



# Curso Diseño de Sistemas de Puesta a tierra con CDEGS

Ing. Eyner Saenz

## Sesión 3



1. OBJETIVOS
2. RESISTIVIDAD DEL SUELO
3. MÉTODOS DE MEDICIÓN
4. GEOLOGÍA DEL SUELO
5. PERFILES DE RESISTIVIDAD
6. PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN
7. CONSIDERACIONES PARA LA MEDICIÓN
8. CRITERIOS DE DISEÑOS
9. SELECCIÓN DE PUNTOS
10. RESAP COMO HERRAMIENTA PARA EL MODELO DE SUELO
11. EJEMPLO PRACTICO

# REISITIVIDAD DEL SUELO

## 4.1.4 Resistivity of soils

It is *strongly* recommended that the resistivity of the earth at the desired location of the connection be investigated. The resistivity of soils varies with the depth from the surface, the type and concentration of soluble chemicals in the soil, the moisture content, and the soil temperature. In other words, the resistivity is that of the electrolyte in the soil. The presence of surface water does not necessarily indicate low resistivity. Representative values of resistivity for general types of soils are given in Table 4-2 (see Cully, Jacoditis, and Middleton). The effects of moisture and temperature are shown in Table 4-3 (see Telford et al.) and Table 4-4 (see IEEE Std 81™).

### ¿Que dice la norma?

1. La resistividad del Suelo en el sitio de implantación debe ser medida.
2. La resistividad del suelo varia con: la profundidad, el tipo y concentración de químicos solubles en el suelo, el contenido de humedad, y la temperatura del suelo.

IEEE 81

NORMA  
INTERNACIONAL

2

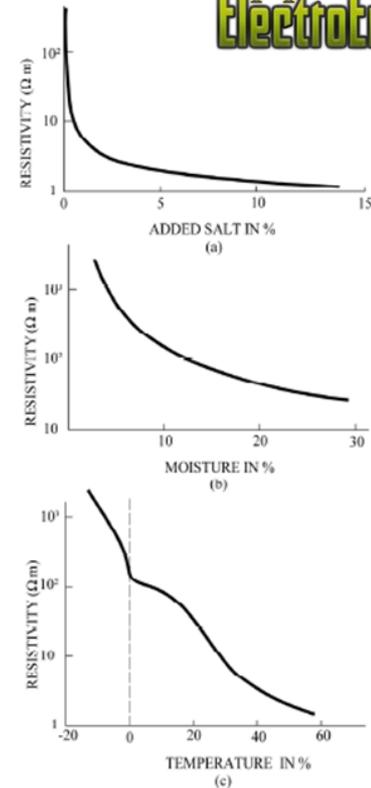


Figure 1 —Earth resistivity variations (Rudenberg [B55]): (a) salt, (b) moisture, and (c) temperature

# MEDIDAS DE REISITIVIDAD DEL SUELO

## 13.3 Resistivity measurements

Estimates based on soil classification yield only a rough approximation of the resistivity. Actual resistivity tests therefore are imperative. These should be made at a number of places within the site. Substation sites where the soil may possess uniform resistivity throughout the entire area and to a considerable depth are seldom found. Typically, there are several layers, each having a different resistivity. Often, lateral changes also occur, but in comparison to the vertical ones, these changes usually are more gradual. Soil resistivity tests should be made to determine if there are any important variations of resistivity with depth. The number of such readings taken should be greater where the variations are large, especially if some readings are so high as to suggest a possible safety problem.

If the resistivity varies appreciably with depth, it is often desirable to use an increased range of probe spacing in order to obtain an estimate of the resistivity of deeper layers. This is possible because, as the probe spacing is increased, the test source current penetrates more and more distant areas, in both vertical and horizontal directions, regardless of how much the current path is distorted due to the varying soil conditions (*Manual on Ground Resistance Testing* [B105]).

A number of measuring techniques are described in detail in IEEE Std 81. The Wenner four-pin method, as shown in Figure 18, is the most commonly used technique. In brief, four probes are driven into the earth along a straight line, at equal distances  $a$  apart, driven to a depth  $b$ . The voltage between the two inner (potential) electrodes is then measured and divided by the current between the two outer (current) electrodes to give a value of resistance  $R$ .

IEEE 80

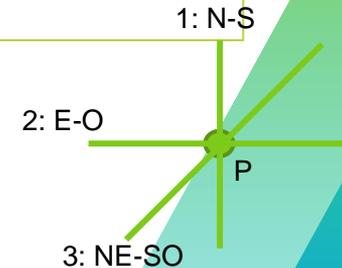
NORMA INTERNACIONAL

2

Palmer [B122] is a modified version of the Wenner method. This method gives greater sensitivity for large probe spacing, as described in IEEE Std 81.

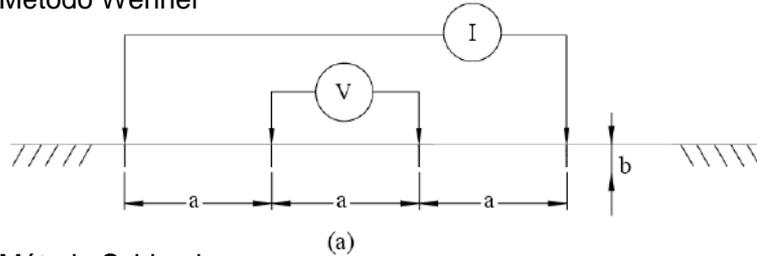
## ¿Métodos de Medición?

1. Wenner 4 Electroodos
2. Palmer (Schlumberger)
3. Se debe medir en varias direcciones (Recomendado 3 direcciones)



# METODOS DE MEDICION

Método Wenner



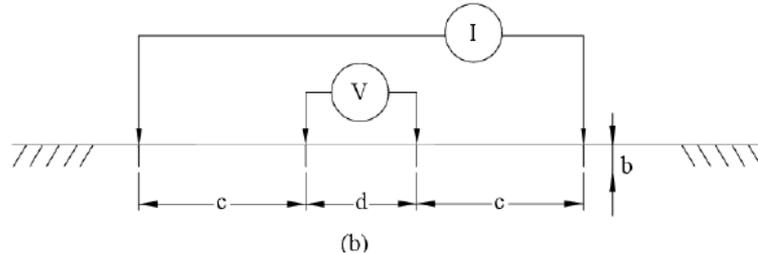
$$\rho = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}}$$

Resistividad Formula Completa

$$\rho = 2\pi a R$$

Resistividad Formula Simplificada

Método Schlumberger



$$\rho = \pi(c + d)R / d$$

Resistividad

$$[2c + d] / 2$$

Profundidad de la medición

The equation to be used in this case can be easily determined (Palmer [B50]). If the depth of burial of the electrodes  $b$  is small compared to their separation  $d$  and  $c$ , and  $c > 2d$ , then the measured apparent resistivity can be calculated as follows:

IEEE 81

NORMA INTERNACIONAL

3

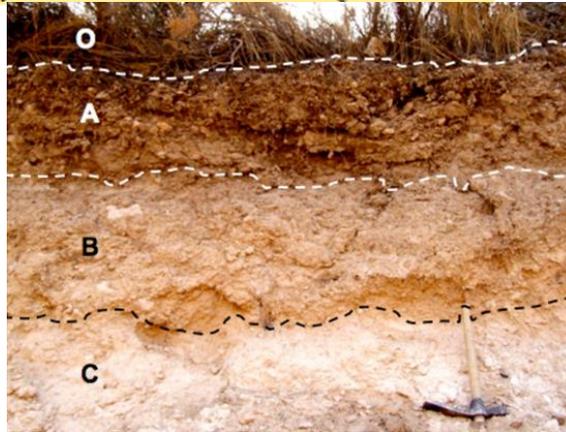
## 7.2 Methods of measuring earth resistivity

Min: 0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 25, 30, 45, 60  
75, 100, 150, 200, 250, 300

### 7.2.1 Geological information and soil samples

Often, at the site where a grounding system is to be installed, extensive geotechnical work will be performed. This work usually involves geological prospecting, which can provide a considerable amount of information on the nature and configuration of the soil. Such data could be of considerable assistance to the design engineer, who should try to obtain at least the following information:

- Type of soil in each layer
- Moisture content
- Soil pH
- Depth of groundwater



### Información de Interés para el Diseño:

1. Tipo de suelo en cada capa.
2. Contenido de humedad.
3. PH del suelo.
4. Profundidad de aguas subterráneas.

**IEEE 81**

NORMA  
INTERNACIONAL

**4**

# PERFILES DE REISITIVIDAD DEL SUELO

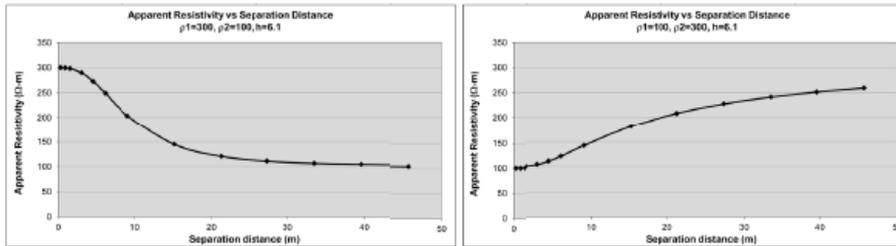


Table 3—Expected four-point, equally spaced field measurements for mathematically derived two-layer soil models

Spacing m (ft)	$\rho_1 = 300, \rho_2 = 100, h = 6.1 \text{ m (20 ft)}$		$\rho_1 = 100, \rho_2 = 300, h = 6.1 \text{ m (20 ft)}$	
	Resistance ( $\Omega$ )	Apparent resistivity ( $\Omega\text{-m}$ )	Resistance ( $\Omega$ )	Apparent resistivity ( $\Omega\text{-m}$ )
0.3 (1.0)	159.15	300.0	53.05	100.0
0.9 (3.0)	52.99	299.7	17.71	100.1
1.5 (5.0)	31.67	298.5	10.67	100.6
3.0 (10.0)	15.38	289.8	5.51	103.9
4.5 (15.0)	9.64	272.6	3.92	110.9
6.1 (20.0)	6.49	248.7	3.16	121.0
9.10 (30.0)	3.56	203.3	2.50	142.8
15.2 (50.0)	1.51	144.5	1.90	181.4
21.3 (70.0)	0.90	120.4	1.56	208.6
27.4 (90.0)	0.64	110.8	1.32	227.8
33.5 (110.0)	0.51	106.5	1.15	241.4
39.6 (130.0)	0.42	104.3	1.01	251.7
45.7 (150.0)	0.36	103.1	0.90	259.6

## Separación de electrodos en cada medición:

1. La separación puede aumentar en pasos de 1,5m o de 2m en cada medición, hasta alcanzar los 20m. A partir de los 20m puede aumentar en pasos de 5m, 10m o 15m.



(a)

(b)

Figure 5—Four-point, equally spaced method mathematically derived field measurements

IEEE 81

NORMA INTERNACIONAL

5

## PERFILES DE REISITIVIDAD DEL SUELO

Notas:

- De considerarse necesario levantar más perfiles, se puede adicionar columnas similares y ampliar el registro de medidas.
- Para el diseño de puesta a tierra de equipos de distribución (equipos de transformación, maniobra o protección) debe caracterizarse la resistividad como mínimo en dos direcciones perpendiculares, hacia la parte central del terreno.
- Para el diseño de puesta a tierra de instalaciones Industriales, comerciales o residenciales, deben efectuarse medidas que cubran toda el área donde quedara la malla. Como mínimo deberá medirse en dos direcciones perpendiculares, hacia la parte central del área del terreno y en dos direcciones o perfiles hacia la periferia, paralelos a los lados del área.
- Se deben descartar los valores de resistividad que tengan una desviación estándar superior al 50%.
- Las medidas a 32 metros son adoptadas en el caso de diseño de sistemas de puesta a tierra de área de gran tamaño ( $> 1000 \text{ m}^2$ ).

RA6-014

NORMA OR

5

# ¿HASTA QUE PROFUNDIDAD SE DEBE MEDIR?

## 7.4.2 Probe spacing influence on test accuracy

Depending on the actual soil resistivity variations with depth, the probe spacing for the Wenner method can significantly influence the accuracy of the computed multilayer soil model. Southey and Dawalibi [B56] have shown in Table 4 that the ranges of errors in resistance, touch, and step voltages for a ground grid can be found for probe spacing as a function of the ground grid dimension. This analysis was based on a number of “perfect” two-layer soil models, with the apparent resistivity versus probe spacing computed using a computer program. Therefore, there is no source of error between the two-layer model layer and depth parameters versus the actual soil structure.

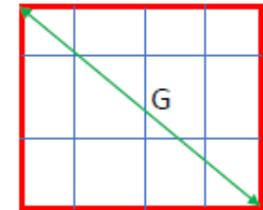
Table 4—Error range based on probe spacing

Probe spacing (% grid length)	Error range (%)	
	Grid resistance	Touch and step voltage (in % of grid GPR)
40%	-50% to +30%	-20% to +110%
100%	-33% to +9%	-8% to +50%
300%	-17% to +9%	-8% to +20%

Table 4 demonstrates that probe spacings on the order of the ground grid dimension should give sufficient model accuracy for computing touch and step voltages, whereas probe spacings of more than three times the grid length are required for conservative predictions of the grid resistance.

### Profundidad de Medición:

1. Para obtener resultados aceptables en el diseño final, se debe tomar el lado mas largo o la diagonal y dividirlo entre 3.



# ¿HASTA QUE PROFUNDIDAD SE DEBE MEDIR?



## REGISTRO DE LAS MEDIDAS

Espaciamiento "a" (m)	Perfil 1		Perfil 2		Perfil 3		Resistividad Promedio
	R1 ( $\Omega$ )	$\rho$ 1 ( $\Omega$ -m)	R2 ( $\Omega$ )	$\rho$ 2 ( $\Omega$ -m)	R3 ( $\Omega$ )	$\rho$ 3 ( $\Omega$ -m)	$\rho=(\rho1+\rho2+\rho3)/3$
1							
2							
4							
6							
8							
10							
32							

RA6-014

NORMA OR

6

# CONSIDERACIONES MEDICIONES



7

# DURANTE LAS

- a) Verificar la calibración de los equipos (solicitar certificados o probar con una resistencia de valor conocido).
- b) Evitar la medición cerca de líneas de transmisión que puedan inducir campos al equipo utilizado y/o cerca de estructuras enterradas.
- c) Los electrodos de prueba deben hacer buen contacto con el terreno. A tal fin humedecer el suelo cuando el equipo de medición presente problemas para cerrar el circuito.
- d) Para descartar errores de medición causados por la geología del terreno, realizar mediciones en un sentido, en otro a 90 grados del primero y en el sentido de las diagonales.
- e) Seleccionar los puntos para realizar las mediciones.
- f) Realizar las mediciones en periodo seco (Se recomienda al menos 3 días sin haber caído lluvia en el sitio de medición)

# CONSIDERACIONES DURANTE LAS MEDICIONES



## RED METROLOGICA DE ANTIOQUIA S.A.S

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN		Código:	PS-C-04
calibración Certificados		Version:	05
		Fecha:	2017-09-26
		Numero	38453
		Number	
INSTRUMENTO/EQUIPO	: Medidor de resistencia de aislamiento y de puesta a tierra		
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2023-05-24		
FECHA DE CALIBRACIÓN	: 2023-05-25		
FABRICANTE	: Metrel		
MODELO	: MI2088		
NÚMERO DE SERIE	: No indica		
CÓDIGO METROLÓGICO	: 20 224 265		
SOLICITANTE	:		
DIRECCIÓN DEL SOLICITANTE	: CL 37 CR 84 B 06		
TRAZABILIDAD:	Red Metrología 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	RMA-CC-EL-08	59463-558622113
	High Voltage Insulation Híster	RMA-CC-EL-04	N° Certificado CMK-ELEM-21301
	Década de resistencias	RMA-CC-EL-09	3-001280 Iss. 1
Patrones de Apoyo	Termohigrómetro	RMA-CC-HR-06	N° Certificado 4154-1234846
	Barómetro	RMA-CC-BR-02	MET-IP-CC-8980
Calibración realizada por	Orlando Alvarez Villa Técnico de Metrología		
Revisada y firmada por	Diana Marcela Bolaños Bolaños Firmado digitalmente por DIANA MARCELA BOLAÑOS BOLAÑOS BOLAÑOS BOLAÑOS Fecha: 2023.05.25 14:23:39-0500 Diana Marcela Bolaños Bolaños Directora Técnica		
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 realiza muestreo para esta calibración. RED METROLÓGICA 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			

FECHA		10/07/2023				
N° PROYECTO		PT1				
PUNTO EN GOOGLE EARTH						
UBICACIÓN		PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA				
Valor de "a" en metros	N° GUARDADO	S-N (Ohms-m)	E-O (Ohms-m)	Descarte Eje X	Descarte Eje Y	Promedio Ohm
1	1	12,86	13,62			
2	2	21,4	23,2			
4	3	41,2	43,5			
6	4	54,8	57,1			
8	5	63,8	65,3			
10	6	67,4	70,4			
12	7	67,4	70			
15	8	69,9	72,1			
18	9	75,6	78,2			
21	10	79,9	83,4			
25	11	83,5	86,3			
30	12	87,6	91,4			

Electroenergy  
Karel Arreaza  
13/07/2023

Powarchina  
Andrés Felipe Turana  
A.P.T.

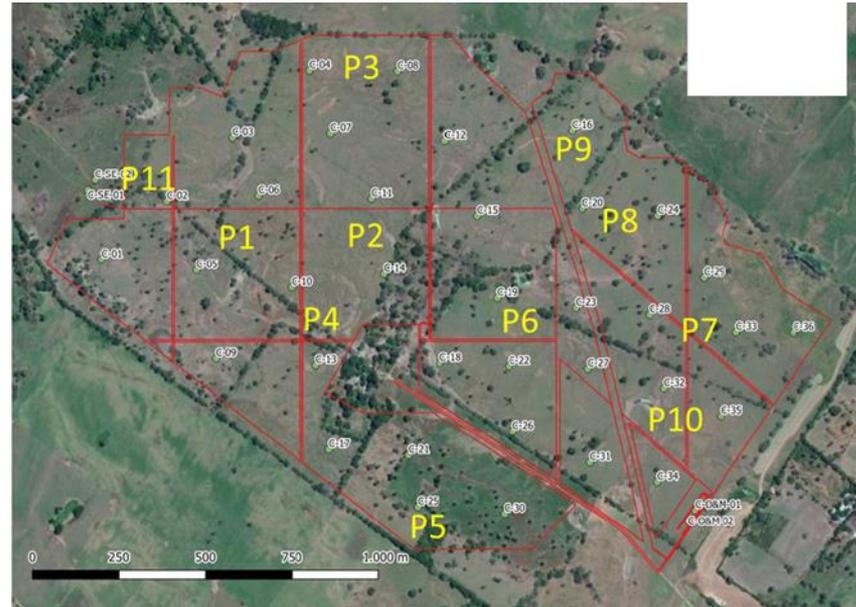
AYESA  
Juan Carlos Rivera  
JCR

Eymar Sanz Garcia  
Eymar Sanz G.

# CONSIDERACIONES DURANTE LAS MEDICIONES

Tabla 1: Nivel de agua en el interior de calicatas ejecutadas.

Calicata	Cota nivel de agua (m)	Calicata	Cota nivel de agua (m)
C-O&M-01	--	C-17	--
C-O&M-02	--	C-18	2,9
C-SE-01	3,2	C-19	--
C-SE-02	3,2	C-20	--
C-01	--	C-21	--
C-02	2,9	C-22	--
C-03	2,8	C-23	--
C-04	2,3	C-24	--
C-05	2,9	C-25	--
C-06	3,2	C-26	--
C-07	3,2	C-27	--
C-08	2,8	C-28	--
C-09	--	C-29	--
C-10	--	C-30	--
C-11	3,1	C-31	--
C-12	3,1	C-32	--
C-13	--	C-33	--
C-14	--	C-34	--
C-15	--	C-35	--
C-16	--	C-36	--



# CONSIDERACIONES DURANTE LAS MEDICIONES



N	p	h	d	Alt
1	6.19	0.567	0.567	-0.5671
2	101			

N	p	h	d	Alt
1	10.5	3.16	3.16	-3.164
2	289			

N	p	h	d	Alt
1	7.71	1.69	1.69	-1.686
2	58.8			

N	p	h	d	Alt
1	21.8	1.25	1.25	-1.254
2	209			

N	p	h	d	Alt
1	26.84	2.354	2.354	-2.3544
2	339			

N	p	h	d	Alt
1	12	2.71	2.71	-2.712
2	208			

N	p	h	d	Alt
1	12	1.62	1.62	-1.621
2	309			

N	p	h	d	Alt
1	30.4	3.01	3.01	-3.009
2	137			

N	p	h	d	Alt
1	13.6	0.774	0.774	-0.7741
2	137			

N	p	h	d	Alt
1	9.7	1.66	1.66	-1.657
2	378			

N	p	h	d	Alt
1	7.24	3.63	3.63	-3.625
2	67.5			

7

P1=30,4 Ω.m  
 h1= 3,01  
 P2=378,0 Ω.m

# Criteria de Diseño



## 5.1.1 Soil resistivity testing

To get sufficient information to perform the analyses of the grounding system, it is necessary to collect a significant amount of soil resistivity data throughout the SPP prior to construction. Ideally this includes a combination of a large number of shorter traverses and a few very long traverses of soil resistivity. The long traverses of soil resistivity are used to characterize the lower layer(s) of soil. Generally, the bottom layer remains constant across the entire site and can significantly influence the overall grounding system impedance.

Short traverses should consist of measurements from small spacings (around 0.5 m or less) up to maximum spacings of at least 30 m (100 ft). For some SPP sites where significant variation of resistivity with depth is expected, these tests may need to be extended to a maximum spacing upwards of 75 m (250 ft). Typically these shorter traverses should be made in a grid across the site with separations between center points on the order of 500 m (1650 ft) [B3]. Short traverses can be used to develop upper-layer soil models for each location where the data was gathered.

Longer traverses are critical for the accurate characterization and analysis of any large grounding system [B4]. Ideally, the maximum spacing of the soil resistivity test would equal the largest SPP diagonal dimension; however, this is not practical for larger SPP sites. For larger plants, the largest spacings for the longer traverses may need to be around 300 m (1000 ft) in order to get a few probe spacings measuring this deepest layer [B3]. If measured apparent resistivities have not stabilized with little change over increasing probe spacings, the traverses should be extended until the resistivities do level out. In large plants it is advisable for multiple long traverses to be performed in varying areas within the plant to improve accuracy of the SPP soil model.

IEEE 2778

NORMA INTERNACIONAL

8

# Criterios de Diseño



## 5.1.2 Soil model development

Each traverse of soil resistivity data measured should be analyzed separately. The shorter traverses in a given area are used to represent the upper layers of local soil. The nearest longer traverse(s) of soil resistivity data provides data on the deeper layers of soil. For smaller plants, the bottom layer of soil often is the same for the entire SPP. Some very large SPPs may require the use of different values for the lower layer(s) of soil resistivity.

Utilizing the data from the short and long traverse models for a given site, an overall soil model for a given area of analysis can be developed. Table 1 shows an example of combining a short traverse (with two layers of soil detected) and a long traverse (three layers of soil detected due to the larger probe spacings). The resistivity of the upper and middle layers is based on the short traverse, and the resistivity of the bottom layer uses the long

traverse. For depths, the top layer(s) utilize the depths known from the short traverse. Selecting the depth of the next to bottom layer is the most difficult aspect if there is not a direct correlation between the middle layer resistivities. One approach is to place the bottom layer at the same total depth as measured in the long traverse (35 m in this example).

IEEE 2778

NORMA INTERNACIONAL

8

# Criterios de Diseño



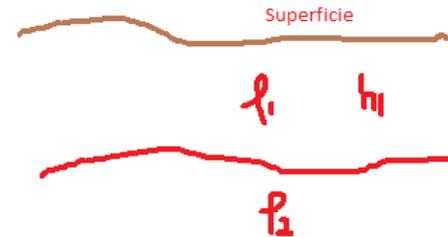
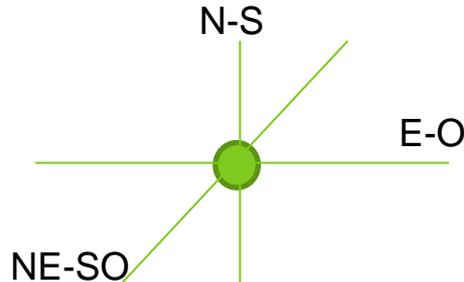
Table 1—Sample soil model development

	Soil resistivity and thickness		
	Short taverse (local) (tested to 30 m)	Long traverse (nearby)	Combined local model
Top layer	50 $\Omega \cdot m$ for 2 m	30 $\Omega \cdot m$ for 4 m	50 $\Omega \cdot m$ for 2 m
Second (middle) layer	120 $\Omega \cdot m$ (bottom measured with shorter traverse)	100 $\Omega \cdot m$ for 31 m (cumulative depth 35 m)	120 $\Omega \cdot m$ for 33 m (cumulative depth 35 m)
Third (bottom) layer		65 $\Omega \cdot m$	65 $\Omega \cdot m$

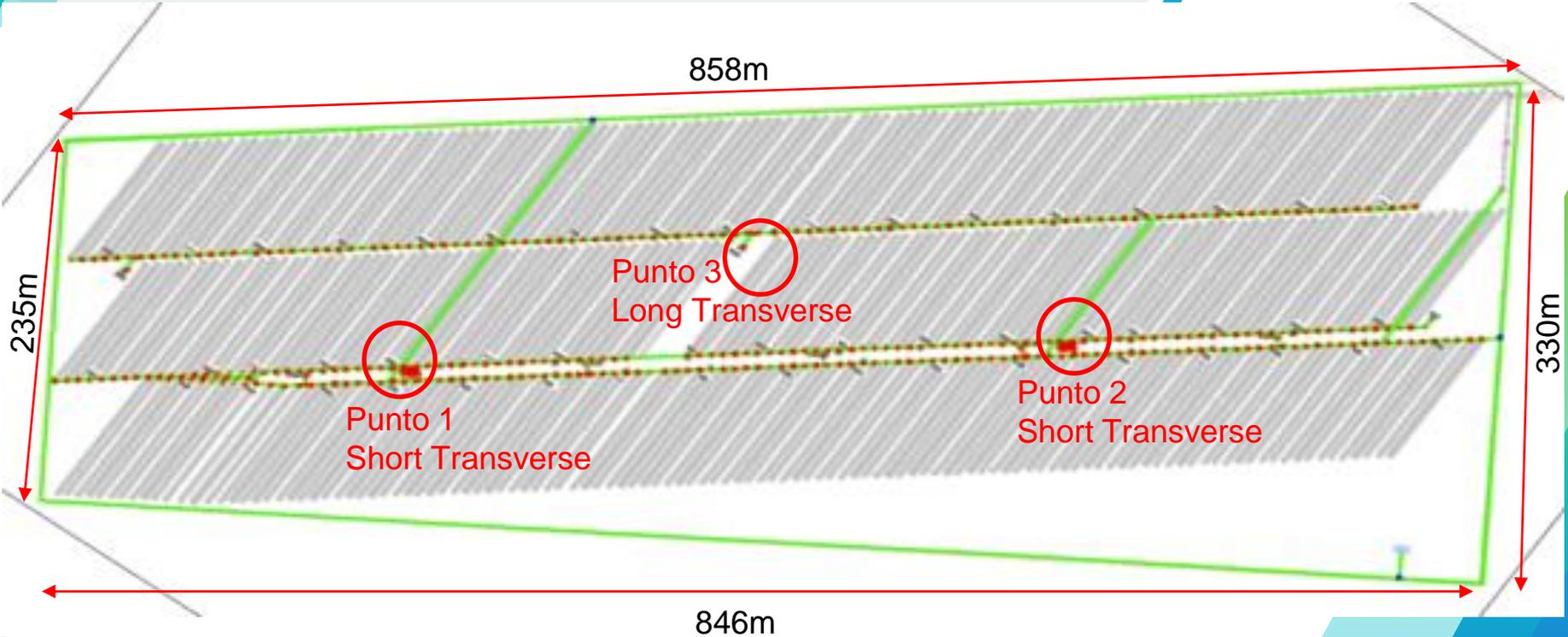
IEEE 2778

NORMA INTERNACIONAL

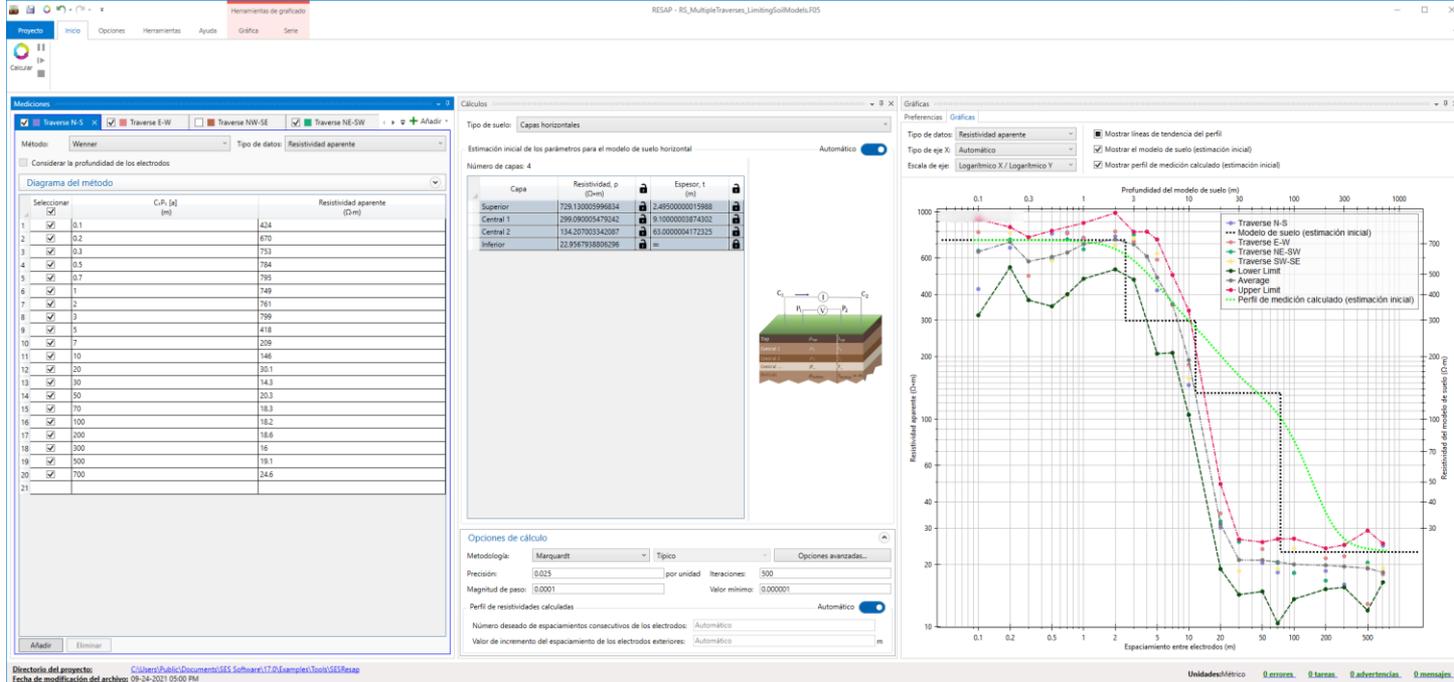
8



# SELECCIÓN DE PUNTOS



# RESAP PARA DETERMINAR MODELO DE SUELO



# METODO GENERAL



Mediciones

Método: **General** Tomar en cuenta la profundidad de los electrodos

Diagrama del método

Parámetros del perfil de medición

Tipo de datos: **Apparent resistance**

	C <sub>1</sub> P <sub>1</sub> [S <sub>e1</sub> ] (m)	P <sub>1</sub> P <sub>2</sub> [S <sub>i</sub> ] (m)	P <sub>2</sub> C <sub>2</sub> [S <sub>e2</sub> ] (m)	Profundidad (P <sub>1</sub> ,P <sub>2</sub> ) [D <sub>p</sub> ] (m)	Profundidad (C <sub>1</sub> ,C <sub>2</sub> ) [D <sub>c</sub> ] (m)	Resistencia aparente (Ω)	Comentarios
1							

# METODO WENNER



Mediciones

Método: Wenner Tomar en cuenta la profundidad de los electrodos

Diagrama del método

Parámetros del perfil de medición

Tipo de datos: Apparent resistance

	$C_1P_1$ [a] (m)	$P_1P_2/2$ [a/2] (m)	$C_2C_2/2$ [3a/2] (m)	Profundidad ( $P_1, P_2$ ) [ $D_p$ ] (m)	Profundidad ( $C_1, C_2$ ) [ $D_c$ ] (m)	Resistencia aparente ( $\Omega$ )	Comentarios
1							

RESAP  
10

# METODO SCHLUMBERGER



Mediciones

Método: Schlumberger  Tomar en cuenta la profundidad de los electrodos

Diagrama del método

Parámetros del perfil de medición

Tipo de datos: Apparent resistance

	$C_1P_1$ [c] (m)	$P_1P_2$ [d] (m)	$C_1C_2/2$ [c+d/2] (m)	Profundidad ( $P_1, P_2$ ) [Dp] (m)	Profundidad ( $C_1, C_2$ ) [Dc] (m)	Resistencia aparente ( $\Omega$ )	Comentarios
1							

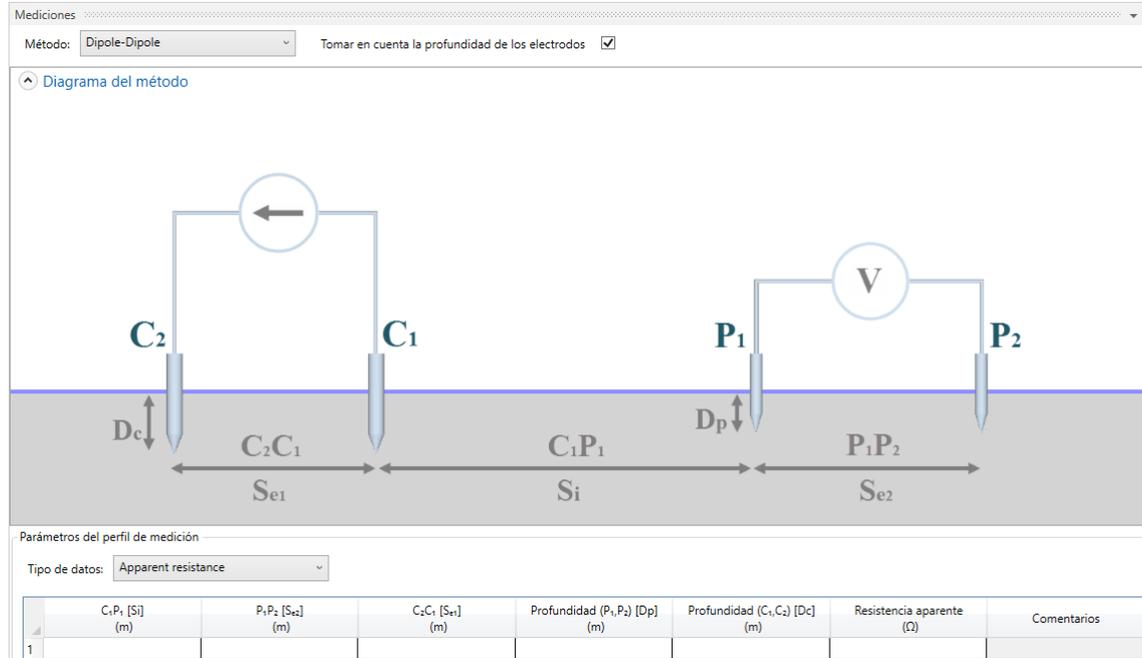
$$(2 \cdot 1 + 1/2) / 2 = 1.25$$

$$[2c + d] / 2$$

Profundidad de la medición

RESAP  
10

# METODO DIPOLO-DIPOLO



# METODO UNIPOLAR



Mediciones

Método: **Unipolar** Tomar en cuenta la profundidad de los electrodos

Diagrama del método

Parámetros del perfil de medición

Tipo de datos: **Apparent resistance**

	C <sub>1</sub> P <sub>1</sub> [S <sub>e1</sub> ] (m)	P <sub>2</sub> C <sub>2</sub> [S <sub>e2</sub> ] (m)	C <sub>1</sub> C <sub>2</sub> [S <sub>o</sub> ] (m)	Profundidad (P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub> ) [D <sub>p</sub> ] (m)	Profundidad (C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> ) [D <sub>c</sub> ] (m)	Resistencia aparente (Ω)	Comentarios
1							

RESAP  
10

# TIPO DE SUELO UNIFORME



Cálculos

Tipo de suelo: Uniforme

Estimación inicial de los parámetros para el modelo de suelo uniforme

Capa	Resistividad, $\rho$ ( $\Omega\cdot m$ )	Espesor, $t$ (m)
Uniforme		Infinito

$\rho_{uniform}$

# TIPO DE SUELO MULTICAPA

Cálculos

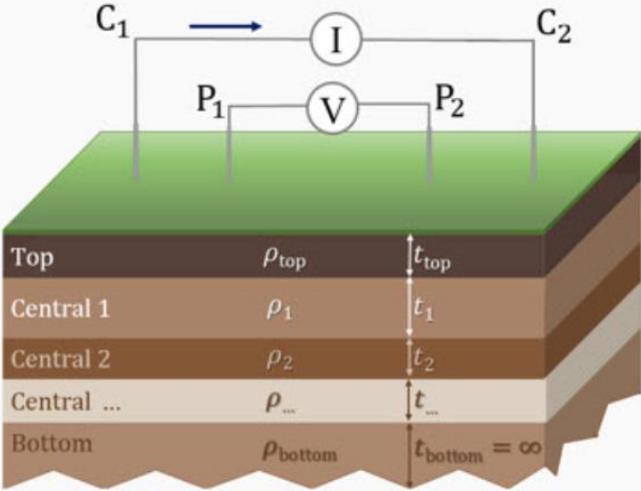
Tipo de suelo: Horizontal Layers

Estimación inicial de los parámetros para el modelo de suelo horizontal

Número de capas: Automático

Capa	Resistividad, $\rho$ ( $\Omega\cdot m$ )	Esesor, $t$

Añadir    Remover



The diagram illustrates a multi-layered soil model. The layers are labeled: Top, Central 1, Central 2, Central ..., and Bottom. The resistivity of each layer is denoted by  $\rho$  and the thickness by  $t$ . The bottom layer is labeled  $t_{\text{bottom}} = \infty$ . Two electrodes,  $C_1$  and  $C_2$ , are placed on the surface. A current source  $I$  is connected between  $C_1$  and  $C_2$ , and a voltmeter  $V$  is connected between  $P_1$  and  $P_2$ .

# TIPO DE SUELO VERTICAL



Cálculos

Tipo de suelo: Vertical Layers

Estimación inicial de los parámetros para el modelo de suelo vertical

Capa	Resistividad, $\rho$ ( $\Omega\cdot m$ )	Espesor, $t$ (m)
Izquierda		Infinito
Derecha		Infinito

Trazado de la interfaz entre capas

Ángulo del trazado  °

Distancia  m

Punto de referencia (sobre el perfil de medición)

Electrodo-C1  Centro - centrar

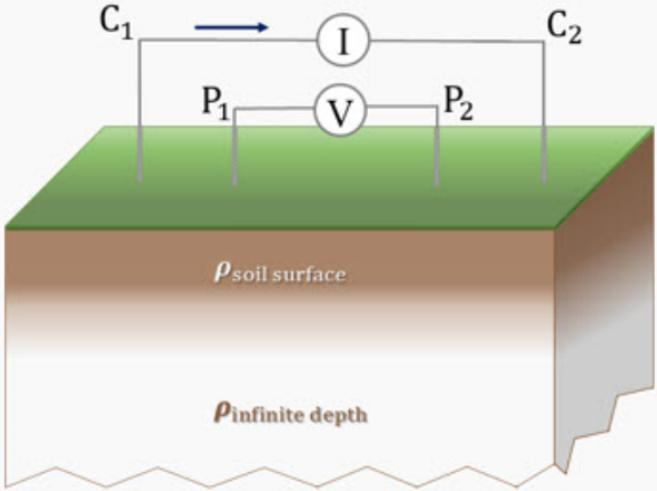
# TIPO DE SUELO EXPONENCIAL

Cálculos

Tipo de suelo: Exponential Variation With Depth

Estimación inicial de los parámetros para el modelo de suelo exponencial

Capa	Resistividad, $\rho$ ( $\Omega\cdot m$ )	Espesor virtual (m)
Superficie del su		
Profundidad infi		$\infty$



The diagram illustrates a soil cross-section with a green surface layer and a brown subsoil layer. A current source  $I$  is connected between electrodes  $C_1$  and  $C_2$ . A voltmeter  $V$  is connected between electrodes  $P_1$  and  $P_2$ . The soil resistivity is labeled as  $\rho_{\text{soil surface}}$  and  $\rho_{\text{infinite depth}}$ .

# METODOLOGÍA DE CÁLCULO



## ^ Opciones de cálculo

Metodología:

Steepest

Standard

Opciones avanzadas...

Exactitud:

Marquardt

Steepest

por unidad

Magnitud de paso:

0,0001

Iteraciones:

Simulated Annealing

Número pequeño:

1E-06

Perfil de resistividades calculadas

Número deseado de espaciamientos consecutivos de los electrodos:

100

Valor de incremento del espaciamiento de los electrodos exteriores:

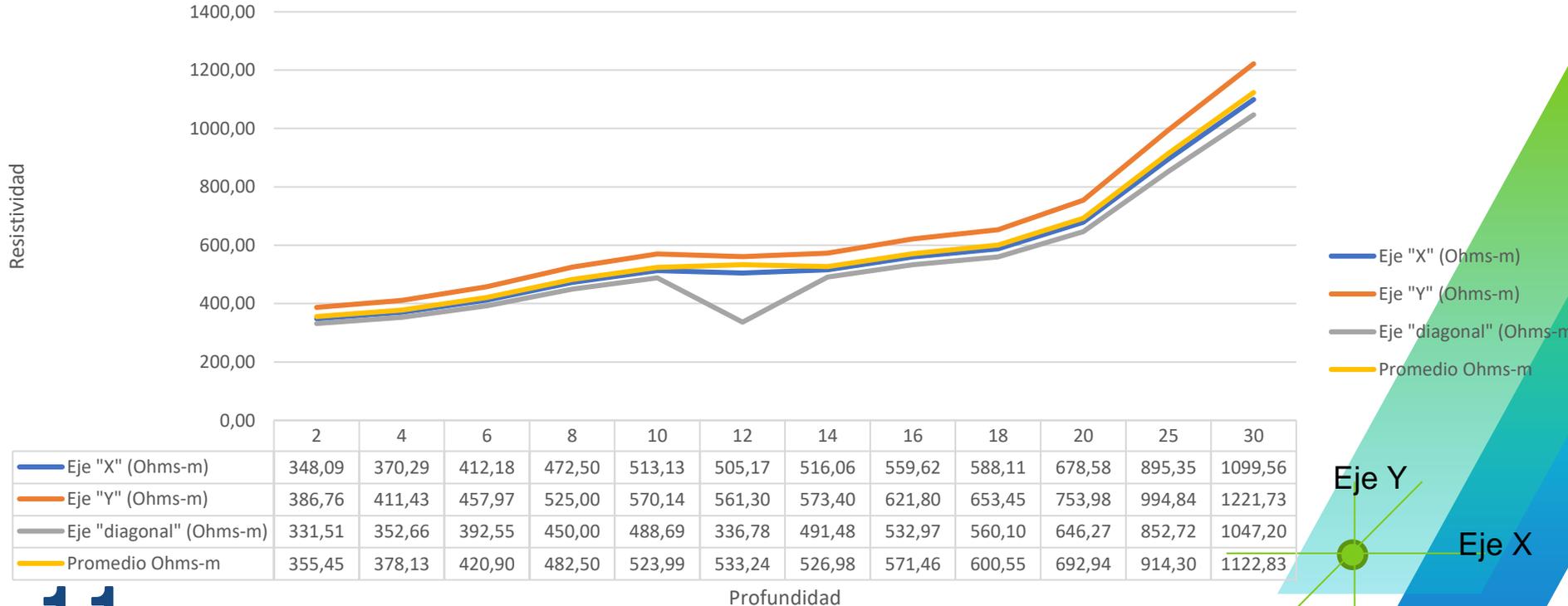
1

m

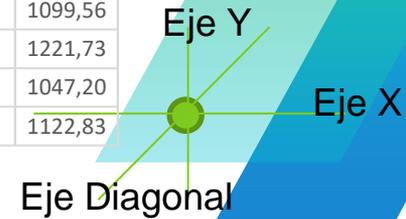
RESAP  
10

# Punto 1: MEDICIONES

Punto 1 Short Transverse



- Eje "X" (Ohms-m)
- Eje "Y" (Ohms-m)
- Eje "diagonal" (Ohms-m)
- Promedio Ohms-m

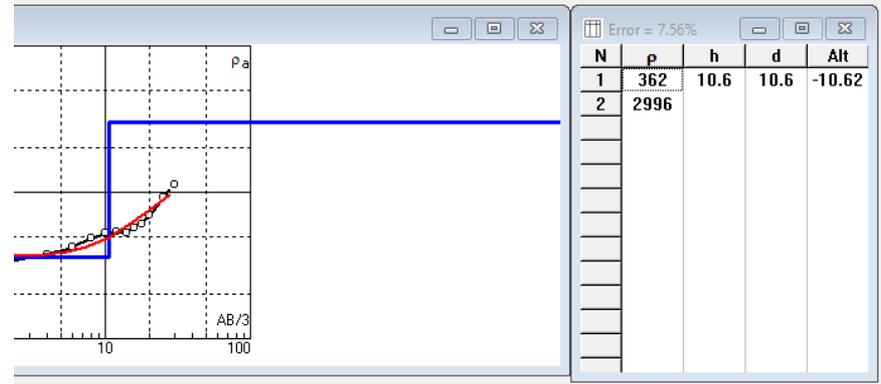


# Punto 1: MODELO

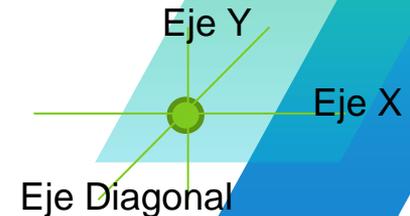
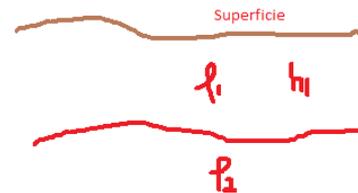


Resultados para el Punto 1:

- ✓ Profundidad Primera Capa <m>: 10,6
- ✓ Resistividad Primera Capa <ohm x m>: 362
- ✓ Resistividad Segunda Capa <ohm x m>: 2996
- ✓ Error del modelo <%>: 7,56



11

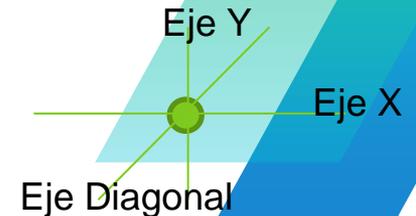
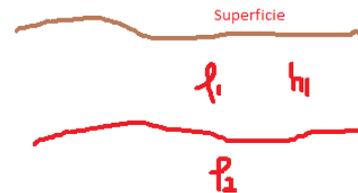
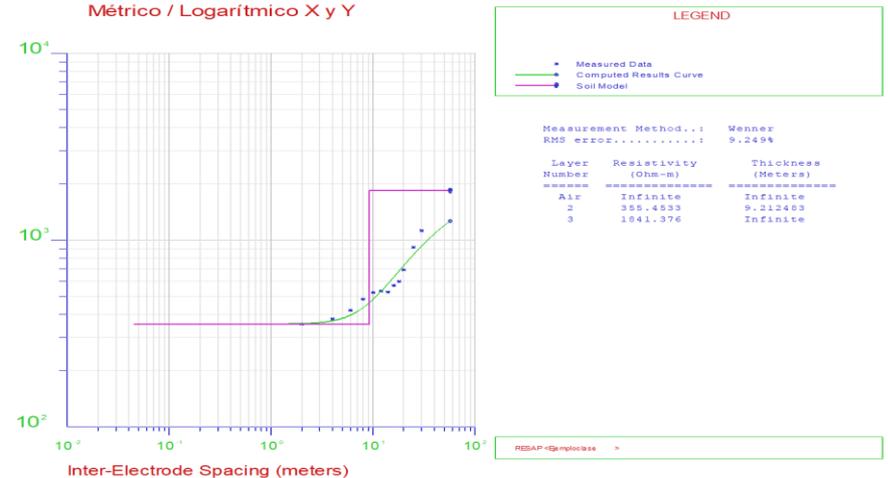


# Punto 1: MODELO



## Resultados para el Punto 1:

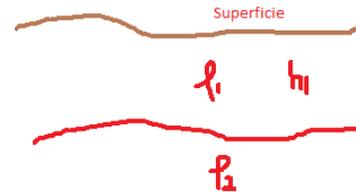
- ✓ Profundidad Primera Capa <m>: 9,21
- ✓ Resistividad Primera Capa <ohm x m>: 355
- ✓ Resistividad Segunda Capa <ohm x m>: 1841
- ✓ Error del modelo <%>: 9,24



# MODELO DE SUELO EJEMPLO



p1: 26,93 ohm-m  
h1: 2,43m  
p2: 378 ohm-m

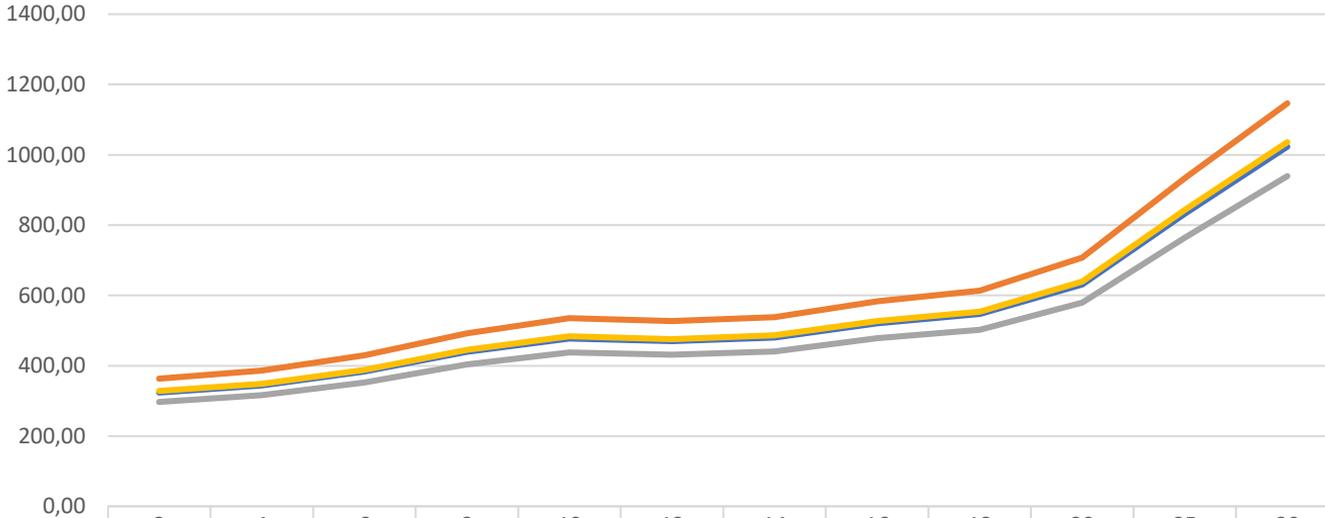


# Punto 2: MEDICIONES



Punto 2 Short Transverse

Resistividad



- Eje "X" (Ohms-m)
- Eje "Y" (Ohms-m)
- Eje "diagonal" (Ohms-m)
- Promedio Ohms-m

	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30
<span style="color: blue;">—</span> Eje "X" (Ohms-m)	323,80	344,45	383,42	439,53	477,33	469,92	480,05	520,58	547,08	631,24	832,89	1022,84
<span style="color: orange;">—</span> Eje "Y" (Ohms-m)	363,01	386,16	429,85	492,75	535,13	526,82	538,18	583,62	613,33	707,68	933,74	1146,70
<span style="color: gray;">—</span> Eje "diagonal" (Ohms-m)	297,35	316,31	352,09	403,62	438,33	431,53	440,83	478,05	502,38	579,67	764,84	939,27
<span style="color: yellow;">—</span> Promedio Ohms-m	328,05	348,97	388,45	445,30	483,60	476,09	486,35	527,42	554,26	639,53	843,83	1036,27

Profundidad

Eje Y

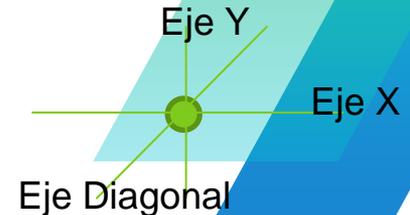
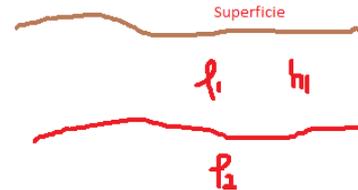
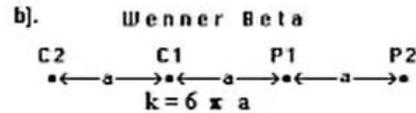
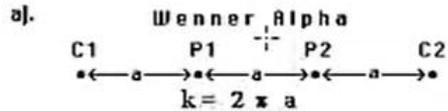
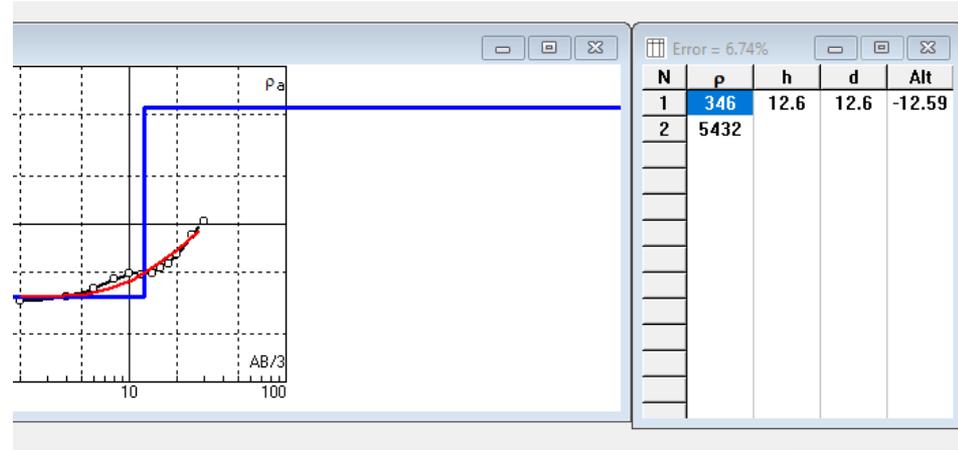
Eje X

Eje Diagonal

# Punto 2: MODELO

Resultados para el Punto 2:

- ✓ Profundidad Primera Capa <m>: 12,6
- ✓ Resistividad Primera Capa <ohm x m>: 346
- ✓ Resistividad Segunda Capa <ohm x m>: 5432
- ✓ Error del modelo <%>: 6,74

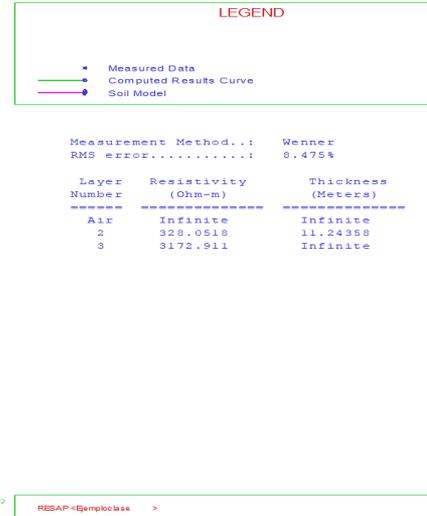
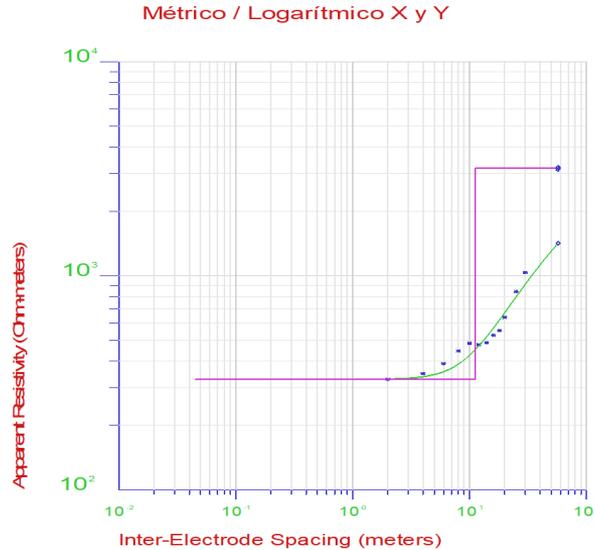


# Punto 2: MODELO

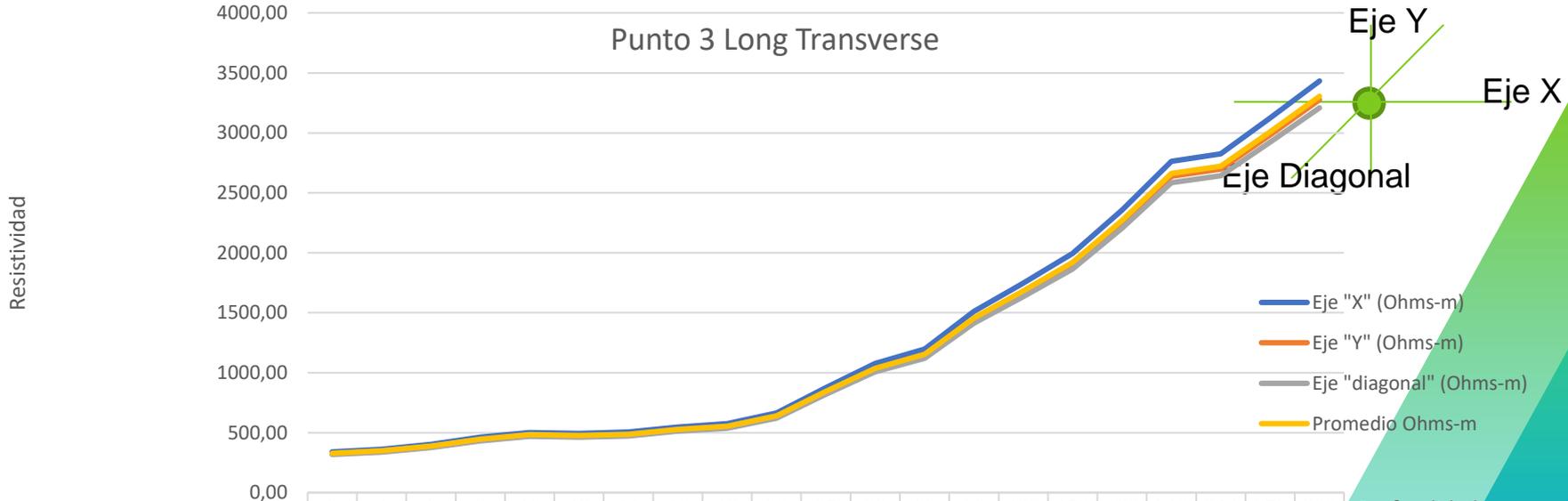


## Resultados para el Punto 2:

- ✓ Profundidad Primera Capa <m>: 11,24
- ✓ Resistividad Primera Capa <ohm x m>: 328
- ✓ Resistividad Segunda Capa <ohm x m>: 3172
- ✓ Error del modelo <%>: 8,47



# Punto 3: MEDICIONES



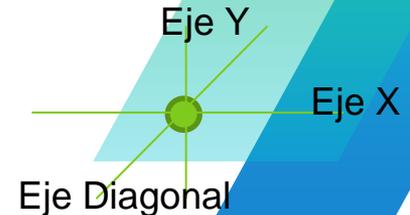
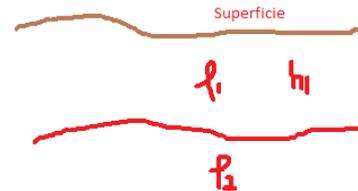
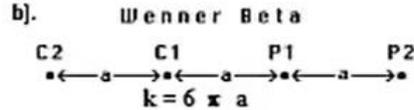
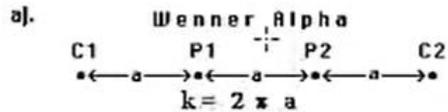
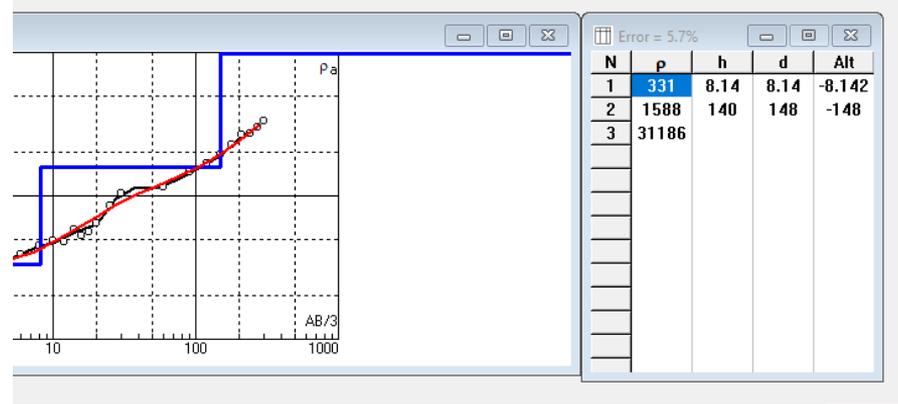
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
Eje "X" (Ohms-m)	340,0	362,1	403,2	462,0	502,0	494,7	505,0	547,3	575,0	664,8	876,4	1076,1	1198,1	1511,1	1746,1	1994,2	2357,2	2763,2	2825,3	3125,3	3432,3
Eje "Y" (Ohms-m)	324,6	345,7	384,9	441,1	479,2	472,2	482,1	522,5	549,0	634,7	836,7	1028,1	1144,1	1443,1	1666,1	1903,2	2250,2	2638,2	2697,2	2983,2	3276,2
Eje "diagonal" (Ohms-m)	318,1	338,7	377,2	432,2	469,6	462,7	472,4	511,9	537,9	621,9	819,9	1007,1	1121,1	1414,1	1633,1	1865,2	2204,2	2585,2	2642,2	2923,2	3210,2
Promedio Ohms-m	327,6	348,8	388,4	445,1	483,6	476,5	486,5	527,2	554,0	640,5	844,3	1037,1	1154,1	1456,1	1682,1	1921,2	2270,2	2662,2	2721,2	3010,2	3306,2

# Punto 3: MODELO



Resultados para el Punto 3:

- ✓ Profundidad Primera Capa <m>: 8,14
- ✓ Resistividad Primera Capa <ohm x m>: 331
- ✓ Profundidad Segunda Capa <m>: 140
- ✓ Resistividad Segunda Capa <ohm x m>: 1588
- ✓ Resistividad Tercera Capa <ohm x m>: 31186
- ✓ Error del modelo <%>: 5,7

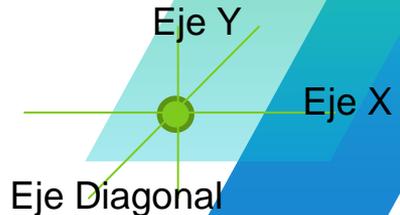
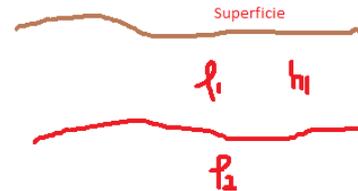
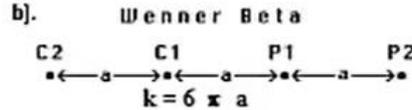
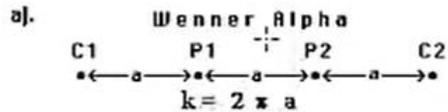
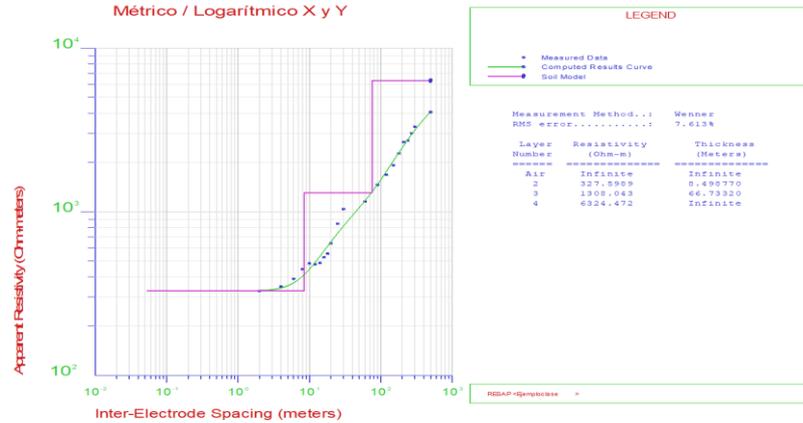


# Punto 3: MODELO



## Resultados para el Punto 3:

- ✓ Profundidad Primera Capa <m>: 8,14
- ✓ Resistividad Primera Capa <ohm x m>: 331
- ✓ Profundidad Segunda Capa <m>: 140
- ✓ Resistividad Segunda Capa <ohm x m>: 1588
- ✓ Resistividad Tercera Capa <ohm x m>: 31186
- ✓ Error del modelo <%>: 5,7

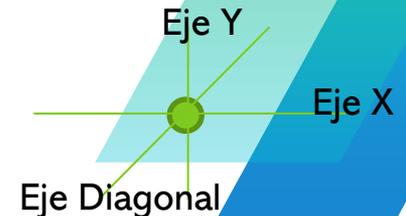
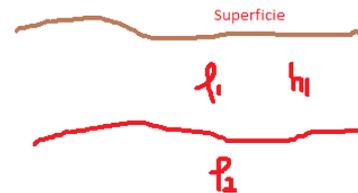


# MODELO FINAL



## Resultados Modelo Final:

- ✓ Profundidad Primera Capa <m>: 10,6
- ✓ Resistividad Primera Capa <ohm x m>: 362
- ✓ Profundidad Segunda Capa <m>: 140
- ✓ Resistividad Segunda Capa <ohm x m>: 5432
- ✓ Resistividad Tercera Capa <ohm x m>: 31186





GRACIAS