

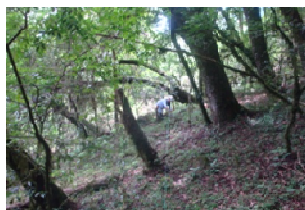
  Corporación La fuerza que transforma Bolivia	PROYECTO: OBM 3285 PLANTA DE SEPARACIÓN DE LIQUIDOS RIO GRANDE		AESA N° 3285-G100-635-4112-RP-001	
	INFORME DEL ESTUDIO DE SUELOS		Ver. 1	Rev. A

ANEXO E: INFORME DE RESISTIVIDAD ELECTRICA

ESTUDIOS DE CAMPO

PLANTA SEPARADORA DE LÍQUIDOS RIO GRANDE

SECCIÓN B MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO PLANTA RIO GRANDE



PLIEGO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

.....

	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA		Nº						
	CLIENTE:							HOJA: 1 de 29	
	PROYECTO: PLANTA SEPARADORA DE LÍQUIDOS								
	ÁREA: RIO GRANDE							SECCIÓN C	
		TÍTULO: PLANTA RIO GRANDE MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO							
		ARCHIVO: Nº							
ÍNDICE DE REVISIONES									
REV.	DESCRIPCIÓN Y/U HOJAS AFECTADAS								
0	EMISIÓN ORIGINAL								
	REV. 0	REV. A	REV. B	REV. C	REV. D	REV. E	REV. F	REV. G	REV. H
FECHA	10-06-11								
PROYECTO									
EJECUCIÓN	EL-EPB								
VERIFICACIÓN	EPB								
APROBACIÓN	EL								



ESPECIFICACIÓN TÉCNICA

Nº

REV.

0

PROYECTO: PLANTA SEPARADORA DE LÍQUIDOS RIO GRANDE

HOJA:

1 de 41

TÍTULO: MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO
PLANTA SEPARADORA DE LÍQUIDOS RIO GRANDE

ÍNDICE GENERAL

1.	ANTECEDENTES Y ALCANCES	2
2.	OBJETIVO	2
3.	ÁREA DE ESTUDIO	2
4.	EQUIPO DE ENSAYO	3
5.	MÉTODO DE SONDEO	3
6.	ÁREAS DE SONDEO	4
7.	PROCEDIMIENTO	5
8.	RESULTADOS	6
8.1.	SONDEO R-6	7
8.2.	SONDEO R-7	8
8.3.	SONDEO R-8	10
8.4.	SONDEO R-9	11
8.5.	SONDEO R-10	13
8.6.	SONDEO R-12	14
8.7.	SONDEO R-14	16
8.8.	SONDEO R-16	17
8.9.	SONDEO R-18	19
8.10.	SONDEO R-19	20
8.11.	SONDEO R-21	22
8.12.	SONDEO R-22	23
8.13.	SONDEO R-23	26
8.14.	SONDEO R-27	27
8.15.	SONDEO R-15	30
8.16.	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	31
9.	RECOMENDACIONES EL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	32
10.	REFERENCIAS	34

4. EQUIPO DE ENSAYO

En el presente trabajo, se empleo un telurómetro digital MTD-20KWe, industria Brasileira, con certificado de calibración No 15664/23-06-2010 del Instituto de Investigaciones Tecnológicas (IPT-Brasil).

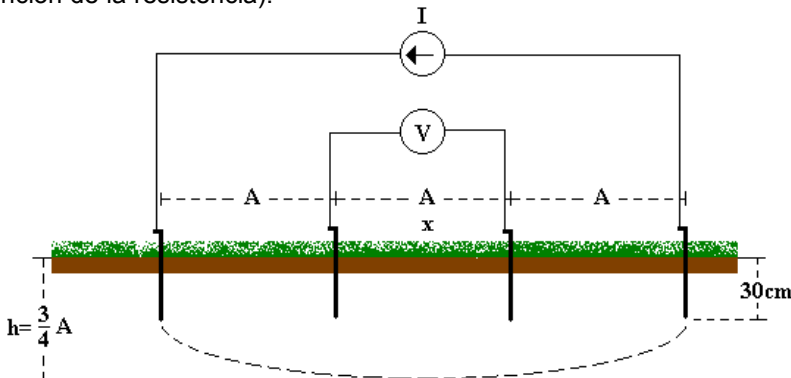
Este equipo permite medir resistencias de puesta a tierra (PAT), resistividad del terreno por el método de Wenner y las tensiones espurias provocadas por las corrientes parásitas en el suelo. Por su amplio rango de medición (desde 0,01Ω hasta 20KΩ), este equipo permite mediciones confiables en todo tipo de terreno, incluso aquellos con muy alta resistividad.

5. MÉTODO DE SONDEO

Generalmente la resistividad del terreno se mide por el método universal de cuatro puntos desarrollado por F. Wenner en 1915. El mismo resulta el más seguro en la práctica para medir la resistividad promedio de volúmenes extensos de suelos naturales.

La resistividad aparente del terreno es una función de esta resistencia y de la geometría del electrodo.

Para la medición se disponen 4 electrodos en línea recta y equidistantes una distancia "a", simétricamente respecto al punto en el que se desea medir la resistividad del suelo, como se muestra posteriormente, el equipo de medida es un telurómetro (MTD-20KWe) de cuatro terminales, los electrodos externos son los de inyección de la corriente y los centrales los encargados de medir la caída de potencial (en función de la resistencia).



El valor obtenido con la medición es sustituido en la expresión abajo mostrada, obteniéndose un valor promedio de resistividad aparente a una profundidad equivalente a la distancia "a" entre los electrodos:

La teoría indica que la resistividad promedio del suelo "ρ" a una profundidad igual a la distancia "a" vale aproximadamente (ecuación 1.1. y 1.2):

$$\rho = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{(a^2 + 4b^2)}} - \frac{a}{\sqrt{(a^2 + b^2)}}} \quad (1.1) \quad \text{Ó en su forma simplificada, } \rho = 2\pi a R \quad (1.2)$$

Donde:

a : Distancia entre electrodos en metros

b : Profundidad del electrodo en metros

R : Valor de resistencia obtenido en la medición con el telurómetro

Si la longitud " b " es mucho menor que la longitud " a ", es decir, cuando la relación a/b sea mayor o igual a 20, puede suponerse $b=0$ y la resistividad aparente del suelo se determinará mediante la ecuación 1.2.

Cabe acotar que en los emplazamientos donde el terreno presenta diferentes valores de resistividad en función de la profundidad, la experiencia indica que el valor más adecuado para el diseño del dispersor a tierra es el que se obtiene a una profundidad mayor.

6. ÁREAS DE SONDEO

De acuerdo a los requerimientos de **AESA S.A....** y evaluación geotécnica del terreno, las áreas de sondeo en la Planta Separadora de Líquidos Río Grande se presentan en la **Tabla 1, Figura 2 y Anexo 1: Planilla de Campo**:

Figura 2: Ubicación áreas de sondeo Planta Separadora de Líquidos Río Grande



Tabla 1: Coordenadas áreas de sondeo

Id	Codigo de Campo	Este	Norte
1	R-6	509765	7988606
2	R-7	509726	7988597
3	R-8	509778	7988588
4	R-9	509748	7988573
5	R-10	509730	7988566
6	R-12	509792	7988559
7	R-14	509844	7988540
8	R-16	509787	7988507
9	R-18	509834	7988492
10	R-19	509751	7988506
11	R-21	509745	7988436
12	R-22	509745	7988398
13	R-23	509745	7988338
14	R-27	509745	7988301
15	R-15	509799	7988536

	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA		Nº	REV.	0
	PROYECTO: PLANTA SEPARADORA DE LÍQUIDOS RIO GRANDE			HOJA:	5 de 41
	TÍTULO: MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO PLANTA SEPARADORA DE LÍQUIDOS RIO GRANDE				

7. PROCEDIMIENTO

- Ubicación de los puntos de sondeo en base a los estándares de la Norma ANSI/IEEE Std 81-1983, para mediciones de Resistividad del Terreno (**Fig. 2, Tabla 1**),
- Lectura de coordenadas UTM con GPSMAP 76CSx (**Tabla 1**),
- Lectura de resistividad con el telurómetro digital MTD-20KWe a profundidades de 1, 4, 6 y 8 m según requerimientos de AESA (**Anexo 1 a 2**),
- Para cada uno de los puntos mencionados, se realizó la medición en dos direcciones ortogonales. Esta división se hizo con el objetivo de comparar estos dos grupos de datos para corroborar si las medidas tomadas por el instrumento eran confiables.
- Rango de lectura determinada 0-2000 Ω ,
- Llenado de planillas de datos (**Anexo 1**),

Con la información obtenida, se procedió a la evaluación por el método gráfico de la norma IEEE 80, que propone tomar dos datos de resistividad del 70% y con base a ellos construir la curva característica para de esta determinar el valor de resistividad aparente y la profundidad de la primera capa (ver metodología en Norma IEEE 80-2000).

Asimismo, se procedió al cálculo de la desviación en porcentaje de cada medida **pa** (obtenida a un espaciamiento “a” determinado) en relación a su valor promedio. El objetivo es descartar los valores de resistividad que tengan una desviación mayor al 50% en relación con su promedio, caso contrario proceder a lecturas nuevamente. Sin embargo y cuando las nuevas lecturas dan los mismos resultados, y exista una variación significativa entre los valores, se promedia el valor más alto y el más bajo para obtener un valor de resistividad de esa sección, denominado resistividad uniforme equivalente.

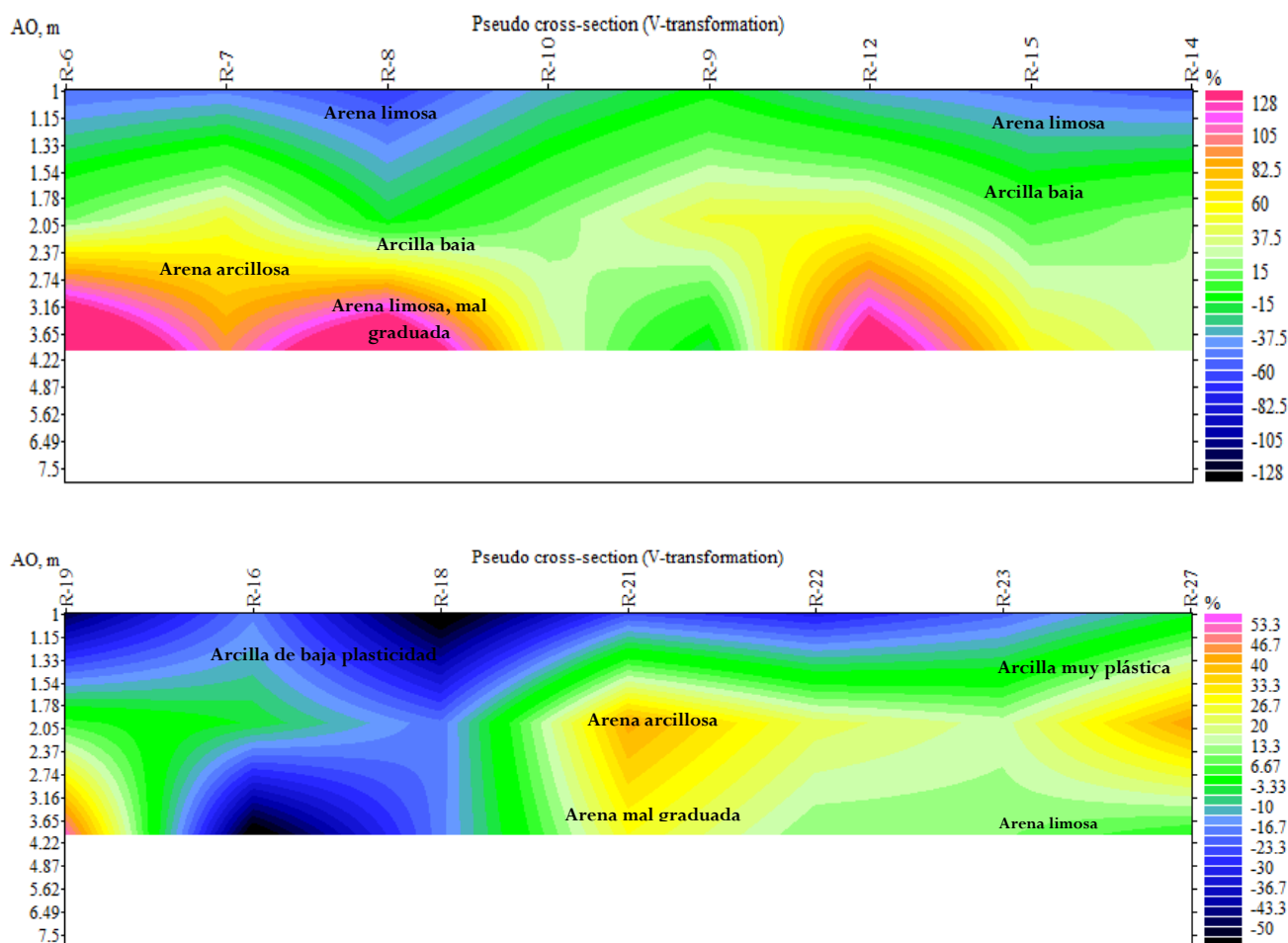
Empleando el software IPI2Win (© Bobachev, 1990 – 2000), se modelizaron secciones verticales en función de la resistividad y se realizaron cálculos de conductancia. Los datos de entrada que comúnmente se le proporcionan al programa son las mediciones de resistividad aparente obtenidas con el método de Wenner, así como la distancia de los electrodos de prueba. Los datos de salida del programa son la resistividad en la primera capa ρ_1 , su altura o profundidad h , la resistividad de la segunda capa ρ_2 con una altura infinita y el factor de reflexión K .

8. RESULTADOS

El área de estudio es un ecosistema homogéneo compuesto de vegetación mediana-alta de llanura, sobre valles de origen fluvioacustre y con vocación agropecuaria intensiva. Los suelos típicos son asociación Eutric-Regosol, que si bien presentan una buena acumulación de materia orgánica, son de estructura débil, lo que provoca un deterioro acelerado al quitar la cobertura natural. Geológicamente los sedimentos pertenecen al Sistema Cuaternario, caracterizado por gravas, arenas y arcillas. En superficie los suelos naturales son mayormente de tipo limosos a arenolimosos, de coloración rojizos claro a marrón oscuro. En subsuelo se presentan intercalaciones de bancos de arcilla y arena, y arena mal graduada de diferentes medidas.

El perfil y pseudosecciones obtenidas (ver Fig. 3), muestra en general resistividades bajas a medias, típicos de suelos limo-arenosos y arcillosos, no homogéneos, sin niveles freáticos en superficie o un cambio litológico representativo, y con promedios de resistividad que oscilan entre 66 y 133 $\Omega.m$, con un máximo de 402 $\Omega.m$ y un mínimo de 25 $\Omega.m$, a profundidades de 1 y 8 metros.

Figura 3: Pseudosección de Resistividad Aparente y Sección Geoelectrica



8.1. Sondeo R-6

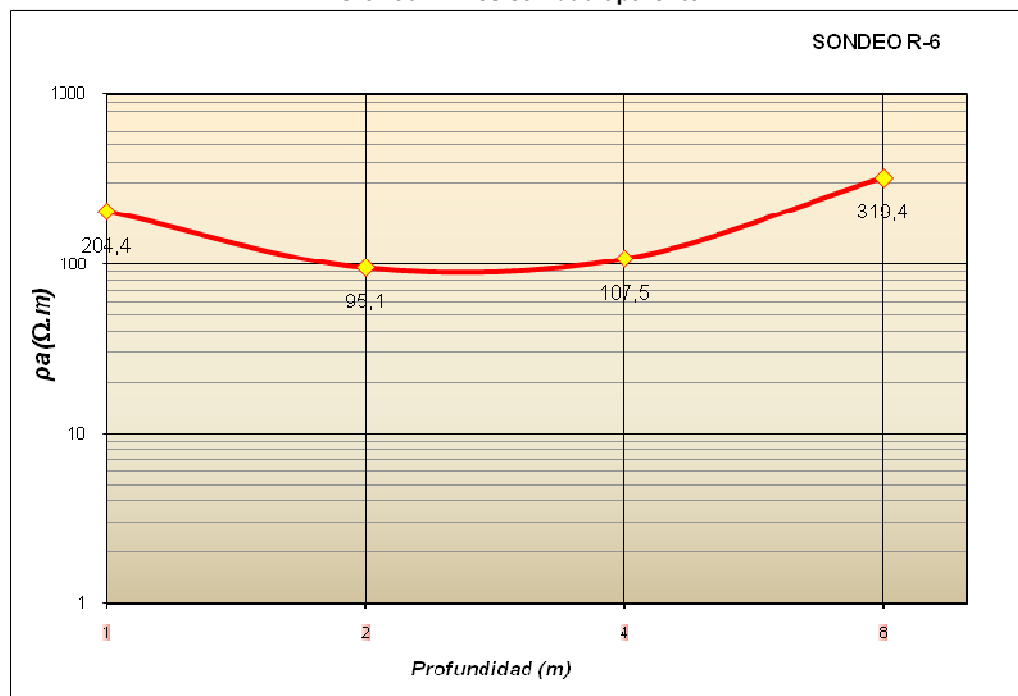
Perfil de resistividad ascendente sin puntos de inflexión y presencia de dos estratos.

El cálculo de la resistividad aparente para el perfil de suelo en el sondeo R6, se presenta en el siguiente cuadro y grafico respectivo.

Tabla 2: Valores obtenidos para R6 según método de Wenner – IEEE 81-1983

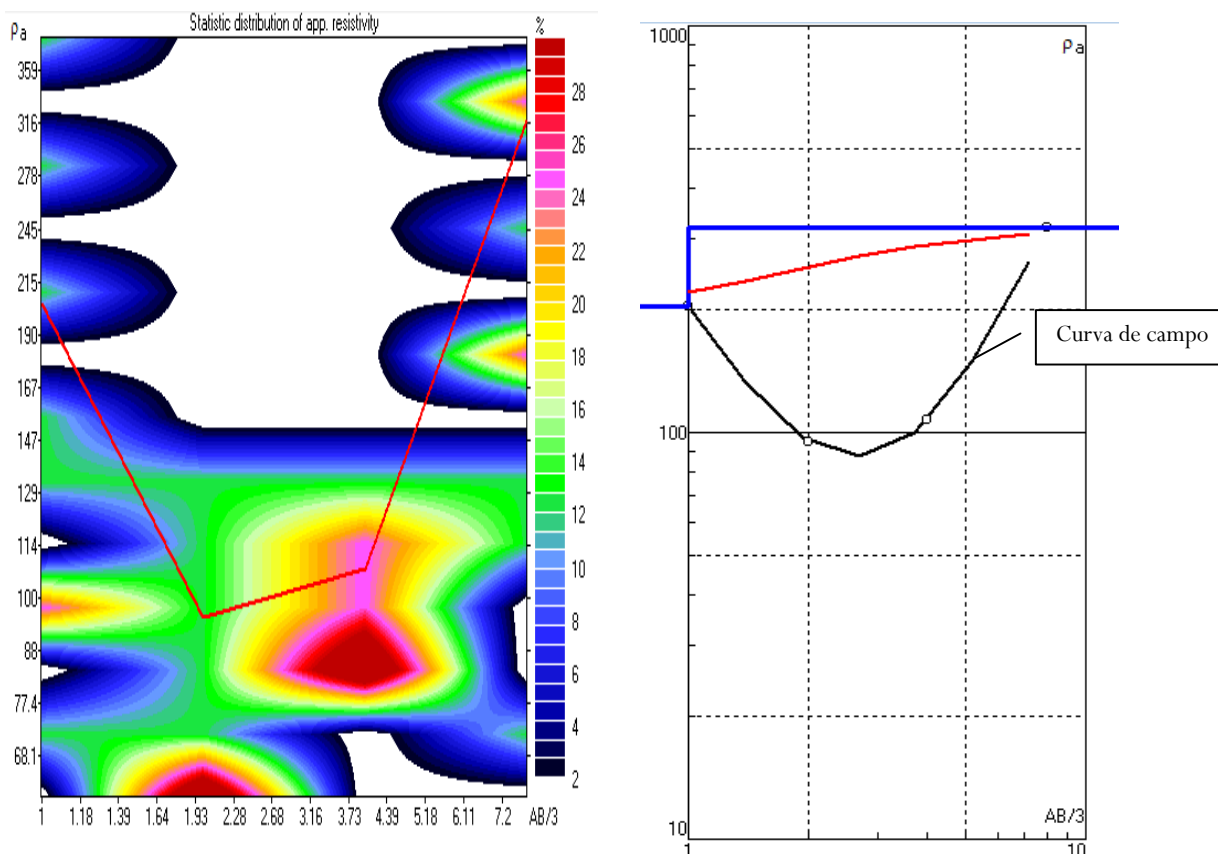
Resistividad Aparente				Estratificación - campo					Resistividad uniforme equivalente
SONDEO	Profundidad (m)	Distancia entre electrodos	ρ_a ($\Omega.m$)	N	ρ_a ($\Omega.m$)	h	d	Altura	$\rho=(\rho_{max}+\rho_{min})/2$
R-6	0,8	1	204,4	1,0	204	1,00	1,00	-1	207,21
	1,5	2	95,1	2,0	319				
	3,0	4	107,5						
	6,0	8	319,4						

Grafico 1: Resistividad aparente



Graficando en el modelo de las dos capas con $\rho_1 < \rho_2$ se obtiene el modelo estadístico de la distribución de la Resistividad Aparente, la curva obtenida en campo y la curva teórica respectiva.

**Grafico 2: Modelación de la Resistividad Aparente
Distribución Estadística, Curva teórica y Curva de Campo – R6**



8.2. Sondeo R-7

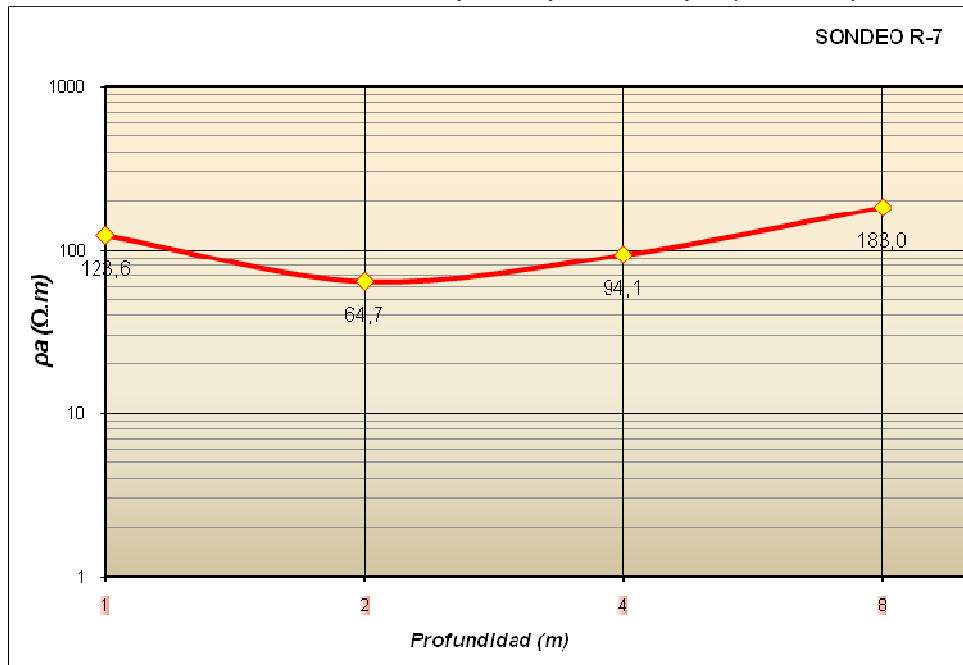
Perfil de resistividad ascendente sin puntos de inflexión y presencia de dos estratos.

El cálculo de la resistividad aparente para el perfil de suelo en el sondeo R7, se presenta en el siguiente cuadro y grafico respectivo.

Tabla 3: Valores obtenidos para R-7 según método de Wenner – IEEE 81-1983

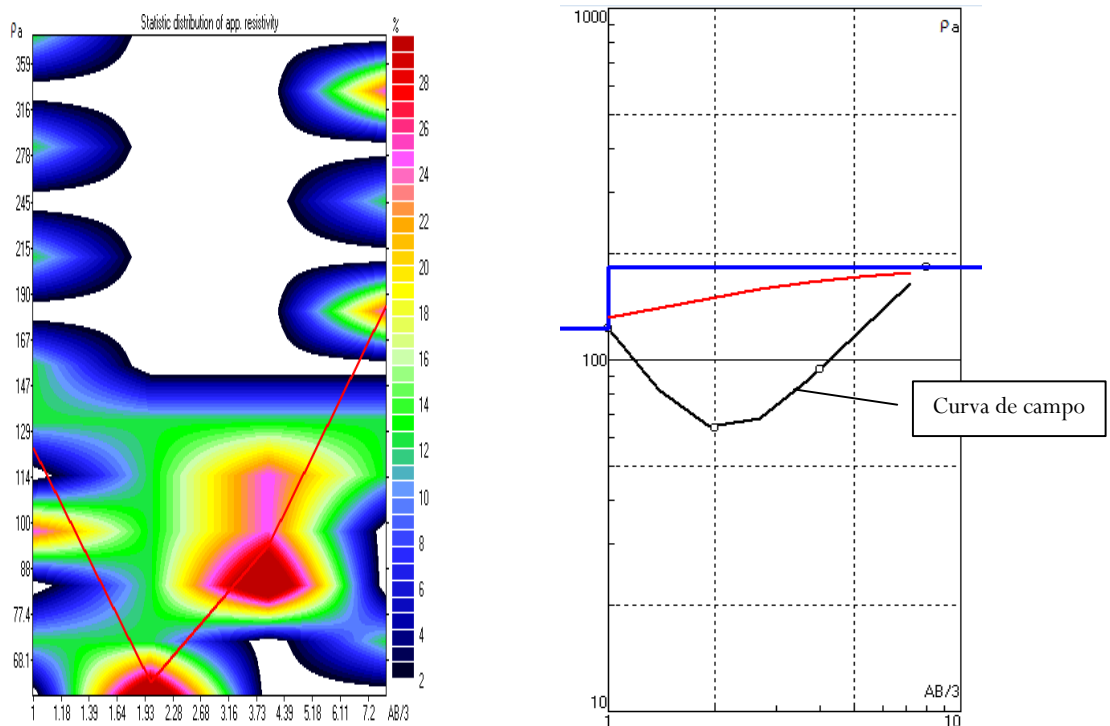
Resistividad Aparente				Estratificación					Resistividad uniforme equivalente
SONDEO	Profundidad (m)	Distancia entre electrodos	ρ_a ($\Omega.m$)	N	ρ_a ($\Omega.m$)	h	d	Altura	$\rho=(\rho_{max}+\rho_{min})/2$
R-7	0,8	1	123,6	1,0	123	1,00	1,00	-1	123,83
	1,5	2	64,7	2,0	183				
	3,0	4	94,1						
	6,0	8	183,0						

Grafico 3: Resistividad aparente para Dos Capas (Suelos R7)



Graficando en el modelo de las dos capas con $p_1 < p_2$ se obtiene el modelo estadístico de la distribución de la Resistividad Aparente, la curva obtenida en campo y la curva teórica respectiva.

Grafico 4: Modelación de la Resistividad Aparente
Distribución Estadística, Curva teórica y Curva de Campo – R7



8.3. Sondeo R-8

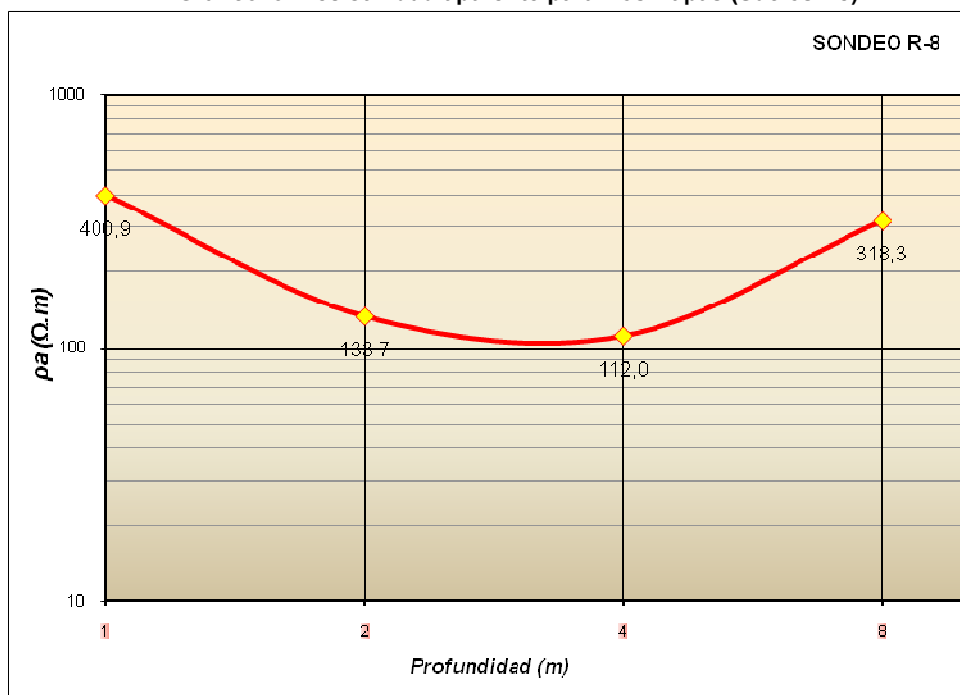
Perfil de resistividad descendente sin puntos de inflexión y presencia de dos estratos.

El cálculo de la resistividad aparente para el perfil de suelo en el sondeo R8, se presenta en el siguiente cuadro y grafico respectivo.

Tabla 4: Valores obtenidos para R-8 según método de Wenner – IEEE 81-1983

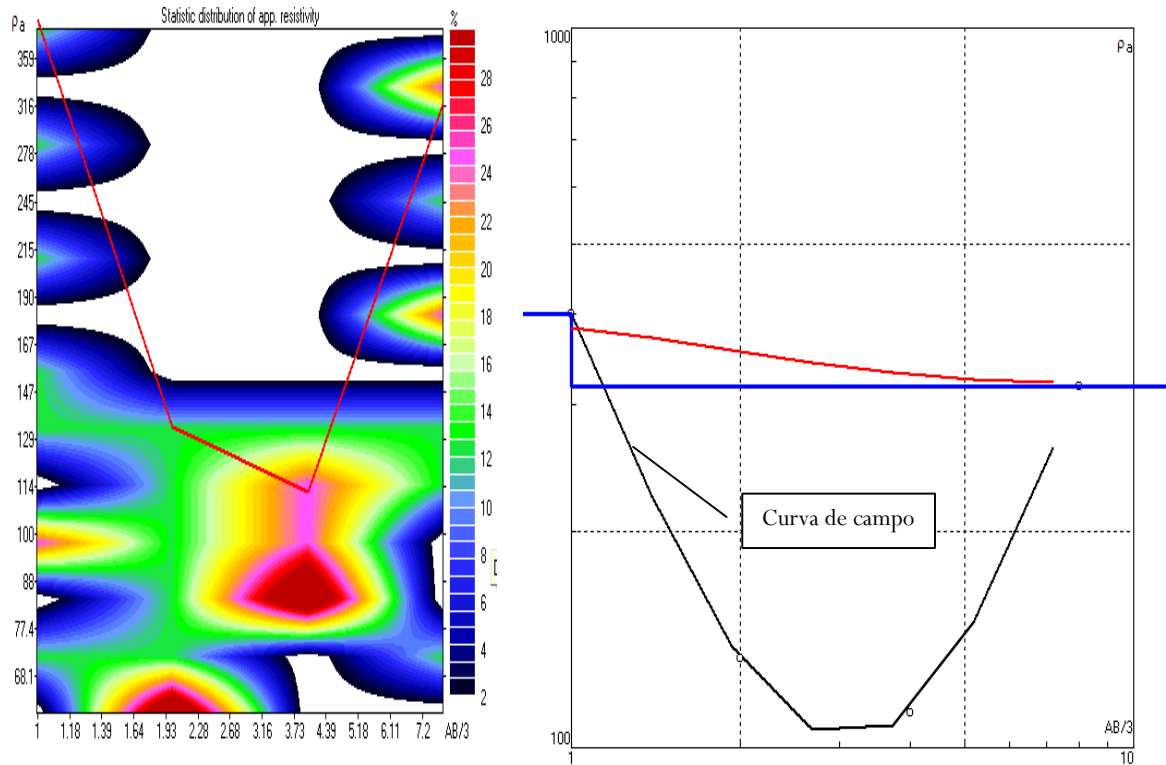
Resistividad Aparente				Estratificación					Resistividad uniforme equivalente
SONDEO	Profundidad (m)	Distancia entre electrodos	ρ_a ($\Omega.m$)	N	ρ_a ($\Omega.m$)	h	d	Altura	$\rho=(\rho_{max}+\rho_{min})/2$
R-8	0,8	1	400,9	1,0	400	1,00	1,00	-1	256,46
	1,5	2	133,7	2,0	318				
	3,0	4	112,0						
	6,0	8	318,3						

Grafico 5: Resistividad aparente para Dos Capas (Suelos R8)



Graticando en el modelo de las dos capas con $\rho_1 > \rho_2$ se obtiene el modelo estadístico de la distribución de la Resistividad Aparente, la curva obtenida en campo y la curva teórica respectiva.

**Grafico 6: Modelación de la Resistividad Aparente
Distribución Estadística, Curva teórica y Curva de Campo – R8**



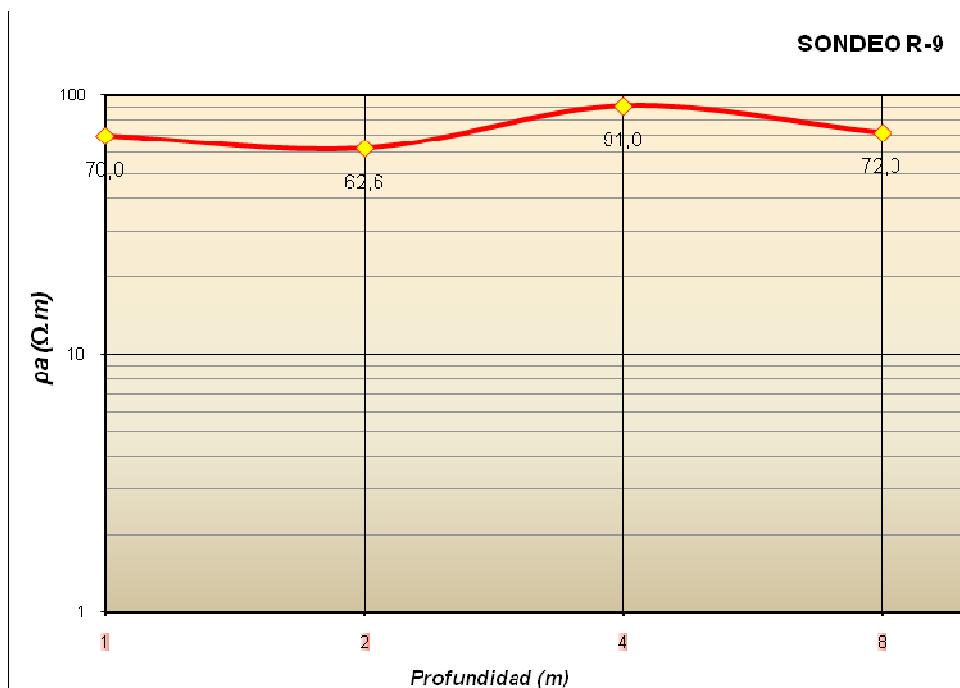
8.4. Sondeo R-9

Perfil de resistividad homogéneo sin puntos de inflexión y presencia de dos estratos.

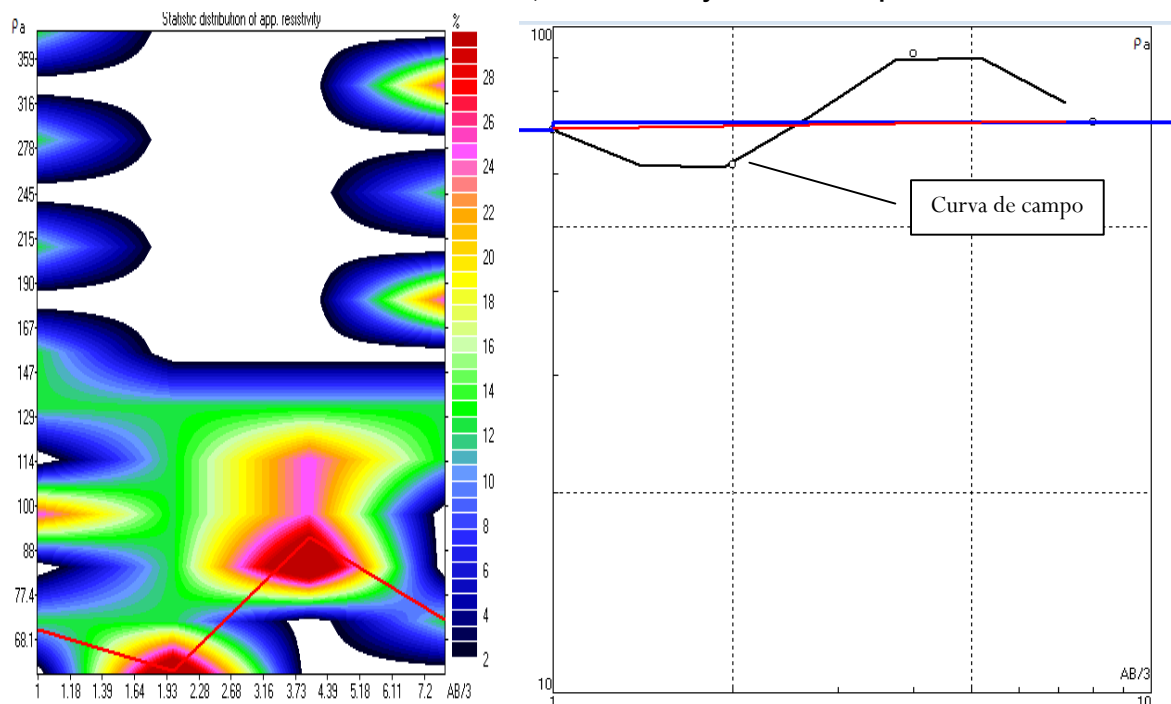
El cálculo de la resistividad aparente para el perfil de suelo en el sondeo R9, se presenta en el siguiente cuadro y grafico respectivo.

Tabla 5: Valores obtenidos para R-9 según método de Wenner – IEEE 81-1983

Resistividad Aparente				Estratificación					Resistividad uniforme equivalente
SONDEO	Profundidad (m)	Distancia entre electrodos	ρ_a ($\Omega.m$)	N	ρ_a ($\Omega.m$)	h	d	Altura	$\rho=(\rho_{max}+\rho_{min})/2$
R-9	0,8	1	70,0	1,0	70	1,00	1,00	-1	76,78
	1,5	2	62,6	2,0	72				
	3,0	4	91,0						
	6,0	8	72,0						

Grafico 7: Resistividad aparente para Dos Capas (Suelos R9)


Graficando en el modelo de las dos capas con $p_1 \leq p_2$ se obtiene el modelo estadístico de la distribución de la Resistividad Aparente, la curva obtenida en campo y la curva teórica respectiva.

**Grafico 8: Modelación de la Resistividad Aparente
Distribución Estadística, Curva teórica y Curva de Campo – R9**


8.5. Sondeo R-10

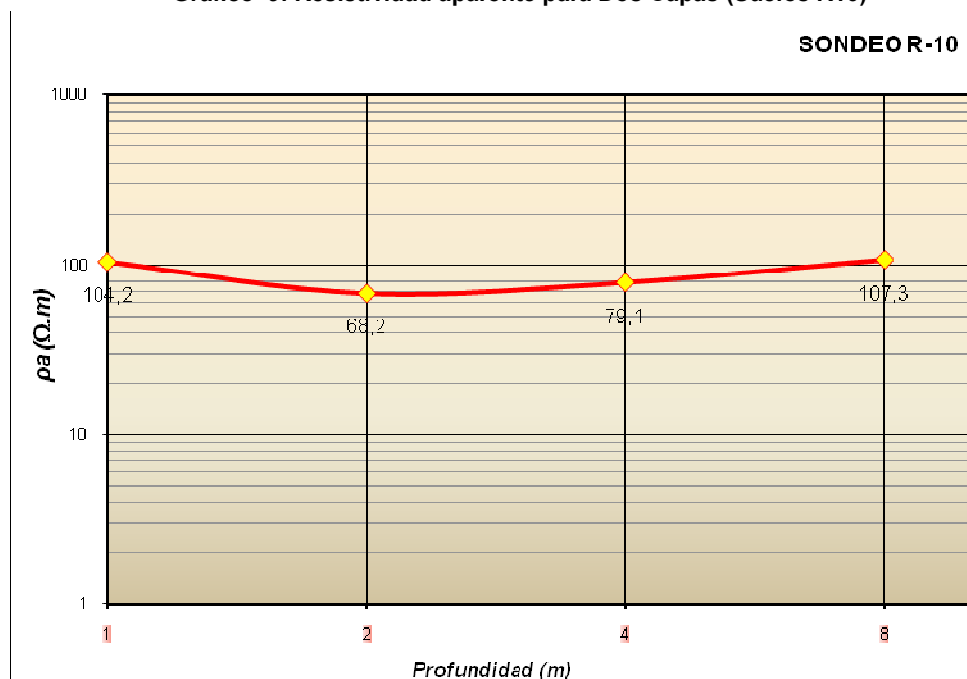
Perfil de resistividad homogéneo sin puntos de inflexión y presencia de dos estratos. Suelos mayormente arenosos.

El cálculo de la resistividad aparente para el perfil de suelo en el sondeo R10, se presenta en el siguiente cuadro y grafico respectivo.

Tabla 6: Valores obtenidos para R-10 según método de Wenner – IEEE 81-1983

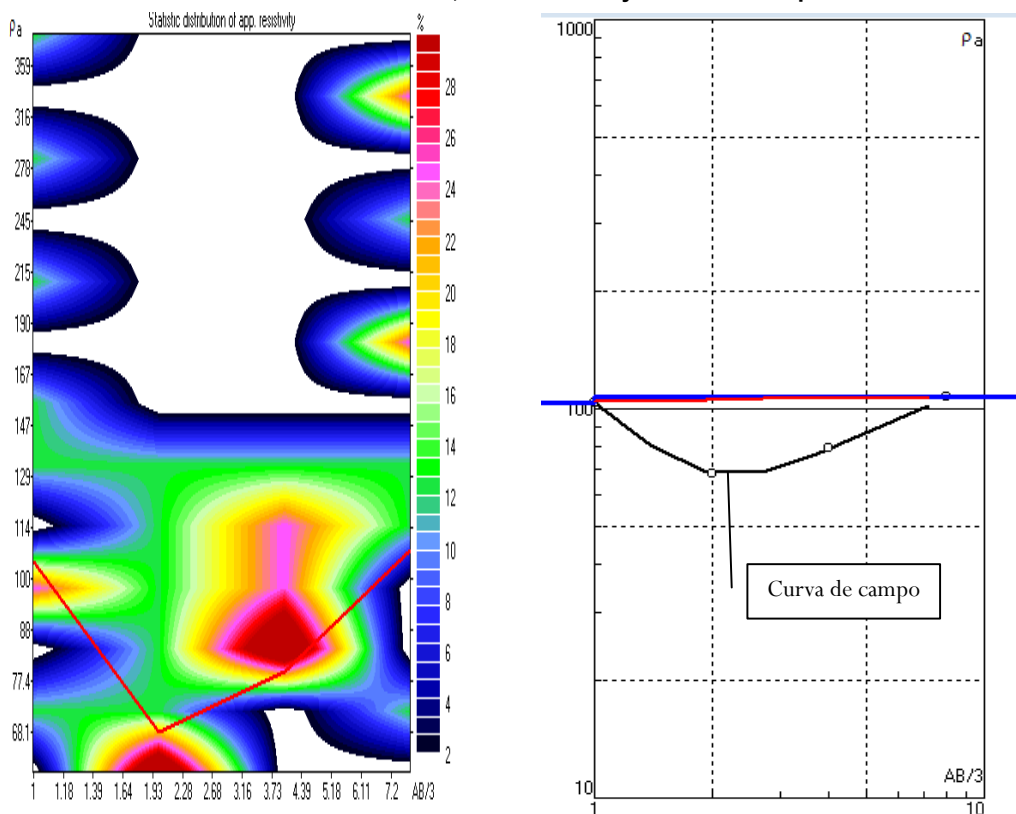
Resistividad Aparente				Estratificación					Resistividad uniforme equivalente
SONDEO	Profundidad (m)	Distancia entre electrodos	ρ_a ($\Omega.m$)	N	ρ_a ($\Omega.m$)	h	d	Altura	$\rho=(\rho_{max}+\rho_{min})/2$
R-10	0,8	1	104,2	1,0	104	1,00	1,00	-1	87,78
	1,5	2	68,2	2,0	107				
	3,0	4	79,1						
	6,0	8	107,3						

Grafico 9: Resistividad aparente para Dos Capas (Suelos R10)



Graficando en el modelo de las dos capas con $\rho_1 \leq \rho_2$ se obtiene el modelo estadístico de la distribución de la Resistividad Aparente, la curva obtenida en campo y la curva teórica respectiva.

**Gráfico 10: Modelación de la Resistividad Aparente
Distribución Estadística, Curva teórica y Curva de Campo – R10**



8.6. Sondeo R-12

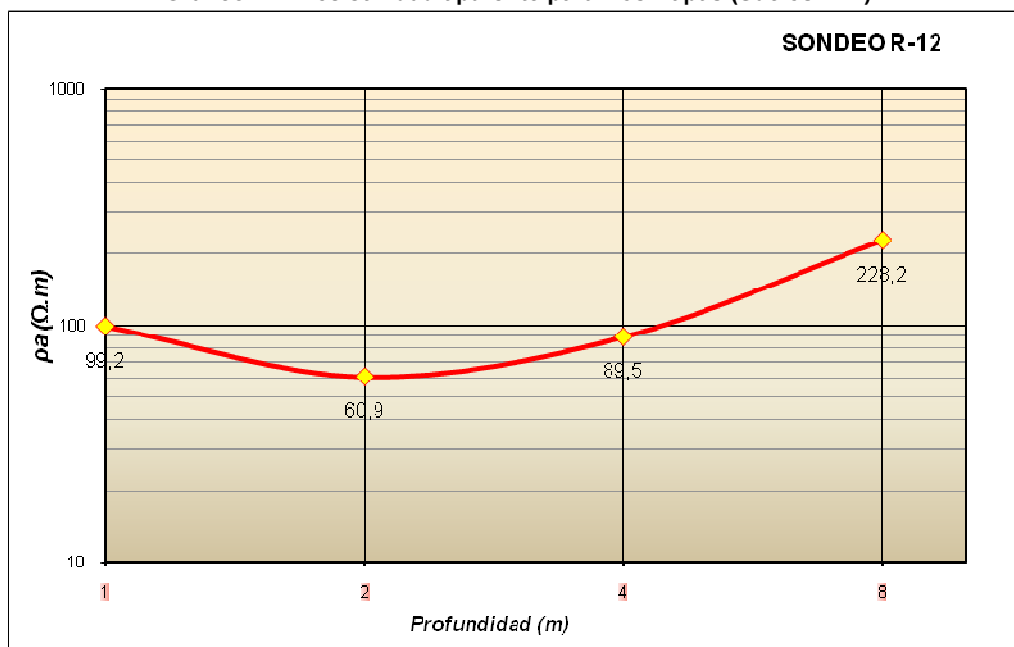
Perfil de resistividad ascendente sin puntos de inflexión y presencia de dos estratos.

El cálculo de la resistividad aparente para el perfil de suelo en el sondeo R12, se presenta en el siguiente cuadro y gráfico respectivo.

Tabla 7: Valores obtenidos para R-12 según método de Wenner – IEEE 81-1983

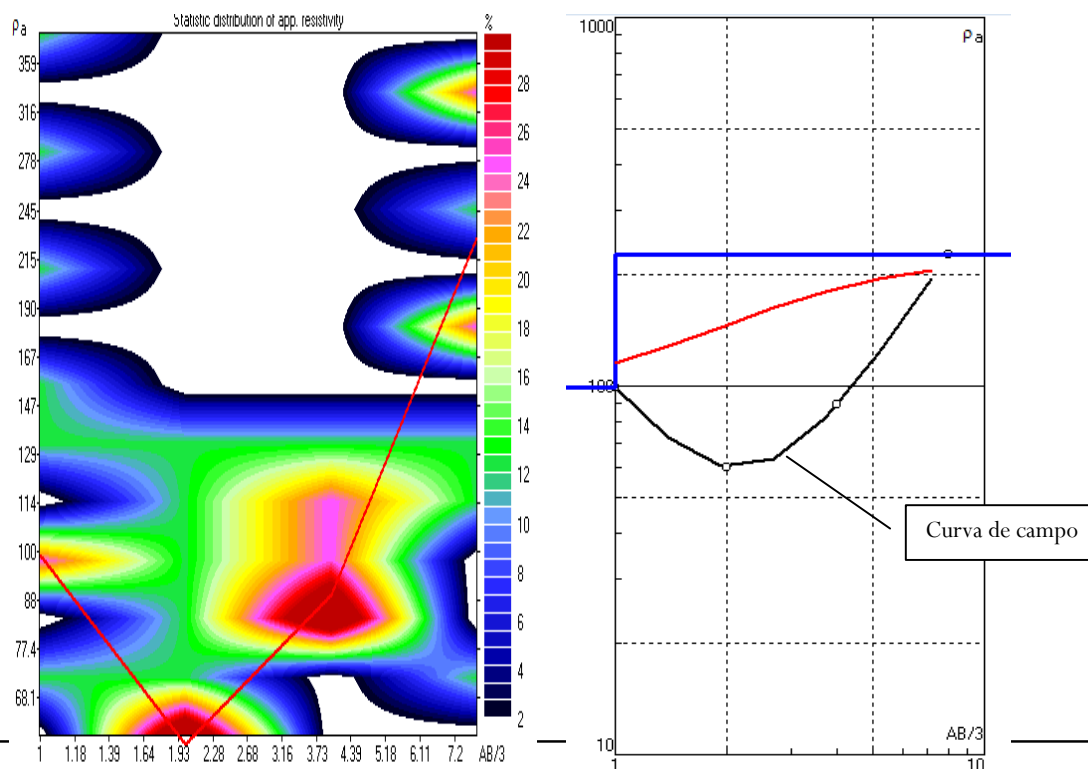
Resistividad Aparente				Estratificación					Resistividad uniforme equivalente
SONDEO	Profundidad (m)	Distancia entre electrodos	ρ_a ($\Omega \cdot m$)	N	ρ_a ($\Omega \cdot m$)	h	d	Altura	$\rho = (\rho_{max} + \rho_{min}) / 2$
R-12	0,8	1	99,2	1,0	99	1,00	1,00	-1	144,56
	1,5	2	60,9	2,0	228				
	3,0	4	89,5						
	6,0	8	228,2						

Grafico 11: Resistividad aparente para Dos Capas (Suelos R12)



Graficando en el modelo de las dos capas con $p_1 < p_2$ se obtiene el modelo estadístico de la distribución de la Resistividad Aparente, la curva obtenida en campo y la curva teórica respectiva.

**Grafico 12: Modelación de la Resistividad Aparente
Distribución Estadística, Curva teórica y Curva de Campo – R12**



8.7. Sondeo R-14

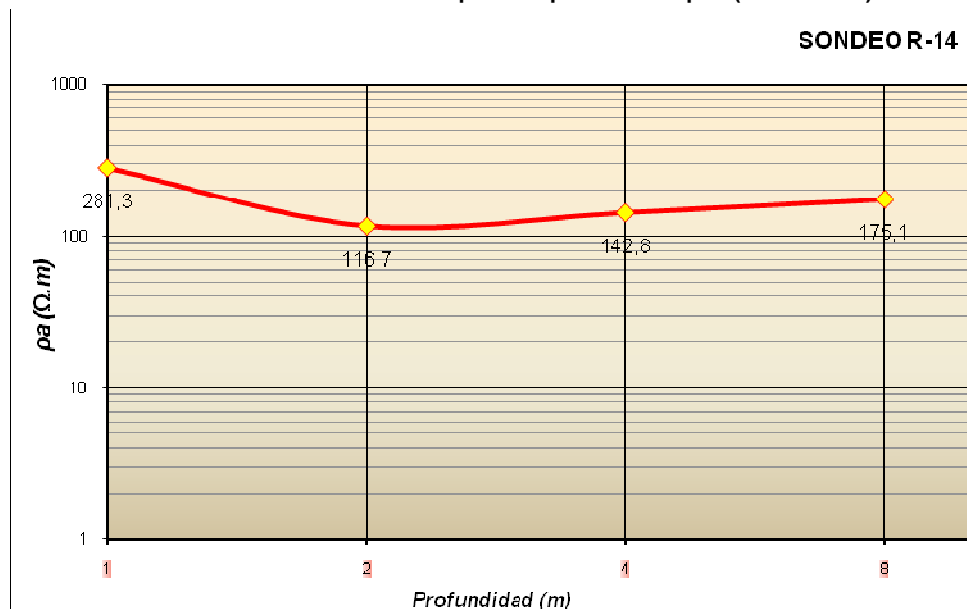
Perfil de resistividad descendente con puntos de inflexión y presencia de dos estratos.

El cálculo de la resistividad aparente para el perfil de suelo en el sondeo R14, se presenta en el siguiente cuadro y grafico respectivo.

Tabla 8: Valores obtenidos para R-14 según método de Wenner – IEEE 81-1983

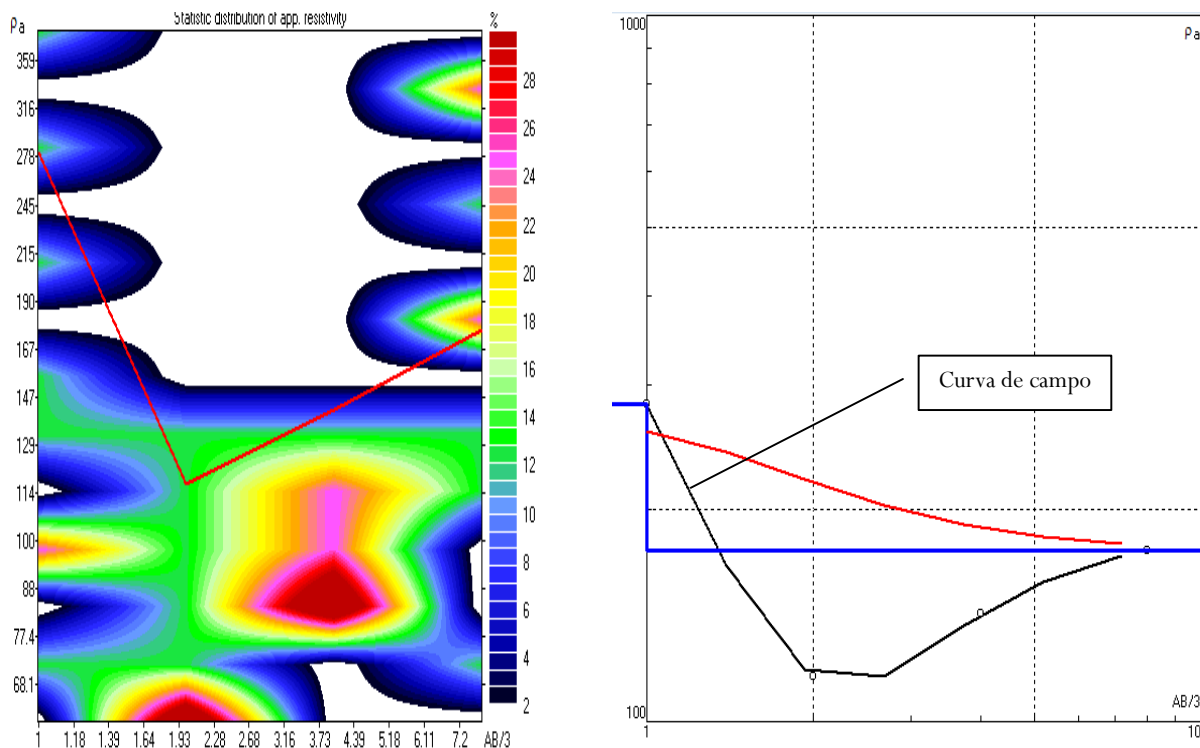
Resistividad Aparente				Estratificación					Resistividad uniforme equivalente
SONDEO	Profundidad (m)	Distancia entre electrodos	ρ_a ($\Omega.m$)	N	ρ_a ($\Omega.m$)	h	d	Altura	$\rho=(\rho_{max}+\rho_{min})/2$
R-14	0,8	1	281,3	1,0	281,0	1,00	1,00	-1	199,02
	1,5	2	116,7	2,0	175,0				
	3,0	4	142,8						
	6,0	8	175,1						

Grafico 13: Resistividad aparente para Dos Capas (Suelos S14)



Graficando en el modelo de las dos capas con $\rho_1 > \rho_2$ se obtiene el modelo estadístico de la distribución de la Resistividad Aparente, la curva obtenida en campo y la curva teórica respectiva.

**Grafico 14: Modelación de la Resistividad Aparente
Distribución Estadística, Curva teórica y Curva de Campo – R14**



8.8. Sondeo R-16

Perfil de resistividad descendente sin puntos de inflexión y presencia de dos estratos.

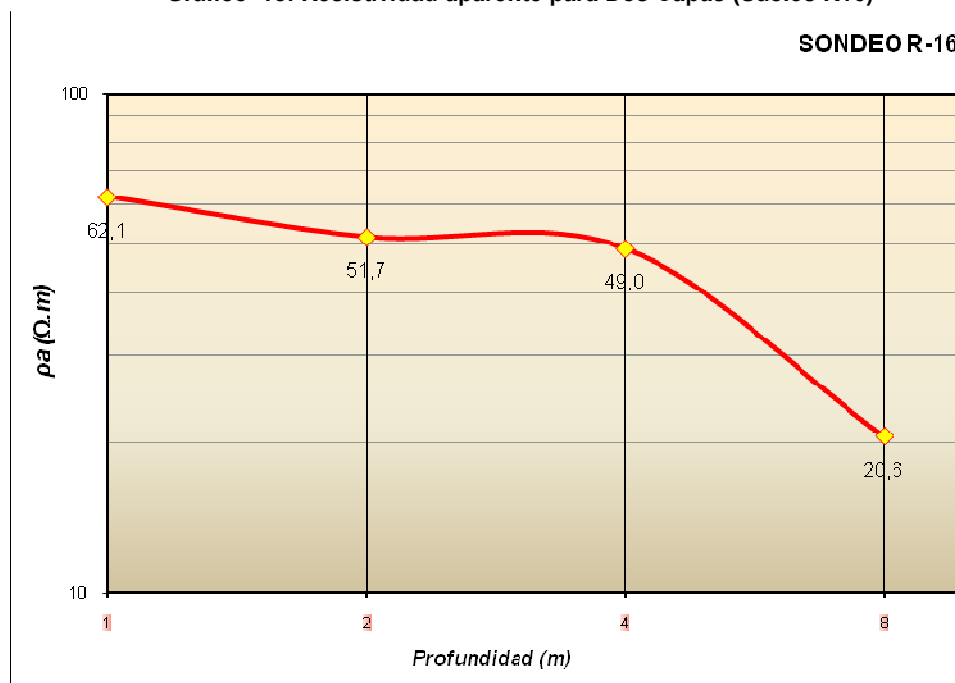
El cálculo de la resistividad aparente para el perfil de suelo en el sondeo R16, se presenta en el siguiente cuadro y grafico respectivo.

Tabla 9: Valores obtenidos para R-16 según método de Wenner – IEEE 81-1983

Resistividad Aparente				Estratificación					Resistividad uniforme equivalente
SONDEO	Profundidad (m)	Distancia entre electrodos	ρ_a ($\Omega.m$)	N	ρ_a ($\Omega.m$)	h	d	Altura	$\rho=(\rho_{max}+\rho_{min})/2$
R-16	0,8	1	62,1	1,0	62,0	1,00	1,00	-1	41,38
	1,5	2	51,7	2,0	20,0				
	3,0	4	49,0						
	6,0	8	20,6						

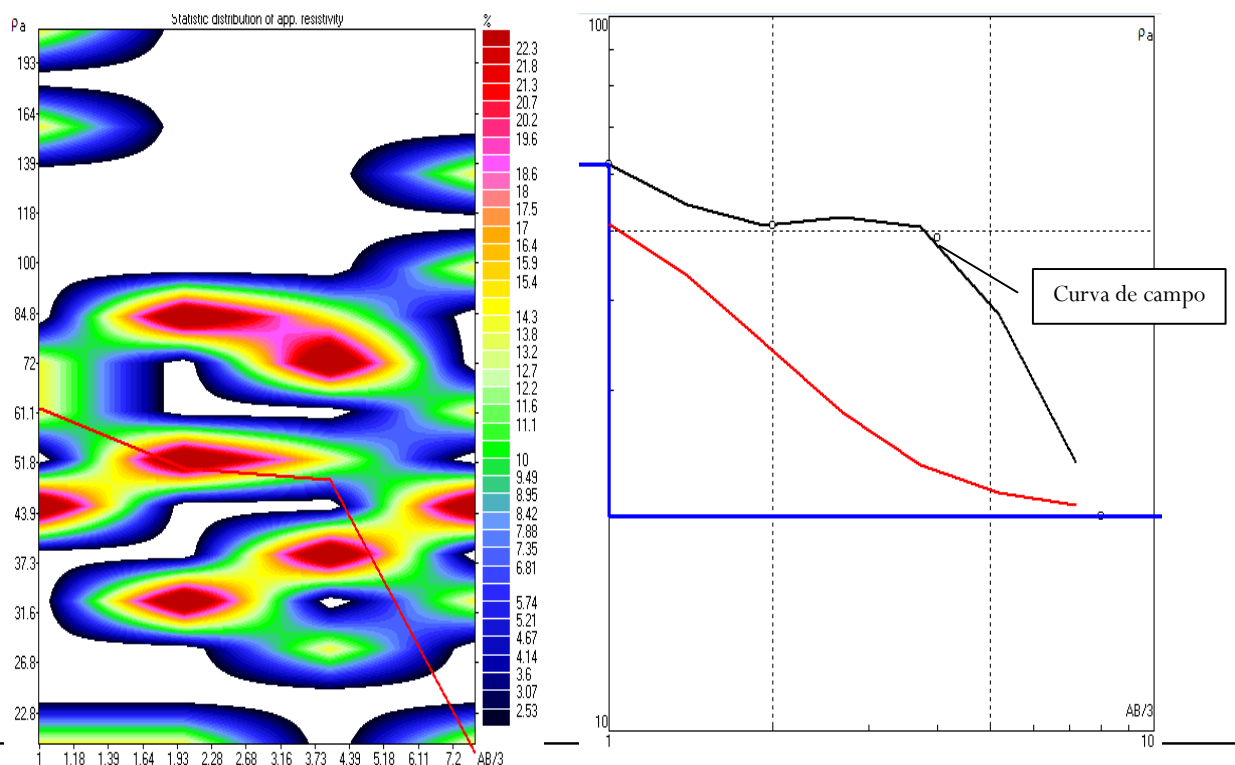
Grafico 15: Resistividad aparente para Dos Capas (Suelos R16)

SONDEO R-16



Graficando en el modelo de las dos capas con $\rho_1 > \rho_2$ se obtiene el modelo estadístico de la distribución de la Resistividad Aparente, la curva obtenida en campo y la curva teórica respectiva.

**Grafico 16: Modelación de la Resistividad Aparente
Distribución Estadística, Curva teórica y Curva de Campo – R16**



8.9. Sondeo R-18

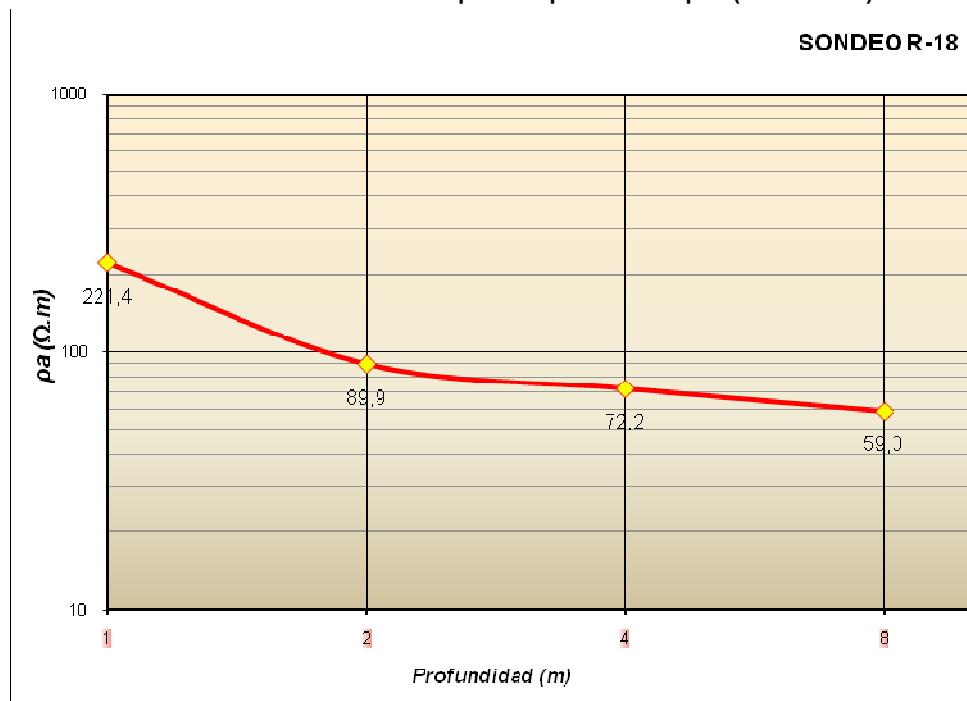
Perfil de resistividad descendente sin puntos de inflexión y presencia de dos estratos.

El cálculo de la resistividad aparente para el perfil de suelo en el sondeo R18, se presenta en el siguiente cuadro y grafico respectivo.

Tabla 10: Valores obtenidos para R-8 según método de Wenner – IEEE 81-1983

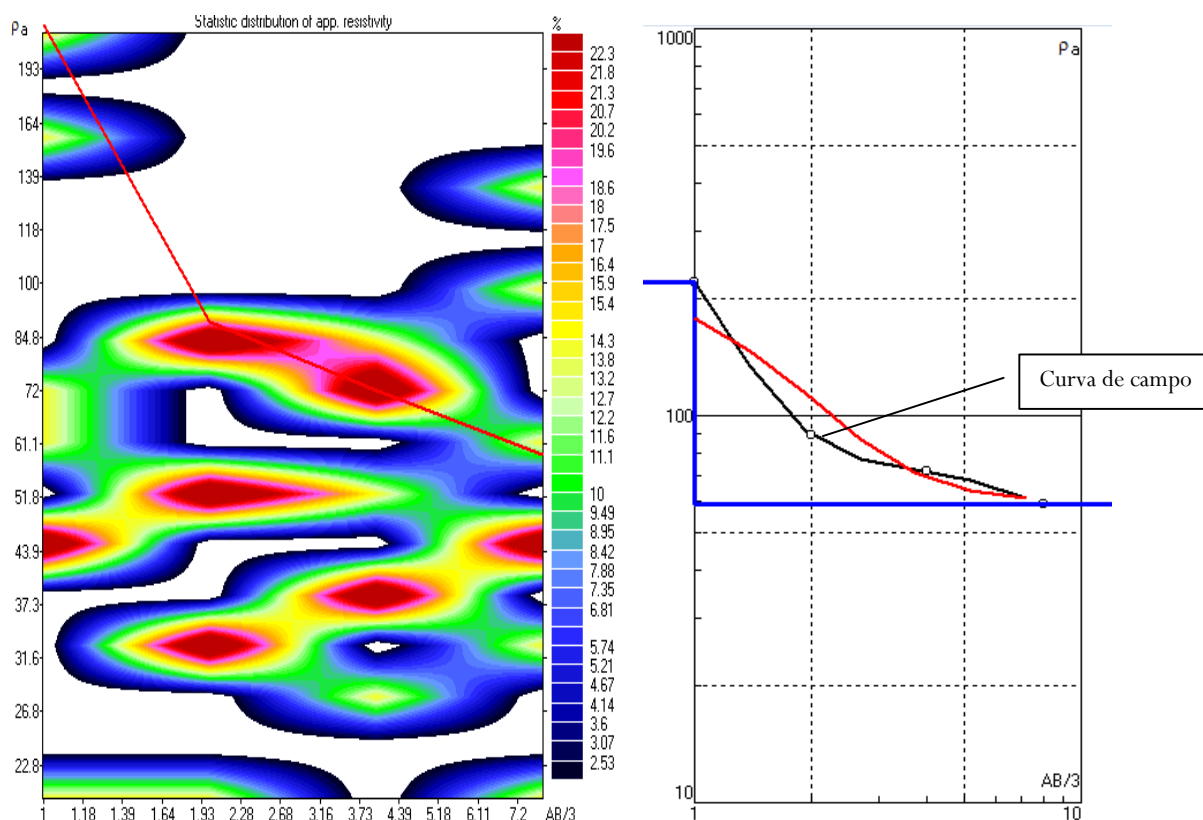
Resistividad Aparente				Estratificación					Resistividad uniforme equivalente
SONDEO	Profundidad (m)	Distancia entre electrodos	ρ_a ($\Omega.m$)	N	ρ_a ($\Omega.m$)	h	d	Altura	$\rho=(\rho_{max}+\rho_{min})/2$
R-18	0,8	1	221,4	1,0	221,0	1,00	1,00	-1	140,17
	1,5	2	89,9	2,0	59,0				
	3,0	4	72,2						
	6,0	8	59,0						

Grafico 17: Resistividad aparente para Dos Capas (Suelos R18)



Graficando en el modelo de las dos capas con $\rho_1 > \rho_2$ se obtiene el modelo estadístico de la distribución de la Resistividad Aparente, la curva obtenida en campo y la curva teórica respectiva.

**Grafico 18: Modelación de la Resistividad Aparente
Distribución Estadística, Curva teórica y Curva de Campo – R18**



8.10. Sondeo R-19

Perfil de resistividad descendente sin puntos de inflexión y presencia de dos estratos.

El cálculo de la resistividad aparente para el perfil de suelo en el sondeo R19, se presenta en el siguiente cuadro y grafico respectivo.

Tabla 11: Valores obtenidos para R-19 según método de Wenner – IEEE 81-1983

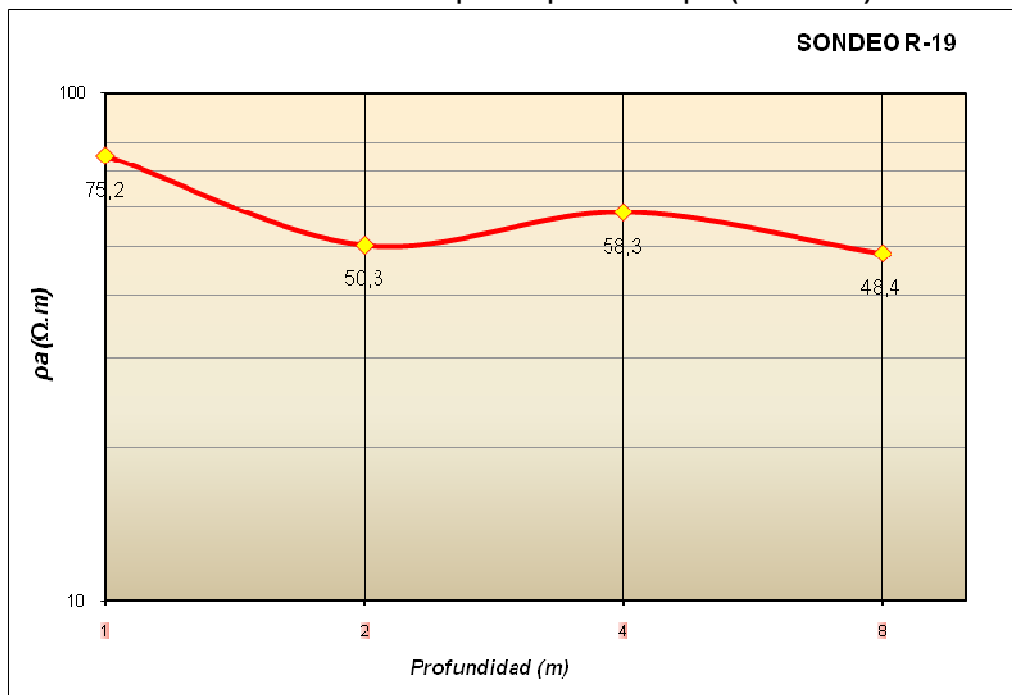
Resistividad Aparente				Estratificación					Resistividad uniforme equivalente
SONDEO	Profundidad (m)	Distancia entre electrodos	ρ_a ($\Omega.m$)	N	ρ_a ($\Omega.m$)	h	d	Altura	$\rho=(\rho_{max}+\rho_{min})/2$
R-19	0,8	1	75,2	1,0	75,0	1,00	1,00	-1	61,80
	1,5	2	50,3	2,0	48,0				
	3,0	4	58,3						

6,0

8

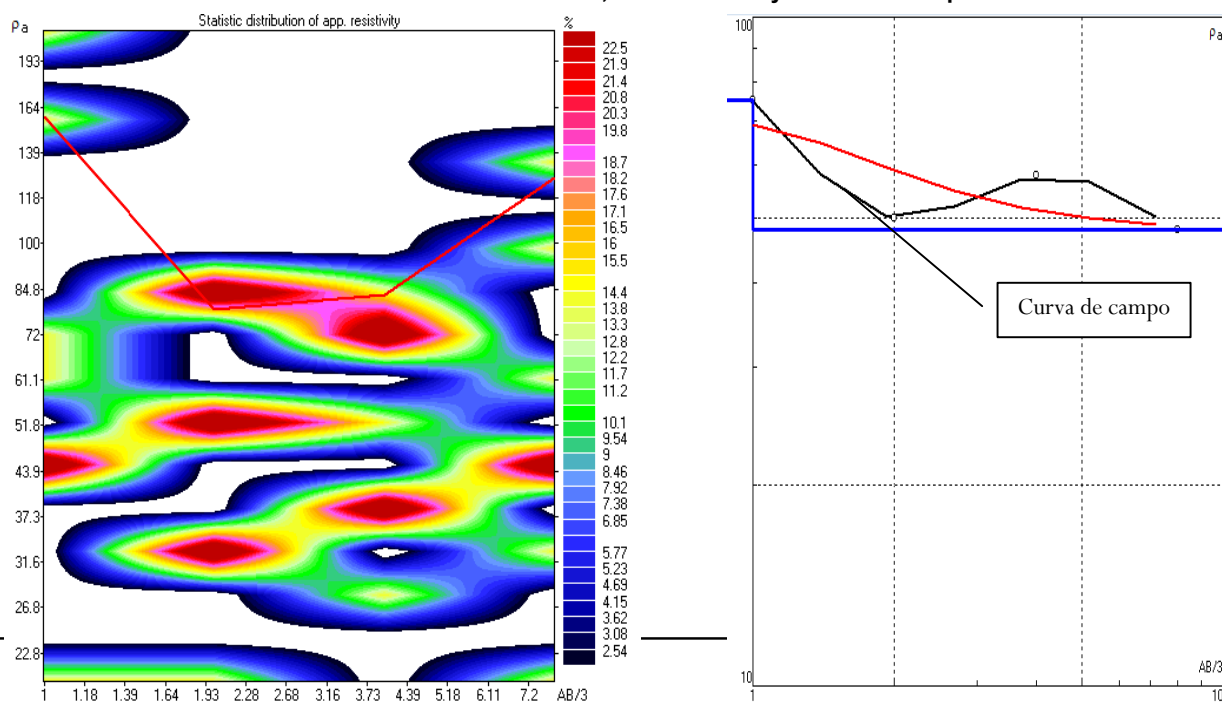
48,4

Grafico 19: Resistividad aparente para Dos Capas (Suelos R19)



Graficando en el modelo de las dos capas con $\rho_1 > \rho_2$ se obtiene el modelo estadístico de la distribución de la Resistividad Aparente, la curva obtenida en campo y la curva teórica respectiva.

**Grafico 20: Modelación de la Resistividad Aparente
Distribución Estadística, Curva teórica y Curva de Campo – R19**



8.11. Sondeo R-21

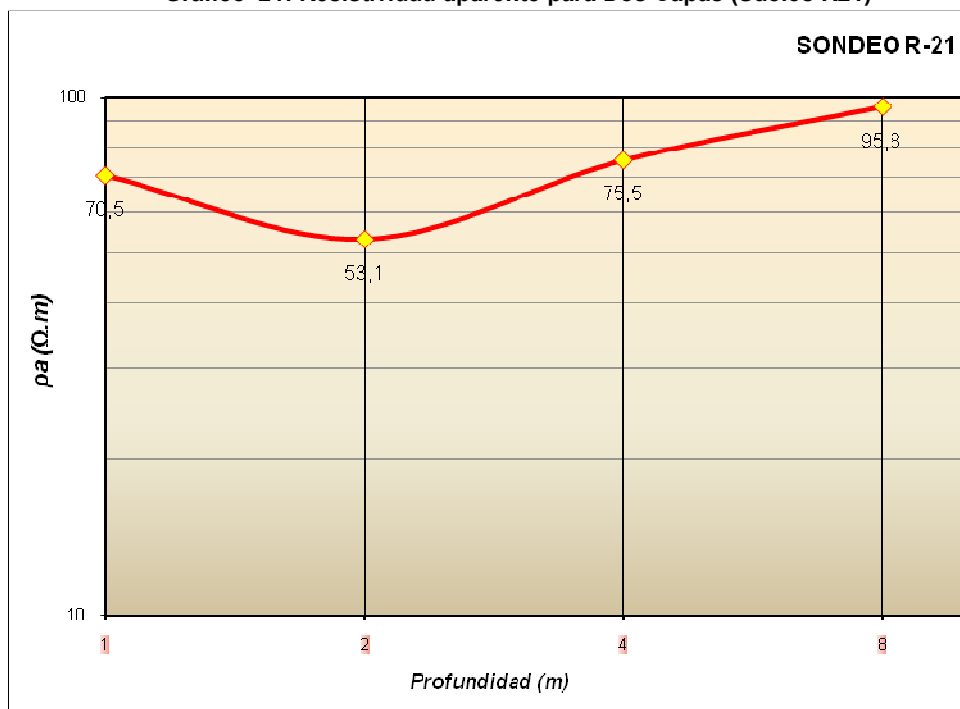
Perfil de resistividad ascendente sin puntos de inflexión y presencia de dos estratos.

El cálculo de la resistividad aparente para el perfil de suelo en el sondeo R21, se presenta en el siguiente cuadro y grafico respectivo.

Tabla 12: Valores obtenidos para R-21 según método de Wenner – IEEE 81-1983

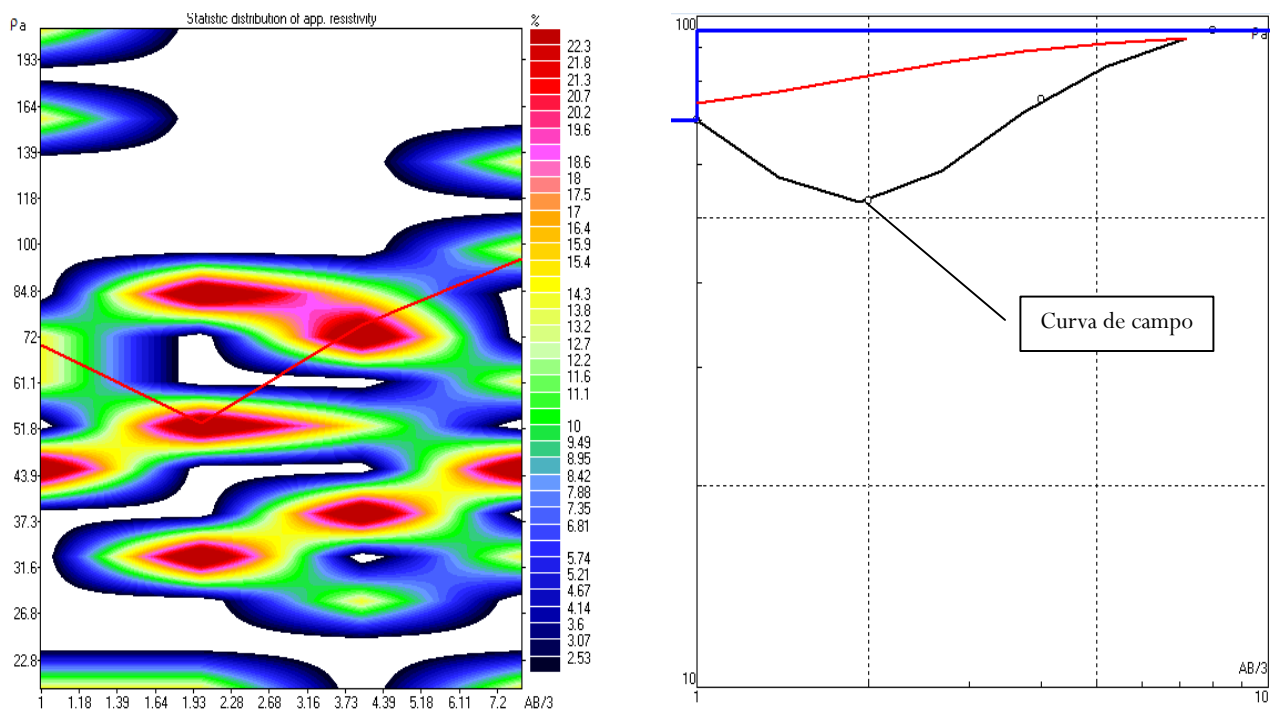
Resistividad Aparente				Estratificación					Resistividad uniforme equivalente
SONDEO	Profundidad (m)	Distancia entre electrodos	ρ_a ($\Omega.m$)	N	ρ_a ($\Omega.m$)	h	d	Altura	$\rho=(\rho_{max}+\rho_{min})/2$
R-21	0,8	1	70,5	1,0	70,0	1,00	1,00	-1	74,45
	1,5	2	53,1	2,0	95,0				
	3,0	4	75,5						
	6,0	8	95,8						

Grafico 21: Resistividad aparente para Dos Capas (Suelos R21)



Graficando en el modelo de las dos capas con $\rho_1 < \rho_2$ se obtiene el modelo estadístico de la distribución de la Resistividad Aparente, la curva obtenida en campo y la curva teórica respectiva.

**Gráfico 22: Modelación de la Resistividad Aparente
Distribución Estadística, Curva teórica y Curva de Campo – R21**



8.12. Sondeo R-22

Perfil de resistividad descendente sin puntos de inflexión y presencia de dos estratos.

El cálculo de la resistividad aparente para el perfil de suelo en el sondeo R22, se presenta en el siguiente cuadro y gráfico respectivo.

Tabla 13: Valores obtenidos para R-22 según método de Wenner – IEEE 81-1983

Resistividad Aparente				Estratificación					Resistividad uniforme equivalente
SONDEO	Profundidad (m)	Distancia entre electrodos	ρ_a ($\Omega.m$)	N	ρ_a ($\Omega.m$)	h	d	Altura	$\rho = (\rho_{max} + \rho_{min})/2$
R-22	0,8	1	47,2	1,0	47,0	1,00	1,00	-1	39,70
	1,5	2	32,2	2,0	43,0				
	3,0	4	39,9						
	6,0	8	43,0						

**ESPECIFICACIÓN TÉCNICA**

Nº

REV.

0PROYECTO: **PLANTA SEPARADORA DE LÍQUIDOS RIO GRANDE**

HOJA:

24

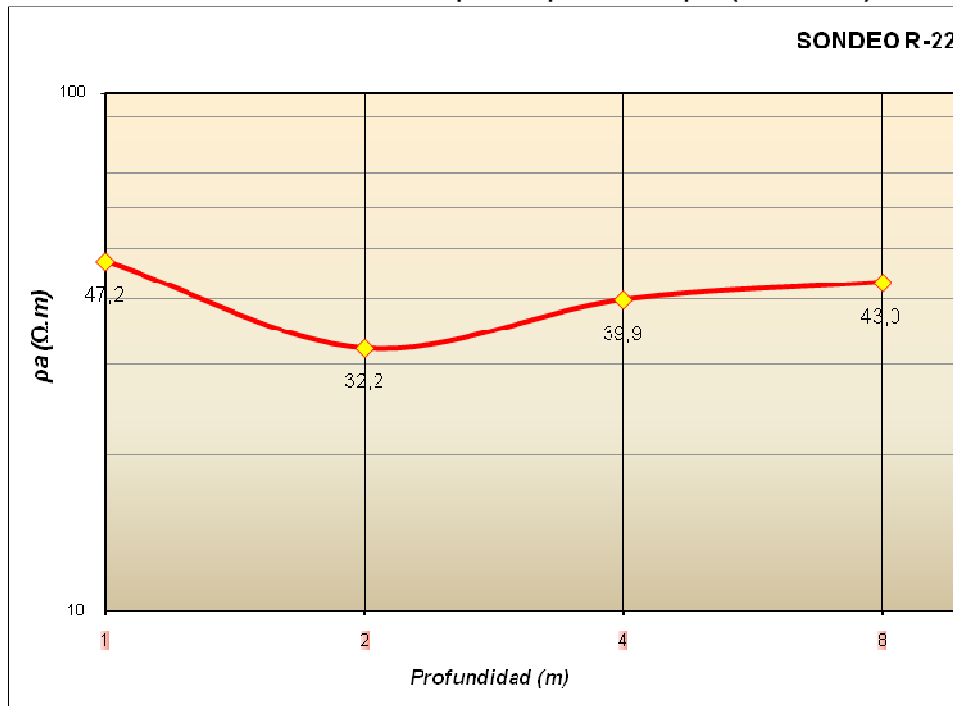
de

41

TÍTULO:

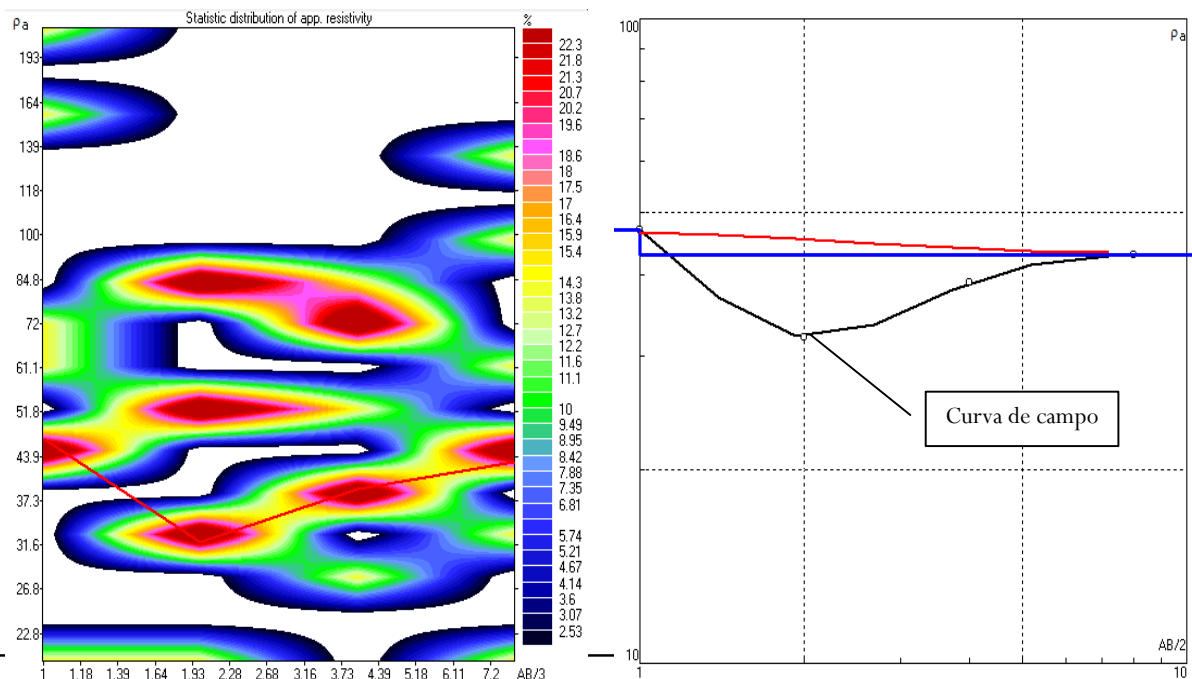
**MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO
PLANTA SEPARADORA DE LÍQUIDOS RIO GRANDE**

Grafico 23: Resistividad aparente para Dos Capas (Suelos R22)



Graficando en el modelo de las dos capas con $\rho_1 > \rho_2$ se obtiene el modelo estadístico de la distribución de la Resistividad Aparente, la curva obtenida en campo y la curva teórica respectiva.

**Grafico 24: Modelación de la Resistividad Aparente
Distribución Estadística, Curva teórica y Curva de Campo – R22**



8.13. Sondeo R-23

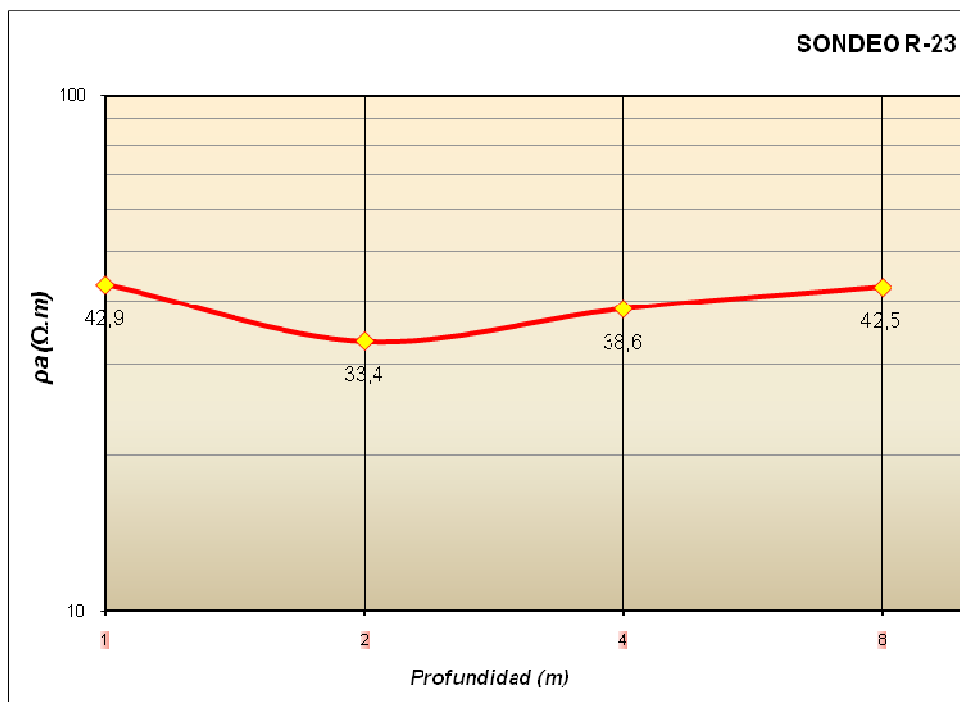
Perfil de resistividad homogéneo sin puntos de inflexión y presencia de dos estratos.

El cálculo de la resistividad aparente para el perfil de suelo en el sondeo R23, se presenta en el siguiente cuadro y grafico respectivo.

Tabla 14: Valores obtenidos para R-23 según método de Wenner – IEEE 81-1983

Resistividad Aparente				Estratificación					Resistividad uniforme equivalente
SONDEO	Profundidad (m)	Distancia entre electrodos	ρ_a ($\Omega.m$)	N	ρ_a ($\Omega.m$)	h	d	Altura	$\rho=(\rho_{max}+\rho_{min})/2$
R-23	0,8	1	42,9	1,0	42,0	1,00	1,00	-1	38,15
	1,5	2	33,4	2,0	42,0				
	3,0	4	38,6						
	6,0	8	42,5						

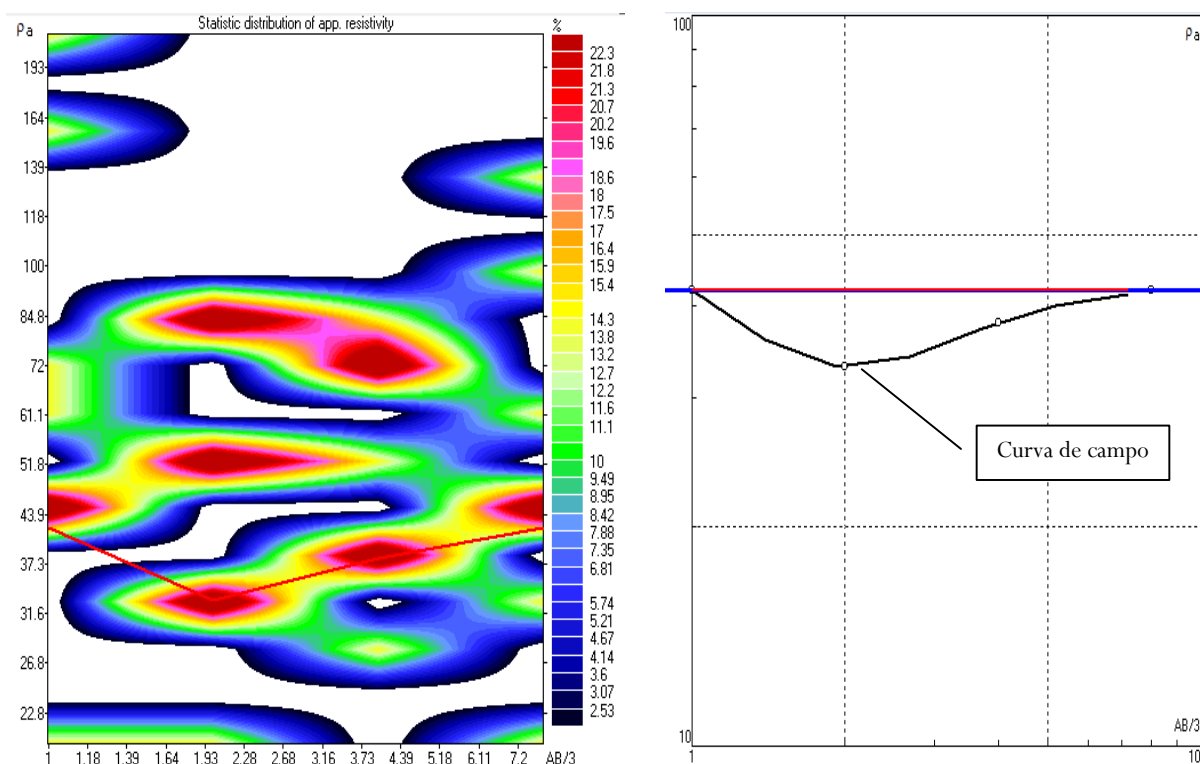
Grafico 25: Resistividad aparente para Dos Capas (Suelos R23)



Graficando en el modelo de las dos capas con $\rho_1=\rho_2$ se obtiene el modelo estadístico de la

distribución de la Resistividad Aparente, la curva obtenida en campo y la curva teórica respectiva.

Grafico 26: Modelación de la Resistividad Aparente
Distribución Estadística, Curva teórica y Curva de Campo – R23



8.14. Sondeo R-27

Perfil de resistividad ascendente sin puntos de inflexión y presencia de dos estratos.

El cálculo de la resistividad aparente para el perfil de suelo en el sondeo R27, se presenta en el siguiente cuadro y grafico respectivo.

Tabla 15: Valores obtenidos para R-27 según método de Wenner – IEEE 81-1983

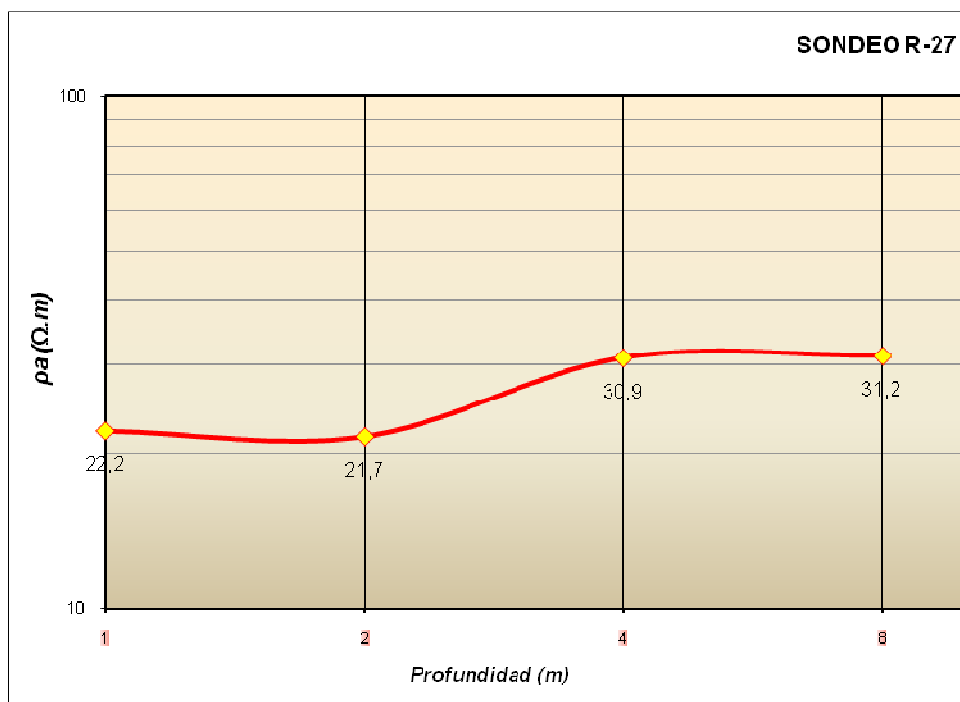
Resistividad Aparente				Estratificación					Resistividad uniforme equivalente
SONDEO	Profundidad (m)	Distancia entre electrodos	ρ_a ($\Omega.m$)	N	ρ_a ($\Omega.m$)	h	d	Altura	$\rho = (\rho_{max} + \rho_{min})/2$
R-27	0,8	1	22,2	1,0	22,0	1,00	1,00	-1	26,45
	1,5	2	21,7	2,0	32,0				
	3,0	4	30,9						

6,0

8

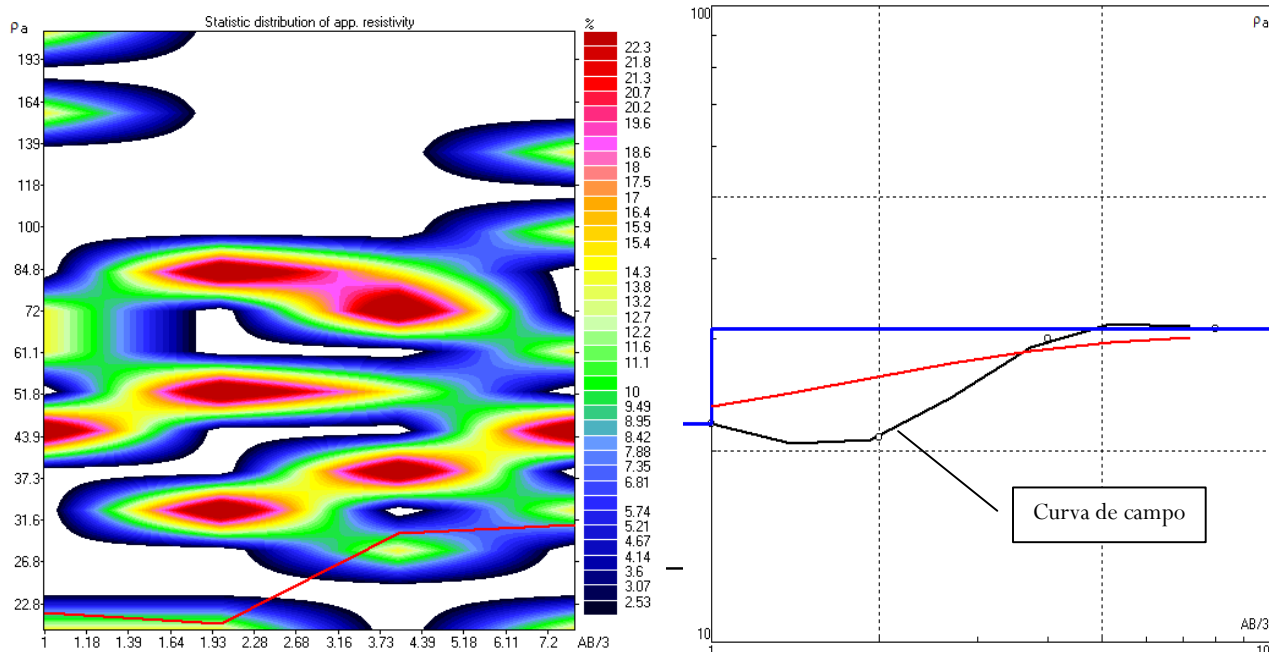
31,2

Grafico 27: Resistividad aparente para Dos Capas (Suelos R27)



Graficando en el modelo de las dos capas con $p_1 < p_2$ se obtiene el modelo estadístico de la distribución de la Resistividad Aparente, la curva obtenida en campo y la curva teórica respectiva.

**Grafico 28: Modelación de la Resistividad Aparente
Distribución Estadística, Curva teórica y Curva de Campo – R27**



**ESPECIFICACIÓN TÉCNICA**

Nº

REV.

0PROYECTO: **PLANTA SEPARADORA DE LÍQUIDOS RIO GRANDE**

HOJA:

29

de

41

TÍTULO:

**MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO
PLANTA SEPARADORA DE LÍQUIDOS RIO GRANDE**

8.15. Sondeo R-15

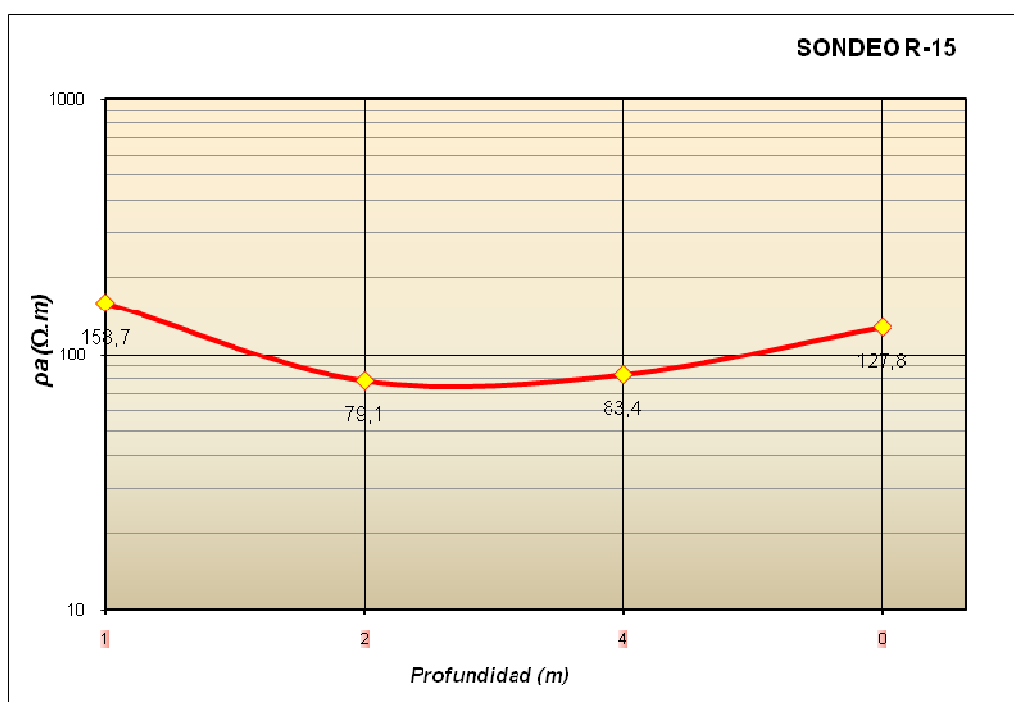
Perfil de resistividad descendente sin puntos de inflexión y presencia de dos estratos.

El cálculo de la resistividad aparente para el perfil de suelo en el sondeo R15, se presenta en el siguiente cuadro y grafico respectivo.

Tabla 16: Valores obtenidos para R-15 según método de Wenner – IEEE 81-1983

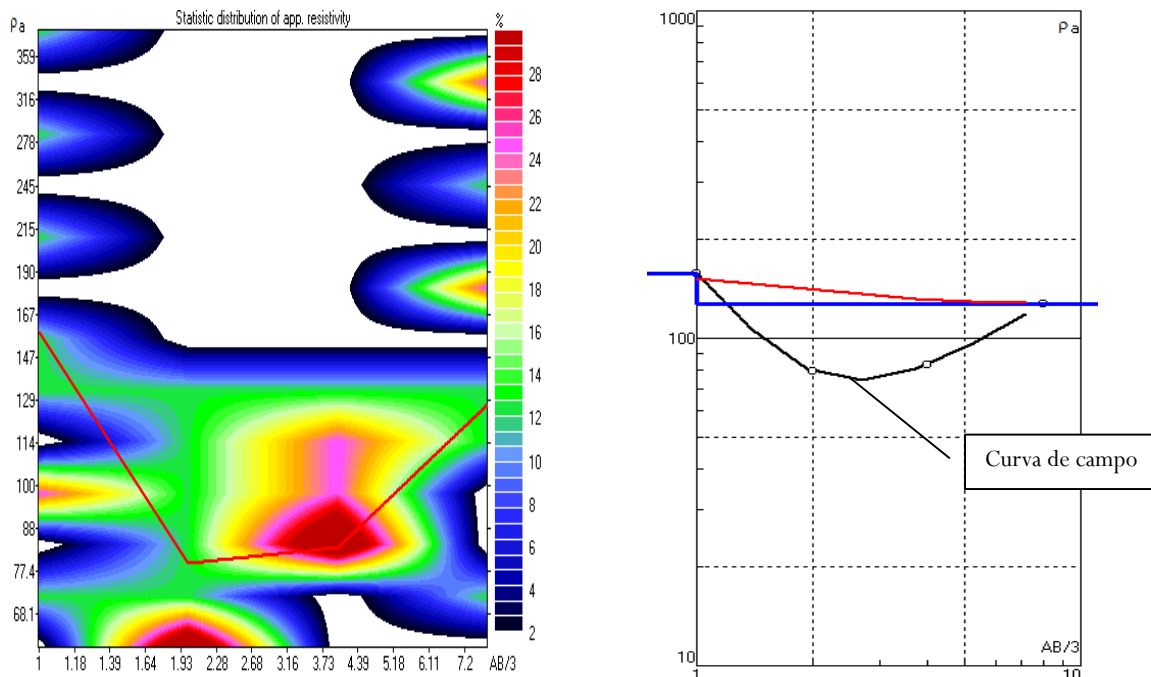
Resistividad Aparente				Estratificación					Resistividad uniforme equivalente
SONDEO	Profundidad (m)	Distancia entre electrodos	ρ_a ($\Omega.m$)	N	ρ_a ($\Omega.m$)	h	d	Altura	$\rho=(\rho_{max}+\rho_{min})/2$
R-15	0,8	1	158,7	1,0	158,0	1,00	1,00	-1	118,90
	1,5	2	79,1	2,0	127,0				
	3,0	4	83,4						
	6,0	8	127,0						

Grafico 29: Resistividad aparente para Dos Capas (Suelos R15)



Graficando en el modelo de las dos capas con $\rho_1 > \rho_2$ se obtiene el modelo estadístico de la distribución de la Resistividad Aparente, la curva obtenida en campo y la curva teórica respectiva.

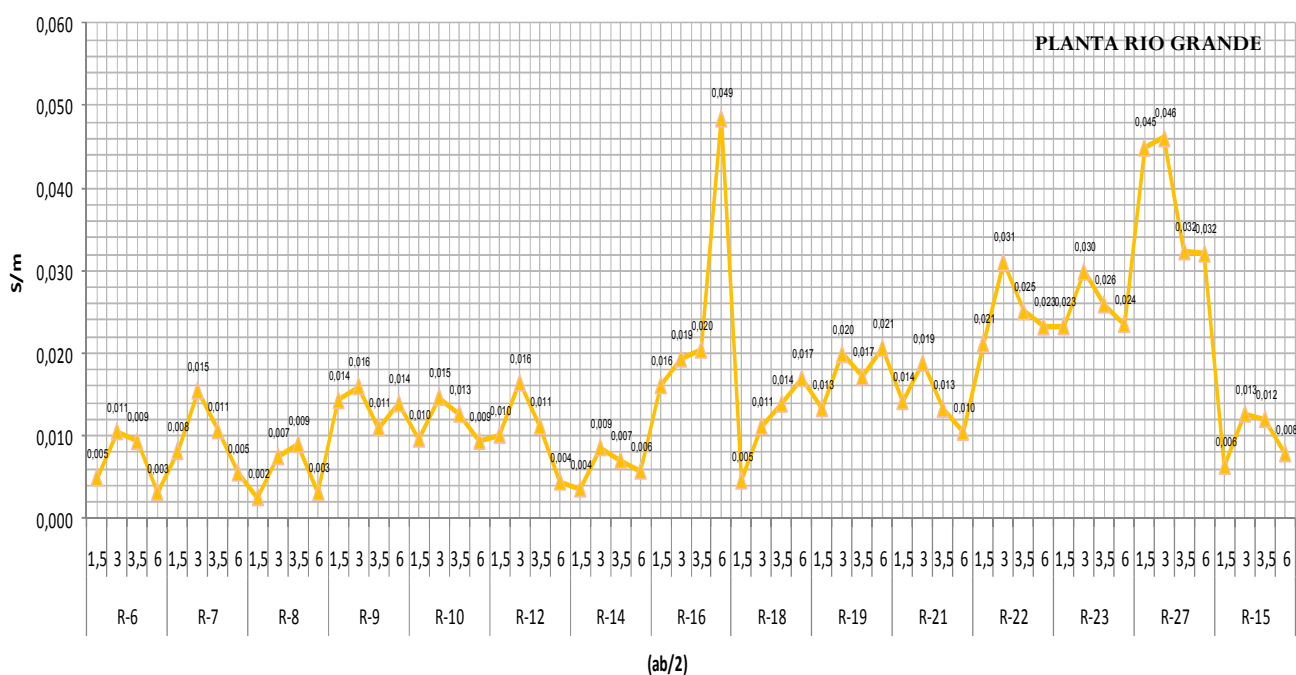
**Grafico 30: Modelación de la Resistividad Aparente
Distribución Estadística, Curva teórica y Curva de Campo – R15**



8.16. Conductividad eléctrica

Lecturas de conductividad eléctrica del terreno a través de la $\sigma = \frac{1}{\rho}$ forma, se presenta en el **Grafico 31**.

Grafico 31: Conductividad eléctrica según profundidad de sondeo (AB/2)





ESPECIFICACIÓN TÉCNICA

Nº

REV.

0

PROYECTO: PLANTA SEPARADORA DE LÍQUIDOS RIO GRANDE

HOJA:

32

de 41

TÍTULO: MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO
PLANTA SEPARADORA DE LÍQUIDOS RIO GRANDE

9. RECOMENDACIONES EL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Para el cálculo de la resistencia de la malla a tierra existen diversos métodos que dependiendo de ciertas condiciones pueden dar de una manera aproximada un valor cercano al real de la malla de tierra de una subestación eléctrica.

Para el SPT del presente proyecto debe considerarse para todos los casos, el modelo de las dos capas.

Es importante considerar que en base a los cálculos realizados el valor promedio recomendado de h para todos los sondeos es:

$$h=1,10 \text{ m}$$

Un método simple empleado por Laurent y Nieman, el cual es recomendado por el estándar 80 de la IEEE, utiliza para este cálculo una modificación de la ecuación del electrodo en forma de plato circular, sumándole un segundo término, quedando la expresión de la resistencia de la malla de la siguiente manera:

$$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$

Donde:

R=Resistencia de la malla, en Ω .

ρ =Resistividad promedio del suelo, en Ω -m.

L=Longitud total del conductor enterrado, en m.

r=Radio de un circulo con igual área que es ocupada por la instalación de puesta a tierra,

El segundo término de la expresión indica que la resistencia de una malla es mayor que la de un plato sólido, y que esta diferencia decrece cuando la longitud del conductor aumenta.

Sin embargo, la resistencia de la malla de tierra determinada mediante la ecuación anterior, es una aproximación bastante general puesto que no toma en cuenta factores como por ejemplo la longitud efectiva del conductor de la malla de tierra que está en existencia actualmente, por tanto para la determinación de la resistencia de la malla de tierra de una subestación cuando no se conoce de la existencia de electrodos o varillas de tierra y para mallas enterradas a una profundidad de entre 0,25 y 2,5 m; es necesario que se tome en cuenta un factor por la profundidad de enterramiento de la malla lo cual influirá directamente en su resistencia de tierra, la utilización de este factor y de otros parámetros que influyen directamente sobre la resistencia de la malla lleva a la utilización de la aproximación de Sverak's para la determinación de la resistencia de la malla de tierra de una subestación (recomendada por la IEEE) y la ecuación a utilizar es entonces la que sigue a continuación:

$$R_G = \rho \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20} A} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right]$$

**ESPECIFICACIÓN TÉCNICA**

Nº

REV.

0PROYECTO: **PLANTA SEPARADORA DE LÍQUIDOS RIO GRANDE**

HOJA:

33

de

41TÍTULO: **MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO
PLANTA SEPARADORA DE LÍQUIDOS RIO GRANDE**

Donde:

RG= Resistencia de la malla de tierra del área de la S/E, en Ω . ρ = Resistencia aparente del terreno de la subestación, en $\Omega.m$

L= Longitud efectiva del conductor de la malla de la subestación (medido directamente en el plano de la malla de tierra existente actualmente que se desea medir, en m.).

A= Área cubierta por la malla de tierra que se desea medir, en m².

h= Profundidad de la malla de tierra, en m.

Como metodología de cálculo de la malla para suelos uniformes se podrá utilizar la propuesta por la IEEE Std-80 2000:

Constantes:

ρ : Resistividad aparente del terreno, $\Omega.m$
 I : Corriente de falla monofásica en el secundario, kA
 I_o : Corriente de falla monofásica a tierra en el primario, A
 t_c : Tiempo de despeje de la falla, s
KF : Constante para diferentes materiales a diferentes temperaturas de fusión T_m y una temperatura ambiente de 40°C.

Variables:

h_s : Grosor de la capa superficial, m
 ρ_s : Resistividad aparente de la capa superficial, $\Omega.m$
 L_1 : Largo de la malla, m
 L_2 : Ancho de la malla, m
 h : Profundidad de enterramiento de la malla, m
 L_c : Longitud total del conductor horizontal, m
 L_v : Longitud de un electrodo tipo varilla, m
 D : Espaciamiento entre conductores, m
 N : Número de electrodos tipo varilla
Upaso tolerable : Tensión de paso tolerable, V
Ucontacto tolerable : Tensión de contacto tolerable, V
Ureticula : Tensión de la retícula en caso de falla, V
Upaso : Tensión de paso en caso de falla, V
 A : Sección transversal del conductor, mm²
 C_s : Coeficiente en función del terreno y la capa superficial
 L_T : Longitud total del conductor, m
 A : Área disponible para construir la puesta a tierra, m²
 R_g : Resistencia de puesta a tierra calculada, Ω
 K_m : Factor de espaciamiento para tensión de malla
 K_{ii} : Factor de corrección por ubicación de electrodos tipo varilla
 L_p : Longitud del perímetro
 K_h : Factor de corrección por la profundidad de enterramiento de la malla
 n : Factor de geometría
 K_i : Factor de corrección por geometría de la malla
 K_s : Factor de espaciamiento para la tensión de paso
 I_B : Corriente admisible por el cuerpo humano



ESPECIFICACIÓN TÉCNICA

Nº

REV.

0

PROYECTO: PLANTA SEPARADORA DE LÍQUIDOS RIO GRANDE

HOJA:

34

de

41

TÍTULO: MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO
PLANTA SEPARADORA DE LÍQUIDOS RIO GRANDE

10. REFERENCIAS

© Alexei A. Bobachev, Igor. N. Modin, Vladimir A. Shevnin, 1990 - 2000. IPI2Win.

ASTM D 363398 Standard Test Method For Electrical Resistivity Of Membrane Pavement Systems".

ASTM G 162 99 "Standard Practice for Conducting and Evaluating Laboratory Corrosions Tests in Soils".

ASTM G 7181 "Guide for Conducting and Evaluating Galvanic Corrosion Tests in Electrolytes."

EPRI Distribution grounding Handbook. ASTM G5795a "Standard Test Method for Field measurement of Soil Resistivity Using the Wenner FourElectrode Method".

IEEE Std 80-2000 "Guide for Safety In AC Substation Grounding."

IEEE Std 81-1983 "Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System".

NBR 7117: Medición de la Resistividad del Suelo por el Método de Cuatro Puntos (Wenner). 1981.

**ESPECIFICACIÓN TÉCNICA**

Nº

REV.

0PROYECTO: **PLANTA SEPARADORA DE LÍQUIDOS RIO GRANDE**

HOJA:

35

de

41

TÍTULO:

**MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO
PLANTA SEPARADORA DE LÍQUIDOS RIO GRANDE****Anexo 1****Planilla de Campo**

**ESPECIFICACIÓN TÉCNICA**

Nº

REV.

0PROYECTO: **PLANTA SEPARADORA DE LÍQUIDOS RIO GRANDE**

HOJA:

36

de

41

TÍTULO:

**MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO
PLANTA SEPARADORA DE LÍQUIDOS RIO GRANDE**

HOJA DE DATOS										Fecha de emisión: 10/06/11			Rev.: 0							
ESTUDIOS DE CAMPO: PLANTA DE SEPARACIÓN DE LÍQUIDOS RIO GRANDE										Hoja: _____										
ESTUDIO GEOTÉCNICO PLANTA DE SEPARACIÓN RIO GRANDE										SECTOR: ÁREA INTERVENCIÓN PSIRG										
ESTUDIO DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO										Descripción del Sitio de Muestreo										
					ρ= 2 π a R															
					1,00		2,0		4		8		Coordenadas		Altura		Características del Suelo			
					R (Ω)	1000 R R (Ω.m)	R (Ω)	2000 R R (Ω.m)	R (Ω)	3000 R R (Ω.m)	R (Ω)	4000 R R (Ω.m)	Fecha de Medición	Este	Norte	Alterado SI	No superficial	Estado aparente	Estación del año	
Rio Grande	R-6	6	0,3	E-1	33	204	8	95	4	108	6	319	10-6-11	509765	7988606		X	MO y arena limosa	Seco subhúmedo	invierno de transición
Rio Grande	R-7	7	0,3	E-2	20	126	5	63	4	101	4	201	10-6-11	509726	7988597		X	MO y arena limosa	Seco subhúmedo	invierno de transición
Rio Grande	R-8	8	0,3	E-3	64	402	11	138	4	101	6	302	10-6-11	509778	7988588		X	MO y arena limosa	Seco subhúmedo	invierno de transición
Rio Grande	R-9	9	0,3	E-4	11	69	5	63	4	101	1	50	10-6-11	509748	7988573		X	MO y arena limosa	Seco subhúmedo	invierno de transición
Rio Grande	R-10	10	0,3	E-5	17	107	5	63	3	75	2	101	10-6-11	509730	7988566		X	MO y arena limosa	Seco subhúmedo	invierno de transición
Rio Grande	R-12	12	0,3	E-6	16	101	5	60	4	101	5	251	10-6-11	509792	7988559		X	MO y arena limosa	Seco subhúmedo	invierno de transición
Rio Grande	R-14	14	0,3	E-7	45	283	9	113	6	151	3	151	9-6-11	509844	7988540		X	MO y arena limosa	Seco subhúmedo	invierno de transición
Rio Grande	R-16	16	0,3	E-8	10	63	4	44	2	43	1	50	9-6-11	509787	7988507		X	MO y arena limosa	Seco subhúmedo	invierno de transición
Rio Grande	R-18	18	0,3	E-9	35	220	7	88	3	63	1	55	9-6-11	509834	7988492		X	MO y arena limosa	Seco subhúmedo	invierno de transición
Rio Grande	R-19	19	0,3	E-10	12	75	4	50	2	50	1	35	9-6-11	509751	7988506		X	MO y arena limosa	Seco subhúmedo	invierno de transición
Rio Grande	R-21	21	0,3	E-11	11	69	4	50	3	75	2	101	9-6-11	509745	7988436		X	MO y arena limosa	Seco subhúmedo	invierno de transición
Rio Grande	R-22	22	0,3	E-12	8	48	3	38	2	50	1	50	9-6-11	509745	7988398		X	MO y arena limosa	Seco subhúmedo	invierno de transición
Rio Grande	R-23	23	0,3	E-13	7	44	3	31	2	50	1	30	9-6-11	509745	7988338		X	MO y arena limosa	Seco subhúmedo	invierno de transición
Rio Grande	R-27	27	0,3	E-14	4	25	2	25	1	25	1	50	10-6-11	509745	7988301		X	MO y arena limosa	Seco subhúmedo	invierno de transición
Rio Grande	R-15	15	0,3	E-15	25	157	6	75	3	75	3	151	10-6-11	509799	7988536		X	MO y arena limosa	Seco subhúmedo	invierno de transición

**ESPECIFICACIÓN TÉCNICA**

Nº

REV.

0PROYECTO: **DUCTOS CAMPOS MARGARITA - HUACAYA**

HOJA:

0

de

41

TÍTULO:

MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO