



**TECNOLOGÍA TOTAL**  
INGENIERÍA EN INTEGRIDAD Y CORROSIÓN

# RESISTIVIDAD EN EL CONTROL DE CORROSIÓN Y PROTECCIÓN CATÓDICA

PREPARADO POR: Ing. Juan Carlos Pachón



## ¿Qué es la resistividad?

Es una propiedad física del material que nos indica la dificultad que este ofrece para conducir cargas eléctricas.

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

**R** = resistencia en ohm

**$\rho$**  = resistividad (ohm-cm)

**L** = longitud (cm)

**A** = área de sección transversal (cm<sup>2</sup>)

## Resistividad vs Conductividad

El recíproco de la resistividad es la conductividad, la cual se expresa como:

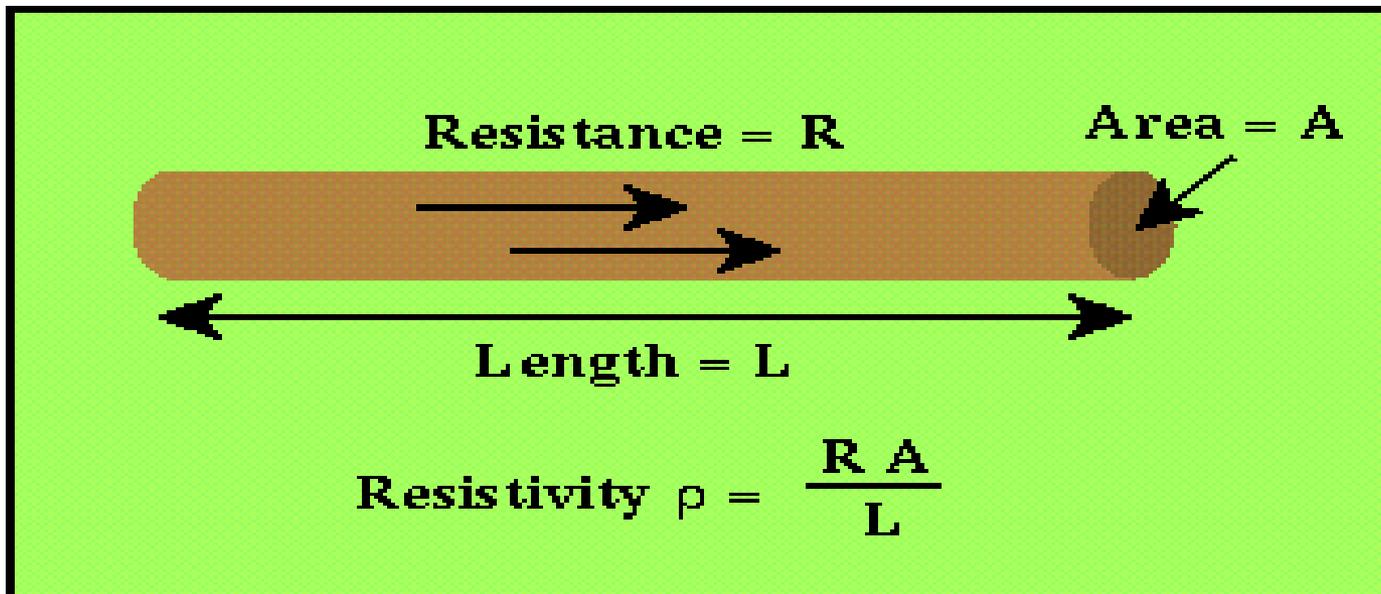
$$k = \frac{1}{\rho}$$

**k** = conductividad (Siemens / cm)

**$\rho$**  = resistividad (ohm-cm)

## ¿Por qué resistividad y no resistencia?

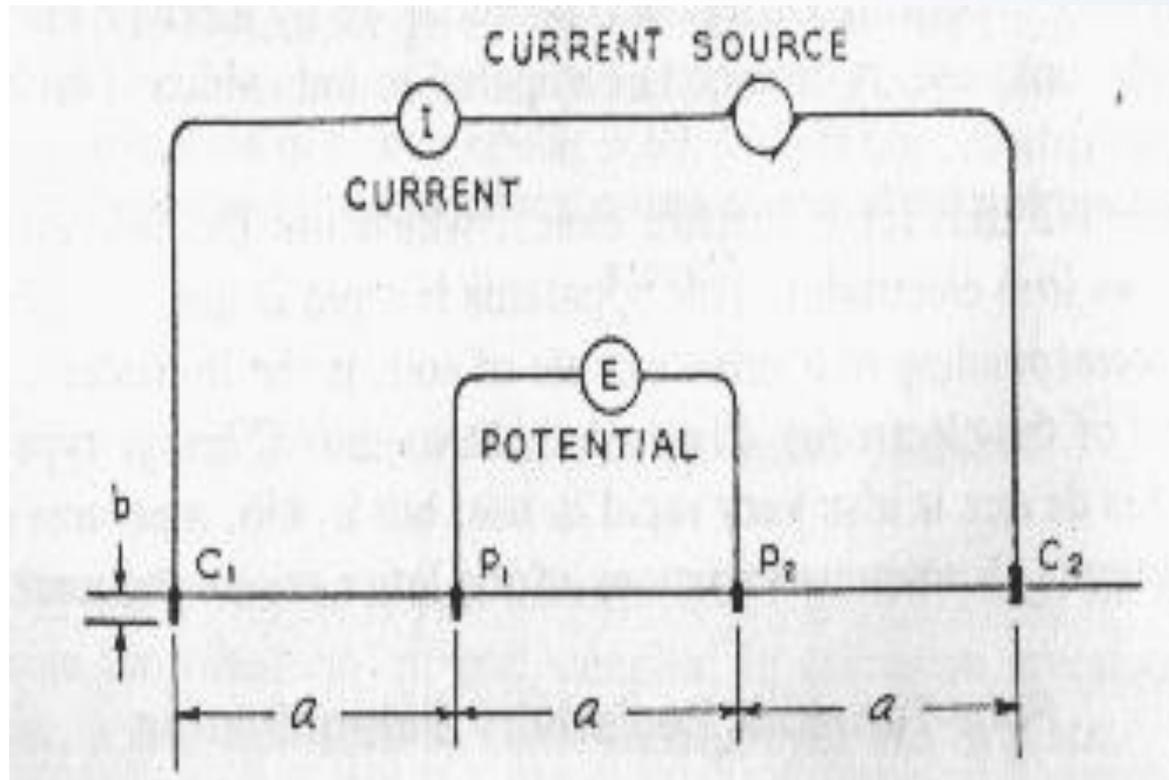
El problema con usar resistencia, es que esta depende de la geometría y no del tipo de material que estemos utilizando.



## Resistividad de algunos materiales

<b>MATERIAL</b>	<b><math>\rho</math> (ohm-cm)</b>
<b>Cobre</b>	$2 \times 10^{-6}$
<b>Aluminio</b>	$3 \times 10^{-6}$
<b>Latón</b>	$8 \times 10^{-6}$
<b>Hierro</b>	$10 \times 10^{-6}$
<b>Plomo</b>	$22 \times 10^{-6}$
<b>Mercurio</b>	$94 \times 10^{-6}$
<b>Agua Salada</b>	25 – 35
<b>Suelo típico</b>	3,0000 – 30,000
<b>Vidrio</b>	$2 \times 10^{-6}$

## Arreglo de Wenner



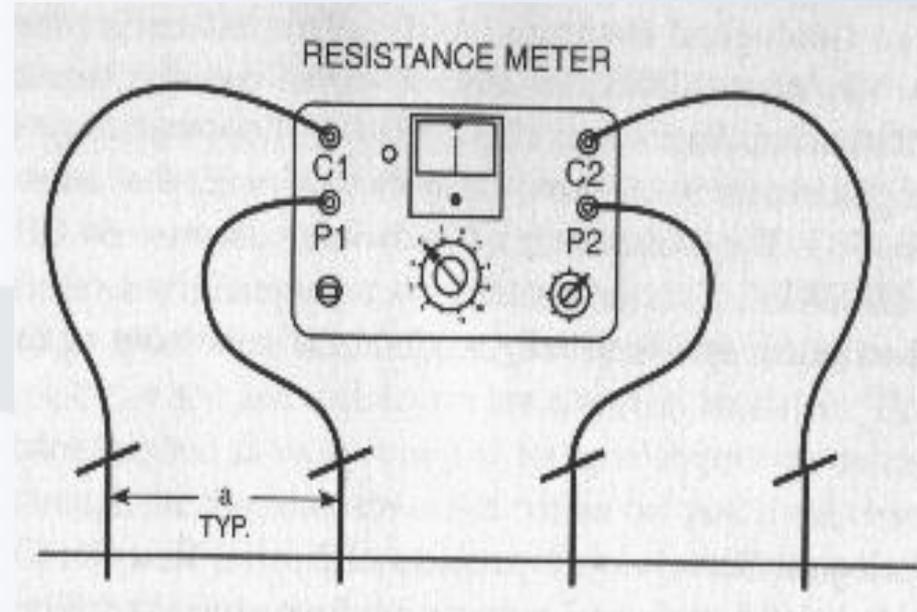
$$\rho = 2 \Pi a \frac{E}{I}$$

$$\rho = 2 \Pi a R$$

### NOTA:

*Si la profundidad de los pines del medidor de resistividad no exceden  $0.1a$  (donde  $a$  es el espaciamiento), la resistividad viene dada por la fórmula anterior.*

## Arreglo de Wenner – Cálculo de resistividad



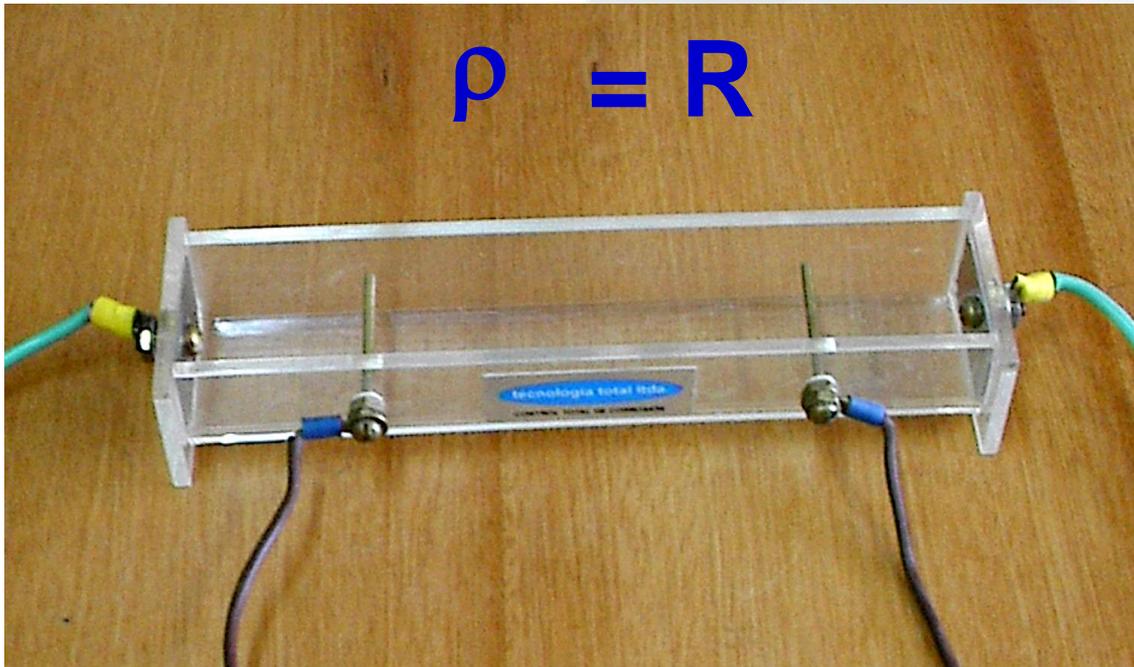
$$\rho = 2 \Pi a R$$

## Cálculo de la resistividad – Caja de Miller

Con la caja de Miller, la resistencia que muestra el equipo, equivale a la resistividad de la muestra.

$$\rho = \frac{\Pi R b}{1 - b / (b+a)}$$

$$\rho = R$$



Donde:

a = dist. pines int.

b = dist. pines ext.

R = Resistencia

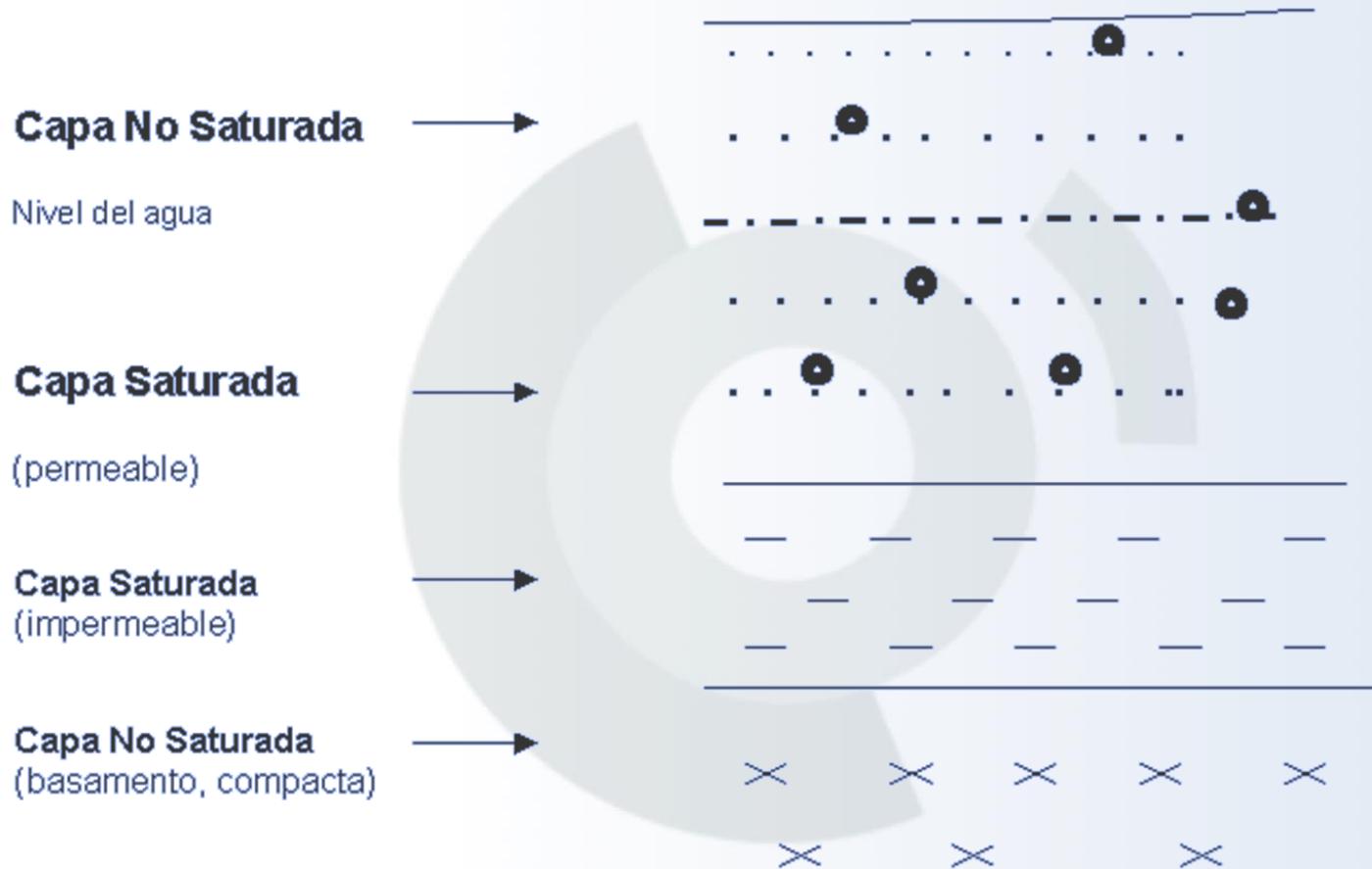
$\Pi = 3.1416$

Fuente : ASTM G57

## Clasificación de la corrosividad del suelo de acuerdo con la resistividad

<b>Resistividad</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Corrosividad</b>
<b>0 – 1,000</b>	Muy baja	Extremadamente corrosivo
<b>1,000 – 5,000</b>	Baja	Usualmente muy corrosivo
<b>5,000 – 10,000</b>	Media	A menudo corrosivo
<b>10,000 – 25,000</b>	Alta	Raramente corrosivo
<b>25,000 – 100,000</b>	Muy alta	Raramente corrosivo, a menos que esté mezclado
<b>100,000 – 1,000,000</b>	Ultra alta	Muy raramente corrosivo, a menos que esté mezclado
<b>Más de 1,000,000</b>	Súper alta	La mayoría de veces nunca es corrosivo, a menos que esté mezclado

## Estructura del suelo



## Factores que afectan la resistividad del suelo



## Métodos geofísicos

**RESISTIVIDAD**



**GEOELECTRICA** : Corrientes Eléctricas inducidas

(Aguas Subterráneas, Minería, Geotécnia, Corrosión)

**VELOCIDAD**



**SISMICA**: Ondas sonoras

**DEL SONIDO**

(Petróleo, Minería)

## Sondeos geoelectricos

**FLUJO DE CORRIENTE**

**DISPOSICION  
DE ELECTRODOS**



**SCHLUMBERGER, WENNER**

**MEDIDA**



**RESISTIVIDAD APARENTE, PROFUNDIDAD**

**INTERPRETACION**



Resistividad Verdadera de las capas  
Espesor de las capas  
Saturación del agua  
Salinidad del agua  
Textura del material

## Análisis de Barnes

El Método de Barnes está fundamentado en que en las capas de suelo de espesor uniforme y paralelas a la superficie, un incremento en el espesor de las capas (espaciamiento de los electrodos) resultará en un decrecimiento de la resistencia total medida con el equipo sin importar la resistencia de la capa adicionada.

Este método puede ser utilizado para cuantificar la resistividad de las capas de suelo siempre y cuando un incremento en el espaciado indique un decrecimiento de la resistencia.

## Análisis de Barnes

### DETERMINACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DE LAS CAPAS EN LA ESTACIÓN VASCONIA SONDEO VERTICAL #3 (SV3)

DATOS DE CAMPO			ANÁLISIS DE BARNES				
Espaciado	Lectura	Resisitividad		Conductancia	Cambio	Resistencia	Resistividad
s	R	Aparente	Capas	1 / R	en Conductancia	de la Capa	de la Capa
(m)	(ohms)	(ohm-cm)		(Siemens)	(Siemens)	(ohms)	(ohm-cm)
1	11.0	6,912	0-1	0.09091	-	11.00	6,912
2	4.4	5,529	1-2	0.22727	0.13636	7.33	4,606
3	3.5	6,597	2-3	0.28571	0.05844	17.11	10,751
4	2.5	6,283	3-4	0.40000	0.11429	8.75	5,498
5	2.3	7,226	4-5	0.43478	0.03478	28.75	18,064
6	1.9	7,163	5-6	0.52632	0.09154	10.92	6,861
7	1.5	6,597	6-7	0.66667	0.14035	7.12	4,474
8	1.0	5,027	7-8	1.00000	0.33333	3.00	1,885

## ¿Para qué es útil la resistividad?

- Determinar las zonas corrosivas.
- Determinar la conformación geológica de un terreno.
- Buscar Agua, petróleo, minerales, etc.
- Saber donde escavar y a que profundidad para encontrar agua.
- Aplicaciones de Arqueología.
- En la agricultura, con otros métodos permite determinar las zonas que requieren fertilizante.
- Extremadamente útil en los diseños de Protección Catódica.

## Método Inducción Electromagnética

La ciencia moderna ha desarrollado otros métodos más eficaces y rápidos de obtener esta información tan valiosa. La inducción electromagnética es un método de gran aceptación.

## Principio de inducción electromagnética

El equipo mide la conductividad de la tierra induciendo una muy pequeña cantidad de corriente de “Eddy” y midiendo el campo magnético que estas corrientes generan.

Una pequeña bobina transmisora localizada en la parte posterior del equipo es usada para generar una variación en tiempo del campo primario que induce la corriente de Eddy en la tierra, y una pequeña bobina receptora localizada al frente (parte final del equipo) mide ambos campos, un campo magnético primario fuerte y un campo magnético secundario más pequeño surgido por las corrientes de Eddy en la tierra

## Uso de equipo de inducción electromagnética

El valor dado por el equipo es un valor de conductividad en unidades de mS/m. el cual se somete a la conversión correspondiente para indicarlos en unidades de resistividad cuyas unidades más frecuentes corresponden a ohm-cm.

Este valor corresponderá a la resistividad del suelo a la profundidad establecida por el equipo en el momento de la captura de los datos

## Uso de equipo de inducción electromagnética con orientación GPS



El GPS permite darle posición a cada valor de resistividad que se toma con el equipo de conductividad.

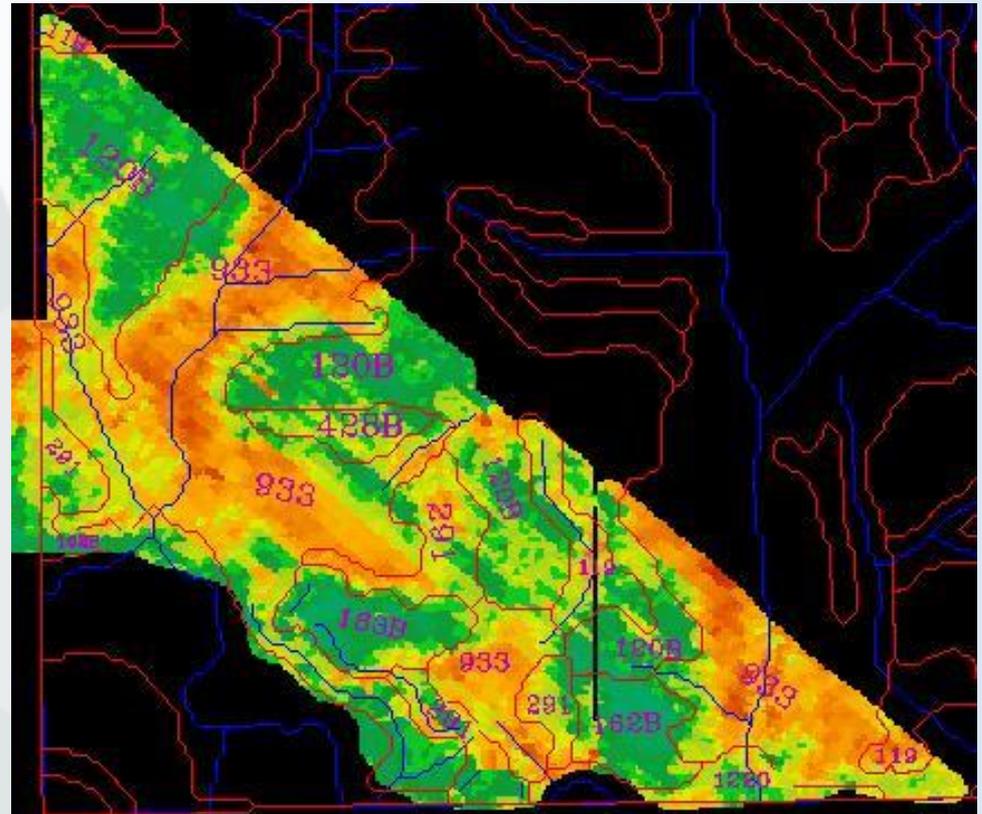
Se trabajo GPS con precisión submétrica, para lo cual se trabajo de 2 formas:

- Se traslado un punto IGAC a nuestras oficinas de Bogotá, con lo cual se realizo una corrección diferencial en post-proceso.
- Los valores obtenidos en campo se ajustaron según corrección diferencial aplicada a cada coordenada (Dx,Dy,Dz).

## Uso de equipo de inducción electromagnética con orientación GPS



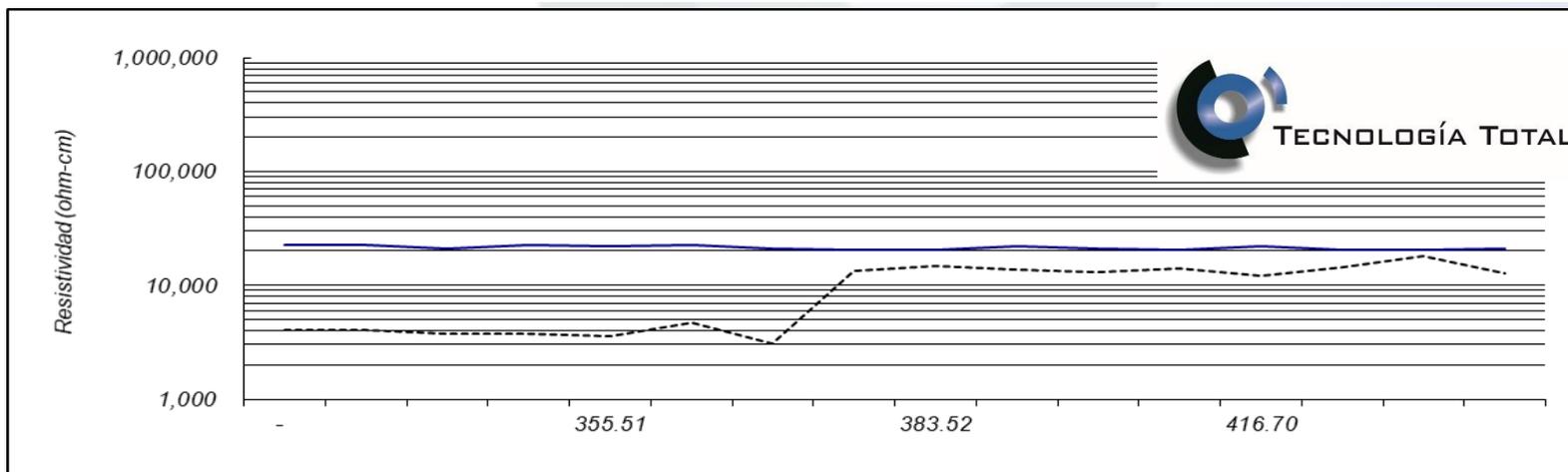
Levantamiento del perfil de resistividad en campo



Mapeo utilizando inducción electromagnética

## Levantamiento del perfil

ABSCISA	R 1 m	R 2 m - - -	Ubicación GPS (Formato WGS84)									Referencias Geográficas
km,m.cm	(ohm-cm)	(ohm-cm)	G	MIN	SEG	D	G	MIN	SEG	D	HAE.(m)	
-	22,500	4,094	8	36	0.80	N	73	36	28.96	W	93.7	ESTACION AYACUCHO
354.11	22,500	4,095	8	36	10.00	N	73	36	20.21	W	94.7	
354.95	21,072	3,799	8	36	10.02	N	73	36	20.20	W	95.8	
355.51	22,788	3,736	8	36	10.03	N	73	36	20.19	W	95.4	
355.51	22,108	3,562	8	36	10.03	N	73	36	20.19	W	94.4	
356.30	22,742	4,729	8	36	10.05	N	73	36	20.17	W	96.4	
356.58	21,232	3,070	8	36	10.06	N	73	36	20.17	W	96.4	



## Referencias Bibliográficas

- Pipeline Corrosion and Cathodic Protection, Marshall E. Parker. 1984.
- Deep Anode Systems, Design Installation and Operation, T.H. Lewis, Jr.
- NACE Manual Cathodic Protection Certification and Training, Level. 2.
- NACE Cathodic Protection Theory and Data Interpretation.
- Geonics, EM38 DD Ground Conductivity Meter, Operation Manual.



# TECNOLOGÍA TOTAL

INGENIERÍA EN INTEGRIDAD Y CORROSIÓN

