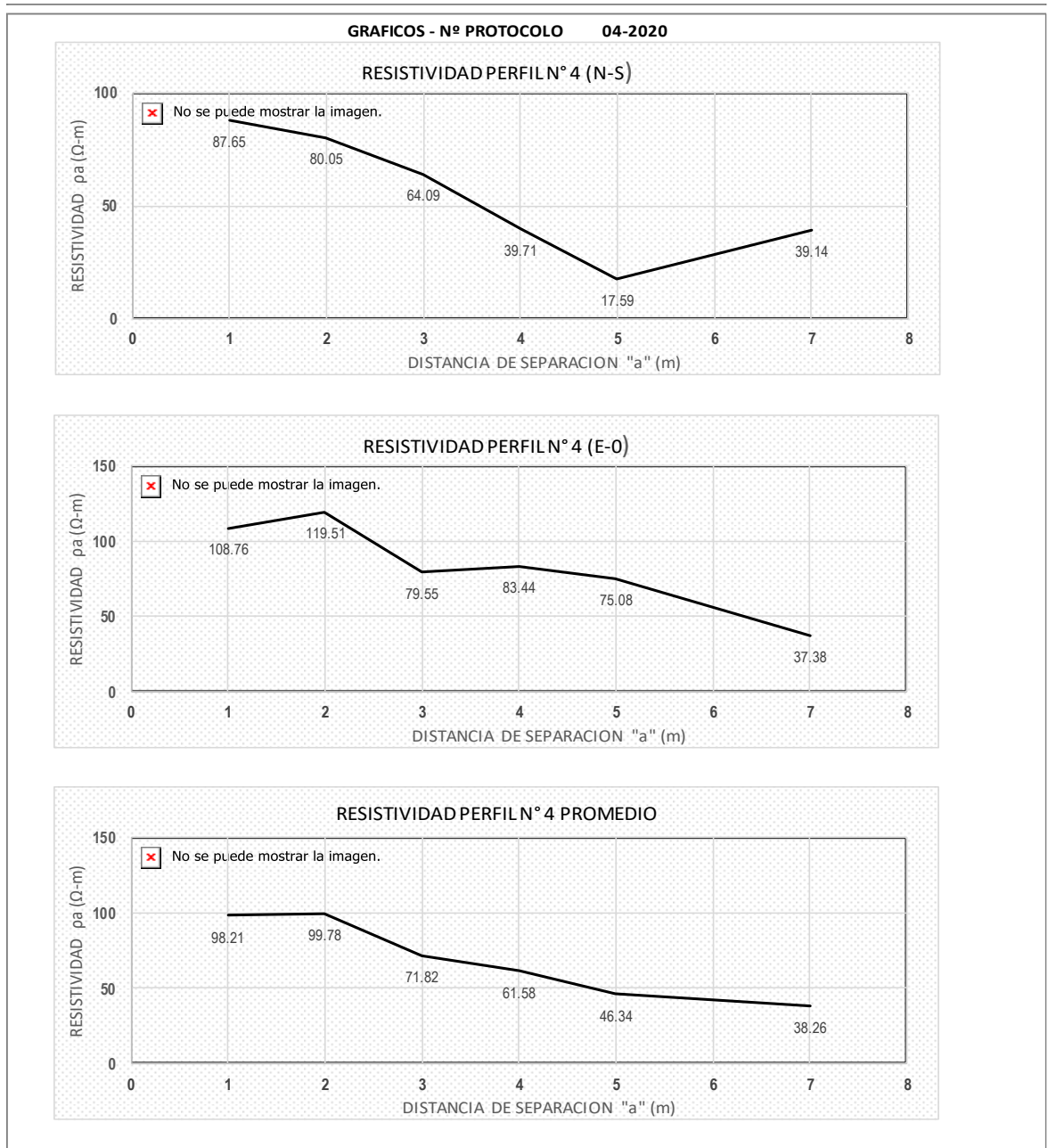


Fig. B. 8.



C. Anexos: Resultados De Etap

ETAP para ($\rho_1 = 209.23 \Omega\text{-m}$).

Proyecto: Tesis de estudio de mallas de puesta a tierra ESTADIO UNA PUNO	ETAP	Página: 1
Ubicación: Puno	16.0.0C	Fecha: 01-06-2021
Contrato:		SN: 4359168
Ingeniero: JECF	Caso de Estudio: MALLA_UNA	Nombre de Archivo: ESTADIOUNAPUNO

Sistema de PAT

S-IEEE-80

Número de Conductores de Tierra:	24
Número de Picas:	8
Longitud Total de Conductores de Tierra:	158.00 pies
Longitud Total de Picas:	54.00 pies
Tiempo Computacional Total:	0.00 minutos
Frecuencia:	60.0
Sistema Unidades:	English
Nombre Archivo Proyecto:	ESTADIOUNAPUNO
Nombre Archivo Salida:	C:\ETAP 1600\ESTADIOUNAPUNO\Grid1_Untitled.GR1S

Fig. C. 1.



Proyecto: **ETAP**
Ubicación: **16.0.0C**
Contrato:
Ingeniero: Caso de Estudio: MALLA_UNA

Página: 2
Fecha: 01-06-2021
SN: 4359168
Nombre de Archivo: ESTADIOUNAPUNO

Datos de Entrada de Malla de PAT

Datos del Sistema

Frec. Hz	Peso kg	Ambiente Temp. °C	Corriente de Cortocircuito			Duración de la Falta (segundos)			Gráfico Paso pies	Extendido Límite pies	
			Total Falta Corrient kA	SF División Factor %	Cp Proyección Factor %	Tf para Falta Total Duración	Tc para el Dimen Tierra Conductores	Ts para Disponble Corriente a tr			
60.0	70	18.00	0.368	5.00	100.0	100.0	0.60	0.60	0.60	3.0	0.00

Datos de Suelo

Material de la Superficie			Suelo de Estrato Superior			Suelo de Estrato Inferior	
Tipo de Material	Resistividad ohm.m	Profundidad pies	Tipo de Material	Resistividad ohm.m	Profundidad pies	Tipo de Material	Resistividad ohm.m
Gravel	10000.0	0.660	Moist soil	120.0	8.33	Dry soil	54.1

Constantes de Material

Conductor/Pica	Tipo	Conductividad %	α Factor r @ 20 °C 1/°C	K0 @ 0 °C	Fusión Temperatura °C	Resistividad de Conductor de Tierra @ 20°C micro ohm.cm	Térmico Capacidad Volumen por Unida J/(cm ³ .°C)
Conductor	Copper, annealed soft-drawn	100.0	0.00393	234.0	1083.0	1.72	3.42
Rod	Copper, annealed soft-drawn	100.0	0.00393	234.0	1083.0	1.72	3.42

ConductorDatos

Etiqueta	Tipo	AWG/kcmil	Origen			Destino			Longitud pies	Aislado Sí/No	Costo \$/pie
			X	Y	Z	X	Y	Z			
C0	Copper, annealed soft-drawn	4	0.00	0.00	1.60	6.60	0.00	1.60	6.60	NO	3.30
C1	Copper, annealed soft-drawn	4	6.60	0.00	1.60	13.10	0.00	1.60	6.50	NO	3.30
C10	Copper, annealed soft-drawn	4	6.60	19.70	1.60	13.10	19.70	1.60	6.50	NO	3.30
C11	Copper, annealed soft-drawn	4	13.10	19.70	1.60	19.70	19.70	1.60	6.60	NO	3.30
C12	Copper, annealed soft-drawn	4	0.00	0.00	1.60	0.00	6.60	1.60	6.60	NO	3.30
C13	Copper, annealed soft-drawn	4	0.00	6.60	1.60	0.00	13.10	1.60	6.50	NO	3.30
C14	Copper, annealed soft-drawn	4	0.00	13.10	1.60	0.00	19.70	1.60	6.60	NO	3.30
C15	Copper, annealed soft-drawn	4	6.60	0.00	1.60	6.60	6.60	1.60	6.60	NO	3.30
C16	Copper, annealed soft-drawn	4	6.60	6.60	1.60	6.60	13.10	1.60	6.50	NO	3.30
C17	Copper, annealed soft-drawn	4	6.60	13.10	1.60	6.60	19.70	1.60	6.60	NO	3.30
C18	Copper, annealed soft-drawn	4	13.10	0.00	1.60	13.10	6.60	1.60	6.60	NO	3.30
C19	Copper, annealed soft-drawn	4	13.10	6.60	1.60	13.10	13.10	1.60	6.50	NO	3.30
C2	Copper, annealed soft-drawn	4	13.10	0.00	1.60	19.70	0.00	1.60	6.60	NO	3.30
C20	Copper, annealed soft-drawn	4	13.10	13.10	1.60	13.10	19.70	1.60	6.60	NO	3.30
C21	Copper, annealed soft-drawn	4	19.70	0.00	1.60	19.70	6.60	1.60	6.60	NO	3.30



Proyecto: **ETAP**
Ubicación: **16.0.0C**
Contrato:
Ingeniero: Caso de Estudio: **MALLA_UNA**

Página: 3
Fecha: 01-06-2021
SN: 4359168
Nombre de Archivo: **ESTADIUNAPUNO**

ConductorDatos

Etiqueta	Tipo	AWG/kcmil	Origen			Destino			Longitud pies	Aislado Si/No	Costo \$/pie
			X	Y	Z	X	Y	Z			
C22	Copper, annealed soft-drawn	4	19.70	6.60	1.60	19.70	13.10	1.60	6.50	NO	3.30
C23	Copper, annealed soft-drawn	4	19.70	13.10	1.60	19.70	19.70	1.60	6.60	NO	3.30
C3	Copper, annealed soft-drawn	4	0.00	6.60	1.60	6.60	6.60	1.60	6.60	NO	3.30
C4	Copper, annealed soft-drawn	4	6.60	6.60	1.60	13.10	6.60	1.60	6.50	NO	3.30
C5	Copper, annealed soft-drawn	4	13.10	6.60	1.60	19.70	6.60	1.60	6.60	NO	3.30
C6	Copper, annealed soft-drawn	4	0.00	13.10	1.60	6.60	13.10	1.60	6.60	NO	3.30
C7	Copper, annealed soft-drawn	4	6.60	13.10	1.60	13.10	13.10	1.60	6.50	NO	3.30
C8	Copper, annealed soft-drawn	4	13.10	13.10	1.60	19.70	13.10	1.60	6.60	NO	3.30
C9	Copper, annealed soft-drawn	4	0.00	19.70	1.60	6.60	19.70	1.60	6.60	NO	3.30

RodDatos

Etiqueta	Tipo	Diámetro pulg.	Origen			Destino			Longitud pies	Aislado Si/No	Costo \$/Pica
			X	Y	Z	X	Y	Z			
R0	Copper, annealed soft-drawn	0.050	0.00	0.00	1.60	0.00	0.00	8.40	6.80	NO	100.00
R1	Copper, annealed soft-drawn	0.050	0.00	19.70	1.60	0.00	19.70	8.40	6.80	NO	100.00
R2	Copper, annealed soft-drawn	0.050	19.70	19.70	1.60	19.70	19.70	8.40	6.80	NO	100.00
R3	Copper, annealed soft-drawn	0.050	19.70	0.00	1.60	19.70	0.00	8.40	6.80	NO	100.00
R4	Copper, annealed soft-drawn	0.050	6.60	6.60	1.60	6.60	6.60	8.40	6.80	NO	100.00
R5	Copper, annealed soft-drawn	0.050	6.60	13.10	1.60	6.60	13.10	8.40	6.80	NO	100.00
R6	Copper, annealed soft-drawn	0.050	13.10	13.10	1.60	13.10	13.10	8.40	6.80	NO	100.00
R7	Copper, annealed soft-drawn	0.050	13.10	6.60	1.60	13.10	6.60	8.40	6.80	NO	100.00

Costo

Conductor			Pica			Costo Total \$
Total No.	Longitud pies	Total Costo \$	Total No.	Longitud pies	Total Costo \$	
24	158	520.08	8	54	800.00	1320.08



Proyecto:	ETAP	Página:	4
Ubicación:	16.0.0C	Fecha:	01-06-2021
Contrato:		SN:	4359168
Ingeniero:	Caso de Estudio: MALLA_UNA	Nombre de Archivo:	ESTADIOUNAPUNO

Informe Resumen de la Malla de PAT

Rg Tierra	GPR Tierra	Potencial de Toque Máximo					Potencial de Paso Máximo						
		Resistencia ohm	Aumento de Pot Voltios	Admisible Voltios	Calculado		Coordenadas		Admisible Voltios	Calculado Voltios	%	Coordenadas	
					Voltios	%	X (pies)	Y				X (pies)	Y
5.783	2151.4	2693.9	713.3	26.5	0.0	0.0	10167.5	493.9	4.9	0.30	0.30		

Corriente Falta Total	0.368 kA	Factor Reflexión (K):	-0.976
Corriente de Malla Máxima:	0.372 kA	Factor Decaimiento Capa Superficial (Cs):	0.819
		Factor Decremental (DF):	1.011



Resultados de ETAP para ($\rho_1 = 120 \Omega\text{-m}$)

Proyecto: Tesis de estudio de mallas de puesta a tierra ESTADIO UNA PUNO	ETAP	Página: 1
Ubicación: Puno	16.0.0C	Fecha: 01-06-2021
Contrato:		SN: 4359168
Ingeniero: JECF	Caso de Estudio: MALLA_UNA	Nombre de Archivo: ESTADIOUNAPUNO

Programa Analizador de Transitorios Eléctricos

Sistema de PAT

S-IEEE-80

Número de Conductores de Tierra: 24

Número de Picas: 8

Longitud Total de Conductores de Tierra: 158.00 pies

Longitud Total de Picas: 54.00 pies

Tiempo Computacional Total: 0.00 minutos

Frecuencia: 60.0

Sistema Unidades: English

Nombre Archivo Proyecto: ESTADIOUNAPUNO

Nombre Archivo Salida: C:\ETAP 1600\ESTADIOUNAPUNO\Grid1_Untitled.GR1S

Fig. C. 2.



Proyecto:	ETAP	Página:	2
Ubicación:	16.0.0C	Fecha:	01-06-2021
Contrato:		SN:	4359168
Ingeniero:	Caso de Estudio: MALLA_UNA	Nombre de Archivo:	ESTADIOUNAPUNO

Datos de Entrada de Malla de PAT

Datos del Sistema

Frec. Hz	Peso kg	Ambiente Temp. °C	Corriente de Cortocircuito				Duración de la Falta (segundos)			Gráfico Paso pies	Extendido Límite Longitud pies
			Total Falta Corrient kA	Sf División Factor %	Cp Proyección Factor %	IT para Falta Total Duración	Tc para el Dimen Tierra Conductores	Ts para Disponible Corriente a tr			
60.0	70	18.00	0.368	5.00	100.0	100.0	0.60	0.60	0.60	3.0	0.00

Datos de Suelo

Material de la Superficie			Suelo de Estrato Superior			Suelo de Estrato Inferior	
Tipo de Material	Resistividad ohm.m	Profundidad pies	Tipo de Material	Resistividad ohm.m	Profundidad pies	Tipo de Material	Resistividad ohm.m
Gravel	10000.0	0.660	Moist soil	209.2	8.33	Dry soil	54.1

Constantes de Material

Conductor/Pica	Tipo	Conductividad %	α Factor r @ 20 °C 1/°C	K0 @ 0 °C	Fusión Temperatura °C	Resistividad de Conductor de Tierra @ 20°C micro ohm.cm	Térmico Capacidad Volumen por Unida J/(cm ³ .°C)
Conductor	Copper, annealed soft-drawn	100.0	0.00393	234.0	1083.0	1.72	3.42
Rod	Copper, annealed soft-drawn	100.0	0.00393	234.0	1083.0	1.72	3.42

ConductorDatos

Etiqueta	Tipo	AWG/kcmil	Origen			Destino			Longitud pies	Aislado Si/No	Costo \$/pie
			X	Y	Z	X	Y	Z			
C0	Copper, annealed soft-drawn	4	0.00	0.00	1.60	6.60	0.00	1.60	6.60	NO	3.30
C1	Copper, annealed soft-drawn	4	6.60	0.00	1.60	13.10	0.00	1.60	6.50	NO	3.30
C10	Copper, annealed soft-drawn	4	6.60	19.70	1.60	13.10	19.70	1.60	6.50	NO	3.30
C11	Copper, annealed soft-drawn	4	13.10	19.70	1.60	19.70	19.70	1.60	6.60	NO	3.30
C12	Copper, annealed soft-drawn	4	0.00	0.00	1.60	0.00	6.60	1.60	6.60	NO	3.30
C13	Copper, annealed soft-drawn	4	0.00	6.60	1.60	0.00	13.10	1.60	6.50	NO	3.30
C14	Copper, annealed soft-drawn	4	0.00	13.10	1.60	0.00	19.70	1.60	6.60	NO	3.30
C15	Copper, annealed soft-drawn	4	6.60	0.00	1.60	6.60	6.60	1.60	6.60	NO	3.30
C16	Copper, annealed soft-drawn	4	6.60	6.60	1.60	6.60	13.10	1.60	6.50	NO	3.30
C17	Copper, annealed soft-drawn	4	6.60	13.10	1.60	6.60	19.70	1.60	6.60	NO	3.30
C18	Copper, annealed soft-drawn	4	13.10	0.00	1.60	13.10	6.60	1.60	6.60	NO	3.30
C19	Copper, annealed soft-drawn	4	13.10	6.60	1.60	13.10	13.10	1.60	6.50	NO	3.30
C2	Copper, annealed soft-drawn	4	13.10	0.00	1.60	19.70	0.00	1.60	6.60	NO	3.30
C20	Copper, annealed soft-drawn	4	13.10	13.10	1.60	13.10	19.70	1.60	6.60	NO	3.30
C21	Copper, annealed soft-drawn	4	19.70	0.00	1.60	19.70	6.60	1.60	6.60	NO	3.30



Proyecto: **ETAP**
Ubicación: **16.0.0C**
Contrato:
Ingeniero: **Caso de Estudio: MALLA_UNA**

Página: 3
Fecha: 01-06-2021
SN: 4359168
Nombre de Archivo: ESTADIOUNAPUNO

ConductorDatos

Etiqueta	Tipo	AWG/kcmil	Origen			Destino			Longitud pies	Aislado Sí/No	Costo \$/pie
			X	Y	Z	X	Y	Z			
C22	Copper, annealed soft-drawn	4	19.70	6.60	1.60	19.70	13.10	1.60	6.50	NO	3.30
C23	Copper, annealed soft-drawn	4	19.70	13.10	1.60	19.70	19.70	1.60	6.60	NO	3.30
C3	Copper, annealed soft-drawn	4	0.00	6.60	1.60	6.60	6.60	1.60	6.60	NO	3.30
C4	Copper, annealed soft-drawn	4	6.60	6.60	1.60	13.10	6.60	1.60	6.50	NO	3.30
C5	Copper, annealed soft-drawn	4	13.10	6.60	1.60	19.70	6.60	1.60	6.60	NO	3.30
C6	Copper, annealed soft-drawn	4	0.00	13.10	1.60	6.60	13.10	1.60	6.60	NO	3.30
C7	Copper, annealed soft-drawn	4	6.60	13.10	1.60	13.10	13.10	1.60	6.50	NO	3.30
C8	Copper, annealed soft-drawn	4	13.10	13.10	1.60	19.70	13.10	1.60	6.60	NO	3.30
C9	Copper, annealed soft-drawn	4	0.00	19.70	1.60	6.60	19.70	1.60	6.60	NO	3.30

RodDatos

Etiqueta	Tipo	Diámetro pulg.	Origen			Destino			Longitud pies	Aislado Sí/No	Costo \$/Pica
			X	Y	Z	X	Y	Z			
R0	Copper, annealed soft-drawn	0.050	0.00	0.00	1.60	0.00	0.00	8.40	6.80	NO	100.00
R1	Copper, annealed soft-drawn	0.050	0.00	19.70	1.60	0.00	19.70	8.40	6.80	NO	100.00
R2	Copper, annealed soft-drawn	0.050	19.70	19.70	1.60	19.70	19.70	8.40	6.80	NO	100.00
R3	Copper, annealed soft-drawn	0.050	19.70	0.00	1.60	19.70	0.00	8.40	6.80	NO	100.00
R4	Copper, annealed soft-drawn	0.050	6.60	6.60	1.60	6.60	6.60	8.40	6.80	NO	100.00
R5	Copper, annealed soft-drawn	0.050	6.60	13.10	1.60	6.60	13.10	8.40	6.80	NO	100.00
R6	Copper, annealed soft-drawn	0.050	13.10	13.10	1.60	13.10	13.10	8.40	6.80	NO	100.00
R7	Copper, annealed soft-drawn	0.050	13.10	6.60	1.60	13.10	6.60	8.40	6.80	NO	100.00

Costo

Conductor			Pica			
Total No.	Longitud Total pies	Costo \$	Total No.	Longitud Total pies	Costo \$	Costo Total \$
24	158	520.08	8	54	800.00	1320.08



Proyecto: **ETAP**
Ubicación: 16.0.0C
Contrato:
Ingeniero: Caso de Estudio: MALLA_UNA

Página: 4
Fecha: 01-06-2021
SN: 4359168
Nombre de Archivo: ESTADIOUNAPUNO

Informe Resumen de la Malla de PAT

Rg Tierra Resistencia ohm	GPR Tierra Aumento de Pot Voltios	Potencial de Toque Máximo					Potencial de Paso Máximo				
		Admisible Voltios	Calculado		Coordenadas (pies)		Admisible Voltios	Calculado		Coordenadas (pies)	
			Voltios	%	X	Y		Voltios	%	X	Y
8.563	3186.0	2698.8	1184.5	43.9	0.0	0.0	10187.3	794.2	7.8	0.30	0.30

Corriente Falta Total	0.368 kA	Factor Reflexión (K):	-0.959
Corriente de Malla Máxima:	0.372 kA	Factor Decaimiento Capa Superficial (Cs):	0.821
		Factor Decremental (Df):	1.011



D. ANEXOS: DOCUMENTOS DE LA CONCESIONARIA ELECTRO PUNO

S.A.A.

“AÑO DE LA UNIVERZALIZACIÓN DE LA SALUD”

CARTA: N° 03-JECF

Fecha : 14 de Setiembre de 2020

Sr(es) : **ELECTRO PUNO S.A.A.**

OFICINA : **GERENCIA TÉCNICA**

SOLICITUD : INFORMACIÓN DE LA R.P. EN 10KV DE LA CIUDAD DE PUNO PARA FINES DE ELABORACIÓN DE TESIS

YO: **JONATHAN ESTEBAN CAMA FARROÑAY**, con DNI: 44300003, Ex practicante de Operaciones y Mantenimiento – S.E. ANTAUTA, Solicito a vuestras oficinas información de las redes en Media Tensión en 10 kV para fines de mi tesis cual ya tengo acta de aprobación denominado **“DISEÑO DE MALLA A TIERRA MEDIANTE LA NORMA IEEE-80, UTILIZANDO EL ETAP, ASPIX Y EXCEL, PARA LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DEL ESTADIO DE LA UNA-PUNO”** para lo cual se adjunta las coordenadas UTM de la estructura en referencia (la línea pasa al frente de la puerta principal de la UNA-PUNO).

X=	391257
Y=	8249818

La información solicitada es la siguiente:

- Codificación del alimentador
- Longitud de la línea hasta el punto de referencia o UTM indicado
- Calibre de conductor del alimentador
- Potencia de cortocircuito de la concesionaria
- Nivel básico de aislamiento BIL
- Potencia instalada total del alimentador hasta el punto en referencia
- Tipo de aterramiento del transformador de la SET BELLAVISTA

Favor de contestas al email:

Alguna duda favor de comunicarse con Jonathan E. Cama Farroñay, **Cel:** 975334133, **correo electrónico:** jecf2220@gmail.com, Sin más tenga usted un buen día, y estoy a la espera de su respuesta.

Adjunto foto de coordenadas UTM.



JONATHAN ESTEBAN CAMA FARRONAY
D.N.I. N° 44300003



Firmado digitalmente por:
CONDORI YAGUNO Hector
Hitler FAU 20405470502 soft
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 14/10/2020 11:53:29-0500

INFORME N° 040 – 2020 - ELP/GO-GT-SL

A : Fidel E. Olarte Pino.
Jefe de División de Generación LT y SET

Asunto : **información de la RP en 10kv de la ciudad de puno para fines de elaboración de tesis.**

Ref. : **1. Carta N° 03-JECF**

FECHA : Puno, 14 de octubre de 2020.

Mediante el presente se da alcance de la siguiente información para fines de la carta de referencia (1):

- Codificación de alimentador : 0106
- Potencia de cortocircuito de la concesionaria : se sugiere simular corriente de cortocircuito en la barra de 10Kv, información que debe ser descarga de la página web del COES.
- Nivel básico de aislamiento : 150Kv- Bil
- Potencia instalado total del alimentador hasta el punto de referencia : la potencia instalada del alimentador es de 250A, capacidad del transformador de corriente asociado al alimentador 0106.
- Tipo de aterramiento del transformador de la SET Bellavista : los transformadores de SET bellavista tienen un grupo de conexión DyN5; el lado de 10Kv está en delta; por lo que las corrientes de falla tierra se discrimina mediante transformadores toroidales.
- Se adjunta fotos de placa de transformador y ajustes de protección asociados al alimentador.

Es todo en cuanto puedo informar para su atención.

Atentamente;

Fig. D. 2.

9.3 SUBESTACION BELLAVISTA

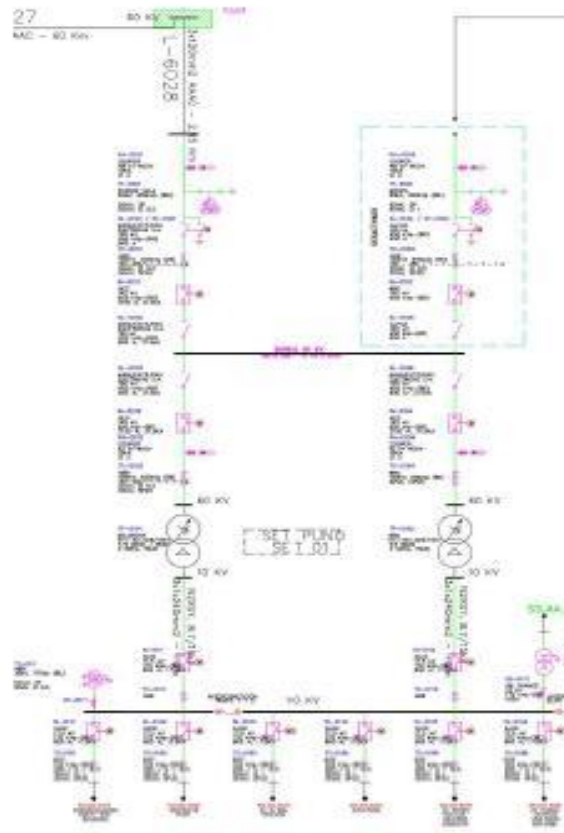


Figura 8. Unifilar SET Bellavista

INFORME

		ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:	
		J. GONZALES	J. BARRERA	H. ENCISO	
		N° DOCUMENTO:		HOJA	REV.
		RED-IN-101-2019-ECP-001		36/86	3

Fig. D. 3.

9.3.1 PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE

A continuación, se presenta los ajustes los cuales deberán ser actualizados para la correcta operación del sistema de Bellavista

**Tabla 5. Función sobrecorriente de fases (50/51)
Bellavista**

BAHIA	RELE	RCT	Sobrecorriente de Fases					
			I>[As]	Curva	Dial	I>>[As]	t>> [s]	Curva
Trafo-1 60	ABB-51E	150/1	0.6	EI	1	-	-	-
Trafo-1 22.9	SEG	400/5	4	IEC-VI	0.2	-	-	-
Salida 0101	SEG	250/5/1	3	IEC-VI	0.1	-	-	-
Salida 0102	SEG	250/5/1	3	IEC-VI	0.1	-	-	-
Trafo-2 60	ABB-51E	70/5	5	EI	2	-	-	-
Trafo-2 22.9	SEG	400/5	3	IEC-VI	0.2	-	-	-
Salida 0103	SEG	250/5/1	3	IEC-VI	0.1	-	-	-
Salida 0104	SEG	250/5/1	3	IEC-VI	0.1	-	-	-
Salida 0105	SEG	250/5/1	3	IEC-VI	0.1	-	-	-
Salida 0106	SEG	250/5/1	3	IEC-VI	0.1	-	-	-

Nota. Las entradas de corriente de los relés SEG en salidas provienen de un TC intermedio de 5/1.

**Tabla 6. Función sobrecorriente de tierra (50N/51N)
Bellavista**

BAHIA	RELE	RCT	Sobrecorriente de Tierra					
			I>[As]	Curva	Dial	I>>[As]	t>> [s]	Curva
Trafo-1 60	ABB-51E	150/1	0.15	EI	1	-	-	-
Trafo-1 22.9	SEG	-	-	-	-	-	-	-
Salida 0101	SEG	50/1	0.15	IEC-VI	0.1	-	-	-
Salida 0102	SEG	50/1	0.15	IEC-VI	0.1	-	-	-
Trafo-2 60	ABB-51E	70/5	1	EI	1	-	-	-
Trafo-2 22.9	SEG	-	-	-	-	-	-	-
Salida 0103	SEG	50/1	0.15	IEC-VI	0.1	-	-	-
Salida 0104	SEG	50/1	0.15	IEC-VI	0.1	-	-	-
Salida 0105	SEG	50/1	0.15	IEC-VI	0.1	-	-	-
Salida 0106	SEG	50/1	0.15	IEC-VI	0.1	-	-	-

INFORME

		ELABORADO POR: J. GONZALES	REVISADO POR: J. BARRERA	APROBADO POR: H. ENCISO
		Nº DOCUMENTO: RED-IN-101-2019-ECP-001		

Fig. D. 4.

TRANSFORMADOR TRIFASICO			
TIPO	TC-CH	N°	521627
MVA	7 / 9	AÑO	2005
RT (KV)	60 / 10	ALTURA	6500 mm
HZ	60	ENFRIAMIENTO	ONAN/ONAF
GRUPO	YNYS	MONTAJE	EX-1-031
Vcc %	7.5%	SERVICIO	CONTINUO
Δ ACEITE	60°	Δ ARROLL.	65°
AMP (AT)	67.36	AMP (BT)	634.75
BIL EXT. AT (KV)	550	BIL EXT. B1 (KV)	170
BIL INT. AT (KV)	375	BIL INT. B1 (KV)	55
NORMA	IEC 15		
PESOS (KG)			
PARTE ACTIVA	9500	TANQUE	5900
ACEITE	6200	TOTAL	21100

POS	VOLTS 9000	AMP (WATT)	10000	9000
1	4188	64.75	27.24	
2	4224	64.87	27.43	
3	4260	65.01	27.63	
4	4296	65.15	27.83	
5	4332	65.29	28.03	
6	4368	65.43	28.23	
7	4404	65.57	28.43	
8	4440	65.71	28.63	
9	4476	65.85	28.83	
10	4512	65.99	29.03	
11	4548	66.13	29.23	
12	4584	66.27	29.43	
13	4620	66.41	29.63	
14	4656	66.55	29.83	
15	4692	66.69	30.03	
16	4728	66.83	30.23	
17	4764	66.97	30.43	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE			
N°	301	RELACION	1/5
TC1	25	634.75	1.0

Figura 9. Placa Transformador T1 SET Bellavista

INFORME				
		ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
		J. GONZALES	J. BARRERA	H. ENCISO
N° DOCUMENTO:			HOJA	REV.
RED-IN-101-2019-ECP-001			38/86	3

Fig. D. 5.