

INFORME MEDICIONES DE RESISTIVIDAD

CONTENIDO

1.	OBJETIVO DEL DOCUMENTO	4
2.	ALCANCE	4
3.	NORMAS APLICABLES.....	4
3.1.	Normas técnicas colombianas	4
3.2.	Reglamentos y normas de obligatorio cumplimiento	4
4.	DOCUMENTOS DE REFERENCIA.....	5
5.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y CONDICIONES AMBIENTALES	5
6.	INSTRUMENTO UTILIZADO	6
7.	DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE MEDICIÓN A UTILIZAR.....	6
8.	PROCEDIMIENTO PARA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO	7
9.	MEDICIONES DE RESISTIVIDAD	8
10	Análisis de Resultados de resistividad en relación con el estudio de suelos	20
11	Anexo	21
11.1	Registro Fotográfico de Mediciones	21
11.2	Certificado de Calibración Equipo de medida.....	28

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Condiciones ambientales	5
Tabla 2 Ubicación de los puntos de mediciones.....	8
Tabla 3 Resultados de las Mediciones resistividad P1	9
Tabla 4 Resultados de las Mediciones resistividad P2	10
Tabla 5 Resultados de las Mediciones resistividad P3	11
Tabla 6 Resultados de las Mediciones resistividad P4	12
Tabla 7 Resultados de las Mediciones resistividad P5	13
Tabla 8 Resultados de las Mediciones resistividad P6	14
Tabla 9 Resultados de las Mediciones resistividad P7	15
Tabla 10 Resultados de las Mediciones resistividad P8.....	16
Tabla 11 Resultados de las Mediciones resistividad P9.....	17
Tabla 12 Resultados de las Mediciones resistividad P10.....	18
Tabla 13 Resultados de las Mediciones resistividad P11.....	19
Tabla 14 Modelo del suelo a usar para el diseño de la malla de tierra.....	21

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Figura 1 Ubicación geográfica	4
Figura 2 Esquema Layout general	5
Figura 3 método de Wenner	6
Figura 4 Funcionamiento método de Wenner	7
Figura 5 Resistividad Vs. Profundidad – Punto 1	9
Figura 6 Modelo del Suelo – Punto 1.....	10
Figura 7 Resistividad Vs. Profundidad – Punto 2	10
Figura 8 Modelo del Suelo – Punto 2.....	11
Figura 9 Resistividad Vs. Profundidad – Punto 3	11
Figura 10 Modelo del Suelo – Punto 3.....	12
Figura 11 Resistividad Vs. Profundidad – Punto 4	12
Figura 12 Modelo del Suelo – Punto 4.....	13
Figura 13 Resistividad Vs. Profundidad – Punto 5	13
Figura 14 Modelo del Suelo – Punto 5.....	14
Figura 15 Resistividad Vs. Profundidad – Punto 6	14
Figura 16 Modelo del Suelo – Punto 6.....	15
Figura 17 Resistividad Vs. Profundidad – Punto 7	15
Figura 18 Modelo del Suelo – Punto 7.....	16
Figura 19 Resistividad Vs. Profundidad – Punto 8	17
Figura 20 Modelo del Suelo – Punto 8.....	17
Figura 21 Resistividad Vs. Profundidad – Punto 9	17
Figura 22 Modelo del Suelo – Punto 9.....	18
Figura 23 Resistividad Vs. Profundidad – Punto 10	19
Figura 24 Modelo del Suelo – Punto 10.....	19
Figura 25 Resistividad Vs. Profundidad – Punto 11	19
Figura 26 Modelo del Suelo – Punto 11.....	20
Figura 27 Nivel Freático y ubicación de puntos de resistividad medidos	20

1. OBJETIVO DEL DOCUMENTO

Presentar los resultados de las pruebas de resistividad del terreno, efectuadas en Terreno, para el proyecto fotovoltaico XXXXX ubicada en el municipio de la Dorada, y que serán usados como datos de entrada para la malla de puesta a tierra del proyecto.

2. ALCANCE

Este documento tiene como Evaluar la resistividad del suelo con el método de los cuatro electrodos de Wenner siendo la separación entre los electrodos a utilizar en cada trayectoria de medición de 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 18, 21, 25 y 30 metros, siguiendo las recomendaciones de la IEEE2778 para mediciones cortas. Presentar los resultados y conclusiones obtenidos en las mediciones de resistividad del terreno para 2 direcciones en cada punto de medición. que hace parte de los datos de entrada para el diseño de la malla de tierra de la planta solar del proyecto “PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA” ubicada en el municipio XXXXXXXXXXXXXXXX.

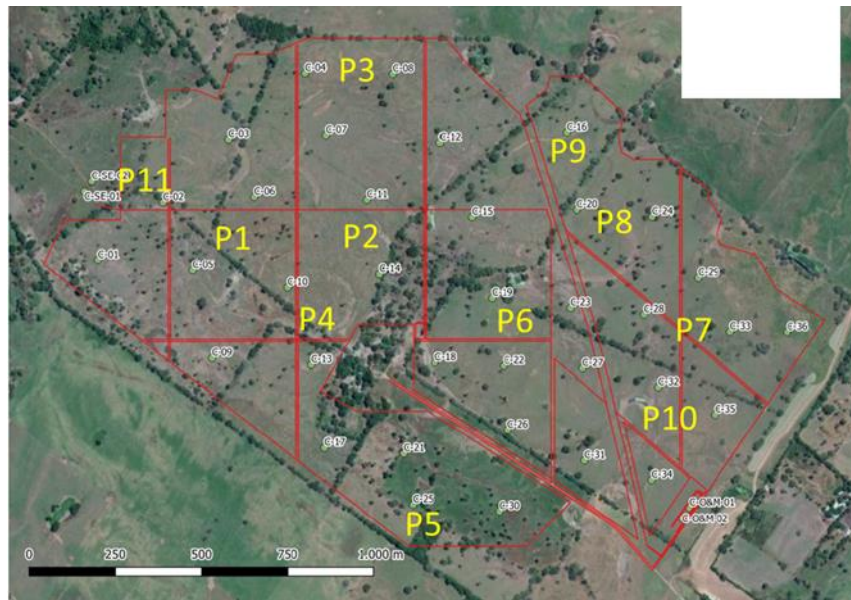


Figura 1 Ubicación geográfica

3. NORMAS APLICABLES

3.1. Normas técnicas colombianas

- RETIE Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas
- NTC 2050 – Código Eléctrico Colombiano

3.2. Reglamentos y normas de obligatorio cumplimiento

- Reglamentos y normas de obligatorio cumplimiento.
 - RETIE - Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas.
-

- IEEE (Institute Electrical and Electronic Engineers) Std 80 Guide for Safety in AC Substation Grounding
- IEEE (Institute Electrical and Electronic Engineers) Std 81 Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System
- IEEE (Institute Electrical and Electronic Engineers) IEEE 2778 IEEE Guide for Solar Power Plant Grounding for Personnel Protection

4. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

5. UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y CONDICIONES AMBIENTALES

El área de estudio se encuentra ubicada en la XXXXXXXXXXXX. Las coordenadas aproximadas de éste son: Latitud= X°XX'XX.XX"N, longitud= X°XX'XX.XX"O (Coordenadas Geográficas). En la Tabla 1, se muestran las condiciones ambientales del emplazamiento.

Tabla 1 Condiciones ambientales

Condiciones ambientales	
Altura sobre el nivel del mar (m)	194
Temperatura máxima registrada (°C)	41
Temperatura media (°C)	27,5
Temperatura mínima (°C)	13,9

Fuente: datos obtenidos de base de datos de SolarGIS.

Enmarcado en círculos rojos se encuentran los puntos donde se va a medir

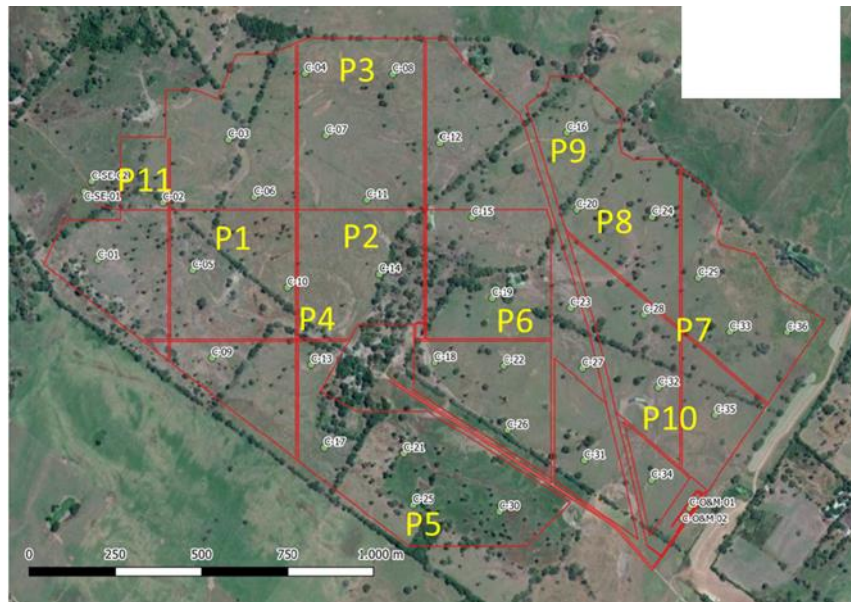


Figura 2 Esquema Layout general

6. INSTRUMENTO UTILIZADO

El instrumento utilizado para la medición de resistividad del terreno fue el siguiente

Instrumento: Medidor digital de Resistencia de Suelos y Resistencia de Puesta a Tierra.

Marca: METREL

Modelo: MI 2088

Rango de Resistencia: 0-20 k Ω

7. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE MEDICIÓN A UTILIZAR

La Teoría para hacer esta medición fue desarrollada por el Dr. Frank Wenner de la Agencia de Normas de los Estados Unidos de Norteamérica en 1915 y fue publicado en el Reporte No. 258 de la misma Agencia en el Boletín de Normas, Volumen No. 12, No. 3 del 11 de Octubre de 1915, con el nombre de “Un Método de Medición de la Resistividad de la Tierra”. En la figura N° 3 se observa el esquema de medición del método.

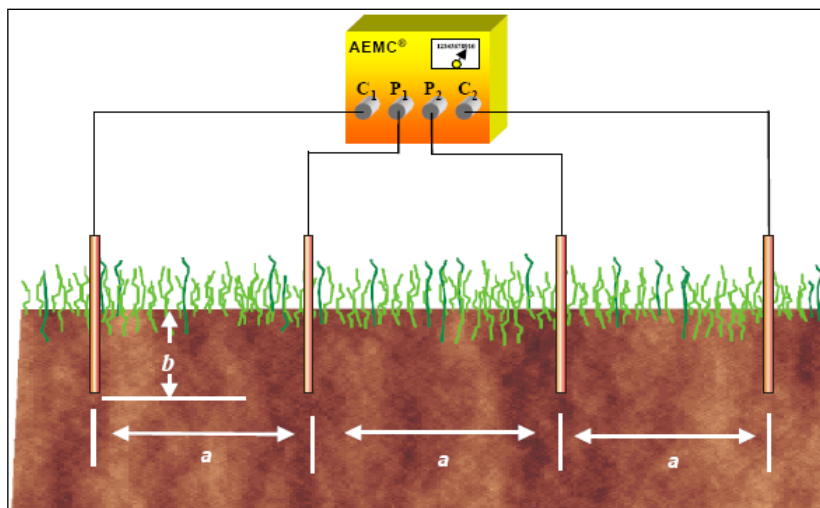


Figura 3 método de Wenner

La resistividad eléctrica: ρ_a , en términos de las unidades de longitud en las cuales “a” y “b” han sido expresadas de la siguiente manera:

$$\rho_a = \frac{4 \cdot \pi \cdot a \cdot R}{\left[1 + \left[\frac{2 \cdot a}{\sqrt{a^2 + 4 \cdot b^2}} \right] - \left[\frac{2 \cdot a}{\sqrt{4 \cdot a^2 + 4 \cdot b^2}} \right] \right]}$$

Donde:

ρ_a = Resistividad aparente (Ω - m);

π = Constante (3,1416);

a = Separación entre electrodos o varillas (m);

R = Resistencia medida en campo (Ω).

b = Profundidad de enterramiento de los electrodos

Sin embargo, en la norma IEEE 80 punto 13.3 menciona que si “ b ” es muy pequeño comparado con “ a ” (que es lo que comúnmente en la práctica ocurre), por ejemplo, $a = 20b$. La ecuación anterior queda de esta forma:

$$\rho_a = 2 \times \pi \times a \times R$$

La corriente que fluye en el terreno forma una semi esfera en el suelo de radio igual a la separación de los electrodos centrales y se considera la resistencia medida hasta esa profundidad, ver figura N° 4 a continuación:

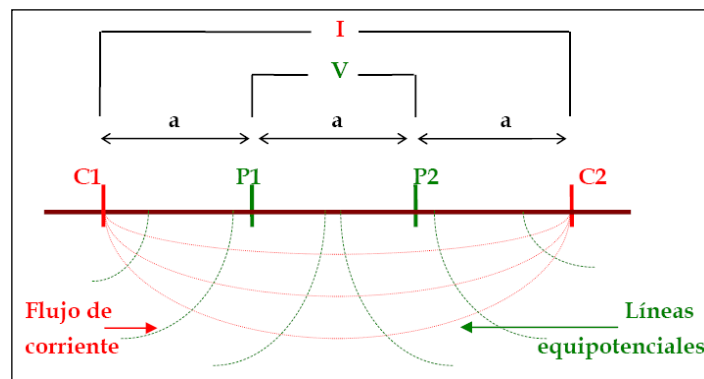


Figura 4 Funcionamiento método de Wenner

8. PROCEDIMIENTO PARA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

Antes de ejecutar la medición, se visitará el sitio correspondiente, a manera de tener un primer contacto con el lugar y las instalaciones existentes. Se realizará una inspección del área para identificar los puntos de medición y las posibles trayectorias de medición.

Para el estudio se tomarán al menos (11) puntos de medición, las mediciones de resistividad del terreno se desarrollaron empleando el método de los cuatro electrodos de Wenner descrito anteriormente. Este método consiste en colocar cuatro (4) electrodos (barras) separados a una misma distancia sobre una línea recta en el suelo a ser ensayado. Las separaciones empleadas para las mediciones en cada punto y en cada dirección serán de 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 18, 21, 25 y 30 metros, siguiendo la recomendación de la IEEE 2778-2020. En cada punto de medición se realizan medidas en dos direcciones (Norte-Sur, Este-Oeste,). Si las mediciones en las dos direcciones difieren mucho, se debe hacer una tercera medición en la dirección oblicua (Noreste-Suroeste).

La profundidad de los electrodos de medición (las 4 picas) será:

Donde a = Separación entre electrodos

Es decir, para una separación de 2 m la profundidad será de 10 cm, para para 4 m en adelante será de 20 cm.

Los electrodos se conectarán eléctricamente al instrumento medidor de resistencia del terreno de la siguiente manera siguiendo las instrucciones del fabricante del instrumento:

- Los electrodos centrales se conectan a los terminales del voltímetro del instrumento.
- El instrumento introduce una corriente en el suelo a través de una de las dos barras extremas, cerrando el circuito a través de la otra barra del extremo opuesto. La resistencia del terreno se obtiene mediante la caída de voltaje entre las barras centrales de acuerdo con la ley de Ohm.

9. MEDICIONES DE RESISTIVIDAD

Las mediciones se realizaron en el sitio de interés, tomando en cuenta las condiciones del sitio, observándose que el suelo este seco y con día soleado, no debe haber caído lluvia en el sitio por al menos 3 días.

La ubicación de los puntos para las mediciones se puede observar en la siguiente tabla

Tabla 2 Ubicación de los puntos de mediciones

Punto N°	Coordenada ESTE	Coordenada Norte	Latitud	Longitud	Lugar
1	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	CT-10
2	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	CT-12
3	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	CT-16
4	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	CT-08
5	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	CT-05
6	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	CT-04
7	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	CT-03
8	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	CT-02

9	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	CT-01
10	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	OyM
11	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	S/E

En el anexo 1 se pueden observar las planillas de medición levantadas en campo y en el anexo 2 las fotografías de las mediciones. A continuación, se presenta el resumen de las mediciones y el modelo del suelo para cada punto:

Tabla 3 Resultados de las Mediciones resistividad P1

Valor de "a" en metros	N° GUARDADO	S-N (Ohms-m)	E-O (Ohms-m)	Descarte Eje X	Descarte Eje Y	Promedio Ohms-m
1	1	12,86	13,62	-2,87%	2,87%	13,24
2	2	21,40	23,62	-4,93%	4,93%	22,51
4	3	41,20	43,50	-2,72%	2,72%	42,35
6	4	54,80	57,10	-2,06%	2,06%	55,95
8	5	63,80	65,30	-1,16%	1,16%	64,55
10	6	67,40	70,40	-2,18%	2,18%	68,90
12	7	67,40	70,00	-1,89%	1,89%	68,70
15	8	69,90	72,10	-1,55%	1,55%	71,00
18	9	75,60	78,20	-1,69%	1,69%	76,90
21	10	79,90	83,40	-2,14%	2,14%	81,65
25	11	83,50	86,30	-1,65%	1,65%	84,90
30	12	87,60	91,40	-2,12%	2,12%	89,50

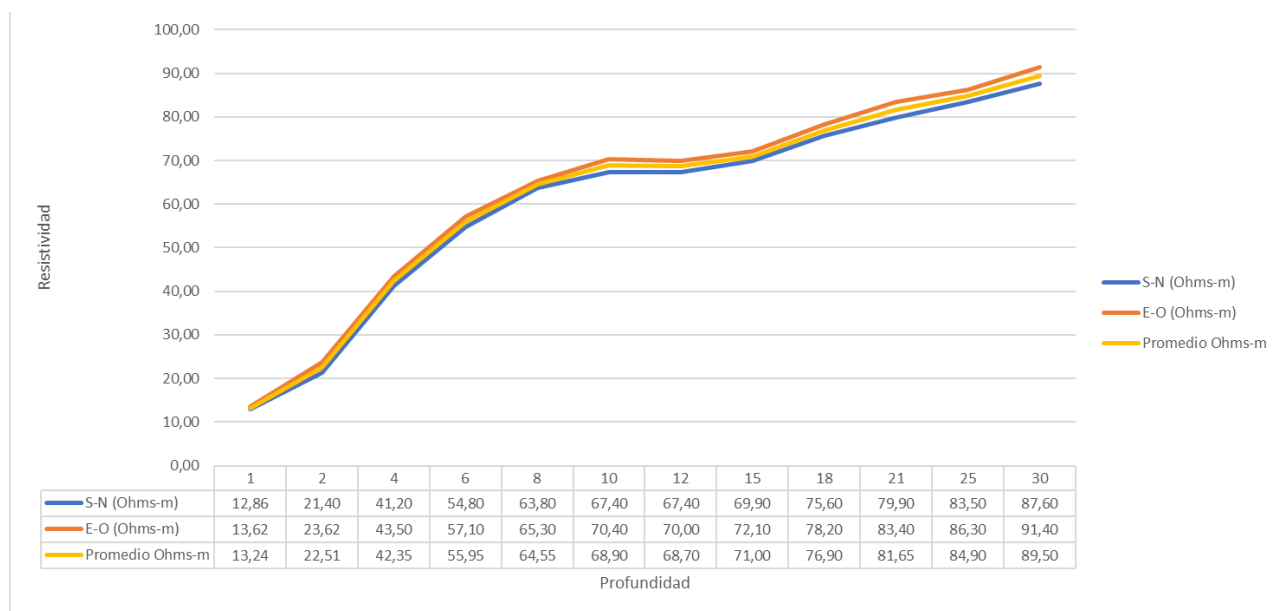


Figura 5 Resistividad Vs. Profundidad – Punto 1

Fuente: Propia – Software Excel

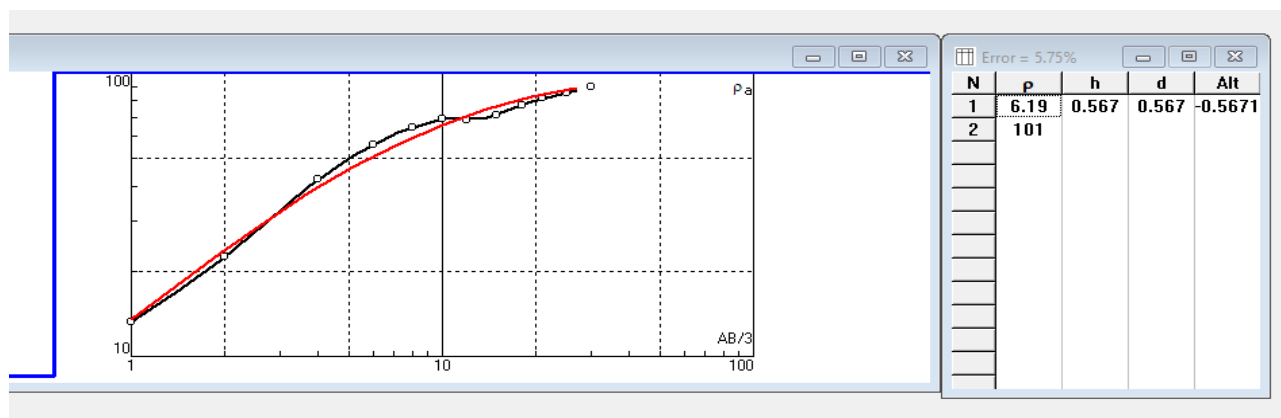


Figura 6 Modelo del Suelo – Punto 1
Fuente: Propia – Software IPI2WIN

Tabla 4 Resultados de las Mediciones resistividad P2

Valor de "a" en metros	N° GUARDADO	S-N (Ohms-m)	E-O (Ohms-m)	Descarte Eje X	Descarte Eje Y	Promedio Ohms-m
1	1	10,01	11,87	-8,50%	8,50%	10,94
2	2	11,16	12,95	-7,42%	7,42%	12,06
4	3	17,22	17,91	-1,96%	1,96%	17,57
6	4	24,60	26,50	-3,72%	3,72%	25,55
8	5	33,90	35,30	-2,02%	2,02%	34,60
10	6	38,20	42,50	-5,33%	5,33%	40,35
12	7	49,60	51,80	-2,17%	2,17%	50,70
15	8	55,60	59,50	-3,39%	3,39%	57,55
18	9	62,80	64,20	-1,10%	1,10%	63,50
21	10	72,40	74,70	-1,56%	1,56%	73,55
25	11	83,40	88,90	-3,19%	3,19%	86,15
30	12	85,50	93,80	-4,63%	4,63%	89,65

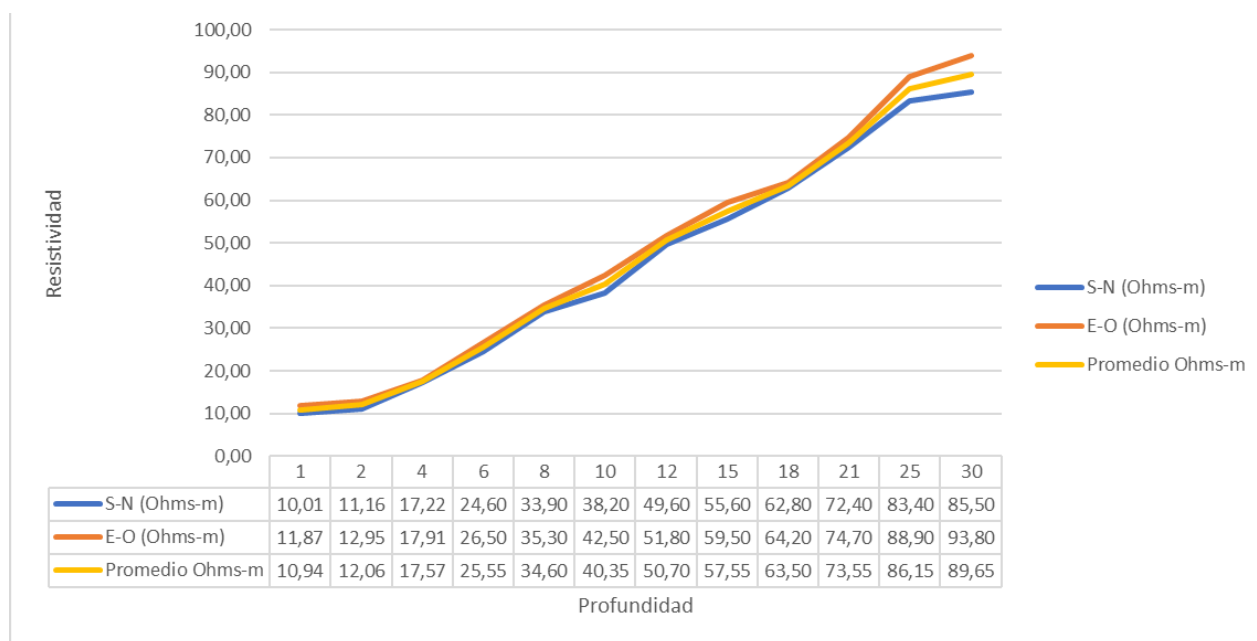


Figura 7 Resistividad Vs. Profundidad – Punto 2
Fuente: Propia – Software Excel

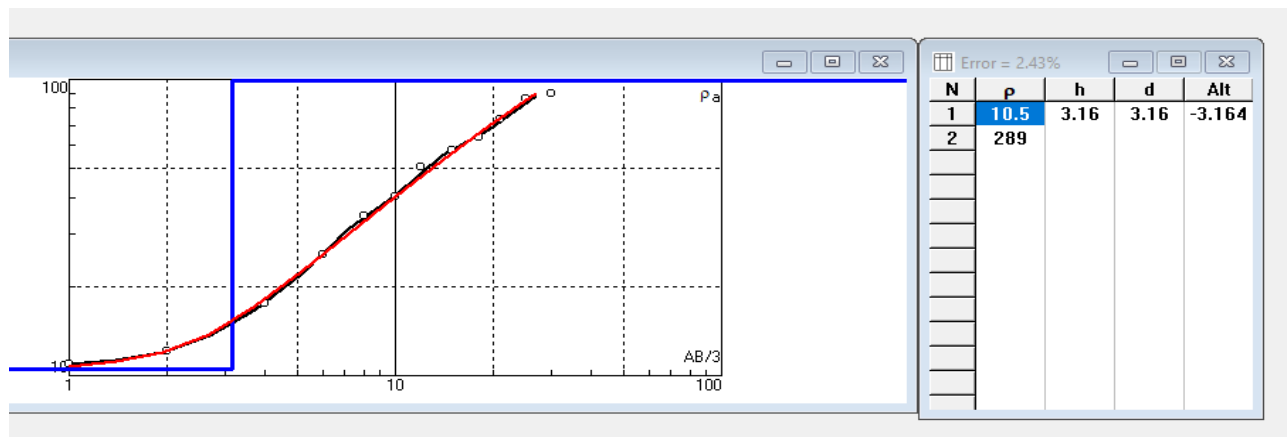


Figura 8 Modelo del Suelo – Punto 2
Fuente: Propia – Software IPI2WIN

Tabla 5 Resultados de las Mediciones resistividad P3

Valor de "a" en metros	N° GUARDADO	S-N (Ohms-m)	E-O (Ohms-m)	Descarte Eje X	Descarte Eje Y	Promedio Ohms-m
1	1	9,03	7,70	7,95%	-7,95%	8,37
2	2	11,79	11,42	1,59%	-1,59%	11,61
4	3	18,74	19,61	-2,27%	2,27%	19,18
6	4	24,60	25,60	-1,99%	1,99%	25,10
8	5	26,60	27,70	-2,03%	2,03%	27,15
10	6	31,40	32,50	-1,72%	1,72%	31,95
12	7	34,30	35,50	-1,72%	1,72%	34,90
15	8	35,00	36,20	-1,69%	1,69%	35,60
18	9	39,70	41,70	-2,46%	2,46%	40,70
21	10	45,10	47,30	-2,38%	2,38%	46,20
25	11	49,60	51,30	-1,68%	1,68%	50,45
30	12	57,10	55,80	1,15%	-1,15%	56,45

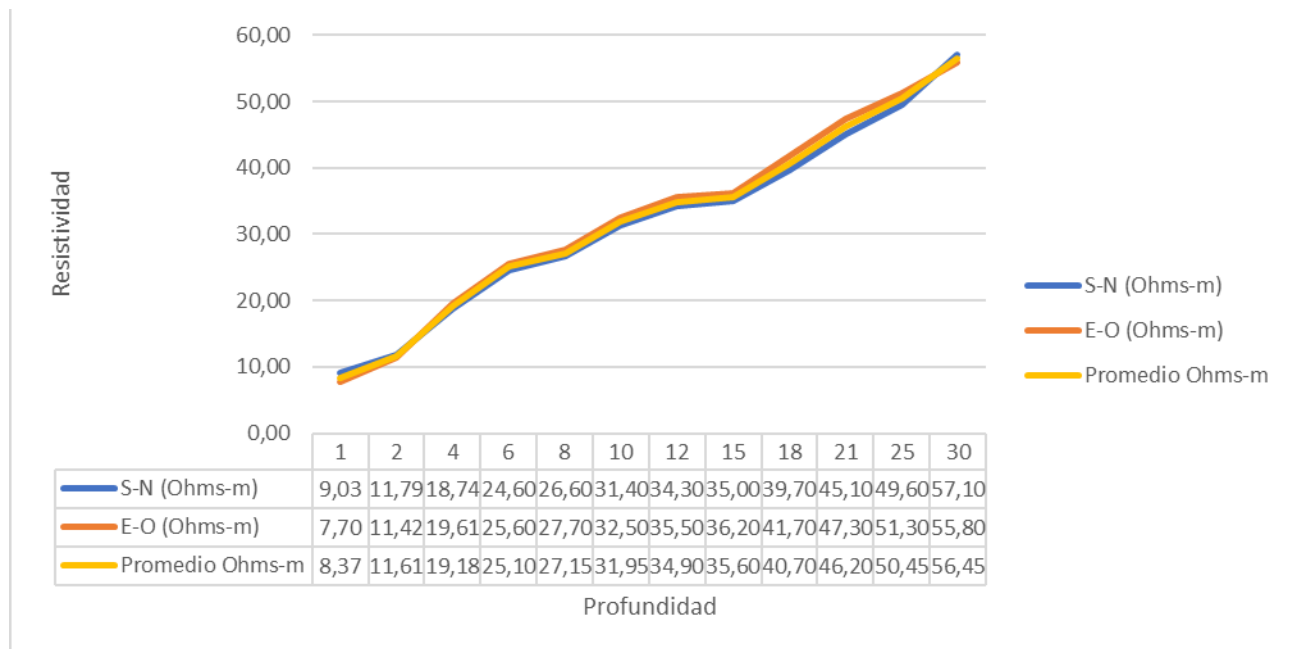


Figura 9 Resistividad Vs. Profundidad – Punto 3
Fuente: Propia – Software Excel

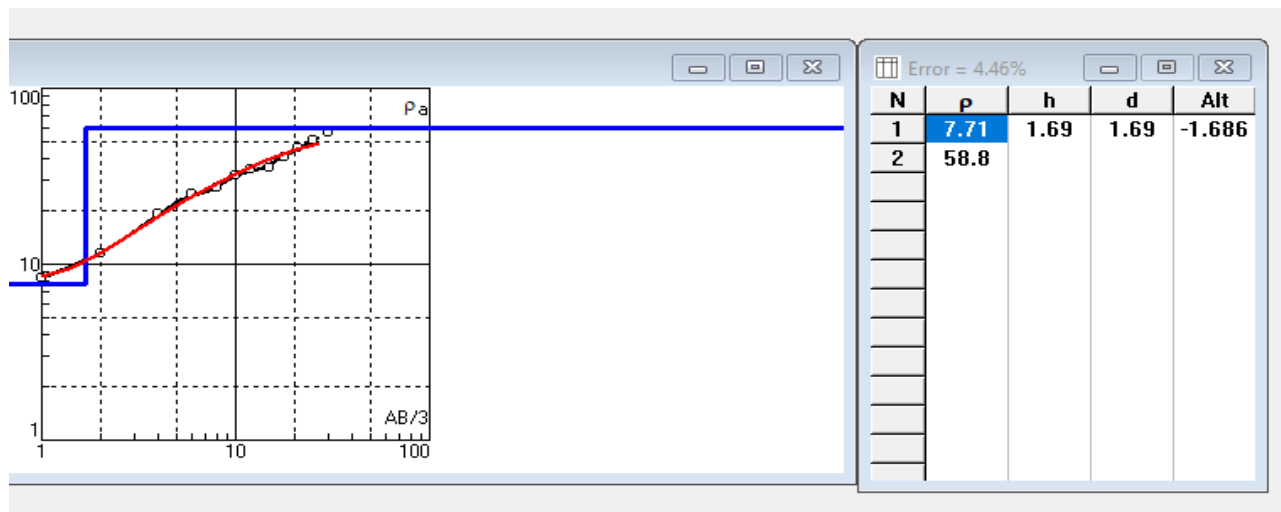


Figura 10 Modelo del Suelo – Punto 3
Fuente: Propia – Software IPI2WIN

Tabla 6 Resultados de las Mediciones resistividad P4

Valor de "a" en metros	N° GUARDADO	S-N (Ohms-m)	E-O (Ohms-m)	Descarte Eje X	Descarte Eje Y	Promedio Ohms-m
1	1	24,60	27,20	-5,02%	5,02%	25,90
2	2	44,60	41,80	3,24%	-3,24%	43,20
4	3	66,00	70,80	-3,51%	3,51%	68,40
6	4	84,40	88,00	-2,09%	2,09%	86,20
8	5	98,00	96,10	0,98%	-0,98%	97,05
10	6	113,10	111,50	0,71%	-0,71%	112,30
12	7	133,90	131,90	0,75%	-0,75%	132,90
15	8	153,60	155,30	-0,55%	0,55%	154,45
18	9	161,20	163,50	-0,71%	0,71%	162,35
21	10	172,70	174,70	-0,58%	0,58%	173,70
25	11	175,20	176,00	-0,23%	0,23%	175,60
30	12	165,00	171,20	-1,84%	1,84%	168,10

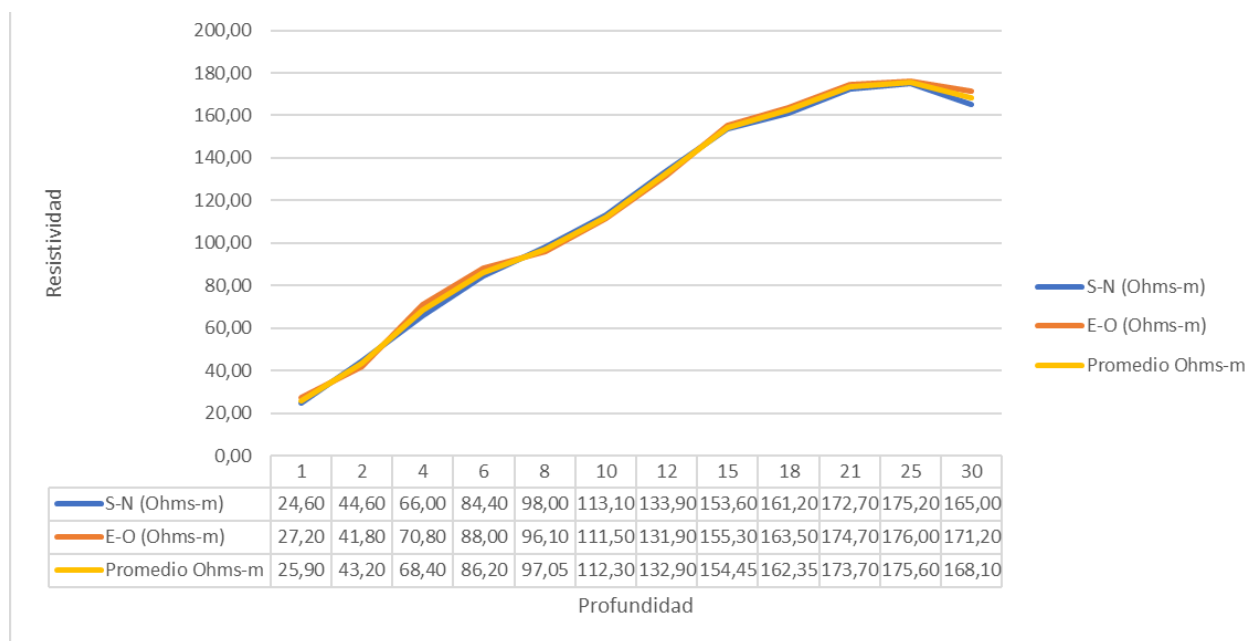


Figura 11 Resistividad Vs. Profundidad – Punto 4

Fuente: Propia – Software Excel

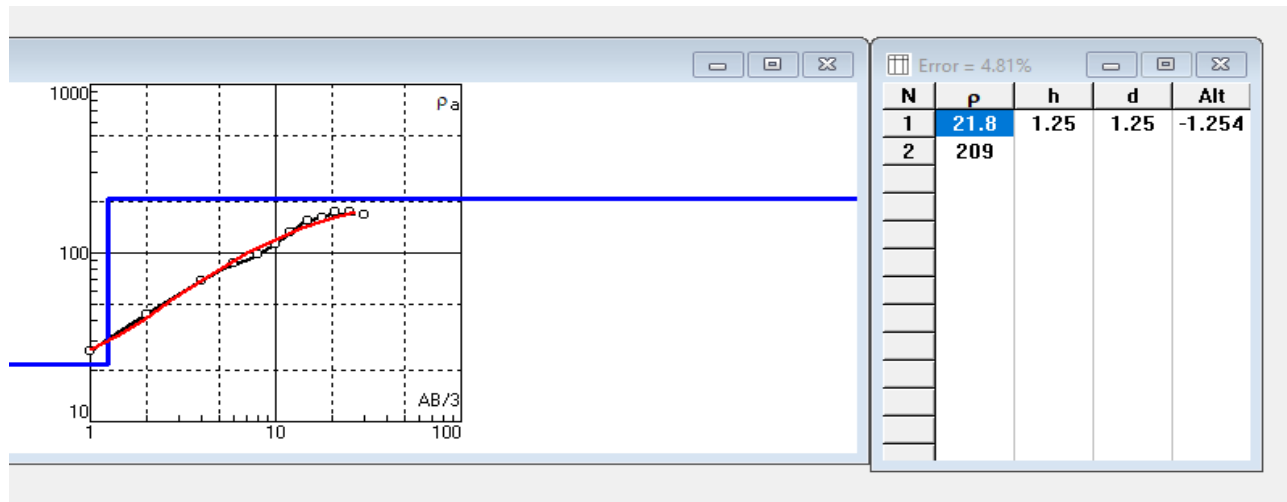


Figura 12 Modelo del Suelo – Punto 4
Fuente: Propia – Software IPI2WIN

Tabla 7 Resultados de las Mediciones resistividad P5

Valor de "a" en metros	N° GUARDADO	S-N (Ohms-m)	E-O (Ohms-m)	Descarte Eje X	Descarte Eje Y	Promedio Ohms-m
1	1	27,50	28,00	-0,90%	0,90%	27,75
2	2	33,60	35,80	-3,17%	3,17%	34,70
4	3	58,10	54,40	3,29%	-3,29%	56,25
6	4	74,70	72,70	1,36%	-1,36%	73,70
8	5	96,20	89,90	3,39%	-3,39%	93,05
10	6	112,10	108,10	1,82%	-1,82%	110,10
12	7	124,30	126,90	-1,04%	1,04%	125,60
15	8	150,80	144,10	2,27%	-2,27%	147,45
18	9	160,30	168,10	-2,38%	2,38%	164,20
21	10	172,60	191,80	-5,27%	5,27%	182,20
25	11	187,20	209,00	-5,50%	5,50%	198,10
30	12	215,00	224,00	-2,05%	2,05%	219,50

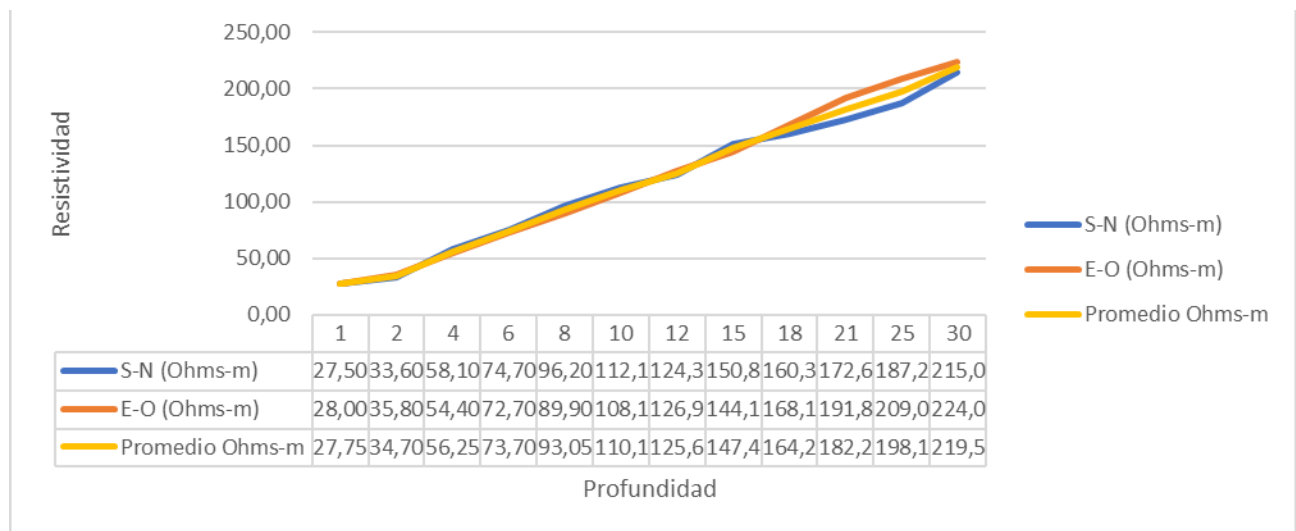


Figura 13 Resistividad Vs. Profundidad – Punto 5
Fuente: Propia – Software Excel

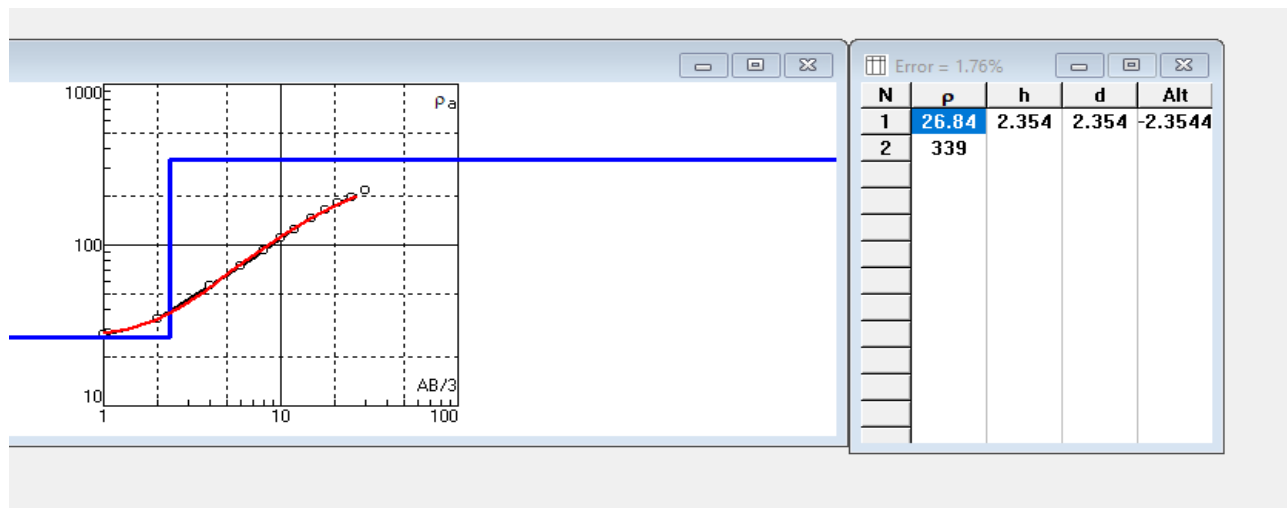


Figura 14 Modelo del Suelo – Punto 5
Fuente: Propia – Software IPI2WIN

Tabla 8 Resultados de las Mediciones resistividad P6

Valor de "a" en metros	N° GUARDADO	S-N (Ohms-m)	E-O (Ohms-m)	Descarte Eje X	Descarte Eje Y	Promedio Ohms-m
1	1	11,66	14,03	-9,23%	9,23%	12,85
2	2	14,66	13,42	4,42%	-4,42%	14,04
4	3	22,20	23,50	-2,84%	2,84%	22,85
6	4	30,50	32,80	-3,63%	3,63%	31,65
8	5	39,20	41,80	-3,21%	3,21%	40,50
10	6	49,20	50,10	-0,91%	0,91%	49,65
12	7	56,20	58,00	-1,58%	1,58%	57,10
15	8	66,40	67,80	-1,04%	1,04%	67,10
18	9	74,90	78,10	-2,09%	2,09%	76,50
21	10	81,80	83,70	-1,15%	1,15%	82,75
25	11	90,70	91,70	-0,55%	0,55%	91,20
30	12	98,40	102,10	-1,85%	1,85%	100,25

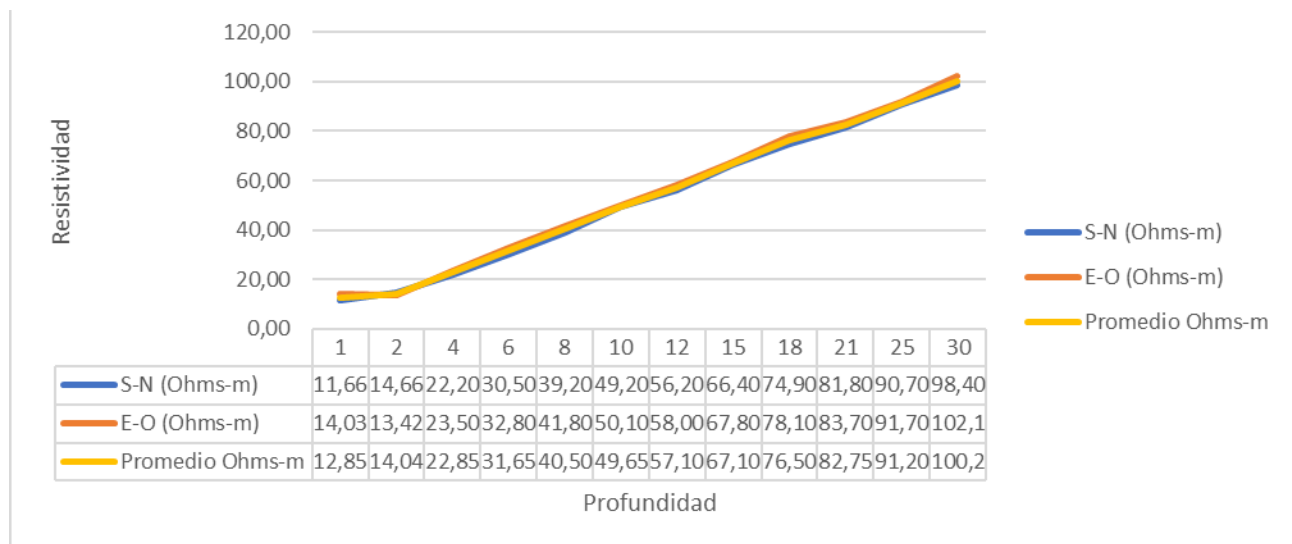


Figura 15 Resistividad Vs. Profundidad – Punto 6
Fuente: Propia – Software Excel

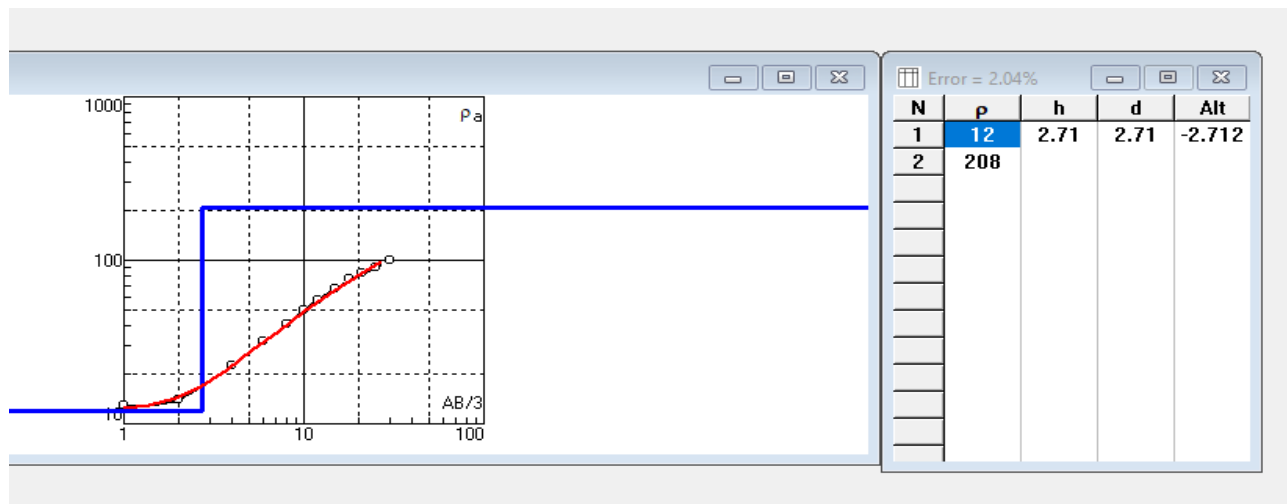


Figura 16 Modelo del Suelo – Punto 6
Fuente: Propia – Software IPI2WIN

Tabla 9 Resultados de las Mediciones resistividad P7

Valor de "a" en metros	N° GUARDADO	S-N (Ohms-m)	E-O (Ohms-m)	Descarte Eje X	Descarte Eje Y	Promedio Ohms-m
1	1	14,18	13,25	3,39%	-3,39%	13,72
2	2	18,99	21,10	-5,26%	5,26%	20,05
4	3	36,00	40,00	-5,26%	5,26%	38,00
6	4	49,80	45,90	4,08%	-4,08%	47,85
8	5	65,10	67,40	-1,74%	1,74%	66,25
10	6	78,90	80,40	-0,94%	0,94%	79,65
12	7	90,10	87,40	1,52%	-1,52%	88,75
15	8	107,10	106,20	0,42%	-0,42%	106,65
18	9	121,80	126,20	-1,77%	1,77%	124,00
21	10	133,70	132,90	0,30%	-0,30%	133,30
25	11	149,90	144,40	1,87%	-1,87%	147,15
30	12	169,40	171,40	-0,59%	0,59%	170,40

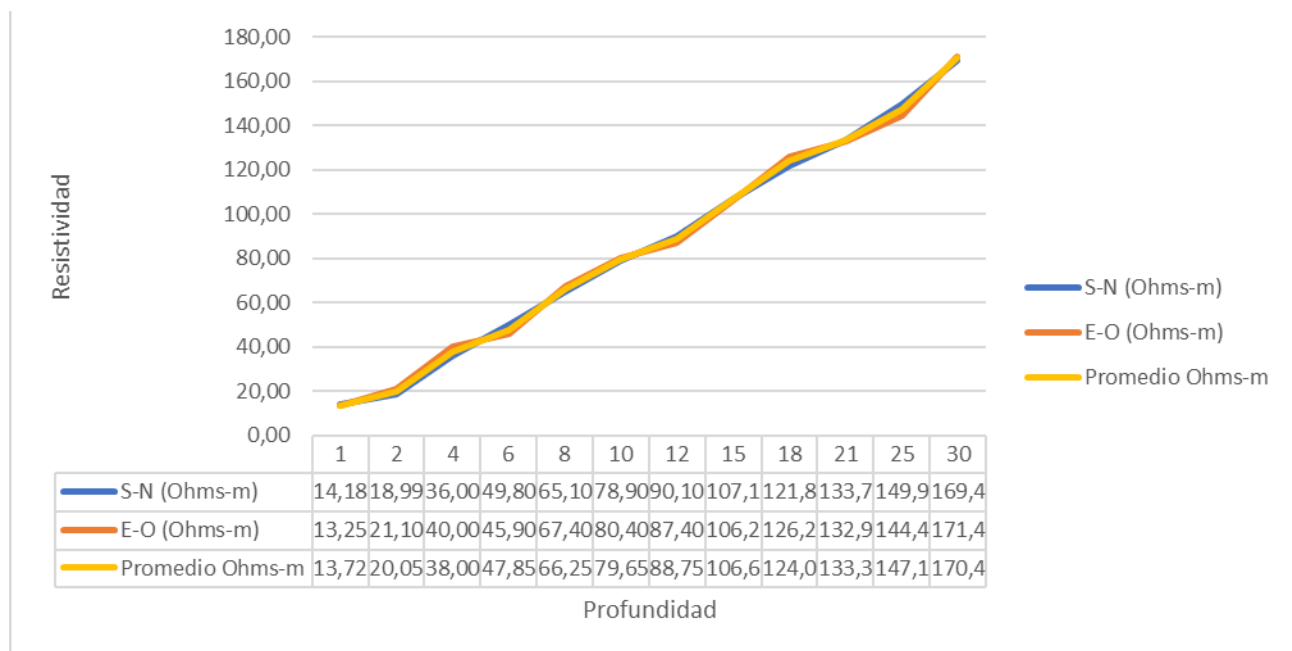


Figura 17 Resistividad Vs. Profundidad – Punto 7

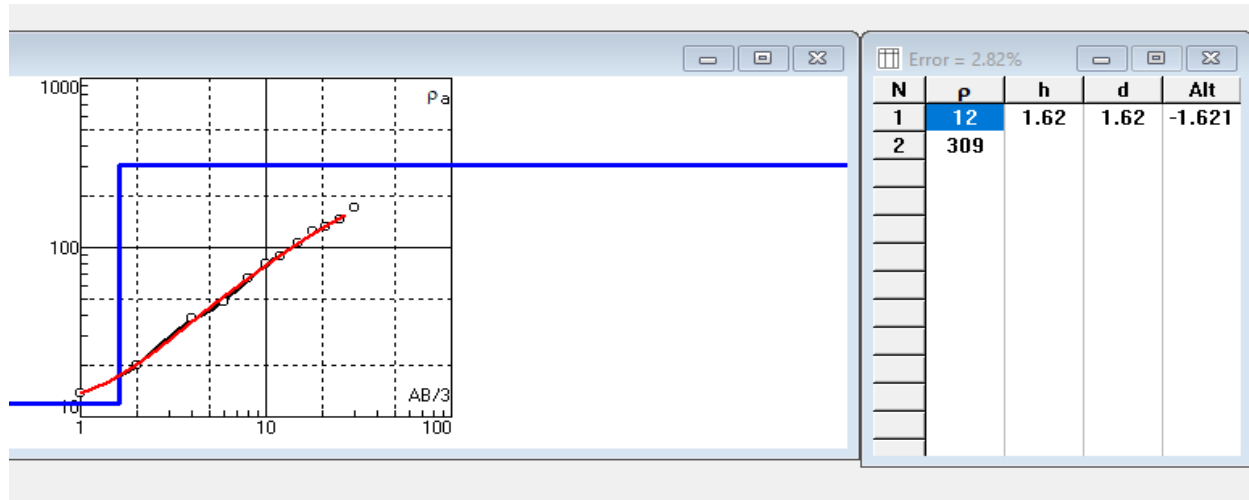


Figura 18 Modelo del Suelo – Punto 7

Fuente: Propia – Software IPI2WIN

Tabla 10 Resultados de las Mediciones resistividad P8

Valor de "a" en metros	N° GUARDADO	S-N (Ohms-m)	E-O (Ohms-m)	Descarte Eje X	Descarte Eje Y	Promedio Ohms-m
1	1	25,00	28,30	-6,19%	6,19%	26,65
2	2	36,10	39,50	-4,50%	4,50%	37,80
4	3	47,30	44,00	3,61%	-3,61%	45,65
6	4	55,00	57,30	-2,05%	2,05%	56,15
8	5	60,30	63,10	-2,27%	2,27%	61,70
10	6	67,50	63,60	2,97%	-2,97%	65,55
12	7	78,40	80,80	-1,51%	1,51%	79,60
15	8	91,90	93,40	-0,81%	0,81%	92,65
18	9	99,30	97,50	0,91%	-0,91%	98,40
21	10	109,70	110,50	-0,36%	0,36%	110,10
25	11	113,00	114,30	-0,57%	0,57%	113,65
30	12	123,20	121,80	0,57%	-0,57%	122,50

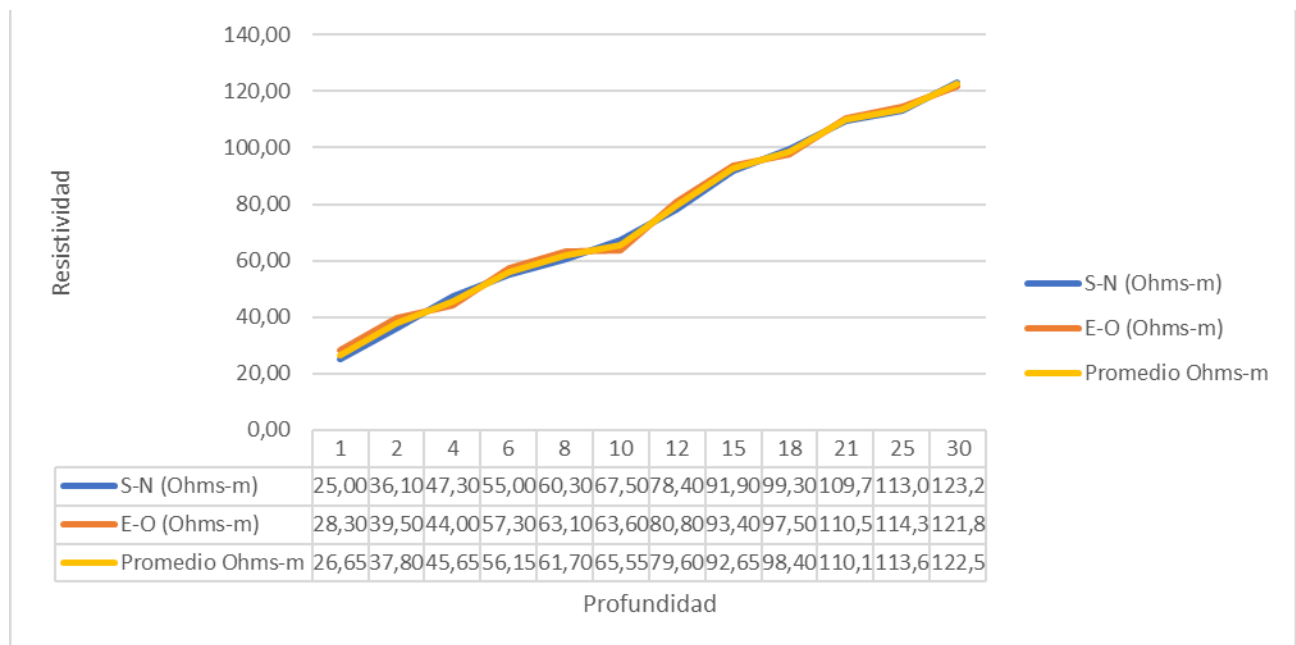


Figura 19 Resistividad Vs. Profundidad – Punto 8
Fuente: Propia – Software Excel

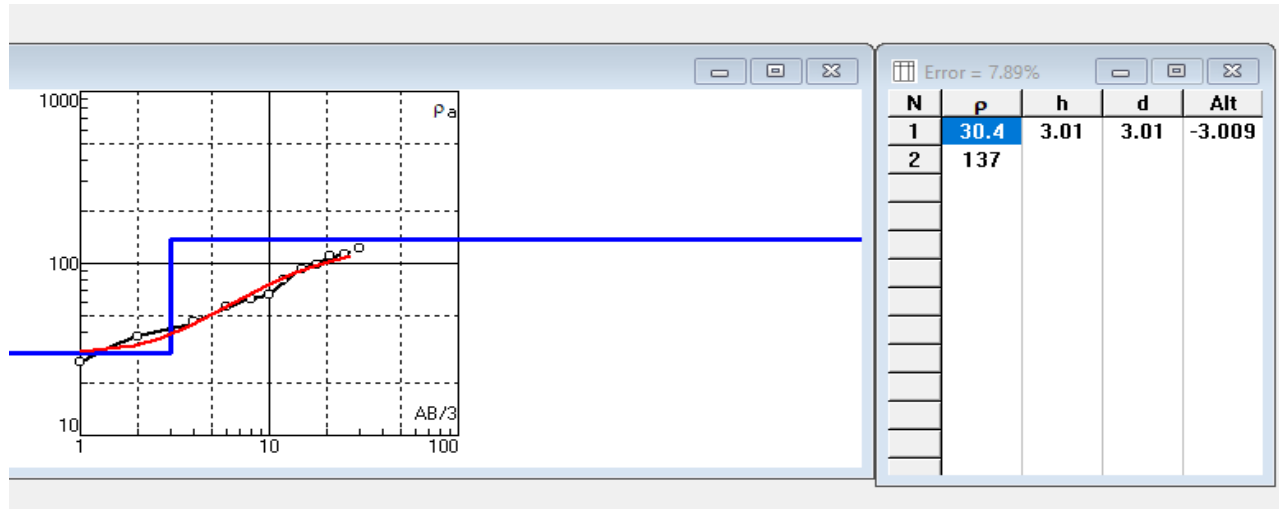


Figura 20 Modelo del Suelo – Punto 8
Fuente: Propia – Software IPI2WIN

Tabla 11 Resultados de las Mediciones resistividad P9

Valor de "a" en metros	N° GUARDADO	S-N (Ohms-m)	E-O (Ohms-m)	Descarte Eje X	Descarte Eje Y	Promedio Ohms-m
1	1	19,94	20,70	-1,87%	1,87%	20,32
2	2	44,50	48,10	-3,89%	3,89%	46,30
4	3	51,10	49,20	1,89%	-1,89%	50,15
6	4	64,10	65,70	-1,23%	1,23%	64,90
8	5	77,80	79,70	-1,21%	1,21%	78,75
10	6	89,60	90,20	-0,33%	0,33%	89,90
12	7	97,20	98,30	-0,56%	0,56%	97,75
15	8	106,80	110,10	-1,52%	1,52%	108,45
18	9	113,20	112,20	0,44%	-0,44%	112,70
21	10	123,30	125,80	-1,00%	1,00%	124,55
25	11	142,50	148,90	-2,20%	2,20%	145,70
30	12	158,70	157,90	0,25%	-0,25%	158,30

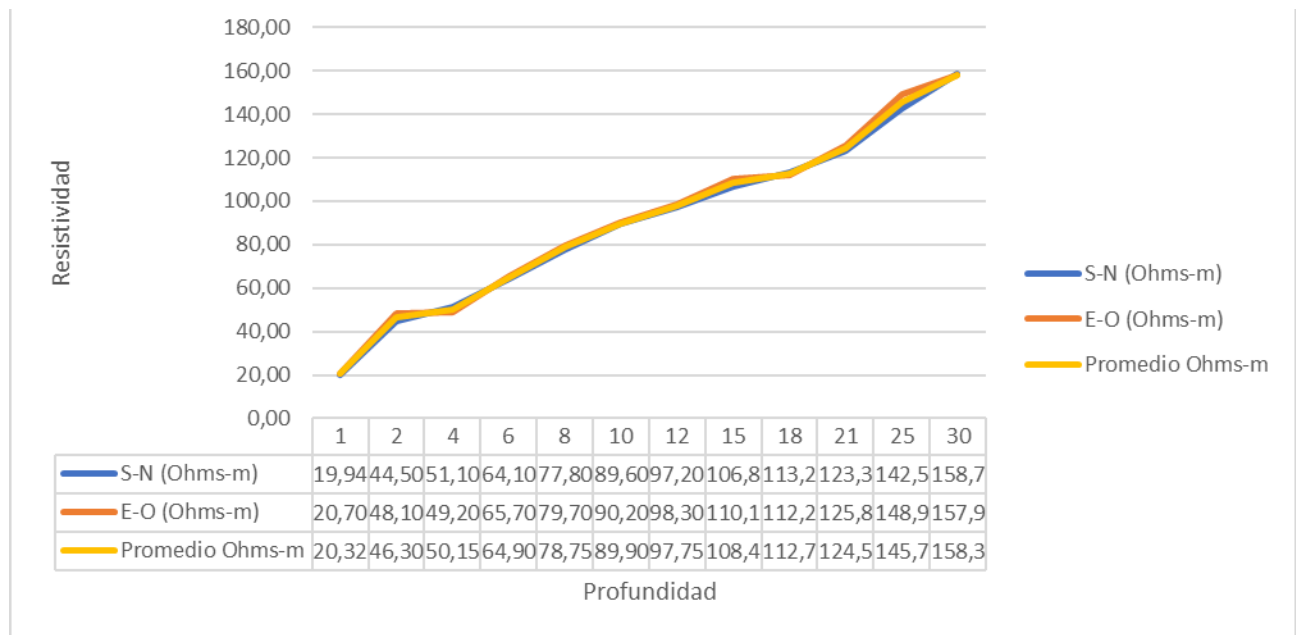


Figura 21 Resistividad Vs. Profundidad – Punto 9
Fuente: Propia – Software Excel

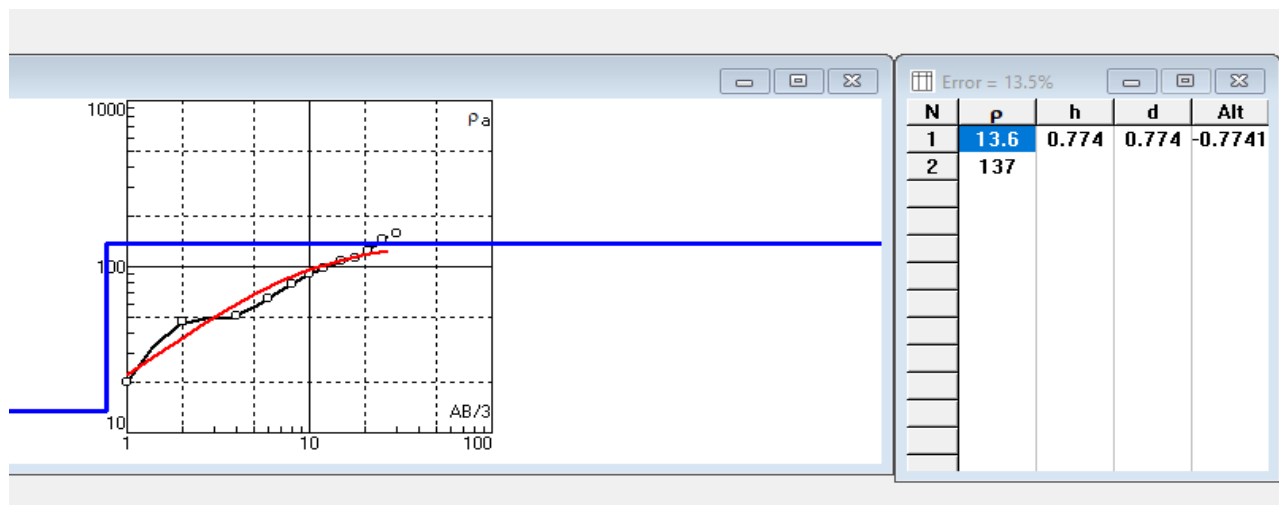


Figura 22 Modelo del Suelo – Punto 9
Fuente: Propia – Software IPI2WIN

Tabla 12 Resultados de las Mediciones resistividad P10

Valor de "a" en metros	N° GUARDADO	S-N (Ohms-m)	E-O (Ohms-m)	Descarte Eje X	Descarte Eje Y	Promedio Ohms-m
1	1	11,68	10,49	5,37%	-5,37%	11,09
2	2	16,72	15,48	3,85%	-3,85%	16,10
4	3	31,00	29,10	3,16%	-3,16%	30,05
6	4	39,90	45,70	-6,78%	6,78%	42,80
8	5	51,70	59,30	-6,85%	6,85%	55,50
10	6	64,60	75,50	-7,78%	7,78%	70,05
12	7	78,10	91,50	-7,90%	7,90%	84,80
15	8	95,40	98,70	-1,70%	1,70%	97,05
18	9	106,60	111,20	-2,11%	2,11%	108,90
21	10	115,70	117,90	-0,94%	0,94%	116,80
25	11	123,40	147,40	-8,86%	8,86%	135,40
30	12	147,60	150,20	-0,87%	0,87%	148,90

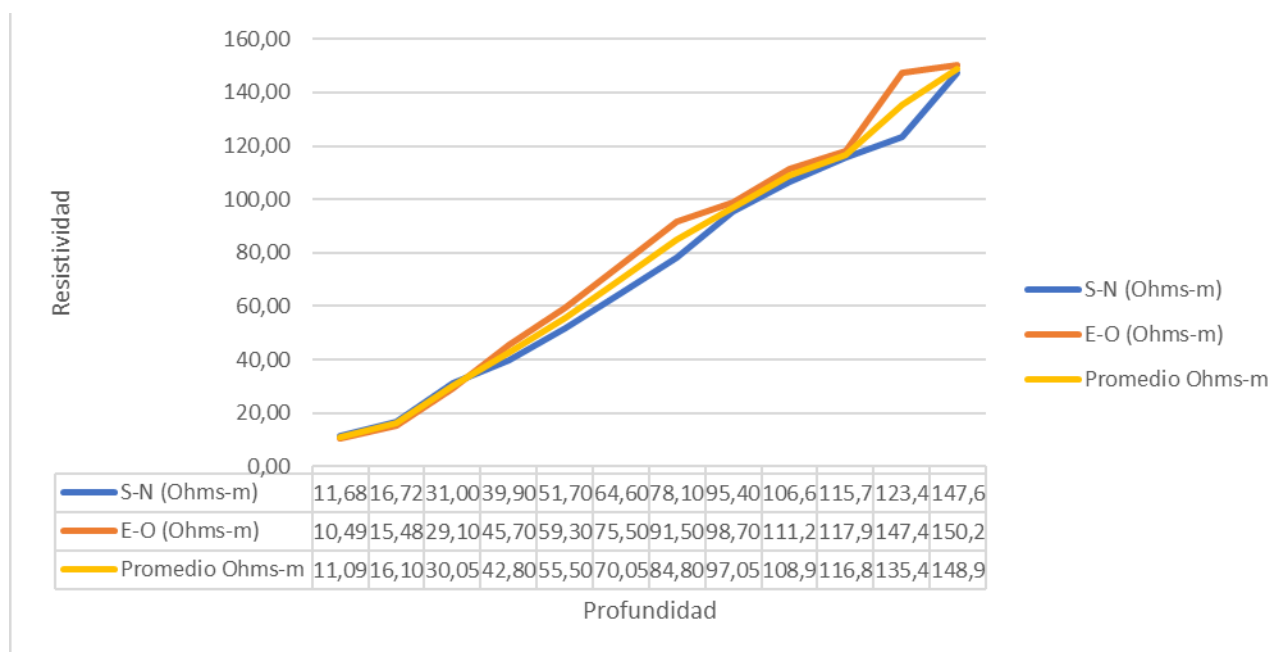


Figura 23 Resistividad Vs. Profundidad – Punto 10
Fuente: Propia – Software Excel

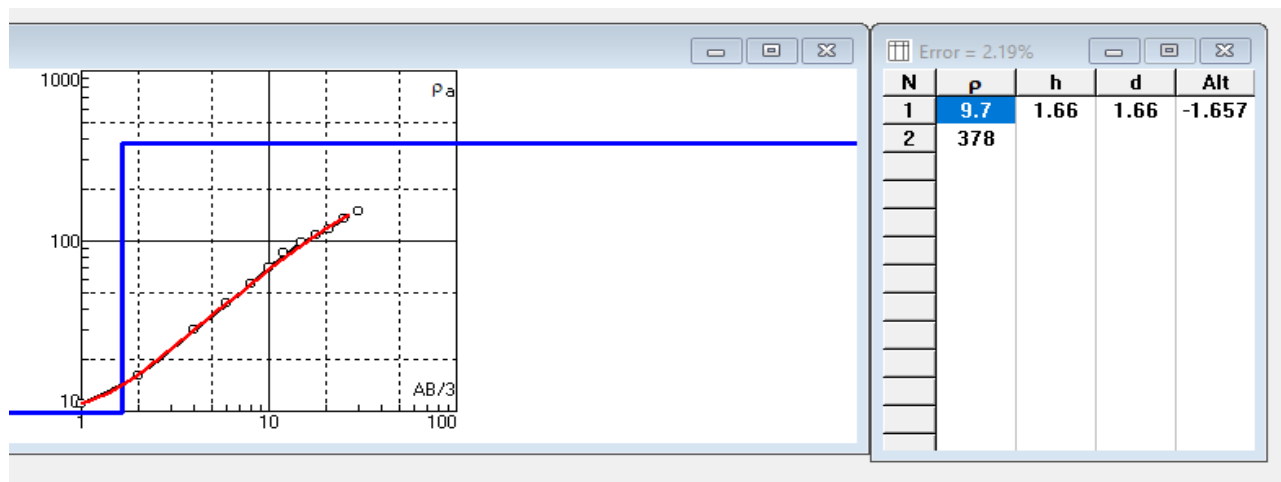


Figura 24 Modelo del Suelo – Punto 10
Fuente: Propia – Software IPI2WIN

Tabla 13 Resultados de las Mediciones resistividad P11

Valor de "a" en metros	N° GUARDADO	S-N (Ohms-m)	E-O (Ohms-m)	Descarte Eje X	Descarte Eje Y	Promedio Ohms-m
1	1	9,28	9,28	0,00%	0,00%	9,28
2	2	6,67	6,67	0,00%	0,00%	6,67
4	3	9,56	10,48	-4,59%	4,59%	10,02
6	4	11,94	13,30	-5,39%	5,39%	12,62
8	5	30,90	32,10	-1,90%	1,90%	31,50
10	6	31,60	34,40	-4,24%	4,24%	33,00
12	7	14,99	12,21	10,22%	-10,22%	13,60
15	8	21,60	21,30	0,70%	-0,70%	21,45
18	9	27,10	19,63	15,99%	-15,99%	23,37
21	10	18,54	18,25	0,79%	-0,79%	18,40
25	11	49,60	49,90	-0,30%	0,30%	49,75
30	12	56,00	55,90	0,09%	-0,09%	55,95

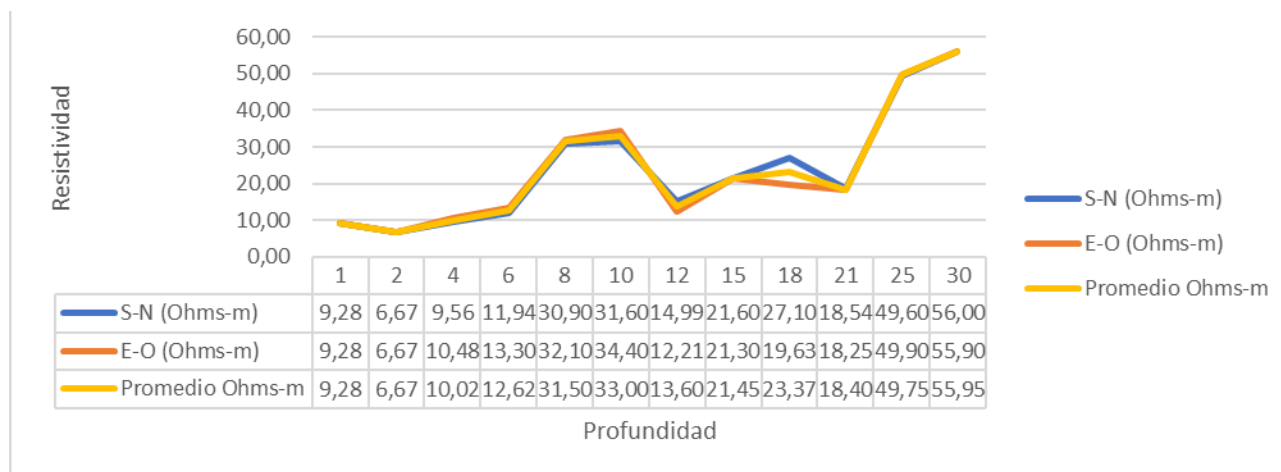


Figura 25 Resistividad Vs. Profundidad – Punto 11
Fuente: Propia – Software Excel

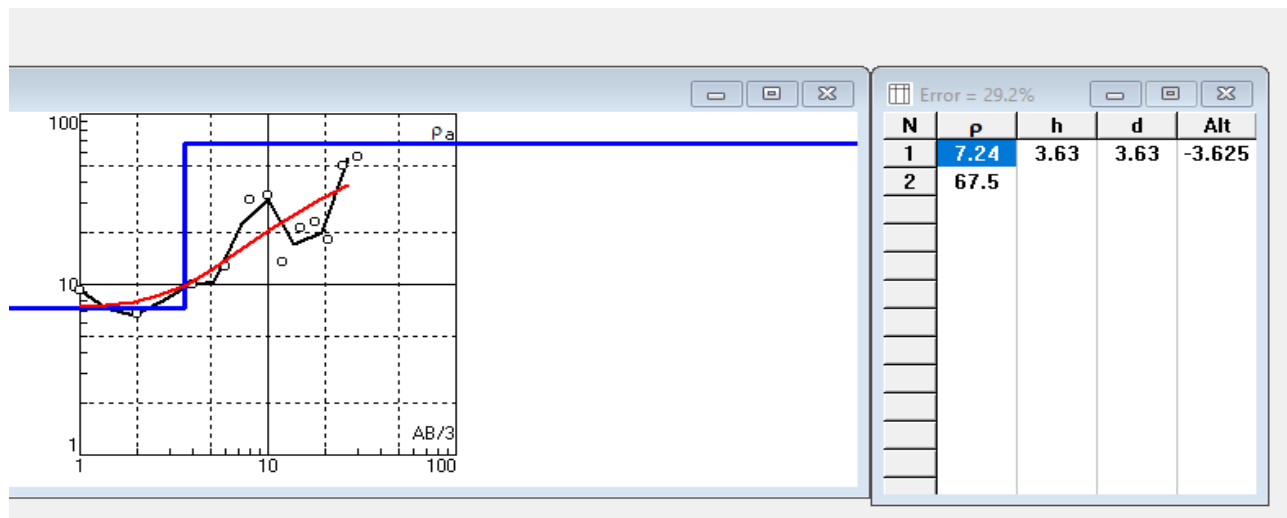


Figura 26 Modelo del Suelo – Punto 11
Fuente: Propia – Software IPI2WIN

10. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE RESISTIVIDAD EN RELACIÓN CON EL ESTUDIO DE SUELOS

En la Figura 27 se puede observar el nivel freático obtenido en el estudio geotécnico del suelo y la relación que guarda con la ubicación de los puntos de resistividad medidos.

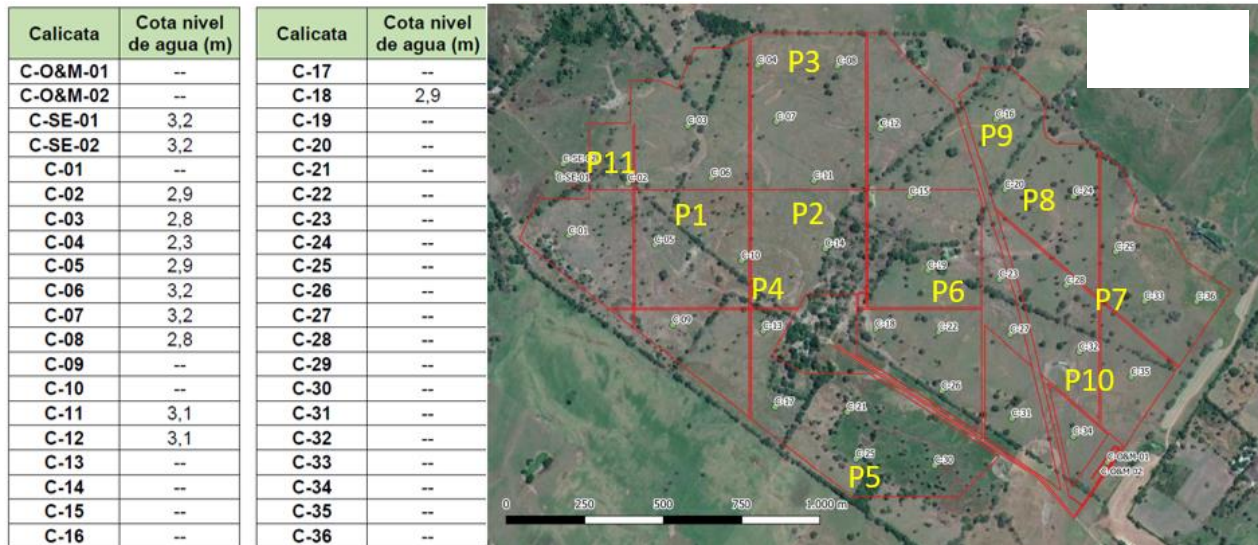


Figura 27 Nivel Freático y ubicación de puntos de resistividad medidos

Se puede observar que el nivel freático es alto en las zonas donde se midió la resistividad para los puntos P1, P3 y P11 (Subestación Eléctrica), esto es coherente con los resultados obtenidos ya que en dichos puntos la resistividad de las capas mas profundas fue menor que en el resto de la planta.

11. CONCLUSIONES

De acuerdo con la IEEE 2778-2020 sección 5.1.2, se concluye que el modelo del suelo a usar para el diseño de la malla de tierra debe ser el valor más alto que resulta de comparar las resistividades de las primeras y segundas capas de todos los puntos modelados, por lo tanto, el modelo recomendado a usar es el siguiente:

Tabla 14 Modelo del suelo a usar para el diseño de la malla de tierra

ρ_1	30,4 $\Omega.m$
h_1	3,01m
ρ_2	378,0 $\Omega.m$

10 Anexo

11.1 Registro Fotográfico de Mediciones











11.2 Certificado de Calibración Equipo de medida

RED METROLOGICA DE ANTIOQUIA S.A.S

		CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN <i>Calibration Certificate</i>		Código:	F-PS-C-04
				Version:	03
				Fecha:	2017-08-25
				Numero	38453
				Number	
INSTRUMENTO/EQUIPO <i>Instrument/Equipment</i> : Medidor de resistencia de aislamiento y de puesta a tierra					
FECHA DE RECEPCIÓN <i>Reception date</i> : 2023-05-24					
FECHA DE CALIBRACIÓN <i>Calibration date</i> : 2023-05-25					
FABRICANTE <i>Manufacturer</i> : Metrel					
MODELO <i>Model</i> : MI2088					
NÚMERO DE SERIE <i>Serial number</i> : No indica					
CÓDIGO METROLÓGICO <i>Metrologic code</i> : 20 224 265					
SOLICITANTE <i>Applicant</i> :					
DIRECCIÓN DEL SOLICITANTE <i>Applicant Address</i> : CL 37 CR 84 B 06					
TRAZABILIDAD: <i>Tracking</i>		Red Metrologica de Antioquia, entidad prestadora de servicios de calibración de instrumentos metrológicos, garantiza la trazabilidad de los patrones utilizados en estas mediciones hacia patrones nacionales o internacionales.			
Patrón Utilizado:	Multímetro Digital	Código Interno:	RMA-CC-EL-08	N° Certificado	59463-558B22113
	High Voltage Insulation HiTester		RMA-CC-EL-04		CMK-ELEM-21301
	Década de resistencias		RMA-CC-EL-09		3-001286 Iss. 1
Patrones de Apoyo	Termohigrómetro	Código Interno:	RMA-CC-HR-06	N° Certificado	4154-12394846
	Barómetro		RMA-CC-BR-02		MET-LP-CC-8980
Calibración realizada por <i>Calibration performed by</i> :		Orlando Alvarez Villa Técnico de Metrología DIANA MARCELA BOLAÑOS BOLAÑOS BOLAÑOS Diana Marcela Bolaños Bolaños Directora Técnica			
Revisada y firmada por <i>Reviewed and signed by</i> :					
Este informe expresa fielmente los resultados obtenidos en las mediciones realizadas, no podrá ser reproducido total o parcialmente excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito del laboratorio que lo emite. Los resultados obtenidos en el presente certificado se refieren al ítem a calibrar en el momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio no realizó muestreo para esta calibración. RED METROLOGICA DE ANTIOQUIA no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.					
N° de paginas incluyendo anexos 1 de 3					

mDirección Diagonal 43 N°28-03 Itagüí-Antioquia. Conmutador: 579 36 1511
 e-mail: info@redmetrologicaantioquia.com - www.redmetrologicaantioquia.com