

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE EQUIPO PARA MÉTODOS ELÉCTRICOS

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela para
optar al título de Ingeniero Geofísico
por el Br. Eduardo M. Rivadeneyra A.

Caracas, noviembre de 2004.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE EQUIPO PARA MÉTODOS ELÉCTRICOS

Tutor académico: Prof. Franklin Ruíz
Tutor industrial: Ing. Feliciano De Santis

Trabajo Especial de Grado
presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela para
optar al título de Ingeniero Geofísico
por el Br. Eduardo M. Rivadeneyra A.

Caracas, noviembre de 2004

Caracas, 7 de diciembre del 2004

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Eduardo M. Rivadeneyra A., titulado:

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE EQUIPO
PARA MÉTODOS ELÉCTRICOS”**

consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Geofísico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. José Cavada
Jurado

Prof. Carlos González
Jurado

Prof. Franklin Ruíz
Tutor Académico

Ing. Feliciano De Santis
Tutor Industrial

Con amor a
Mis padres,
Por tanto amor.

A la memoria de
mi papito (Don M.Q.),
quién me enseñó a
decir la verdad,
a solucionar
y ser feliz.

AGRADECIMIENTO Y RECONOCIMIENTO

A la Universidad Central de Venezuela, por las enseñanzas y formación recibida, en el campo profesional y humano.

Al Prof. Franklin Ruíz, por su valioso asesoramiento como Director del presente trabajo.

A Ingenieros De Santis C.A., por subvencionar y respaldar desde sus inicios la investigación.

A los Ingenieros Feliciano De Santis y Leonor Montilva, por su ayuda y apoyo a tiempo completo como consultores y colaboradores de excepción, para una mejor presentación de este trabajo.

A la profesora Ing. Carmen Pahmer, por contribuir con su acertada orientación e instrucción, dando forma al proyecto.

A los profesores Ings. Alex Villanueva, José Peña y Alba Castillo por su firme apoyo.

A los profesores Sebastián Grande, Froilan Lozada y Luís León, por sus enseñanzas y colaboración.

A la señora Margarita Padrón T. y a la ingeniero Aniuska Alberti por su cooperación.

A la Sra. Morela de Castillo y Eduardo Castillo, personal de biblioteca por su desinteresada ayuda.

A María Teresa Espinoza y Eunice Silva, por su constante asistencia.

A Alba Martínez H... gracias y más gracias

Eduardo Rivadeneyra Andaluz

Rivadeneira A. Eduardo M.
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE EQUIPO PARA
MÉTODOS ELÉCTRICOS

Tutor académico: Prof. Franklin Ruíz. Tutor Industrial: Ing. Feliciano De Santis. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Geofísica. 2004, n° pag. (139)

Palabras claves: Electricidad, Electrónica analógica, Métodos eléctricos

RESUMEN

Los métodos de prospección geoelectrica tienen como finalidad, la adquisición de resistividades aparentes, cuyos valores dan información del comportamiento del suelo, obteniendo así espesores de capas, número de capas, posibles niveles freáticos, litologías, ubicación de minerales metálicos y resistividades del suelo para puestas a tierras, entre otros.

Para realizar los métodos eléctricos se necesita el uso de un equipo de prospección, que en el siguiente trabajo se diseña para realizar sondeos eléctricos verticales con un grado de confiabilidad elevado con piezas que existen comúnmente en el mercado.

Al concluir el ensamblaje del equipo, se realizaron las mediciones necesarias para observar el funcionamiento óptimo y calidad de respuesta del rectificador de onda en el campo profesional. Para ello, se eligieron dos zonas de estudio en Venezuela, como: Puerto Píritu (Edo. Anzoátegui) y Santa Elena de Uairén (Edo. Bolívar), cuya interpretación se hace considerando la geología, características físicas y ambientales de cada una de las localidades.

Las mediciones eléctricas se hicieron con el dispositivo Schlumberger y se procesaron manualmente con el sistema de curvas preestablecidas (Orellana, 1982), que posteriormente fueron comparadas con datos de perforaciones hechas, usando el sistema de penetración estándar (SPT), realizado en la misma zona y en conjunto con las mediciones geoelectricas.

Adicionalmente, para el caso de Santa Elena de Uairén, se hicieron estudios en el laboratorio de resistividades y fluorescencia de rayos X en los núcleos. Para verificar la información obtenida en campo, se empleó un tercer método de calibración, realizando mediciones en un jardín de la Universidad Central de

Venezuela con el rectificador perteneciente al Departamento de Geofísica y el diseñado.

Los SEV realizados en la zona de Puerto Píritu, mostraron un comportamiento semejante en cuanto a la litología y espesores de las diferentes capas respecto a los datos de pozos, mostrando una capa de arcillas con una profundidad máxima de 3 m, luego una capa de arcillas arenosas seguida por arenas poco arcillosas a profundidades mayores de los 6.25 m, lo cual coincide con la información de los pozos P-1, P-2, P-3 y P-5 que hasta los 7 m mostraron arcillas con contenido de arena. La litología obtenida coincide con la de la Fm. Quiamare que son arcillas y arenas, principalmente.

En cuanto a los resultados de los sondeos eléctricos verticales, realizados en la localidad de Santa Elena de Uairén, las interpretaciones litológicas dan como resultado arenas, no coincidiendo con los resultados obtenidos en las perforaciones, ya que los núcleos están compuestos por arcillas plásticas de alta humedad, aproximadamente 24%. El porcentaje de arenas es bajo y el contenido de óxidos es elevado para muestras aisladas, características que influyen directamente en las resistividades del medio.

Con respecto a los espesores, para el sondeo eléctrico vertical 5 coincide el espesor de la primera capa de las perforaciones, 3m y el espesor de la segunda tiene una diferencia de 1.05m aproximadamente.

Para el SEV-7, espesor de primera capa es de 2 metros, teniendo una diferencia de 1m con respecto a las perforaciones, para la segunda capa la diferencia es de 2metros. El método no vio el cuarto estrato.

En la calibración del equipo diseñado con el GEOSCA, los valores de resistividades aparentes de un equipo respecto al otro, varían en el rango de 4 hasta 84 Ω m, manteniendo las curvas una misma tendencia

El diseño del equipo aplica fundamentos de electricidad y electrónica analógica, de esta manera se realizó el estudio para obtener altas tensiones y una ganancia de corriente y voltaje, lo que se traduce en una entrada de 110 V AC y una salida nominal de 400 V DC teórica, valores que se llevaron a una salida de 600 V DC y 1KVA de potencia en la práctica, lo que significa una gran ventaja al momento de realizar las mediciones de tendidos largos.

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABLAS Y GRÁFICOS.....	iv
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN.....	1
MARCO REFERENCIAL Y GEOLOGÍA DEL CAMPO.....	3
1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2.- OBJETIVOS GENERALES.....	4
1.3.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.4.- JUSTIFICACIÓN.....	4
1.5.- UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	5
1.5.1.- Estado Anzoátegui.....	5
1.5.1.1.- Formación Quiamare.....	5
1.5.2.- Estado Bolívar.....	6
1.5.2.1.- Grupo Roraima.....	6
1.5.2.2.- Formación Uairén.....	8
CAPITULO II	
TEORÍA Y APLICACIONES DE LOS MÉTODOS ELÉCTRICOS.....	9
2.1.- PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA.....	9
2.2.- CORTE GEOELÉCTRICO.....	9
2.3.- APLICACIONES DE LOS MÉTODOS GEOELECTRICOS DE PROSPECCION.....	10
2.4.- PROPIEDADES ELECTROMAGNÉTICAS DE LAS ROCAS.....	11
2.4.1.- Resistividad de las rocas.....	11
2.4.2.- Conductividad.....	12
2.5.- CORRIENTE CONTINUA Y CORRIENTE ALTERNA.....	14
2.6.- SONDEO ELECTRICO VERTICAL.....	15
2.6.1.- Curva tipo de una capa.....	16

2.6.2.- Curvas tipos de dos capas.....	17
2.6.3.- Curvas tipos de tres capas.....	18
2.7.- PRINCIPIOS Y LEYES.....	19
2.7.1.- Principio de equivalencia.....	19
2.7.2.- El fenómeno de superposición.....	20
2.7.3.- Ley de Hummel.....	20
2.7.4.- Equivalencia extendida a varias capas.....	21
2.8.- CLASIFICACIÓN DE LOS METODOS DE PROSPECCIÓN ELECTRICA.....	21
2.8.1.- Métodos que utilizan corrientes naturales.....	21
2.8.1.1.- Método de la polarización espontánea.....	21
2.8.1.2.- Método telúrico.....	22
2.8.2.- Métodos que utilizan corrientes artificiales.....	23
2.8.2.1.- Método de las relaciones de la caída de potencial.....	23
2.8.2.2.- Método de resistividades.....	23
2.8.2.2.1.- Dispositivo Schlumberger.....	24
 CAPITULO III	
CIRCUITOS ELECTRICOS Y ELECTRONICA ANALÓGICA.....	26
3.1.- CIRCUITOS ELÉCTRICOS.....	26
3.1.1.- Ley de Ohm.....	27
3.1.1.1.- Corriente.....	28
3.1.1.2.- Voltaje.....	29
3.1.1.3.- Resistencia.....	29
3.1.1.3.1.- Resistencias en serie.....	30
3.1.1.3.2.- Resistencias en paralelo.....	31
3.1.1.3.3.- Resistividad.....	31
3.1.1.3.4.- Efecto de la temperatura.....	32
3.1.2.- Ley de las tensiones de Kirchhoff.....	32
3.1.3.- Ley de las corrientes de Kirchhoff.....	33
3.2.- TIPOS DE CORRIENTES.....	33

3.2.1.- Corriente directa.....	33
3.2.1.1.- Conversión de corriente alterna en continua.....	33
3.2.2.- Corriente alterna.....	35
3.3.- REOREMAS FUNDAMENTALES DEL ANÁLISIS DE REDES.....	35
3.3.1.- Teorema de Thevenin.....	36
3.3.2.- Teorema de Norton.....	36
3.4.- CONDENSADORES.....	36
3.4.1.- Condensadores en serie.....	38
3.4.2.- Condensadores en paralelo.....	39
3.5.- ANÁLISIS CON DIODOS.....	40
3.5.1.- Curva característica del diodo.....	40
3.5.2.- Rectificador de media onda.....	42
3.5.3.- Rectificador con dos diodos.....	42
3.5.3.1.- Tensión rectificada.....	43
3.5.4.- Aplicaciones con los diodos.....	44
3.6.- TRANSFORMADORES.....	45
3.7.- EL FILTRO.....	46
3.7.1.- Fuente rectificadora de media onda con un filtro incorporado.....	47
3.7.2.- Voltaje de rizo.....	50
3.7.3.- Voltaje de CD.....	50
3.7.4.- Filtro RC.....	51
CAPITULO IV	
METODOLOGÍA.....	52
4.1.- DISEÑO DEL EQUIPO.....	52
4.2.- CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO.....	52
4.2.1.- Materiales.....	52
4.2.2.- Procedimiento de construcción.....	53
4.3.- CALIBRACIÓN DEL EQUIPO.....	59
4.3.1.- Con datos de perforaciones.....	59
4.3.1.1.- Prueba de penetración estándar (SPT).....	59

4.3.1.2.- Muestreo a rotación.....	61
4.4.- PRUEBAS ADICIONALES.....	63
4.4.1.- Medición de las resistividades de los núcleos.....	63
4.4.2.- Fluorescencia de rayos X.....	65
4.5.- Con el equipo GEOSCA.....	65
4.5.1.- Materiales utilizados.....	66
4.5.2.- Procedimiento.....	67
CAPITULO V	
ANALISIS DE RESULTADO.....	69
5.1.- Resultados de la calibración con datos de perforación.....	69
5.1.1.- En la zona de Puerto Píritu.....	69
5.1.2.- En la zona de Santa Elena de Uairén.....	79
5.1.2.1.- Resultados de las resistividades medidas en los núcleos.....	92
5.1.2.2.- Resultados de la fluorescencia de rayos X en los núcleos.....	92
5.1.3.- Análisis.....	93
5.2.- Resultados de la calibración con el equipo GEOSCA.....	105
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	107
REFERENCIA.....	111
ANEXOS.....	115

	pp.
Capítulo 1	
Figura 1.1.- Ubicación de la Formación Quiamare.....	5
Figura 1.2.- Ubicación del Grupo Roraima.....	6
Figura 1.3.- Ubicación de la Formación Uairén.....	8
Capítulo 2	
Figura 2.2.- Curva tipo de una capa.....	17
Figura 2.2.- Curvas tipo de dos capas.....	17
Figura 2.3.- Curvas de tres capas tipo H y K.....	18
Figura 2.4.- Curvas de tres capas tipo A y Q.....	19
Figura 2.5.- Dispositivo Schlumberger.....	24
Capítulo 3	
Figura 3.1.- Elementos de un circuito básico.....	27
Figura 3.2.- Alambre de cobre.....	28
Figura 3.3.- Conexión del alambre de cobre a los terminales de una batería.	29
Figura 3.4.- Resistencia eléctrica.....	30
Figura 3.5.- Resistencias conectadas en serie.....	31
Figura 3.6.- Resistencias conectadas en paralelo.....	31
Figura 3.7.- Salida de una onda de corriente directa.....	34
Figura 3.8.- Forma de onda de una corriente alterna senoidal	35
Figura 3.9.- Capacitancia.....	37
Figura 3.10. Condensadores conectados en serie.....	38
Figura 3.11. Condensadores conectados en paralelo.....	39
Figura 3.12. Curva característica del diodo.....	42

Figura 3.13. Formas de onda a la entrada y salida del rectificador.....	43
Figura 3.14. Circuito rectificador con onda completa.....	43
Figura 3.15. Onda completa rectificada.....	44
Figura 3.16. Capacitor conectado en paralelo	47
Figura 3.17. Descarga del capacitor.....	47
Figura 3.18. Un capacitor mayor proporciona un mejor filtrado.....	48
Figura 3.19. Reducción de la ondulación.....	49
Figura 3.20. Modificaciones para obtener un buen filtrado.....	49

Capítulo 4

Figura 4.1.- Variac, condensador y puente.....	53
Figura 4.2.- Láminas de aluminio.....	54
Figura 4.3.- Marcas de medida para las aberturas de tornillos y remaches...	54
Figura 4.4.- Perforación de láminas de aluminio para su ensamblaje.....	55
Figura 4.5.- Construcción del filtro.....	56
Figura 4.6.- Instalación del transformador en la caja.....	57
Figura 4.7.- Instalación del variac y transformador.....	57
Figura 4.8.- Tornillos de seguridad que sujetan al variac y al transformador	58
Figura 4.9.- Diseño de la tapa del equipo.....	58
Figura 4.10. Prueba de muestreo a rotación.....	61
Figura 4.11. Equipos usados en las mediciones (Sta. Elena de Uairén).....	62
Figura 4.12. Porta núcleos diseñado para medir las resistividades.....	64
Figura 4.13. Equipos usados en la calibración.....	66
Figura 4.14. Disposición Schlumberger para ambos equipos.....	67

Capítulo 5

Figura 5.1.- Perfiles de los sondeos eléctricos verticales para su correlación.....	74
---	----

Figura 5.2.- Ubicación de los SEV y perforaciones.....	75
Figura 5.3.- Perfiles de P-4 y P-5.....	77
Figura 5.4.- Perfiles P - 1, P – 2, P - 3 y P – 5.....	78
Figura 5.5.- Litología, clasificación y espesor de capas para las perforaciones P-2, P-1 y P-4 de Santa Elena de Uairén con respecto a la interpretación geoelectrica y los valores de resistividad aparente.....	88
Figura 5.6.- Visualización de los núcleos extraídos en la perforación P-1, paralela al SEV- 5, muestra 1 arcilla extraída a los 1.55 metros, muestra 2 arcilla extraída a los 7.55 metros, muestra 3 arcilla tipo caolín extraída a los 17 metros y la muestra 4 andesita extraída a los 25,68 metros de profundidad.....	91
Figura 5.7.- Perforación P-5, observada desde el punto de medición del sondeo eléctrico vertical 7 (SEV-7).....	98
Figura 5.8.- Litología y espesor de capas para las perforaciones P-5 y P-6 de Santa Elena de Uairén	101
Figura 5.9.- Visualización del cableado en el SEV–8 para AB/2 8m.....	104

ANEXOS

Figura 1A Diagrama del diseño.....	131
------------------------------------	-----

Capítulo 2	pp.
Tabla 2.1.- Resistividades de aguas y rocas (Astier, 1975).....	13
Capítulo 5	
Tabla 5.1.- Descripción litológica y simbología empleada en la clasificación de los suelos de las distintas perforaciones (P1, P-2, P-3 y P-4).....	84
Tabla 5.2.- Descripción litológica de los núcleos obtenidos en las pruebas de SPT perforación 1 (P-1), en la línea de SEV-5.....	85
Tabla 5.3.- Descripción litológica de los núcleos obtenidos en las pruebas de SPT perforación 2 (P-2), en la línea de SEV-5.....	87
Tabla 5.4.- Descripción litológica de de los núcleos obtenidos en las pruebas de SPT P-3, en la línea de SEV-5.....	88
Tabla 5.5.- Descripción litológica de de los núcleos obtenidos en las pruebas de SPT P-4, en la línea de SEV-5.....	89
Tabla 5.6.- Comparativa de los resultados obtenidos en campo y los interpretados por métodos eléctricos.....	92
Tabla 5.7.- Resistividad de los núcleos.....	94
Tabla 5.8.- FRX mayoritarios en % en muestras obtenidas en la perforación 1 (P-1).....	95
Tabla 5.9.- Descripción litológica de de los núcleos obtenidos en las pruebas de SPT P-5, en la línea de SEV-7.....	101
Tabla 5.10.- Descripción litológica de de los núcleos obtenidos en las pruebas de SPT P-6, en la línea de SEV-7.....	102
ANEXOS	
Tabla 1.- SEV – 1 Puerto Píritu, Edo. Anzoátegui.....	115
Tabla 2.- SEV – 2 Puerto Píritu, Edo. Anzoátegui.....	115
Tabla 3.- SEV – 3 Puerto Píritu, Edo. Anzoátegui.....	116
Tabla 4.- SEV – 4 Puerto Píritu, Edo. Anzoátegui.....	116
Tabla 5.- Caracterización geotécnica de los suelos de las perforaciones 1 - 5, en el Edo. Anzoátegui.....	117

LISTA DE TABLAS Y GRAFICOS

Tabla 6.- SEV – 5.....	119
Tabla 7.- Caracterización geotécnica de los suelos de la perforación 1, en Santa Elena de Uairén, Edo. Bolívar.....	120
Tabla 8.- Caracterización geotécnica de los suelos de la perforación 2, en Santa Elena de Uairén, Edo. Bolívar.....	121
Tabla 9.- Caracterización geotécnica de los suelos de la perforación 3, en Santa Elena de Uairén, Edo. Bolívar.....	121
Tabla 10.- Caracterización geotécnica de los suelos de la perforación 4, en Santa Elena de Uairén, Edo. Bolívar.....	122
Tabla 11a.- SEV – 6 (117 VAC).....	123
Tabla 11b.- SEV – 6 (117 VDC).....	123
Tabla 11c.- SEV – 6 (518 VDC).....	123
Tabla 12.- SEV – 7.....	124
Tabla 13.- Caracterización geotécnica de los suelos de las perforaciones P-5 y P-6, en Santa Elena de Uairén, Edo. Bolívar.....	125
Tabla 14.- SEV – 8.....	126
Tabla 15a.- Resultados con el equipo diseñado.....	127
Tabla 15b.- Resultados con el equipo de la UCV.....	127
Capítulo 5	
Gráfico 5.1.- SEV – 1.....	70
Gráfico 5.2.- SEV – 2.....	71
Gráfico 5.3.- SEV – 3.....	73
Gráfico 5.4.- SEV – 4.....	74
Gráfico 5.5a.- SEV – 5.....	79
Gráfico 5.5b.- SEV – 5.....	80
Gráfico 5.6.- SEV – 6.....	96
Gráfico 5.7.- SEV – 7.....	97
Gráfico 5.7b.- Comparación de SEV-5 y SEV-7.....	103
Gráfico 5.8.- SEV – 8.....	105
Gráfico 5.9.- SEV - 9.....	106

En la actualidad, los métodos de prospección geoelectrica ocupan una posición importante en los estudios del suelo, y tienen como finalidad primordial, la adquisición de resistividades aparentes, cuyos valores dan información del comportamiento del suelo, obteniendo así espesores de capas, número de capas, posibles niveles freáticos, litologías, ubicación de minerales metálicos y resistividades del suelo para puestas a tierras, entre otros.

El presente estudio tiene como finalidad el desarrollo de un equipo que, por sus características, permita realizar sondeos eléctricos verticales con un grado de confiabilidad elevado. Para su construcción y desarrollo se requiere la aplicación de métodos de electrónica analógica, que permitan así, el diseño teórico del circuito empleado para la construcción del mismo.

El estudio completo del comportamiento de cada componente y el mejor uso de ellos, hacen posible la construcción de un equipo de medición, fabricado con piezas que existen comúnmente en el mercado.

Al concluir el ensamblaje del equipo, se realizaron las mediciones necesarias para observar el funcionamiento óptimo y calidad de respuesta del rectificador de onda en el campo profesional. Para ello, se eligieron dos zonas de estudio en Venezuela, como: Puerto Píritu (Edo. Anzoátegui) y Santa Elena de Uairén (Edo. Bolívar), las que presentan comportamientos diferentes en cuanto a los valores de resistividades, cuya interpretación se hace considerando la geología, características físicas y ambientales de cada una de las localidades.

Las mediciones eléctricas se hicieron con el dispositivo Schlumberger y se procesaron manualmente con el sistema de curvas preestablecidas (Orellana, 1982), que posteriormente fueron comparadas con datos de perforaciones hechas, usando el

sistema de penetración estándar (SPT), realizado en la misma zona y en conjunto con las mediciones geoelectricas.

Adicionalmente, para el caso de Santa Elena de Uairén, se realizo un estudio de fluorescencia de rayos X para cada núcleo y otro en el laboratorio de Geofísica de la UCV, de las resistividades de los núcleos, para verificar la información obtenida en campo, mas un tercer método de calibración para descartar cualquier mal funcionamiento del equipo, realizando mediciones en un jardín de la Universidad Central de Venezuela con el rectificador perteneciente al Departamento de Geofísica y el diseñado, completando los mecanismos recomendados para la calibración del mismo.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, el método eléctrico es el más beneficioso para la prospección de yacimientos minerales, exploración de acuíferos y puestas a tierra.

El equipo utilizado por el Departamento de Geofísica de la Universidad Central de Venezuela, que corresponde al modelo convencional, cuya característica de suministrar corriente al suelo, con una potencia de ½ KVA y 1000V DC, permite que los tendidos no sean mayores a 1 Km., y que por consiguiente la profundidad máxima prospectada pueda ser de 250 m, en óptimas condiciones del equipo y de las características físicas del suelo.

Razón por la que se pensó en la construcción y desarrollo de un equipo que permitiera realizar sondeos eléctricos verticales, cuya característica de fabricación pudiera acceder a generar 600 VDC y 1 KVA de potencia, que hará posible un rango de prospección mayor que la anteriormente descrito. Es de connotar, que además, en caso de ser requerido para o en tendidos cortos, obtener resultados con mayor resolución, gracias a la capacidad de inyección de corriente, eliminando por completo la dificultad antes mencionada. La construcción y calibración del equipo, se hará cumpliendo responsable y minuciosamente todas las normativas exigidas para tal función.

Por consiguiente, la idea de diseñar un equipo pequeño, robusto, estable, 100% portátil, con capacidades de suministro de corriente mucho mayor y requerimiento de alimentación mínima, hace posible el desarrollo del mismo.

1.2 OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño, construcción y calibración de un equipo para prospección geoelectrica, en ingeniería geofísica.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar el circuito con el uso de ecuaciones y conceptos de electrónica analógica.
- Construir el equipo.
- Calibrar el equipo mediante la comparación con perforaciones de pozos en distintas localidades de Venezuela
- Calibrar el equipo mediante la comparación con el usado por Departamento de Geofísica.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Desde hace algunos años ha ido aumentando el uso de los métodos geoelectricos para la prospección de minerales, búsqueda de aguas subterráneas y puestas a tierra, para lo que se utilizan equipos de gran tamaño y poca potencia. Actualmente uno de los aspectos de eficiencia de este método es diseñar equipos que posean una mayor capacidad de suministro de corriente.

Como bien se ha explicado en el planteamiento del problema, para la realización de un sondeo eléctrico vertical; en cualquiera de sus variantes como lo son Schlumberger, Wenner y Dipolos, entre otros, el rectificador de corriente, utilizado para las mediciones geoelectricas en la Escuela de Geofísica de la Universidad Central de Venezuela, posee una capacidad de inducir corriente al suelo muy

limitada, $\frac{1}{2}$ KVA de potencia, lo que se traduce en términos de prospección a un tendido directamente proporcional al suministro de corriente, obteniéndose una distancia no mayor a 1 Km., y una profundidad menor a los 250 m.

1.5 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Las regiones de Puerto Píritu (Edo. Anzoátegui) y Santa Elena de Uairén (Edo. Bolívar), fueron las zonas de estudio y prueba para calibrar el equipo.

Tomado del Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela para cada una de las zonas de estudio se tiene:

1.5.1 Estado Anzoátegui

Por debajo de los sedimentos recientes reportados en las perforaciones realizadas en el condominio de Jose, aflora la Formación Quiamare del Terciario.

1.5.1.1 Formación Quiamare

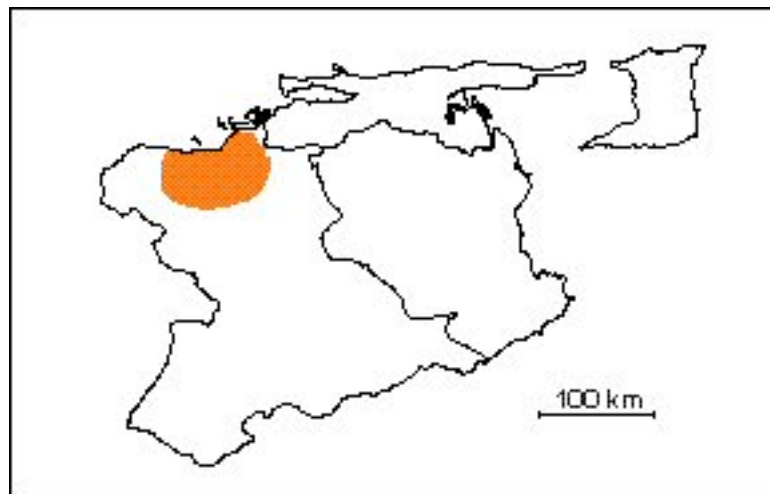


Figura 1.1. Ubicación de la Formación Quiamare

Descripción litológica: (Figura 1.1) Secuencia monótona de arcilitas gris verdosas, rojas pardas y gris-azulado, con intercalación de areniscas guijarrosas, lutitas carbonáceas y lignito en capas lenticulares. Carácter distintivo lo constituyen las secuencias arcilíticas dominantes (entre 80% y 95%); los miembros se distinguen entre sí por proporciones variables de otras litologías, como las areniscas guijarrosas, los escasos niveles carbonáticos (Onoto) o algunos conglomerados masivos (El Pilar, Guanape, Peña Mota). Cambios laterales rápidos de litofacies en estos sedimentos continentales a marinos muy marginal son características de la formación, haciendo difícil ubicar con precisión los contactos entre miembros.

Espesor: En su región tipo, la Formación Quiamare tiene unos 3.050 m de espesor. Debido al enorme espesor de la formación y la pobreza de sus afloramientos, es difícil llegar a valores precisos para su espesor. Los valores de Peirson, basados en un combinación de secciones medidas, correlaciones con fotografías aéreas y el control de pozos, dan estimados de un máximo de 6.000 m.

1.5.2 Estado Bolívar

1.5.2.1 Grupo Roraima

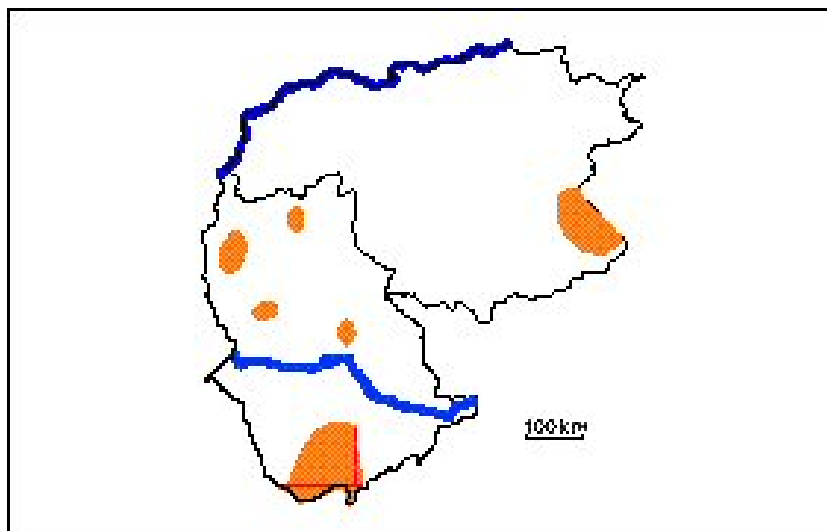


Figura 1.2. Ubicación del Grupo Roraima

Descripción litológica: Los sedimentos casi horizontales y en posiciones normales son principalmente cuarzo arenitas con menores proporciones de areniscas feldespáticas, lutitas y tobas volcánicas silicificadas. En el área (Figura 1.2) tipo cuatro formaciones han sido descritas (de base a tope): 1) Formación Uairén (850 m de espesor): conglomerados y areniscas con estratificación cruzada, algunas lutitas y una capa superior delgada (2-4 m) de laterita hematítica. La base de la secuencia en el área tipo fue intrusionada por diques (concordantes y discordantes de diabasas). 2) Formación Cuquenán (50-100 m): lutitas de color variable, probablemente discordante sobre la Formación Uairén. 3) Formación Uaimapue (250 m): secuencia de conglomerado basal gradando hacia arriba a arcosa roja, con intercalaciones de jaspe y ftanitas volcánicas (rojas y verdes). 4) Formación Matauí (600 m): cuarzo arenitas de grano fino.

Espesor: Según De Putte (1972), cita un espesor de 5000 m del Grupo Roraima en el estado Bolívar. Briceño (1983) corrobora esta cifra, basado en su estudio en la cuenca media del río Caroní, estado Bolívar. En áreas adyacentes dentro y fuera de Venezuela, el espesor de estos sedimentos es variable. Keats (1973) en Guyana, subdivide el Grupo Roraima en diez unidades distintas, cuyo espesor total se estima por el orden de 2250 m. Además, Keats observa que existe un espesor adicional de 1500 m de secuencia superior, la cual está mejor desarrollada en Venezuela. Esto implica que de la secuencia total de 3750 m del Grupo Roraima (Keats 1973), sólo 2380 m están expuestos en el estado Bolívar de Venezuela. Hacia el sur, en la frontera Venezuela-Brasil, Gansser (1974), estima un espesor de 1600 a 3000 m en Brasil.

1.5.2.2 Formación Uairén

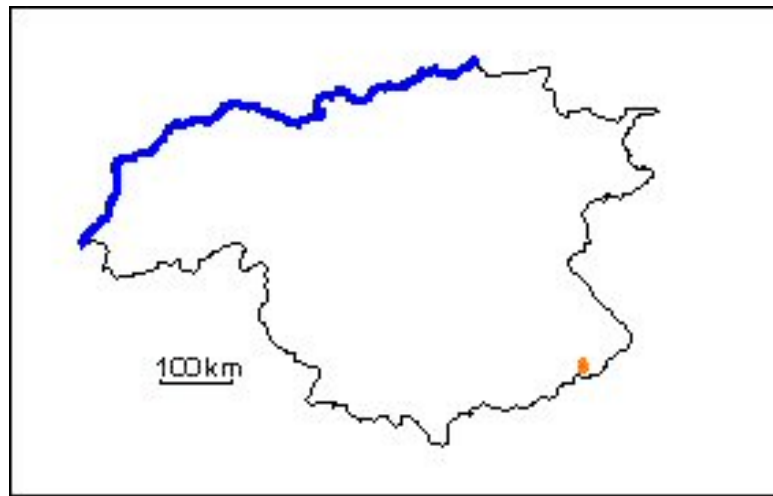


Figura 1.3. Ubicación de la Formación Uairén

Descripción litológica: Esencialmente conglomerados y areniscas de origen fluvial (Figura 1.3). Su parte basal consiste de conglomerados y capas lenticulares de brecha. Las brechas contienen fragmentos de rocas volcánicas y representan posibles depósitos de talud. La secuencia que suprayace a las brechas son areniscas con estratificación cruzada y conglomerados intraformacionales, los cuales contienen guijarros de cuarzo, cuarcitas y areniscas compactas de menos de 8 cm de diámetro. Lutitas bandeadas con colores azul, rojo y crema, se intercalan con los conglomerados y areniscas. En la parte superior de la unidad, sobre los conglomerados, se encuentra una secuencia de areniscas con estratificación cruzada de 4-5 m de ancho y 15-20 m de longitud, que contienen lentes de conglomerado y capas de guijarros. El tope de la Formación está definida por una capa de laterita rica en hematita que Reid interpretó como paleosuelo.

Espesor: Reid estima un espesor de 850 m en el área de Santa Elena de Uairén.

2.1 PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA

Los métodos de prospección eléctricos, llamados también geoelectrónicos estudian, por medio de mediciones realizadas en la superficie, la distribución en profundidad de alguna magnitud electromagnética.

Existen tres magnitudes electromagnéticas principales o constantes materiales, las que podrían utilizarse para identificar los cuerpos situados en el subsuelo. Estas magnitudes son la permeabilidad magnética, la constante dieléctrica y la resistencia, siendo esta última cuya distribución en el subsuelo se estudia.

Tomando en cuenta que el desarrollo de los métodos geoelectrónicos es relativamente reciente (sus orígenes se remontan al siglo XVIII con los trabajos de Gray y Wheeler sobre la resistividad de las rocas y el descubrimiento, realizado en 1746 por Watson, de que el suelo es conductor), hoy por hoy los métodos geoelectrónicos representan rapidez, economía y confiabilidad.

2.2 CORTE GEOELÉCTRICO

Según Astier, (1975): un criterio muy importante es el que clasifica los métodos según el campo electromagnético que en ellos se estudia sea de origen natural, o se cree artificialmente para la prospección.

Otro criterio es el que considera si la información recogida se refiere a la vertical de un punto o se distribuye a lo largo de un perfil, dentro de un margen de profundidades aproximadamente constante. Por analogía con las labores mecánicas mineras los métodos se llaman de sondeo en el primer caso, y de calicata en el segundo.

En la mayoría de los casos lo que se obtiene es la distribución de las resistividades en el subsuelo. Cuando tal distribución se representa gráficamente en forma de corte vertical, esta representación recibe el nombre de corte geoelectrico

2.3 APLICACIONES DE LOS MÉTODOS GEOELÉCTRICOS DE PROSPECCIÓN

Cada aplicación se enumera al tratar cada método pero las más importantes y difundidas son las enumeradas a continuación.

1. Investigaciones teóricas para la búsqueda de petróleo.
2. Estudios para la localización de aguas subterráneas.
3. Estudios complementarios para cartografía geológica bajo recubrimiento.
4. Estudios de cuencas carboníferas.
5. Localización de yacimientos de otros minerales útiles, especialmente menas metálicas.
6. Investigaciones de firmes, cimentaciones y desprendimientos de tierras para ingeniería civil.
7. Localización y ubicación aproximada de materiales de construcción.
8. Investigaciones a profundidad muy reducida para la localización de objetos y edificaciones enterradas, como guía y ayuda para las investigaciones arqueológicas.
9. Estudios de zonas muy profundas de la corteza terrestre.
10. Estudios geotérmicos.

2.4 PROPIEDADES ELECTROMAGNÉTICA DE LAS ROCAS

La aplicación de los métodos geoelectricos requiere del conocimiento de las propiedades electromagnéticas de las rocas y de los minerales que las constituyen, propiedades que se expresan por medio de tres magnitudes físicas, que son la resistividad eléctrica (ρ), la constante dieléctrica (ϵ) y la permeabilidad magnética (μ).

Las propiedades que realmente interesan al prospector son las rocas y minerales, tal como se encuentran en la naturaleza, con sus impurezas, fisuras, diaclasas, humedad, etc.

2.4.1 Resistividad de las rocas

La propiedad de conducir la corriente eléctrica, varía de unas rocas a otra. Los parámetros que representa esta propiedad son la conductividad o su inversa, la resistividad.

La resistividad es la resistencia de un cilindro de longitud y sección unitarias.

Con ρ = resistividad,

R = resistencia,

L = longitud,

s = sección,

se tiene:

$$\rho = \frac{Rs}{L} \quad (\text{Ec. 4.1})$$

De esta relación se deduce que la resistividad se expresa en ohm m²/m.

Según Astier (1975): la resistividad es una medida de la dificultad que la corriente eléctrica encuentra a su paso en un material determinado; pero igualmente podría haberse considerado la facilidad de paso.

Resulte así el concepto de conductividad, que expresado numéricamente será el inverso de la resistividad.

2.4.2 Conductividad

La conductividad se expresa por la letra σ de modo que se tiene:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (\text{Ec. 4.2})$$

Para Astier (1975), la conductividad en las rocas puede ser metálica o electrolítica. La conductividad metálica se caracteriza por el transporte de electrones en la misma matriz de la roca: es el caso de algunas menas metálicas y esquistos grafitosos. La conductividad electrolítica se debe al desplazamiento de los iones contenidos en el agua de inbibición de la roca y es el tipo de conductividad que presenta la mayoría de las rocas.

La resistividad de las rocas saturadas que tienen conductividad electrolítica es función decreciente:

- De la porosidad total comunicante (el agua contenida en receptáculos aislados no ejerce ninguna influencia);
- De la conductividad del agua de inbibición.
- También depende de la distribución y forma de poros y fisuras.

En las rocas estratificadas, la resistividad varía con la dirección de la corriente. Los valores mínimo y máximo corresponden, respectivamente, a cuando la corriente circula paralela o perpendicularmente a la estratificación; la relación entre

estos dos valores extremos llega a ser a veces de algunas unidades. Las rocas en que sucede este fenómeno se llaman anisótropas; se trata de una micro o macroanisotropía según que el espesor de los estratos sea de algunos milímetros (caso de los gneis, por ejemplo) o de algunas decenas de centímetros (caso de alternancia de arenas y arcillas, por ejemplo). La tabla 2.1 muestra los valores de resistividades para algunos materiales, los cuales pueden variar según los autores.

Tabla 2.1. Resistividades de aguas y rocas según Astier, (1975) y Orellana (1982)

Aguas o rocas	Resistividad Astier (ohm m)	Resistividad Orellana (ohm m)
Agua de mar	0.2	~0.2
Agua de lagos y arroyos		1000-3000
Aguas dulces superficiales		10-1000
Aguas salobres superficiales		2-10
Aguas subterráneas		1-20
Agua de lagos salados		0.1-1
Aguas impregnadas en roca		0.03-10
Agua de acuíferos aluviales	10-30	
Agua de fuentes	50-100	
Arenas y gravas secas	1000-10000	
Arenas y gravas con agua dulce	50-500	20-500
Arenas y gravas con agua salada	0.5-5	0.05-50
Arcillas	2-20	0.05-50
Margas	20-100	1-100
Caliza y areniscas	300-10000	500-10000
Areniscas arcillosa	50-300	5-100
Areniscas cuarcitas	300-10000	
Cineritas, tobas volcánicas	20-100	
Lavas (rocas ígneas y metamórficas)	300-10000	100-10000
Esquistos grafitosos	0.5-5	0.001-0.1
Esquistos arcillosos o alterados	100-300	
Esquistos sanos	300- 3 000	
Gneis, granito alterado	100-1000	
Gneis, granito sanos	1000-10000	
Sal		5000-1000000

2.5 CORRIENTE CONTINUA Y CORRIENTE ALTERNA

Existen métodos de prospección eléctrica que emplean corrientes artificiales como continuas o alternas.

La corriente alterna se presenta ventajosa porque fácilmente puede filtrarse y eliminar las tensiones parásitas debidas a la polarización espontánea y a las corrientes telúricas o industriales. La fuente de corriente no necesita ser tan potente como la de corriente continua.

Es necesario tomar en cuenta que la corriente alterna tiene un gran inconveniente respecto a la corriente continua, dado que su profundidad de penetración disminuye rápidamente con la frecuencia.

La profundidad de penetración (Astier, 1975), que se define como la profundidad a la cual la densidad de corriente se reduce aproximadamente un tercio de su valor en superficie, viene dada por:

$$P = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (\text{Ec. 4.3})$$

con P en Km y ρ en ohm m (f es la frecuencia en Hertzios).

Por ejemplo, para una línea de longitud infinita y un terreno de 10 ohm m de resistividad, la profundidad de penetración es del orden de 160 m si f es igual a 100 y de 50 m para f es igual a 1000.

El fenómeno es particularmente molesto cuando los terrenos mas superficiales son relativamente conductores, ya que en este caso las líneas de corriente tienden a no penetrar (efecto skin).

2.6 SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL

Se llama sondeo eléctrico a una serie de determinaciones de resistividad aparente, efectuadas con el mismo tipo de dispositivo y separación creciente entre los electrodos de emisión y recepción. Cuando el dispositivo empleado es simétrico o asimétrico con un electrodo en el infinito y durante la medición permanecen fijos el azimut del dispositivo y el centro del segmento MN, este proceso se denomina sondeo eléctrico vertical (SEV).

La finalidad del SEV es averiguar la distribución vertical de resistividades bajo el punto sondeado y es aplicable cuando el objetivo tiene posición más o menos horizontal, y su extensión en dicho sentido no es pequeña respecto a su profundidad, cuando las mediciones se efectúan sobre un terreno compuesto por capas lateralmente homogéneas en lo que respecta a la resistividad.

El terreno donde se realizarán los SEV, deben cumplir las hipótesis que sirven de base para el cálculo de las curvas patrón, que son las siguientes:

- Las discontinuidades en el subsuelo han de ser horizontales. Si el contacto tiene un buzamiento hasta de 10 a 15°, puede subsanarse orientando la línea de electrodos paralela buzamiento de las formaciones.
- No han de existir variaciones laterales de resistividad. Para verificar esto se debe hacer dos SEV perpendiculares en cada estación, o dos paralelos ligeramente separados.

Los datos de resistividad aparente obtenidos en cada SEV se representan por medio de una curva, en función de las distancias de los electrodos. Para que ello sea posible, es necesario que estas distancias puedan expresarse por una sola variable, pues de lo contrario habría que recurrir a una superficie. La resistividad aparente se expresa en función de la distancia $AB/2$ y la representación gráfica se hace en coordenadas logarítmicas, lo cual se justifica por las siguientes razones:

- Poner de manifiesto que en prospección eléctrica la influencia de una capa disminuye con su profundidad.
- Darle mismo valor a las variaciones de resistividad de las capas conductoras y de las resistivas.
- Permite dar una interpretación cuantitativa a través de ábacos.

La separación AB generalmente no es proporcional a la penetración, pues sólo es cierto en medios homogéneos. En un medio estratificado la densidad de corriente variará, por lo que la penetración dependerá de la distribución de resistividades.

Un medio estratificado general se considera compuesto por dos semiespacios. El primero de ellos de conductividad nula, representa la atmósfera, el segundo, que representa el terreno, es un medio heterogéneo compuesto de medios parciales homogéneos e isotropos, de extensión lateral indefinida y cuyas superficies de separación son paralelas entre sí al plano aire-terreno.

La especificación de espesores y resistividades de cada medio estratificado descrito, recibe el nombre de corte geoelectrico. Estos cortes o curvas patrón pueden clasificarse atendiendo al número de capas que lo componen y se hacen una serie de suposiciones como son: terreno horizontal, contactos entre distintas capas horizontales y la última capa de espesor infinito.

2.6.1 Curva tipo de una capa

En estas curvas se representa en el eje de las abscisas las aberturas AB/2 y en el eje de las ordenadas las resistividades aparentes. La curva es una recta paralela al eje de las abscisas en el punto $\rho = \rho_1$, como muestra la figura 2.1

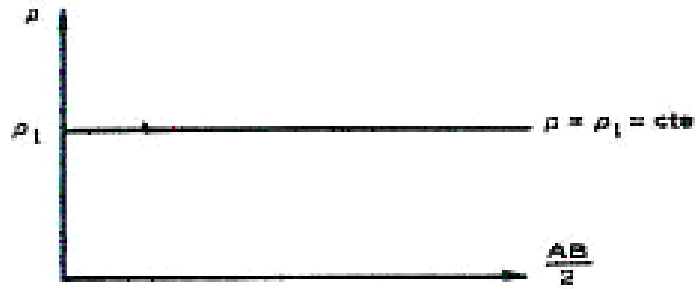


Figura 2.1. Curva tipo de una capa (Orellana, 1982)

2.6.2 Curvas tipo de dos capas

Para dos capas, la curva comienza tangente a la resistividad ρ_1 de la primera capa, y tiende asintóticamente hacia la resistividad de la segunda capa ρ_2 . Se agrupan estas curvas en dos grandes familias mostradas en la figura 4.2 según:

- $\rho_1 < \rho_2$
- $\rho_1 > \rho_2$

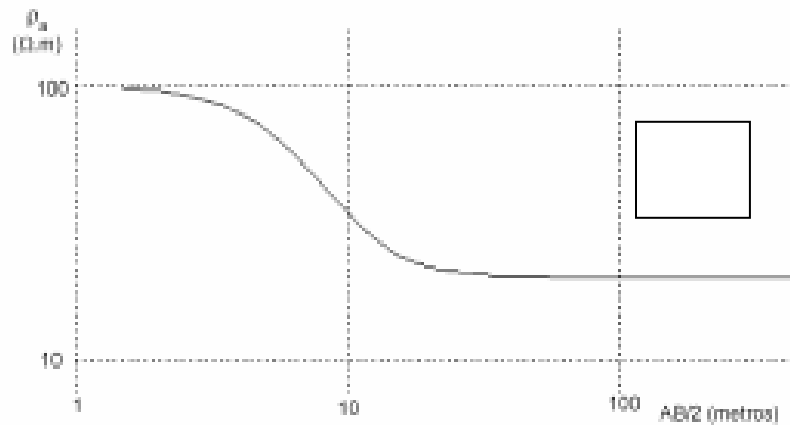


Figura 2.2. Curvas tipo de dos capas (F. Javier Sánchez, 1990)

2.6.3 Curvas tipo de tres capas

Las curvas de tres capas se caracterizan porque un porcentaje elevado de ellas tienen un máximo, o un mínimo, ó 3 puntos de inflexión, no siempre apreciables, que se corresponden con los cuatro cambios de concavidad-convexidad de la curva.

Se clasifican en los cuatro tipos siguientes:

- Tipo H para $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$
- Tipo K para $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$
- Tipo A para $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$
- Tipo Q para $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$

Los tipos H y K representados en la figura 2.3 poseen siempre un mínimo y un máximo respectivamente. La curva comienza, igual que para dos capas, tangente a la resistividad ρ_1 de la primera capa, y acaba asintótica a la resistividad ρ_3 de la tercera, pasando generalmente por un mínimo o un máximo, que refleja la tendencia de la curva hacia la resistividad de la segunda capa. El valor del máximo o del mínimo no da la resistividad de la capa intermedia, pues solamente una fracción de la corriente pasa por ella pero sí da una referencia al considerar que ρ_2 es menor que la resistividad del mínimo, o que ρ_2 es mayor que la resistividad del máximo.

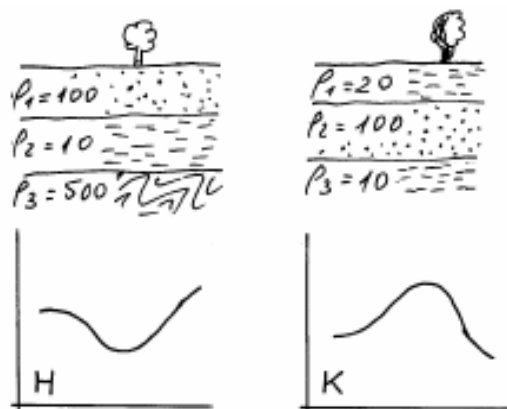


Figura 2.3. Curvas de tres capas tipo H y K (F. Javier Sánchez, 1990)

Para los tipos A y Q, dadas en la figura 2.4, las curvas tienen una forma ascendente y descendente respectivamente. Haciendo la misma consideración para el tramo inicial y final de la curva y, en cuanto al central, a veces se observan en él cambios de curvatura que son consecuencia de que la curva tienda a la resistividad de la capa intermedia. Por lo tanto puede presentar tres puntos de inflexión, pues ha de cambiar cuatro veces la curvatura

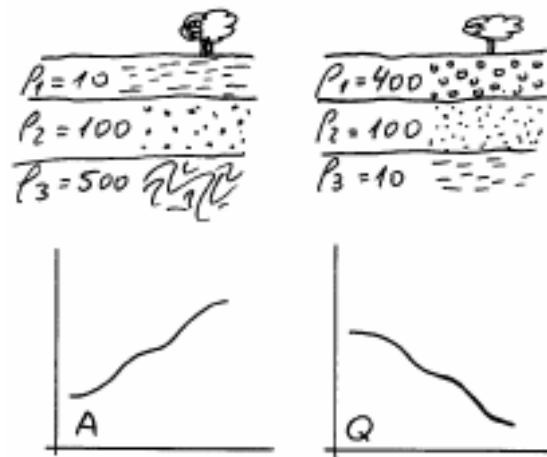


Figura 2.4. Curvas de tres capas tipo A y Q (F. Javier Sánchez, 1990)

2.7 PRINCIPIOS Y LEYES

2.7.1 Principio de equivalencia

En los sondeos eléctricos, una capa influye fundamentalmente a través de su conductancia longitudinal, si es más conductora que las capas adyacentes, o de su resistencia transversal, si es más resistiva que las citadas capas. Es decir, capas de espesores y resistividades diferentes pueden ser equivalentes, en lo referente a su influencia en un sondeo eléctrico, si sus conductancias longitudinales o resistencias transversales son iguales.

Sin embargo, existen límites de validez de este principio. No es suficiente que dos capas tengan la misma conductancia o resistencia para que se reflejen de un mismo modo en la curva de sondeo eléctrico; además, es necesario que sus resistividades no difieran demasiado

2.7.2 El fenómeno de supresión

Cuando una capa delgada tiene una resistividad comprendida entre las de las capas adyacentes, su presencia no es detectable por medio de sondeos eléctricos. Dicha capa desaparece hasta cierto punto.

2.7.3 Ley de Hummel

Se enuncia como sigue “el conjunto de capas suprayacentes a un substrato de resistividad infinita se puede sustituir por una única capa de espesor y conductancia iguales a la suma de espesores y conductancias de las diferentes capas”.

De la ecuación 2.4 se puede obtener el valor ρ de la resistividad de la capa equivalente al conjunto de capas (Orellana, 1982):

$$\frac{e_1}{\rho_1} + \frac{e_2}{\rho_2} + \dots + \frac{e_n}{\rho_n} = \frac{e_1 + e_2 + \dots + e_n}{\rho} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Cuando el substrato es de resistividad infinita, la conductancia longitudinal total de las capas suprayacentes al substrato, es igual al cociente de $AB/2$ partido por la resistividad aparente correspondiente siempre que ésta se tome sobre la recta de 45° en que termina la curva.

2.7.4 Equivalencia extendida a varias capas

Cuando varias capas delgadas conductoras yacen entre dos formaciones resistivas, en primera aproximación se comportan como una única capa conductora de espesor e y resistividad ρ dados por (Orellana, 1982):

$$e\rho = (e_1 + e_2 + \dots + e_n)\rho = e_1\rho_1 + e_2\rho_2 + \dots + e_n\rho_n \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Esta relación es aplicable cuando la capa equivalente tenga una conductancia (si es resistiva) o una resistencia (si es conductora) inferior a un 10% de la conductancia o resistencia de las capas adyacentes.

2.8 CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE PROSPECCIÓN ELÉCTRICA

2.8.1 Métodos que utilizan corrientes naturales

2.8.1.1 Método de la polarización espontánea.

A veces en el terreno se producen fenómenos electrocinéticos y electroquímicos naturales que originan corrientes eléctricas locales.

Los fenómenos electrocinéticos están ligados al movimiento del agua como la infiltración del agua de lluvia, circulación de acuíferos etc.

Los fenómenos electroquímicos se producen cuando:

- Dos formaciones en contacto se comportan como soluciones de distinta concentración: caso de las arcillas y arenas acuíferas, por ejemplo.
- Una masa conductora (minerales metálicos o pizarras grafitosas) yace parcialmente bajo el nivel hidrostático.

Los potenciales espontáneos de origen electrocinético son mucho más débiles que los de origen electroquímico. Las metalizaciones y las pizarras grafitosas pueden

originar tensiones de centenares de milivoltios.

Los potenciales espontáneos son una molestia para la aplicación de otros métodos de prospección eléctrica; en los métodos que emplean corriente continua es necesario compensarlos.

2.8.1.2 Método telúrico.

Las muy abundantes observaciones realizadas desde entonces han demostrado que estas corrientes eléctricas, llamadas *corrientes telúricas*, varían con el tiempo: variaciones rápidas, con períodos que varían de la milésima de segundo a algunos minutos, se superponen a variaciones diarias, estacionales e, incluso, seculares.

Las corrientes telúricas circulan por anchas capas alrededor de la Tierra. Sus variaciones, tanto las rápidas como las lentas, afectan a zonas muy extensas, por lo que es posible reconocer los mismos trenes de oscilaciones sobre registros correspondientes a estaciones separadas centenares e incluso varios miles de Km.

El fundamento del método telúrico de prospección reside en que al ser campo telúrico asimilable al de un dipolo de longitud infinita, sería uniforme si la corteza terrestre fuese homogénea. Consecuentemente las perturbaciones a escala regional del campo telúrico se deberán a heterogeneidades del subsuelo.

El instrumental empleado en la prospección telúrica consiste fundamentalmente en potenciómetros o milivoltímetros registradores de dos canales provistos de un sistema de señalización de tiempos. Con objeto de obtener buenos registros de las oscilaciones cuyos periodos son de algunas decenas de segundos, el tiempo de respuesta debe ser breve y la velocidad de deslizamiento del papel de 0.2 - 0.5 mm/seg.

2.8.2 Métodos que utilizan corrientes artificiales

2.8.2.1 Método de las relaciones de caída de potencial.

En este método se establece un campo artificial de potencial mediante dos puntos *A* y *B* de contacto con el terreno, aquí se usan tres electrodos de medida *M*, *P* y *N*. La relación de diferencias de potencial es equivalente a hacer un análisis de gradientes de resistividades.

Este método es muy sensible a variaciones laterales de la resistividad del subsuelo y puede dar buenos resultados en la localización de contactos o fallas subaflorescentes. Sin embargo, variaciones superficiales de resistividad pueden enmascarar con frecuencia el efecto de formaciones más profundas. Además, la profundidad de investigación varía rápidamente con la distancia al electrodo de emisión, especialmente cuando se opera en su proximidad.

2.8.2.2 Método de resistividades.

El método de las resistividades permite el estudio no sólo de formaciones subhorizontales sino también la determinación de formaciones subverticales (fallas, filones) a una profundidad mayor que el método de líneas equipotenciales, es por ello el más importante. Su característica principal es que se envía corriente al terreno mediante los electrodos *A* y *B* que se clavan en el suelo y una vez establecido así un campo eléctrico artificial, se investigan sus condiciones con los otros dos electrodos *M* y *N* adicionales también clavados en el terreno. Se puede determinar la resistividad aparente del terreno, que es función del cociente entre la diferencia de potencial medida entre los electrodos de investigación y la intensidad de corriente con que se alimenta el terreno.

De esta forma se crea una diferencia de potencial entre los puntos *M* y *N* por lo que su resistividad será según (Orellana, 1982):

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I} \tag{Ec. 4.6}$$

donde:

ρ : es la resistividad aparente en ohm-m

ΔV : es la diferencia de potencial medido en milivoltios

I : es la corriente medida en miliamperios

k : es la constante que se calcula a partir de las distancias interelectródicas expresada en metros, y viene dada por (Astier, 1975):

$$k = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM}\right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN}\right)} \tag{Ec. 4.7}$$

2.8.2.2.1 Dispositivo Schlumberger

El dispositivo Schlumberger es el que se ha impuesto sobre los demás. En este dispositivo los electrodos de medida M y N se sitúan simétricamente a la distancia l del punto de estación O . Los electrodos de corriente, de igual forma, a la distancia variable L , y de forma que los cuatro electrodos queden alineados sobre el terreno. (Figura 2.5):

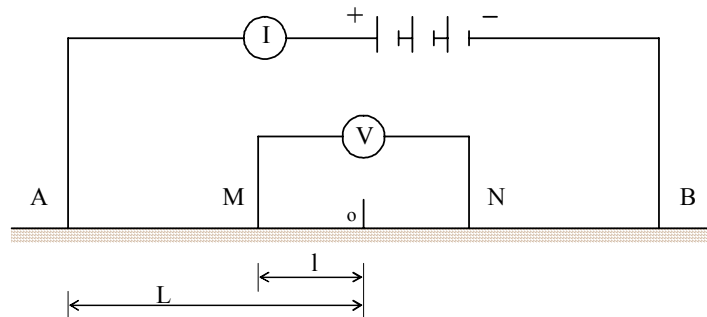


Figura 2.5. Dispositivo Schlumberger

En este caso k resulta ser según (Orellana, 1982):

$$k = \frac{\pi}{2} \frac{L^2 - l^2}{1} \quad (\text{Ec. 4.8})$$

El método radica en hacer circular un flujo de corriente eléctrica en el terreno donde se va a realizar la prospección para su estudio. Esta corriente se inyecta por medio de dos electrodos y el potencial causado por ella se mide usando otros dos electrodos a una cierta distancia de los primeros. Con estos dos parámetros se puede calcular la resistividad de las rocas a una profundidad que depende de la separación entre los electrodos de corriente y los de medición.

En el caso real de campo, no se presentará nunca el caso de un terreno homogéneo, sino que en la mayoría de los casos, en los que son de aplicación el método de resistividades, estará formado por una serie de capas de terreno homogéneo, que formarían en su conjunto un sistema heterogéneo (anisotropía macroscópica). Al aplicar en estos casos las fórmulas de acuerdo al dispositivo a utilizar, en el caso homogéneo, dará una resistividad aparente del terreno, resistividad que será función del parámetro del dispositivo. En el caso del dispositivo Schlumberger, por ejemplo, será función de $L = \frac{AB}{2}$ y en un terreno formado por dos capas horizontales de resistividad ρ_1 y ρ_2 en el que $\rho_2 < \rho_1$ se tendrá que para valores bajos de L , la resistividad aparente será prácticamente igual a la resistividad de la primera capa ρ_1 . Esto se debe a que muy poca corriente llega a la segunda capa. Por el contrario, para valores grandes de L , la resistividad aparente tiende al valor de la resistividad de la segunda capa ρ_2 ya que la mayor parte de la corriente circulará ahora por la segunda capa.

3.1 CIRCUITOS ELÉCTRICOS

Un circuito eléctrico es el conjunto de elementos unidos entre si formando un camino cerrado por el que puede circular corriente eléctrica

El comportamiento de los circuitos eléctricos depende de las cargas eléctricas, que se encuentran relacionadas con la electricidad, especialmente con la corriente, el voltaje y la resistencia eléctrica.

La teoría atómica ha establecido la existencia de clases de cargas eléctricas, designadas arbitrariamente como “carga positiva” para los protones y “carga negativa” para los electrones. Estas partículas se encuentran eléctricamente cargadas presentando fuerzas atractivas o repulsivas, que actúan según: cargas de la misma clase se repelen y cargas de clase opuesta se atraen.

Un átomo normal contiene igual número de electrones y protones, es decir que no presenta carga de exceso. Cuando un electrón sale de su órbita en el átomo, comienza a provocar fenómenos en el material por donde deambula o corre. Este fenómeno se llama *electricidad*, nombre que se deriva de su agente productor.

El circuito básico como el que se muestra en la figura 2.1, está constituido por:

- Un **generador**: proporciona la diferencia de potencial, pudiendo ser una batería para obtener una tensión continua o un alternador para obtener una tensión alterna.
- Un **receptor** o **carga**: todo aparato que consume energía eléctrica, por ejemplo, una bombilla, un horno, un televisor, una lavadora, o cualquier otro aparato que se alimente con electricidad.
- Un **conductor**: une eléctricamente los distintos elementos del circuito y suele ser cable de cobre o de aluminio.

- Un *interruptor*: elemento de control que permite cortar el paso a la corriente.

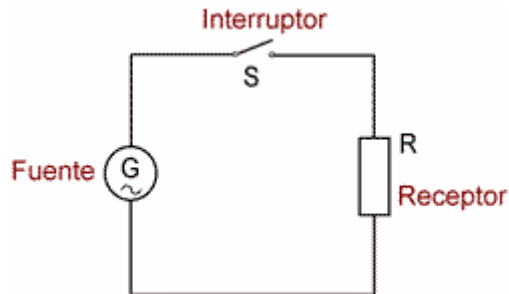


Figura 3.1. Elementos de un circuito básico

3.1.1 Ley de Ohm

Establece la relación existente entre tensión, intensidad y resistencia, permitiendo determinar cualquiera de los tres parámetros conocidos los otros dos.

En Boylestad (1998) la ley de Ohm se define como: “la intensidad de corriente que circula a través de una resistencia es directamente proporcional a la diferencia de potencial aplicada entre sus extremos e inversamente proporcional al valor de la resistencia”.

Esta ley se expresa matemáticamente como:

$$I = \frac{V}{R} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

donde: I: es la corriente en amperios (A)

V: es la diferencia de potencial en voltios (v)

R: es la resistencia en ohms (Ω)

3.1.1.1 Corriente

La cantidad de carga que circula a través de un conductor por unidad de tiempo, recibe el nombre de *corriente eléctrica*, y se produce cuando en un material conductor, como el alambre de cobre de la figura 3.2, cuyos electrones libres se mueven aleatoriamente, pues se encuentran a temperatura ambiente y sin el efecto de alguna fuerza externa. El átomo que pierde un electrón libre adquiere una carga neta positiva y el electrón libre se desplaza entre los iones positivos, deja la zona del átomo original, mientras los iones positivos oscilan en una posición fija, siendo el electrón libre el portador de la carga en el metal o en cualquier otro conductor sólido de electricidad.

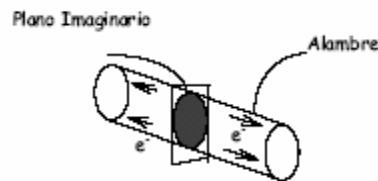


Figura 3.2. Alambre de cobre (Boylestad, 1998)

De esta manera, los electrones libres ganan o pierden energía, en virtud de los cambios de dirección y velocidad por consecuencia de colisiones con iones positivos y otros electrones. Este movimiento es tal, que durante cierto período, el número de electrones que se desplazan hacia la derecha del corte es igual al de la izquierda, cuando no se aplican fuerzas externas, el flujo neto de carga en cualquier dirección es cero.

Si los extremos del alambre se conectan a los terminales de una pila, como se muestra en la figura 2.3, los electrones libres del alambre se desplazan hacia el terminal positivo, mientras que los iones positivos restantes siguen oscilando en sus posiciones fijas medias. El terminal negativo es una fuente de electrones que se extraen cuando los electrones del cobre más cercano al terminal negativo, se va hacia el terminal positivo, y como los electrones los proporciona el terminal negativo al mismo ritmo que los acepta el positivo, cualquier sección del alambre permanece eléctricamente neutra, generando lo que se conoce como la *ley de conservación de la carga*.

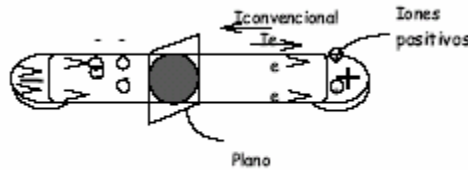


Figura 2.3. Conexión del alambre de cobre a los terminales de una batería (Boylestad, 1998).

3.1.1.2 Voltaje

En un circuito eléctrico, la meta es establecer un flujo de cargas. En un conductor, la carga en virtud de su posición, puede tener la capacidad de realizar el trabajo que se requiere para vencer las fuerzas que se oponen al movimiento del flujo a través del conductor. Por lo tanto, el *voltaje o la diferencia de potencial*, se define como la energía o la cantidad de trabajo necesario para mover una carga eléctrica de un punto a otro.

3.1.1.3 Resistencia

La resistencia es la oposición que presentan los cuerpos al paso de la corriente eléctrica. Se mide en ohmios [Ω] como se muestra en la figura 3.4.



Figura 3.4. Resistencia eléctrica

La oposición que presentan los cuerpos, se debe a que los electrones al moverse en el interior de los átomos, rozan, produciendo choques que desprenden energía en forma de calor. Cuanto mayor es el número de choques, mayor es la resistencia que presenta el material.

La resistencia depende de los siguientes factores:

- La sección del elemento conductor: a mayor sección menor resistencia.
- La longitud del mismo: a mayor longitud, mayor resistencia.
- La naturaleza del conductor: sabemos que hay materiales que dejan pasar muy bien la corriente y otros no. La característica que define la mayor o menor oposición del material al paso de la corriente, es la resistividad r , que se mide en [$W \cdot mm^2/m$].
- Temperatura

3.1.1.3.1 Resistencia en serie

Dos o más resistencias están conectadas en serie como se muestra en la figura 3.5, si tienen por lo menos, uno de sus terminales unidos con la siguiente resistencia y que por ellas circula la misma cantidad de corriente. La resistencia equivalente de

ellas es una sola resistencia cuyo valor, es la suma de los valores individuales de las otras resistencias, (Dorf, 1995) se expresa como:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (\text{Ec. 3.2})$$



Figura 3.5. Resistencias conectadas en serie

3.1.1.3.2 Resistencia en paralelo

Las resistencias en paralelo tienen sus dos terminales unidos como se muestra en la figura 3.6. En este arreglo la corriente que fluye por ellas no es la misma, ya que se ha dividido en las resistencias, pero aquí el voltaje de las resistencias es el mismo. La resistencia equivalente en este caso, es el inverso de la suma de los inversos del valor individual de las resistencias en cuestión, (Dorf, 1995) como:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (\text{Ec. 3.3})$$

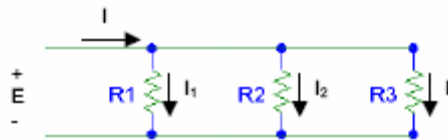


Figura 3.6. Resistencias conectadas en paralelo

3.1.1.3.3 Resistividad

La resistividad es una constante de proporcionalidad entre la resistencia de un material y sus dimensiones físicas, (Boylestad, 1998) se expresa como:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (\text{Ec. 3.4})$$

donde: R: es la resistencia en ohms

l: es la longitud en pies

A: es la sección de corte transversal

ρ : es la resistividad a 20°C

3.1.1.3.4 Efectos de la temperatura

En la mayoría de los conductores, la resistencia se incrementa al elevarse la temperatura, debido al mayor movimiento molecular en el interior del conductor, obstaculizando el flujo de la carga, en el caso de la mayoría de los conductores metálicos, la resistencia se incrementa casi en forma lineal al elevarse la temperatura. En la gama de los materiales semiconductores, como los que se utilizan en los transistores, diodos etc., la resistencia disminuye al aumentar la temperatura.

Debido a que la temperatura puede tener efectos importantes sobre la resistencia de un conductor, se dispone de la siguiente expresión (Boylestad, 1998):

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha_1 (t_2 - t_1)] \quad (\text{Ec. 3.5})$$

donde:

α_1 : es el coeficiente de temperatura

3.1.2 Ley de tensiones de Kirchhoff

La ley de tensiones de Kirchhoff dice que la “suma algebraica de las subidas y las caídas de tensión en torno a un circuito cerrado es cero”. En Boylestad (1998) la expresan como:

$$\sum V = 0 \quad (\text{Ec. 3.6})$$

Un circuito es cerrado cuando las conexiones continuas de bifurcaciones que trazan una trayectoria, salen de un punto en una dirección, y vuelven a él desde otra dirección diferente, sin abandonar el circuito

3.1.3 Ley de corrientes de Kirchhoff

La ley de corrientes de Kirchhoff indica que, “la suma algebraica de las corrientes que entran y salen de un nodo es cero”. En Boylestad (1998) la expresan como:

$$\sum I_{\text{entrada}} = \sum I_{\text{salida}} \quad (\text{Ec. 3.7})$$

Un nodo es una unión de dos o más ramas o derivaciones

3.2 TIPOS DE CORRIENTES

3.2.1 Corriente directa

Una corriente es directa (cd) cuando el flujo de la carga (corriente) no cambia en magnitud ni dirección.

Las fuentes de corriente directa, son aquellos dispositivos capaces de convertir energía no eléctrica en eléctrica y viceversa. En las fuentes de tensión cd, el terminal positivo se encuentra a un mayor potencial que el negativo y se le asigna un signo positivo, mientras que al terminal negativo se le atribuye un signo menos.

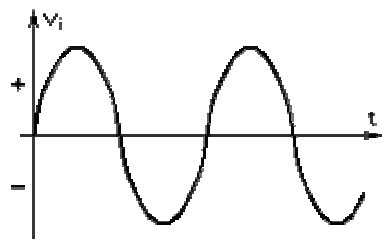
3.2.1.1 Conversión de corriente alterna en continua.

Este proceso, explicado gráficamente en la figura 3.7, denominado rectificación, se realiza mediante los llamados rectificadores y consta de tres etapas.

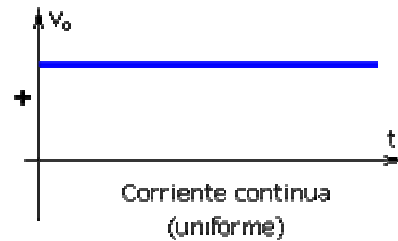
En una primera etapa, como en la mayoría de los casos, se quiere obtener una tensión continua inferior a la tensión alterna, se disminuye la diferencia de potencial empleando un transformador, luego se rectifica esta tensión, mediante diodos, convirtiendo la entrada negativa en positiva.

Posteriormente, mediante filtros RC (resistencia-capacidad) o LC (inductancia-capacidad) se realiza un filtrado para eliminar el rizado de la señal pulsante rectificada obteniéndose finalmente una salida continua constante.

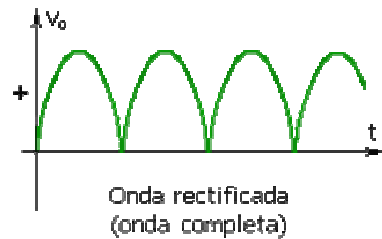
CORRIENTE ALTERNA



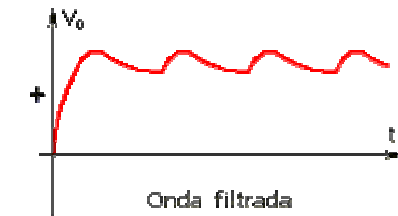
CORRIENTE CONTINUA



RECTIFICADO



NIVELADO



FILTRADO

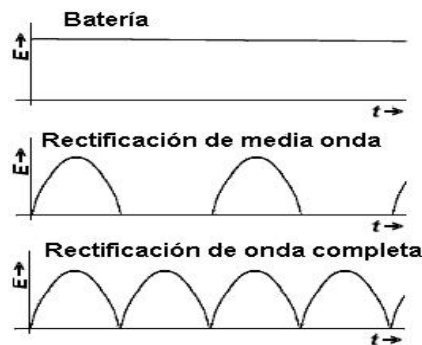


Figura 3.7. Salida de una onda de corriente directa

3.2.2 Corriente alterna

En la corriente alterna senoidal (ca) el flujo de la carga cambia constantemente en magnitud y dirección. La figura 3.8 muestra la forma de onda de esta corriente:

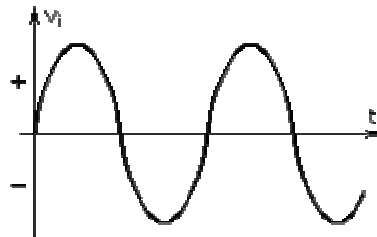


Figura 3.8. Forma de onda de una corriente alterna senoidal

Al contrario que la corriente continua, el voltaje de una corriente alterna puede ser elevado mediante un transformador. De acuerdo con la Ley de Ohm, las pérdidas de energía en las líneas de transmisión son dependientes del flujo o intensidad de corriente y no del flujo de energía, por lo que si mediante un transformador elevamos el voltaje hasta altos valores (alta tensión), la misma potencia puede ser distribuida a largas distancias con bajas intensidades de corriente y por tanto con bajas pérdidas. Una vez en el punto de utilización o en sus cercanías, el voltaje puede ser de nuevo reducido para su uso de forma segura.

3.3 TEOREMAS FUNDAMENTALES DEL ANÁLISIS DE REDES

3.3.1 Teorema de la superposición

Según Boylestad (1998), el teorema establece que “la corriente o la tensión que existe en cualquier elemento de una red lineal bilateral, es igual a la suma

algebraica de las corrientes o las tensiones producidas independientemente por cada fuente”

3.3.2 Teorema de Thevenin

Según Boylestad (1998), el teorema establece que, “cualquier red lineal bilateral de cd de dos terminales, se puede reemplazar con un circuito equivalente que consiste en una fuente de tensión y un resistor en serie”.

La importancia de este teorema es que, permite encontrar cualquier tensión o corriente en una red lineal con una, dos o mas número de fuentes y se puede enfocar en una porción específica de una red, reemplazando la red restante con un circuito equivalente.

3.3.3 Teorema de Norton

Según Boylestad (1998), el teorema establece que, “cualquier red lineal bilateral de cd de dos terminales se puede reemplazar con un circuito equivalente que consiste en una fuente de corriente y un resistor en paralelo”

3.4 CONDENSADORES

Los condensadores son dispositivos eléctricos que almacenan carga y que se encuentran frecuentemente en los circuitos. En general, son dos placas conductoras como se muestra en la figura 3.9, infinitamente grandes o bien, que la separación entre las placas es pequeña comparada con sus dimensiones, que pueden almacenar cargas iguales y de signo opuesto y que están en influencia mutua.

Si las placas paralelas están inicialmente descargadas, no existirá ninguna carga positiva ni negativa neta en ninguna de las placas, sin embargo, en el momento en que se cierre el interruptor, se atraerán electrones a través del conductor superior y

a la terminal positiva de la batería. Esta acción crea una carga positiva neta en la placa superior. La terminal negativa repele los electrones por el conductor inferior, al mismo tiempo que la placa superior los atrae. Esta transferencia de electrones continúa hasta que la diferencia de potencial, a través de las placas paralelas, es exactamente igual a la fuerza electromotriz de la batería E. El resultado final es, una carga neta negativa en la placa superior y una carga neta positiva en la inferior

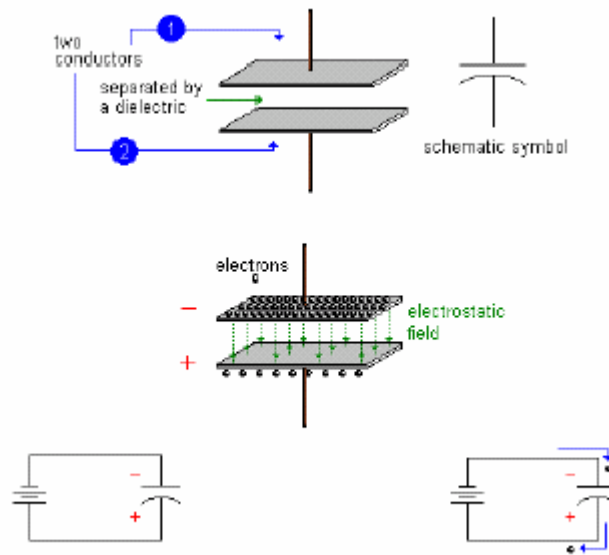


Figura 3.9. Capacitancia (Boylestad, 1998)

La capacitancia es una medida de la eficiencia de un capacitor para almacenar carga en sus placas, se da en faradios y generalmente se da en unidades del orden de los microfaradios o nanofaradios, La expresión matemática para la capacitancia según Sears (1988) es:

$$C = \frac{Q}{V} \tag{Ec. 3.8}$$

Donde:

C: es la capacitancia

Q: es la carga en coulombs

V: es la diferencia de potencial en voltios entre las placas

La capacidad del condensador solamente depende de su geometría, es decir, del área de las placas S y de la separación entre las mismas d .

3.4.1 Condensadores en serie

Sean dos condensadores de capacidades C_1 y C_2 dispuestos en serie, como los de la figura 3.10

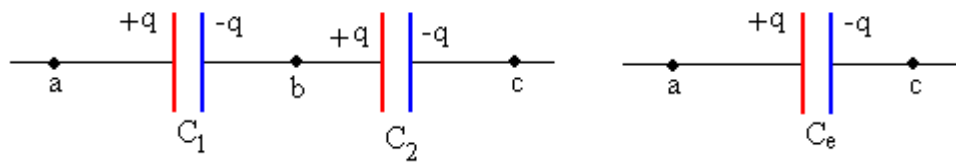


Figura 3.10. Condensadores conectados en serie

Los dos condensadores tienen la misma carga q . La diferencia de potencial entre **a** y **c** es

$$V_{ac} = V_{ab} + V_{bc} = q/C_1 + q/C_2 = q(1/C_1 + 1/C_2)$$

La agrupación de dos condensadores en serie es equivalente al de un condensador de capacidad C_e , de Dorf (1995):

$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad \text{(Ec. 3.9)}$$

Esta es la situación ideal, en la que se supone que los condensadores no pierden carga, las dos placas del condensador están perfectamente aisladas una de la otra. Esto no es lo que ocurre en la situación real.

3.4.2 Condensadores en paralelo

El caso más importante sucede cuando se conectan las placas del mismo signo de dos condensadores de capacidades C_1 y C_2 . Si inicialmente el condensador C_1 se ha cargado con una carga Q y se conecta al condensador C_2 inicialmente descargado. Después de conectarlos, las cargas pasan de un condensador al otro hasta que se igualan los potenciales, como se muestra en la figura 3.11.

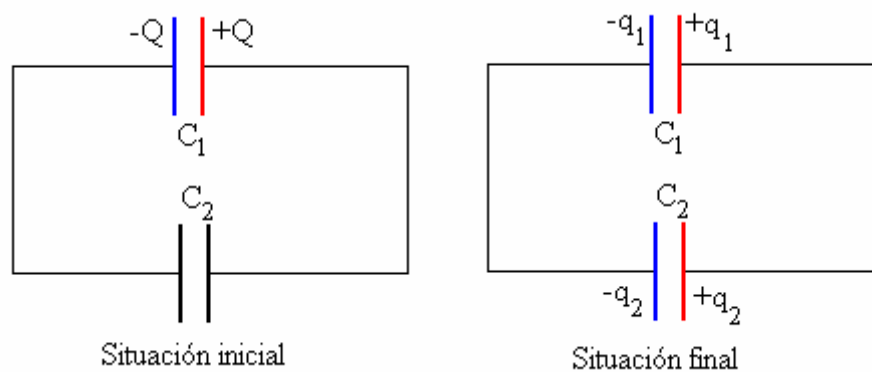


Figura 3.11. Condensadores conectados en paralelo

Las cargas finales de cada condensador q_1 y q_2 , se obtienen a partir de las ecuaciones de la conservación de la carga y de la igualdad de potenciales de los condensadores después de la unión, (Dorf, 1995):

$$Q = q_1 + q_2$$

$$V = \frac{q_1}{C_1} = \frac{q_2}{C_2}$$

Despejando q_1 y q_2 , en el sistema de dos ecuaciones:

$$q_1 = Q \frac{C_1}{C_1 + C_2} \qquad q_2 = Q \frac{C_2}{C_1 + C_2} \qquad \text{(Ec. 3.11)}$$

3.5 ANALISIS DE CIRCUITOS CON DIODOS

Un diodo es un dispositivo que permite el paso de la corriente eléctrica en una única dirección. De forma simplificada, la curva característica de un diodo (I-V) mostrada en la figura 2.12, consta de dos regiones, por debajo de cierta diferencia de potencial, se comporta como un circuito abierto (no conduce) y por encima de ella, como un circuito cerrado con muy pequeña resistencia eléctrica.

Debido a este comportamiento, se les suele denominar rectificadores, ya que son dispositivos, capaces de convertir una corriente alterna en corriente continua.

3.5.1 Curva característica del diodo

La tensión umbral de polarización directa, coincide en valor con la tensión de la zona de carga espacial del diodo no polarizado. Al polarizar directamente el diodo, la barrera de potencial inicial se va reduciendo, incrementando la corriente ligeramente, alrededor del 1% de la nominal. Sin embargo, cuando la tensión externa supera la tensión umbral, la barrera de potencial desaparece, de forma que para pequeños incrementos de tensión se producen grandes variaciones de la intensidad.

La corriente máxima (I_{\max}), es la intensidad de corriente máxima que puede conducir el diodo sin fundirse por el efecto joule. Dado que es función de la cantidad de calor, que puede disipar el diodo, depende sobre todo del diseño del mismo.

La corriente inversa de saturación (I_s), es la pequeña corriente que se establece al polarizar inversamente el diodo, por la formación de pares electrón-

hueco. Es función de la temperatura del material, admitiéndose que se duplica por cada incremento de 10° en la temperatura.

La tensión de ruptura (V_r) teóricamente (Figura 3.12), al polarizar inversamente el diodo, este conducirá la corriente inversa de saturación; en la realidad, a partir de un determinado valor de la tensión del orden de 5 V, el diodo también comienza a conducir en polarización inversa.

La ruptura puede deberse a dos efectos:

- Efecto avalancha (diodos poco dopados): en polarización inversa se generan pares electrón-hueco que provocan la corriente inversa de saturación; si la tensión inversa es elevada, los electrones se aceleran incrementando su energía cinética de forma que, al chocar con electrones de valencia pueden provocar su salto a la banda de conducción. Estos electrones liberados, a su vez, se aceleran por efecto de la tensión, chocando con más electrones de valencia y liberándolos a su vez. El resultado es una avalancha de electrones que provoca una corriente grande. Este fenómeno se produce para valores de la tensión superiores a 6 V.
- Efecto Zener (diodos muy dopados): cuanto más dopado está el material, menor es la anchura de la zona de carga, puesto que el campo eléctrico E puede expresarse como cociente de la tensión V entre la distancia d ; cuando el diodo esté muy dopado, y por tanto d sea pequeño, el campo eléctrico será grande, del orden de $3 \cdot 10^5$ V/cm. En estas condiciones, el propio campo puede ser capaz de arrancar electrones de valencia incrementándose la corriente. Este efecto se produce para tensiones de 4 V o menores.

Para tensiones inversas entre 4 y 6 V la ruptura del diodo se puede producir por ambos efectos.

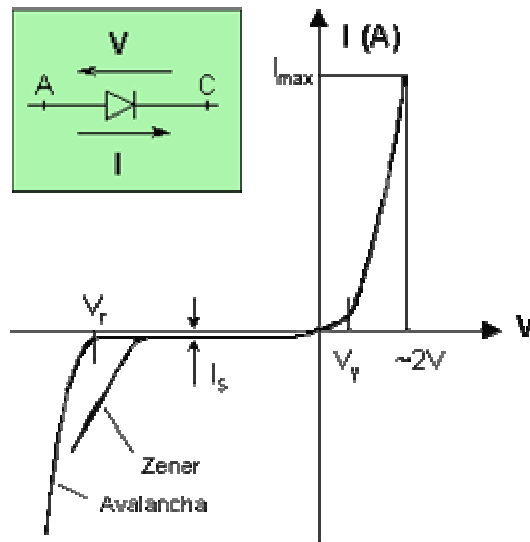


Figura 3.12. Curva característica del diodo (Molestad, 1998)

3.5.2 Rectificador de media onda

El tipo de rectificador más básico, es el rectificador monofásico de media onda, constituido por un único diodo entre la fuente de alimentación alterna y la carga.

Circuito Rectificador de Media Onda.

1. Durante el primer semiciclo, la polaridad de la entrada es negativa y el diodo se comporta como un circuito abierto (polarización inversa), la corriente entonces es cero y no aparece tensión (V salida) en la resistencia de carga. (ver gráfico 3.13 de las formas de onda a la entrada y salida del rectificador).
2. Durante el segundo semiciclo de la tensión de entrada (V_{in}), la polaridad de la fuente es positiva y el diodo permite el paso de la corriente como si fuera un corto circuito (polarización directa). Así la resistencia de carga (R_L) está conectada directamente a la fuente y sobre sus terminales (los de R_L) aparece el mismo voltaje de la fuente (V_{in}).

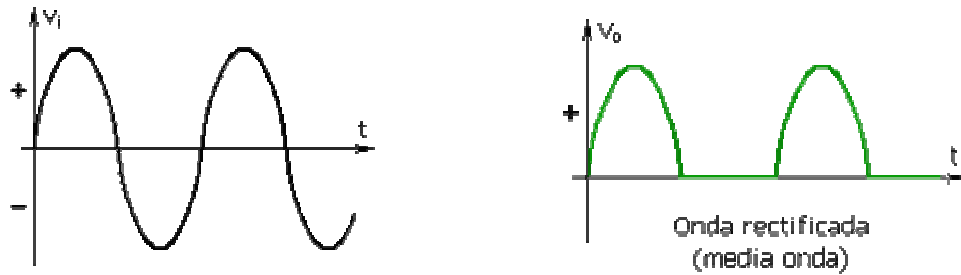


Figura 3.13. Formas de onda a la entrada y salida del rectificador.

3.5.3 Rectificador con dos diodos.

En el circuito de la figura 3.14, ambos diodos no pueden encontrarse simultáneamente en directa o en inversa, ya que las diferencias de potencial a las que están sometidos son de signo contrario; por tanto, uno se encontrará polarizado inversamente y el otro directamente. La tensión de entrada (V_i) es, en este caso, la mitad de la tensión del secundario del transformador.

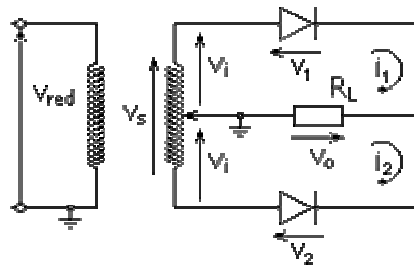


Figura 3.14. Circuito rectificador con onda completa (Altet, 1976)

3.5.3.1 Tensión rectificada.

La curva de transferencia, que relaciona las tensiones de entrada y salida, tiene dos tramos: para tensiones de entrada positivas, las tensiones de entrada y salida son iguales, mientras que para tensiones de entrada negativas, ambas son iguales pero de signo contrario. El resultado mostrado en la figura 3.15 es que en la carga se ha eliminado la parte negativa de la señal de entrada, transformándola en positiva. La

tensión máxima en el circuito de salida es, para igual tensión del secundario del transformador:

- $V_o = V_i = V_s/2$ en el rectificador con dos diodos.
- $V_o = V_i = V_s$ en el rectificador con puente de diodos.

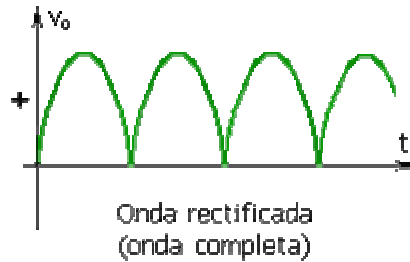


Figura 3.15. Onda completa rectificada

Para determinar el voltaje de corriente directa con un puente de Graets (rectificador de onda completa), se utiliza la siguiente ecuación (Boylestad, 1998):

$$V_{cd} = 0.636(V_m - 2V_T) \quad (\text{Ec. 3.11})$$

Donde: V_{cd} es el voltaje de corriente directa (rectificada)

V_m es el voltaje máximo de alimentación

V_T es el voltaje del diodo de silicio (0.7 V, empleado para rectificador de alta potencia)

3.5.4 Aplicaciones del diodo.

Algunas aplicaciones más destacadas y mencionadas por Boylestad y Dorft, son:

- Rectificador de media onda.
- Rectificador de onda completa.
- Filtro de condensador.

- Estabilizador Zener.
- Circuito recortador.
- Integrador y diferenciador RC.
- Circuito fijador.
- Multiplicador.

3.6 TRANSFORMADORES

El transformador es un dispositivo que convierte energía eléctrica de un cierto nivel de voltaje, en energía eléctrica de otro nivel de voltaje, por medio de la acción de un campo magnético. Esta constituido por dos o más bobinas de alambre, aisladas entre si eléctricamente por lo general y arrolladas alrededor de un mismo núcleo de material ferromagnético.

El arrollamiento que recibe la energía eléctrica se denomina arrollamiento de entrada, con independencia si se trata de mayor (alta tensión) o menor tensión (baja tensión).

El arrollamiento del que se toma la energía eléctrica a la tensión transformada se denomina arrollamiento de salida. En concordancia con ello, los lados del transformador se denominan lado de entrada y lado de salida.

El arrollamiento de entrada y de salida envuelve la misma columna del núcleo de hierro. El núcleo se construye de hierro por que tiene una gran permeabilidad, o sea, conduce muy bien el flujo magnético.

En un transformador, el núcleo tiene dos misiones fundamentales:

- Desde el punto de vista eléctrico, es la vía por que discurre el flujo magnético, que a través de las partes de la culata, conduce el flujo magnético siguiendo un circuito prescrito, de una columna a otra.

- Desde el punto de vista mecánico, es el soporte de los arrollamientos que en él se apoyan.

Para generar el flujo magnético, es decir, para magnetizar el núcleo de hierro, hay que gastar energía eléctrica. Dicha energía eléctrica se toma del arrollamiento de entrada.

El constante cambio de magnetización del núcleo de hierro origina pérdidas. Estas pérdidas pueden minimizarse eligiendo tipos de chapa con un bajo coeficiente de pérdidas.

Además, como el campo magnético varía respecto al tiempo, en el hierro se originan tensiones que dan orígenes a corrientes parásitas, también llamadas de Foucault. Estas corrientes, asociadas con la resistencia óhmica del hierro, motivan pérdidas que pueden reducirse empleando chapas especialmente finas, de unos 0.3 mm de espesor, aisladas entre sí (apiladas). En cambio, en un núcleo de hierro macizo se producirían pérdidas por corrientes parásitas excesivamente grandes que motivarían altas temperaturas.

3.7 EL FILTRO

La corriente que circula por la carga no es continua pura, sino continua pulsante. Una fuente de corriente continua pura no puede tener estas ondulaciones o debe reducirlas a un mínimo (1% ó 2%), de modo que no influyan en el funcionamiento del aparato alimentado, o no aparezcan junto con las señales de audio que deben ser reproducidas o grabadas. Para eliminar estas ondulaciones se usan filtros. El tipo más sencillo de filtro consiste en un capacitor conectado en paralelo con la carga como muestra la figura 3.16

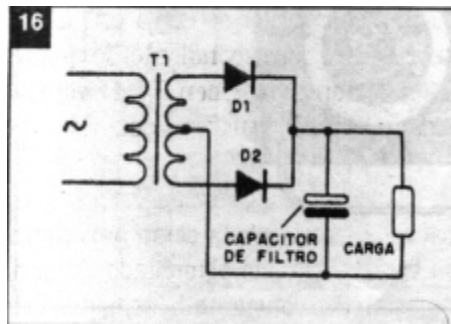


Figura 3.16. Capacitor conectado en paralelo (Altet, 1976)

3.7.1 Fuente rectificadora de media onda con un filtro incorporado.

Cuando el diodo conduce el primer semiciclo, el capacitor se carga con la tensión de pico correspondiente, lo que resulta en aproximadamente 1,41 veces la tensión RMS del transformador. Cuando la tensión aplicada en el diodo en sentido directo comienza a caer, el condensador compensa esta caída proveyendo su carga al circuito aumentado de modo de mantener constante la tensión. Está claro que el capacitor no consigue mantener exactamente constante la tensión en la carga, pues el mismo se descarga gradualmente hasta que un nuevo ciclo polariza el diodo en sentido directo y nuevamente haga su carga con la tensión de pico.

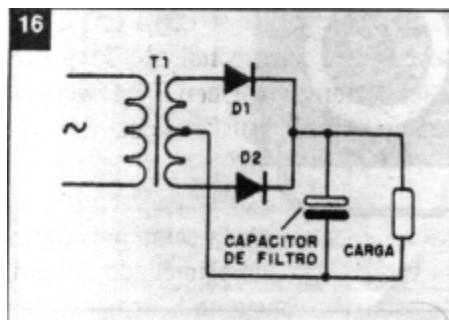


Figura 3.17. Descarga del capacitor (Altet, 1976)

En los intervalos entre los semiciclos, en que no ocurre la conducción del diodo, el capacitor se encarga de proveer energías a la carga, descargándose como muestran las curvas de la figura 3.17. Si la carga exige una carga elevada, la descarga en el condensador será más acentuada que en el caso de una corriente menos intensa. Del mismo modo si el valor del capacitor fuera alto, se puede mantener más constante la tensión en la carga.

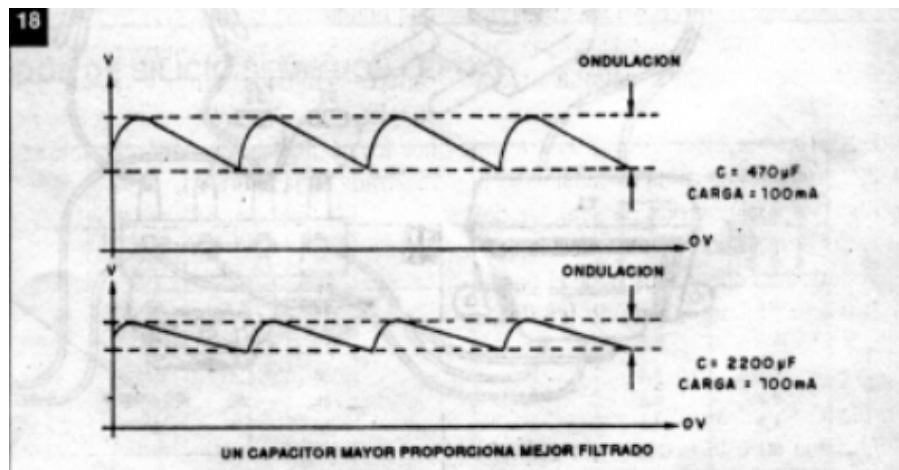


Figura 3.18. Un capacitor mayor proporciona un mejor filtrado (Altet, 1976)

Esto produce tensiones de carga mucho mejores, con apenas pequeñas ondulaciones como muestra la figura 3.18. Se tiene entonces una corriente continua pura en la carga. El valor del capacitor usado es muy importante en el filtrado.

En la fuente con rectificación de media onda, el condensador debe suplir la alimentación de la carga, por el intervalo en que no aparece un semiciclo, que es un intervalo grande.

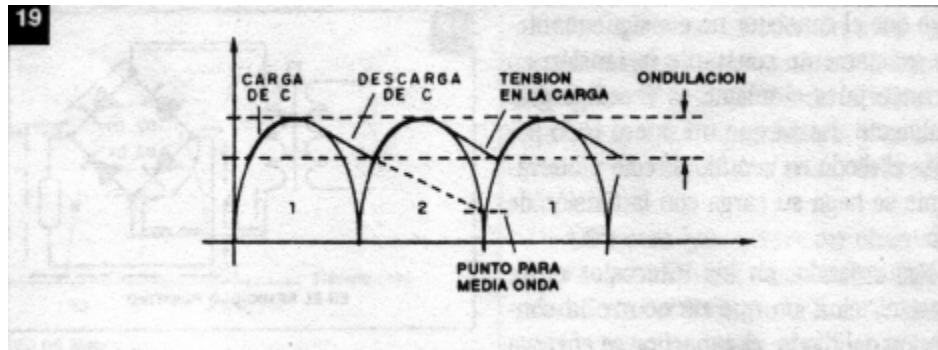


Figura 3.19. Reducción de la ondulación (Altet, 1976)

En el caso de una fuente de onda completa, el capacitor de filtro tiene la misma función, pero ahora debe suplir la carga por un intervalo menor (entre un semiciclo y el siguiente), lo que reduce considerablemente la ondulación figura 3.19. Por este motivo, las fuentes de onda completa son preferidas por el menor nivel de zumbido, que presentan para un mismo condensador usado en el filtrado.

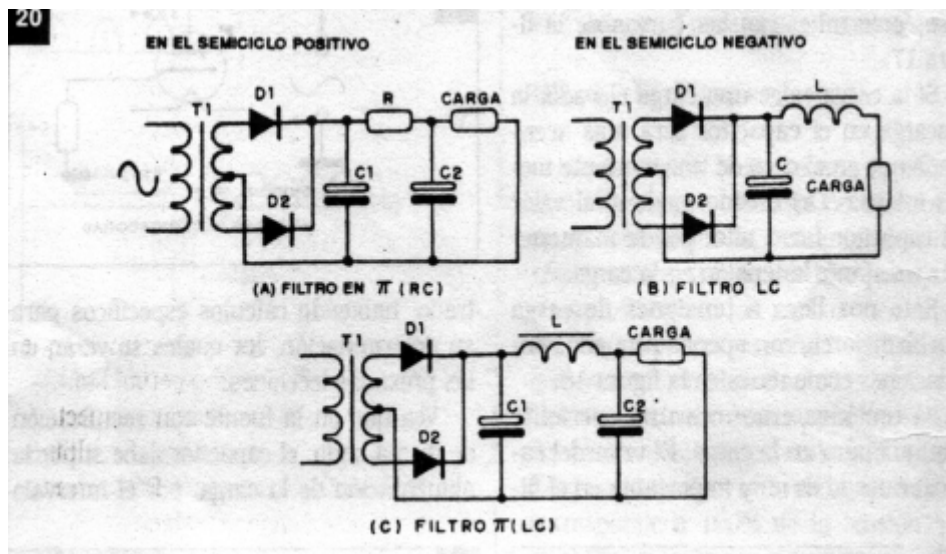


Figura 3.20. Modificaciones para obtener un buen filtrado (Altet, 1976)

Cuando un solo capacitor no es suficiente para proporcionar un buen filtrado, se pueden agregar otros elementos al sistema de filtro, habiendo entonces diversas posibilidades, como las que aparecen en la figura 3.20. En el primer caso se utilizan dos condensadores y un resistor, formando un filtro en PI (a) que es muy común en circuitos de bajo nivel de ruidos. En el segundo caso, se tiene un filtro en L en que se usa un inductor y un capacitor. Un filtro más elaborado es el PI (c) con dos condensadores y un inductor. Por sus propiedades el inductor reacciona a las variaciones rápidas de la tensión en los semiciclos, aplanando la tensión de salida.

3.7.2 Voltaje de rizo

La figura 3.19, muestra que la forma de la onda de salida, tiene un nivel de V_{cd} y un voltaje de rizo V_r (rms), a medida que el capacitor se carga y se descarga.

Para determinar el valor de voltaje de rizo en términos de otros parámetros del circuito, se puede calcular de (Boylestad, 1995):

$$V_r(\text{rms}) = \frac{2.4I_{cd}}{C} = \frac{2.4V_{cd}}{R_L C} \quad (\text{Ec. 3.12})$$

Donde I_{cd} está en miliamperes, C en microfaradios y R_L en miliohms.

3.7.3 Voltaje de CD

Se puede expresar el valor de cd de las formas de onda a través del capacitor del filtro como ((Boylestad, 1995):

$$V_{cd} = V_m - \frac{I_{cd}}{4fC} = V_m - \frac{4.17I_{cd}}{C} \quad (\text{Ec. 3.13})$$

Donde V_m es el voltaje rectificado de pico, I_{cd} es la corriente de carga en miliamperes, y C es el valor del capacitor del filtro en microfaradios.

Para obtener la expresión del rizo de onda de la forma salida de un rectificador de onda completa y un circuito con filtro capacitivo, se utiliza la siguiente expresión (Boylestad, 1995):

$$r = \frac{V_r(\text{rms})}{V_{cd}} * 100\% = \frac{2.4I_{cd}}{CV_{cd}} * 100\% = \frac{2.4}{R_L C} * 100\% \quad (\text{Ec. 3.14})$$

3.7.4 Filtro RC

La cantidad de rizo a través de un capacitor con filtro puede reducirse aún más mientras se reduzca el voltaje V_{cd} , empleando una sección de filtro RC adicional. El propósito de la red agregada es pasar mayor cantidad de componente V_{cd} mientras atenúa todo el componente de V_{ca} como sea posible.

El voltaje de V_{cd} resultante de salida es (Boylestad, 1995): $V'_{cd} = \frac{R_L}{R + R_L} V_{cd}$

4.1 DISEÑO DEL EQUIPO

Se realiza el diseño para un equipo de 1000 V, con corriente continua, lo cual se hace con cálculos matemáticos teóricos, descritos a continuación:

- Cálculo del puente de Graets mediante diodos de silíceo, para generar un rectificador de onda completa, utilizando la ecuación 2.21.
- Despejando C de la ecuación 2.30, se obtiene el valor del filtro.
- Cálculo de la resistencia de carga, usando la ecuación 2.32.
- Cálculo del porcentaje de rizo, con la ecuación 2.31.

4.2 CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

4.2.1 Materiales

Figura	Material	Características
4.1	Condensador	450 V, 1500 mF
4.6	Transformador	110 – 400 V, 1KVA de potencia
4.1	Variac	110 – 220 V, 1 KVA de potencia
4.5	Resistencia	2 MΩ, 2 W de potencia
4.1	Puente rectificador	De silíceo, capacidad de 1000 V, 2 A
4.2	Lámina de aluminio	De 5mm de grosor
4.2	Ángulos	De 2 metros
4.8	Remaches, tornillos, tuercas y cable 14	
4.9	Bisagras	
4.9	Fusilera	Capacidad de 30 A
4.9	Swich	De encendido/apagado
4.9	Conectores	de 30 A
4.9	Fusible	1 A

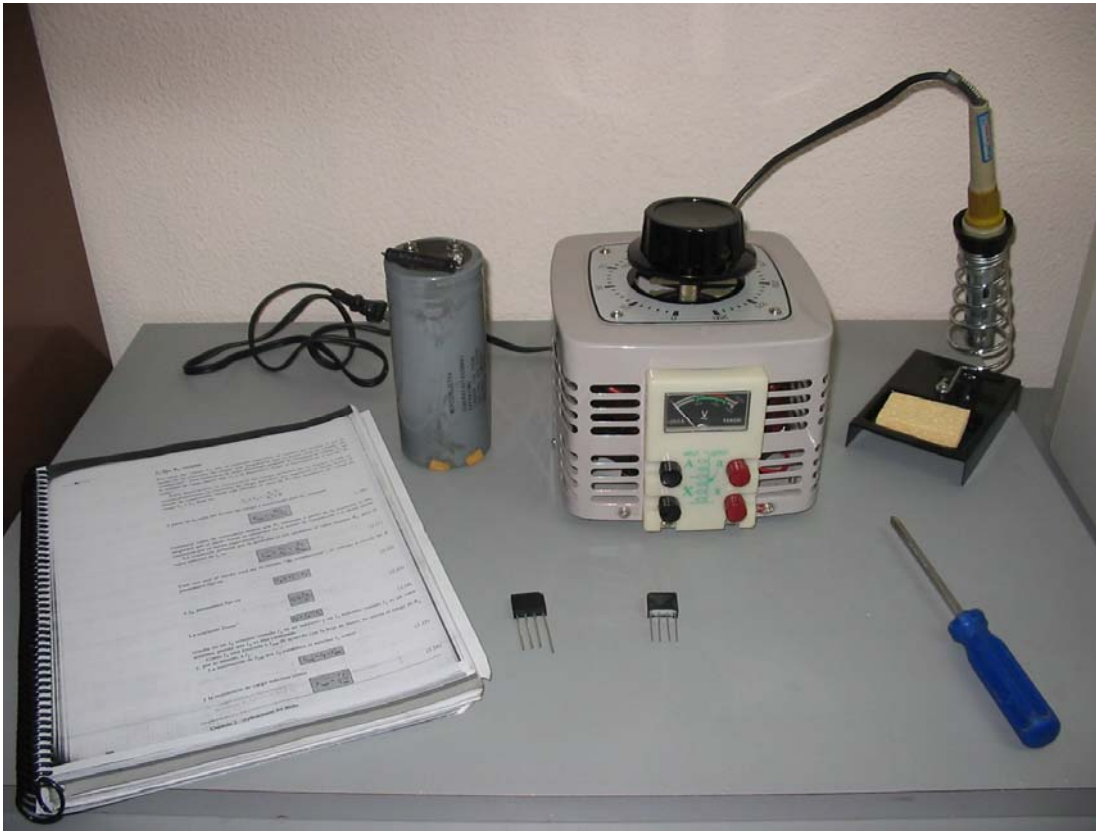


Figura 4.1. Variac, condensador y puente

4.2.2 Procedimiento de construcción

- Inicialmente el diseño se realiza para un condensador de 1000 V, el cual no está disponible en el mercado, por lo que se ajustaron los cálculos para un condensador de 400 V.
- La lámina de aluminio es cortada con las siguientes dimensiones (figura 4.2 y 4.3):
 - 2 láminas de 16 x 35 cm
 - 2 láminas de 22 x 35 cm
 - 2 láminas de 22 x 16 cm



Figura 4.2. Láminas de aluminio



Figura 4.3. Marcas de medida para las aberturas de tornillos y remaches



Figura 4.4. Perforación de láminas de aluminio para su ensamblaje.

Con las cuales se ensambla la caja que contendrá al equipo, usando los ángulos, remaches, los tornillos, tuercas de seguridad y las bisagras (figura 4.4).

- Se realiza una prueba de funcionamiento de todos los componentes, para verificar que los valores dados por el fabricante son aproximadamente iguales a los valores medidos, que se describe a continuación:
 - El Transformador con una entrada de 110 V debe generar una salida de 400 V
 - El variac elevador presenta características de entrada de 110Vac y 220Vac, generando salidas de 130Vac y 250Vac, respectivamente.

- El condensador posee una capacitancia de 1500 mF
 - La resistencia de 2 M Ω , medida con multímetro da 2.01 M Ω
 - El perfecto funcionamiento del puente.
-
- Se procede a realizar un ensamblaje previo, para verificar el buen funcionamiento de los componentes en conjunto (Figura 4.5).
 - Se concluye el ensamblaje dentro de la caja de aluminio construida (figuras 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9).



Figura 4.5. Construcción del filtro

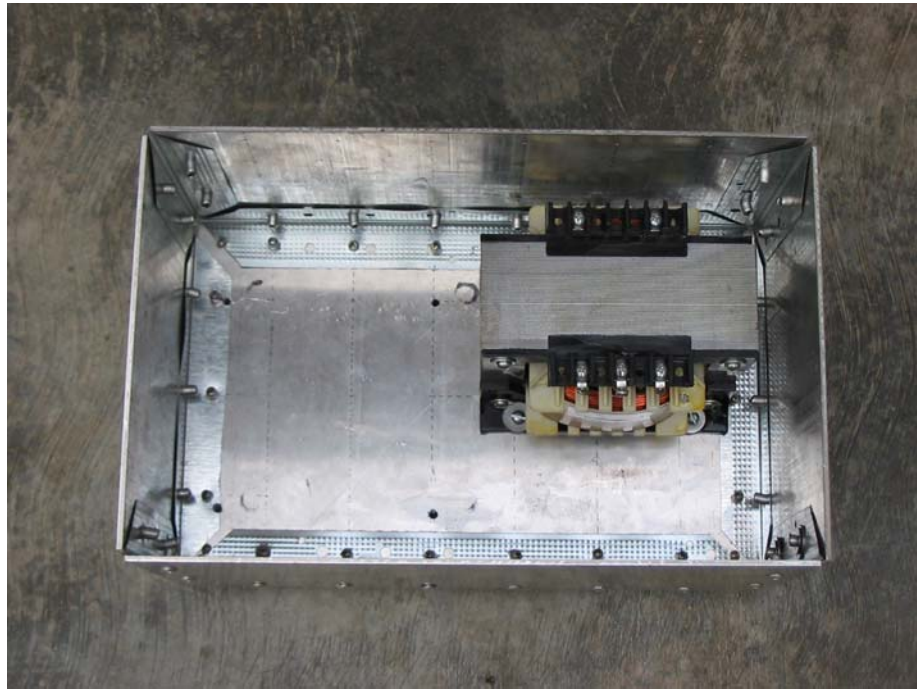


Figura 4.6. Instalación del transformador en la caja.



Figura 4.7. Instalación del variac y transformador



Figura 4.8. Tornillos de seguridad que sujetan al variac y al transformador

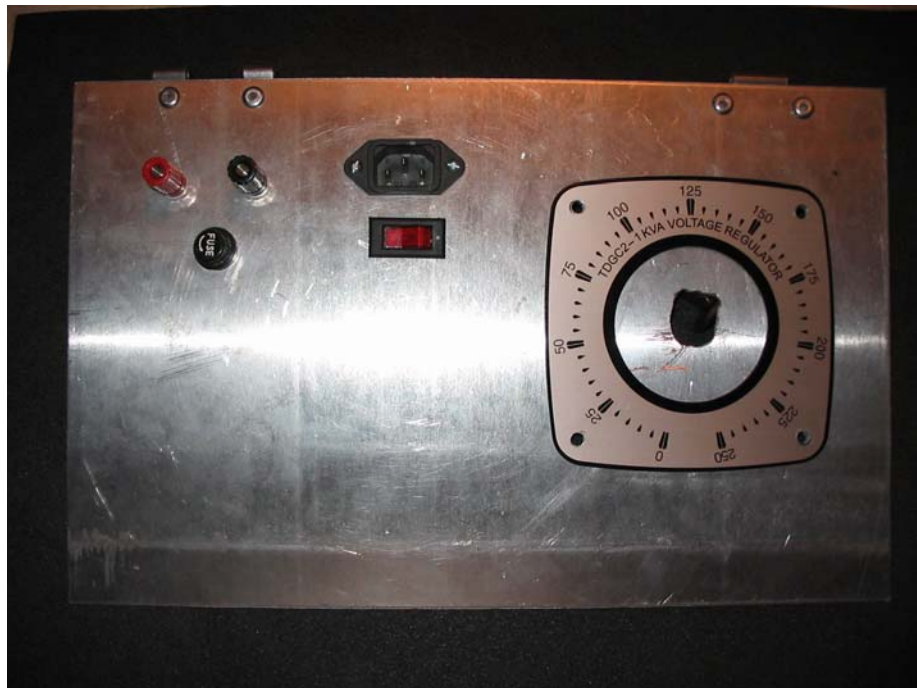


Figura 4.9. Diseño de la tapa del equipo

4.3 CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

La calibración del equipo se hace mediante comparación litológica y espesores de estratos, obtenidas de perfiles geológicos, construidos a partir de muestras recolectadas durante las pruebas de penetración estándar (SPT).

4.3.1 Con datos de perforaciones

Las perforaciones se realizaron en los siguientes lugares: Puerto Píritu, Edo. Anzoátegui, y Santa Elena de Uairén, Edo. Bolívar, para los cuales se aprovechó la utilización de la prueba de penetración estándar (SPT: muestreo a percusión) para la obtención de muestras y realizar un estudio completo del suelo. Adicionalmente, se realizó un muestreo a rotación en el Edo. Bolívar, cuyos procedimientos se describen a continuación:

4.3.1.1 Prueba de penetración estándar (SPT):

Siguiendo las normas de calidad de American Society for Testing and Material (ASTM) se tiene una descripción del procedimiento:

Norma: A S T M D – 1586

Procedimiento:

- Limpieza de los primeros 55 cm de cada metro.
- Introducir muestreador tipo cuchara partida.
- Penetrar el muestreador en el subsuelo en 3 intervalos de 15 cm c/u utilizando el martillo de 140 lb y caída libre 76 cm.
- Registrar el índice SPT correspondiente al número de golpes necesarios para hacer penetrar los últimos 30 cm.
- Limpieza de los próximos 55 cm ó colocación de forro.

- N° de golpes máximo (según Norma): 100 golpes y anotar penetración parcial alcanzada.
- Otro criterio: 50 ó 70 golpes en 10 cm.
- IRTP: N_{EXT} : Suspender hincas a los 50 golpes.

$$N_{EXT} = 4 N_1$$

$$N_{EXT} = 2.4 N_2$$

Donde:

N_1 = N° de golpes para penetración de los primeros 15 cm.

N_2 = N° golpes para penetración de 15 a 30 cm.

- Reportar el menor

Problemas: Arenas bajo nivel freático, peñones, rocas meteorizadas a descompuestas, muestras no recuperadas.

Vicios:

- Muestreo en seco con cucharas de longitud inferior a la Norma.
- Lavado con el muestreador. Eliminación de la válvula para drenaje.
- Avance en material derrumbado y muestreo posterior.

4.3.1.2 Muestreo a rotación

Caracterización de macizos rocosos mediante perforaciones rotativas, como el mostrado en la figura 4.10

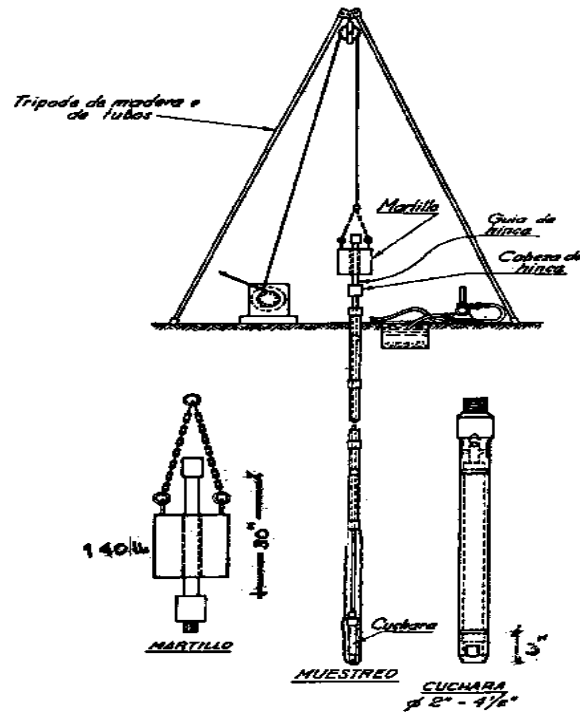


Figura 4.10. Prueba de muestreo a rotación

$$\%rqd = \frac{\sum \text{núcleos} \geq 10\text{cm}(\text{largo})}{\text{Longitud(perforada)}} * 100$$

(% R Q D)= Rock Quality Designation

Vicios:

- Uso de equipos inadecuados:
 - Máquina: cabezal, gatos, controles, deteriorados
 - Muestreadores: Inadecuados, inoperantes
 - Brocas: Inadecuadas, desgaste excesivo

- Técnica de perforación inadecuada

Los estudios realizados en las localidades de Puerto Píritu y Sta. Elena de Uairén (figura 4.11), mediante el SPT, arroja información sobre el número de capas, así como también sus espesores, durezas y litologías. Resultados que se compararán, con las litologías y espesores, que se derivan de las interpretaciones eléctricas obtenidas con el dispositivo Schlumberger, de corriente continua, efectuadas con el equipo diseñado.



Figura 4.11. Equipos usados en las mediciones (Sta. Elena del Uairén)

4.4 PRUEBAS ADICIONALES

Para corroborar la información de las mediciones realizadas, se haran pruebas adicionales como lo son: las medidas de resistividades de los núcleos y la fluorescencia por rayos X, con el fin de avalar los resultados obtenidos en campo, como lo son la resistividad del suelo, así como también la composición de mismo.

4.4.1 Medición de las resistividades de los núcleos

Los núcleos de las perforaciones P – 1, de la zona de Sta. Elena de Uairén, que tienen las siguientes características:

- Núcleo 1: correspondiente a una profundidad de 1.55 a 2 m, una longitud de 8.2 cm y un diámetro de 3.5 cm aproximadamente.
- Núcleo 2: correspondiente a una profundidad de 5.55 a 6 m, una longitud de 6 cm y un diámetro de 3.5 cm aproximadamente.
- Núcleo 3: correspondiente a una profundidad de 10.55 a 11 m, una longitud de 8.2 cm y un diámetro de 3.5 cm aproximadamente.

Se colocaron en un porta núcleos diseñado para medir las resistividades, perteneciente al Departamento de Geofísica, como se muestra en la figura 4.12

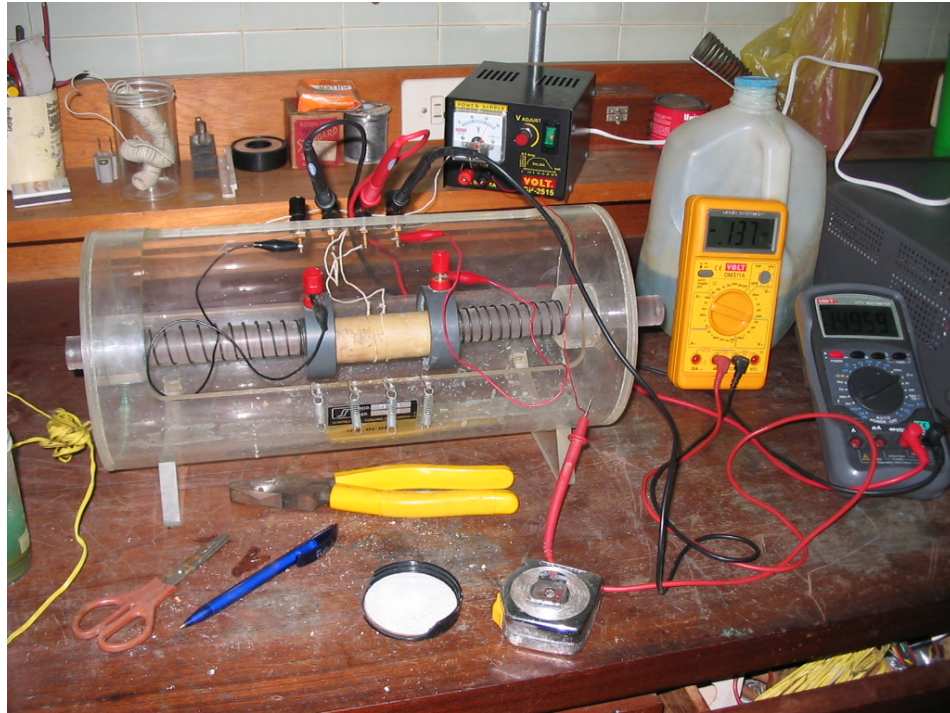


Figura 4.12. Porta núcleos diseñado para medir las resistividades

Se simula una situación real de campo, conectando al núcleo cuatro electrodos, dos en los extremos, con una solución de sulfato de cobre, la cual tiene la función de mejorar la conductividad, puntos en los cuales se suministrará una diferencia de potencial de 12 V y 1 A.

En la parte central del núcleo, y separados a 1 cm, se conectan dos alambres forrados con hilo y embebidos con la solución de sulfato de cobre, los cuales van conectados a un voltímetro.

Se pasa corriente a través del núcleo, y con el valor medido de ésta y la diferencia de potencial obtenemos el valor de la resistividad aparente del núcleo, de acuerdo a las dimensiones que posea.

4.4.2 Fluorescencia de rayos X

Tiene como finalidad principal el análisis químico elemental, tanto cualitativo como cuantitativo, de los elementos comprendidos entre el flúor (F) y uranio (U). En el análisis cuantitativo se dispone de un calibrado para muestras geológicas y similares, con patrones de referencia internacional. Los elementos mayoritarios que se determinan son: Al_2O_3 , P_2O_5 , K_2O , CaO , SiO_2 , TiO_2 , MnO_2 , Fe_2O_3 , MgO , Na_2O y como elementos traza: V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ba, Nb, Rb, Sr, Y, Zr, U, Th, Pb, S.

Se llama fluorescencia cuando la excitación o ionización inicial es causada por rayos X incidentes. Este método es el que se ha usado comercialmente por muchos años, especialmente en minería, para analizar las componentes de un mineral con gran sensibilidad. Se usa un tubo de rayos X y se lanzan éstos sobre la muestra que se desea estudiar. Los rayos X que ésta emite pasan luego a un cristal analizador, que separa por difracción las longitudes de onda y las emite a su vez en diferentes direcciones, de acuerdo con la ley de Bragg. El detector barre todas las direcciones de salida para identificar los picos. Con este método se tiene mayor sensibilidad, pero la cuantificación es mucho más difícil que si la ionización se efectúa con protones.

4.5 Con el equipo GEOSCA

Para determinar el buen funcionamiento del equipo y calibrarlo, se realiza mediciones de resistividades con el equipo diseñado en conjunto con el equipo GEOSCA (perteneciente a la escuela de Geofísica de la Universidad Central de Venezuela), en el jardín que se encuentra entre los edificios de Sanitaria y Geología, Minas y Geofísica, con un rumbo EW (figura 4.13).



Figura 4.13. Equipos usados en la calibración

4.5.1 Materiales utilizados:

- Equipo diseñado
- 1 multímetro digital Fluke
- 1 multímetro digital pinza amperimétrica.
- 1 GPS
- 1 cinta métrica (50 m).

Equipos pertenecientes al Departamento de Geofísica de la Facultad de Ingeniería de la UCV).

- Equipo GEOSCA
- 6 picas de 1 pulgada de diámetro y 45 cm de longitud.
- 4 carretes de cable
- 1 mandarina

4.5.2 Procedimiento

Se realizan mediciones simultáneas con los dos equipos (figura 4.14), empleando el dispositivo Schlumberger, para aberturas de $AB/2$ comprendidas entre 2 -13 m y MN fijo de 0.4 m.



Figura 4.14. Disposición Schlumberger para ambos equipos

Al equipo diseñado se le colocó un voltaje comprendido entre 490 – 497 V, y el equipo GEOSCA con un voltaje de 492 – 500 V, esto con el fin de poder calibrar y demostrar que las mediciones con el equipo diseñado son aproximadamente iguales a las del equipo GEOSCA.

5.1 Resultados de la calibración con datos de perforación

Para calibrar el equipo, se realizaron varias mediciones en distintas zonas de Venezuela, siendo estas localidades la de Puerto Píritu (Edo. Anzoátegui) y Santa Elena de Uairén (Edo. Bolívar).

5.1.1 En la zona de Puerto Píritu

Se realizaron cuatro sondeos eléctricos verticales, con poca apertura de AB/2 debido a las condiciones físicas de la zona y exigencias del trabajo, ya que estas mediciones serían utilizadas para un diseño de puesta a tierra.

- Sondeo eléctrico vertical 1 (SEV-1)

Para el sondeo eléctrico vertical, correspondiente a la tabla 1 de anexos y el gráfico 5.1 (SEV-1), la apertura máxima obtenida de AB/2 fue de seis metros. Las mediciones mostraron una linealidad suave y una variación de la resistividad aparente del suelo que va en el orden de los 2.22 ohm metros hasta los 5.87 ohm metros, utilizándose para los cálculos un MN de 0.4 metros.

Realizando el estudio geofísico y analizando las curvas obtenidas en las mediciones de campo, mediante el procedimiento de curvas preestablecidas (Orellana 1982), se obtiene dos estratos bien definidos:

Estrato 1

Espesor: 1.9375 metros

Litología: Arcilla

Resistividad aparente: 1.8 Ω m

Resistividad aprox.: 0.2864 Ω

Estrato 2

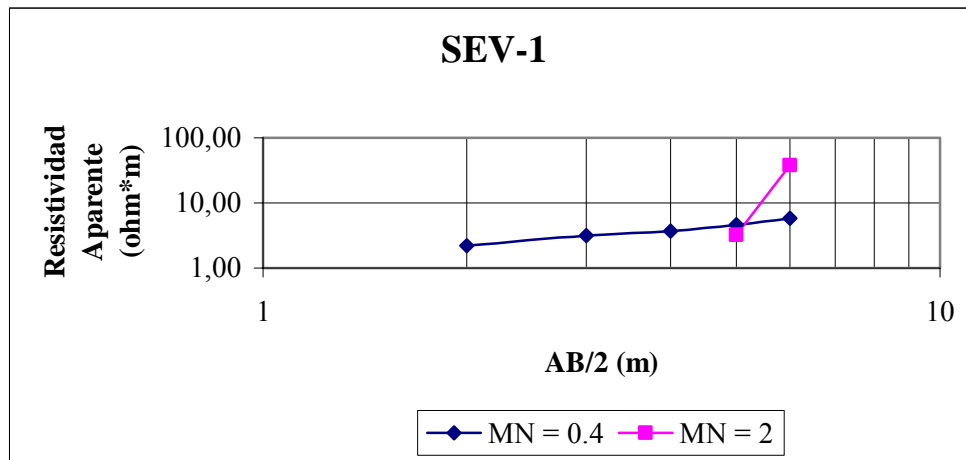
Espesor:

Litología: Arenas poco arcillosas

Resistividad aparente: 72 Ω m

Resistividad aprox.: 11.45 Ω

Gráfico 5.1. SEV-1



Para este sondeo eléctrico vertical, se utilizó la curva de MN=0.4 metros para su interpretación.

- Sondeo eléctrico vertical 2 (SEV-2)

En el sondeo eléctrico vertical 2, correspondiente a la tabla 2 de anexos y el gráfico 6.2 (SEV-2) se tuvo como apertura máxima de AB/2 veinte (20) metros.

Para obtener una mayor resolución, se realizaron aperturas de MN de dos (2) metros, para, de este modo conseguir mediciones más profundas del tendido geoelectrico con el dispositivo Schlumberger.

Realizando el estudio geofísico, mediante el análisis de la curva por el procedimiento de curvas preestablecidas (Orellana 1982), se obtuvieron tres estratos con las siguientes características:

Estrato 1

Espesor: 2.5 metros

Litología: Arcilla

Resistividad aparente: 10 Ωm

Resistividad aprox.: 1.5915 Ω

Estrato 2

Espesor: 6.25 metros

Litología: Arcillas arenosas

Resistividad aparente: 25Ωm

Resistividad aprox.: 3.9788 Ω

Estrato 3

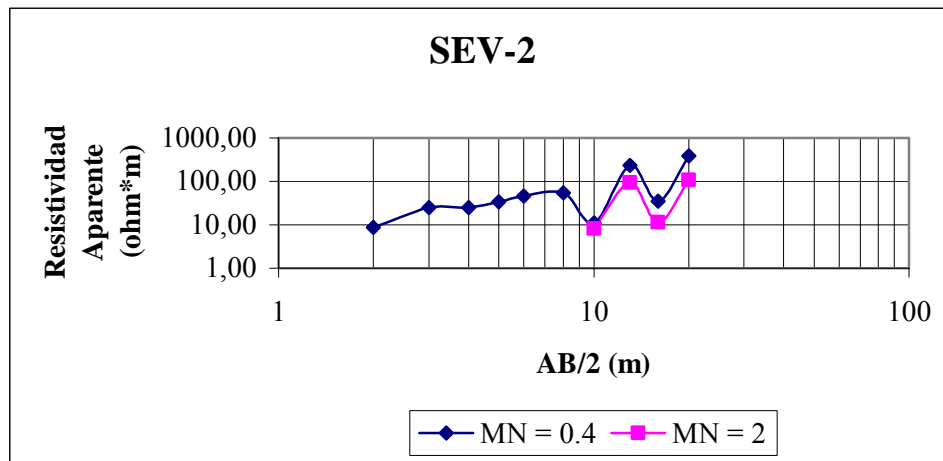
Espesor:

Litología: Arenas poco arcillosas

Resistividad aparente: 140 Ωm

Resistividad aprox.: 22.2816 Ω

Gráfico 5.2. SEV-2



Se puede observar una variación de mínimos en la curva, en los valores de AB/2 iguales a 10 y 16 metros, medidas que no se toman en cuenta para la interpretación de capas y espesores, más si para un comportamiento general del suelo.

- Sondeo eléctrico vertical 3 (SEV-3)

El sondeo eléctrico vertical, correspondiente a la tabla 3 de anexos y el gráfico 5.3 (SEV-3), tuvo una distancia total de apertura de cien (100) metros, es decir, un $AB/2$ de igual a los cincuenta (50) metros.

Se realizaron mediciones consecutivas para MN igual a 0,4 metros, 2 metros y 4 metros, tomando los empalmes siguientes:

- $AB/2$ de 2 a 5 metros MN igual a 0.4 metros
- $AB/2$ de 5 a 25 metros MN igual a 2 metros
- $AB/2$ de 25 a 50 metros MN igual a 4 metros (No se tomó en cuenta).

Este procedimiento de empalmes se utiliza para colocar la curva en una escala aceptable para su procesamiento. La finalidad de este mecanismo es observar la tendencia y comportamiento del suelo.

Realizado el estudio geofísico mediante el procesamiento de curvas preestablecidas (Orellana 1982), y corrección de los puntos anómalos manualmente (Astier 1986), se obtuvieron tres estratos con las siguientes características:

Estrato 1

Espesor: 2.8 metros

Litología: Arcilla

Resistividad aparente: $5.5 \Omega\text{m}$

Resistividad aprox.: 0.8753Ω

Estrato 2

Espesor: 9.8 metros

Litología: Arcilla

Resistividad aparente: $19.25 \Omega\text{m}$

Resistividad aprox.: 3.0637Ω

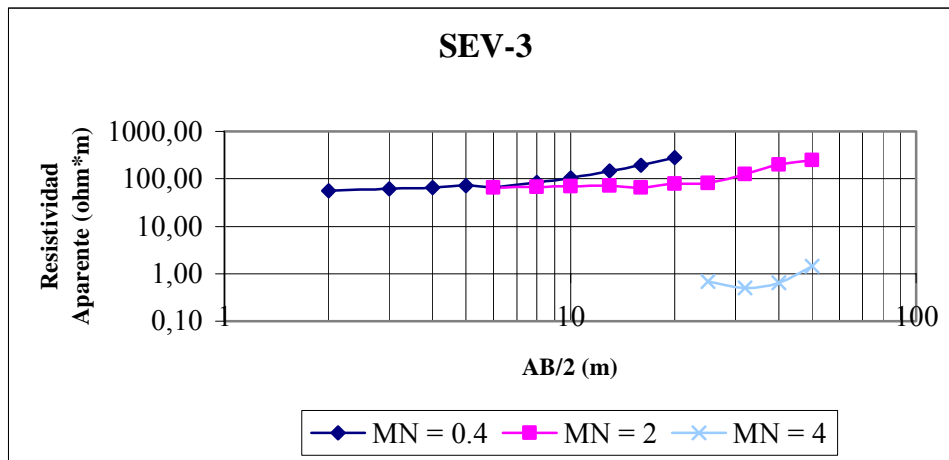
Estrato 3

Litología: Arenas poco arcillosas

Resistividad aparente: $67.5 \Omega\text{m}$

Resistividad aprox.: 10.74Ω

Gráfico 5.3. SEV-3



- Sondeo eléctrico vertical 4 (SEV-4)

En el sondeo eléctrico vertical, correspondiente a la tabla 4 de los anexos y el gráfico 5.4 (SEV-4), se presenta un comportamiento muy similar al SEV-1. Posee una variación en la resistividad aparente de 8.71 ohm m hasta 82.19 ohm m.

Realizando el análisis geofísico correspondiente, y utilizando el sistema de curvas preestablecidas (Orellana 1982), se encontraron dos estratos bien definidos por su cambio de resistividad.

Estrato 1

Espesor: 1.9375 metros

Litología: Arcilla

Resistividad aparente: 2.1 Ωm

Resistividad aprox.: 0.2864 Ω

Estrato 2

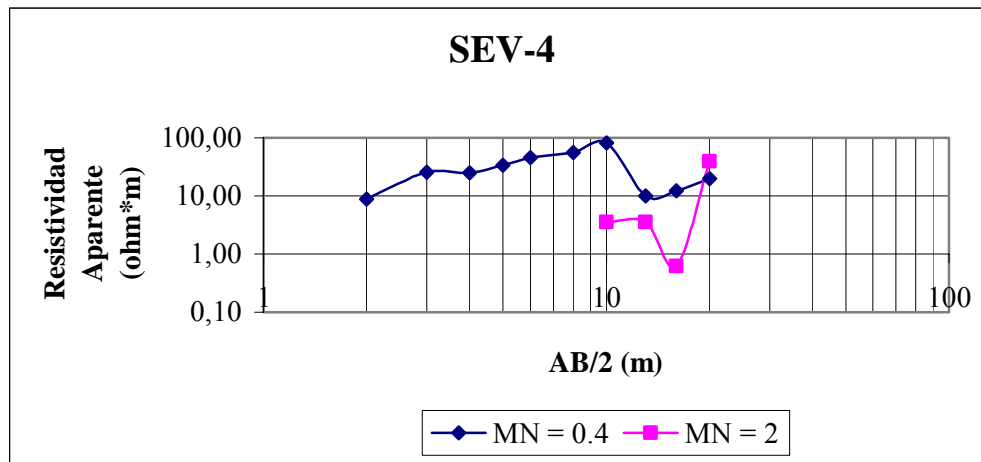
Espesor:

Litología: Arcillas arenosas

Resistividad aparente: 21 Ωm

Resistividad aprox.: 11.45Ω

Gráfico 5.4. SEV-4



A continuación se muestran los perfiles de los SEV 1, 2, 3 y 4 con sus respectivos espesores y resistividades:

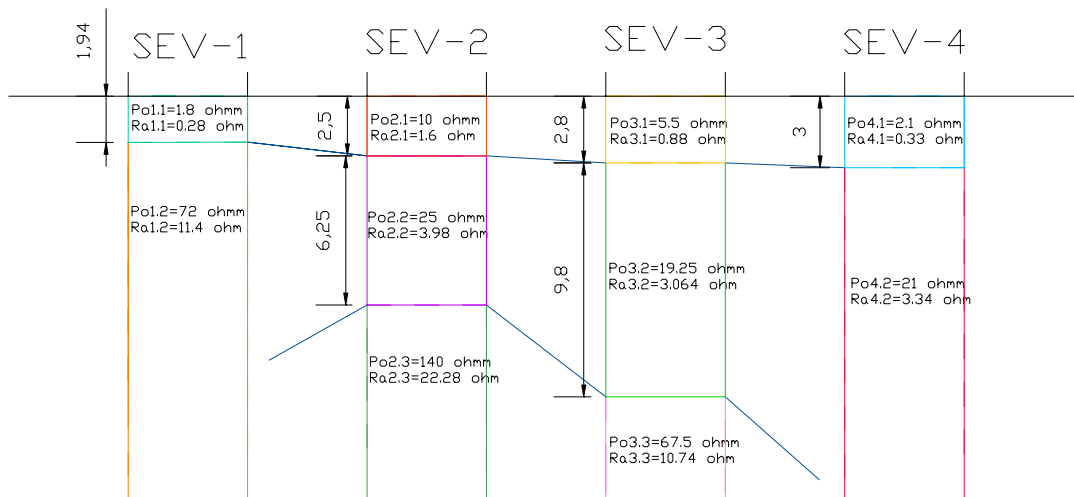


Figura 5.1. Perfiles de los sondes eléctricos verticales para su correlación

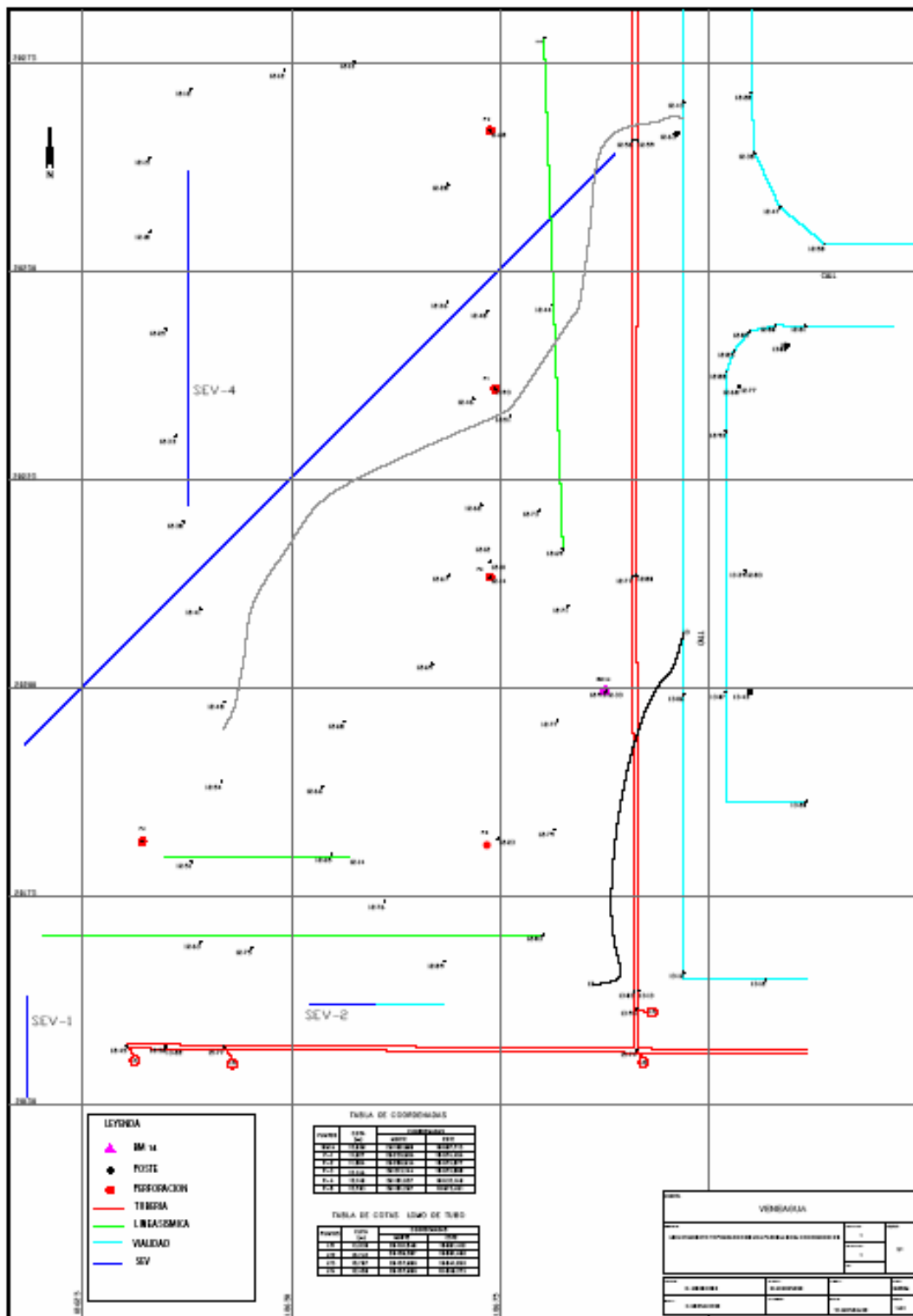


Figura 5.2 Ubicación de los SEV y perforaciones

Realizando un estudio geotécnico de la zona (humedad, compactación y finos), se obtienen resultados, detallados en la tabla 1 de la sección ANEXOS:

Los perfiles P-5, P-3, P-1 y P-2, mostrados en la figura 5.4, están constituidos fundamentalmente por arcillas de baja plasticidad, que, de acuerdo a su contenido de arena, han sido clasificadas como arenosas, o con contenido de arena, hasta una profundidad aproximada de 5 metros y, debajo de este estrato, arcillas de baja plasticidad, hasta la profundidad máxima de perforación de 7 metros. De acuerdo al número de golpes del SPT, las arcillas se clasifican como de consistencia dura a rígida, con contenidos de humedad mínimo de 5% y máximo de 18%.

Un segundo perfil, mostrado en la figura 5.3, muestra que la estratigrafía hacia la perforación P-4 a partir de los 2 metros está constituida por arenas arcillosas, hasta una profundidad de 7 metros y de compacidad media de acuerdo con el número de golpes del SPT. Posteriormente se encuentra un estrato de 1 metro la arcilla arenosa de baja plasticidad, de consistencia semidura y con mayor humedad. A partir de allí, hasta la profundidad máxima de la perforación de 9 metros, se encuentra nuevamente la arena arcillosa, seca, con contenido de grava y compacidad muy densa.

Los SEV, cuya ubicación respecto a los pozos se muestran en la figura 5.2, reflejaron un comportamiento semejante en cuanto a la litología y espesores de las diferentes capas. Así, se tiene que el SEV-1 detectó dos capas, una, con un espesor 1.93 m con resistividad aparente de $1.8 \Omega\text{m}$, lo cual representa arcillas y coinciden con la tabla 5 de la sección de ANEXO en la perforación 1, cuya composición del suelo esta mostrado por el porcentaje de finos, siendo este aproximadamente un 75%, y que el método lo detecta como arcillas; y un segundo estrato que se extiende a partir de los 1.93 m, con una resistividad aparente de $72 \Omega\text{m}$, característico de las arcillas poco arenosas, como lo comprobó el estudio de SPT para el perfil P-4.

Los SEV 2, 3 y 4 mostraron una capa de arcillas con una profundidad máxima de 3 m, luego una capa de arcillas arenosas seguida por arenas poco arcillosas a

profundidades mayores de los 6.25 m, lo cual coincide con la información de los pozos P-1, P-2, P-3 y P-5, que hasta los 7 m mostraron arcillas con contenido de arena. La litología obtenida coincide con la de la Fm. Quiamare.

Los resultados del estudio geotécnico, realizado en el Edo. Anzoátegui, para la caracterización de los suelos mediante gráficos es la siguiente:

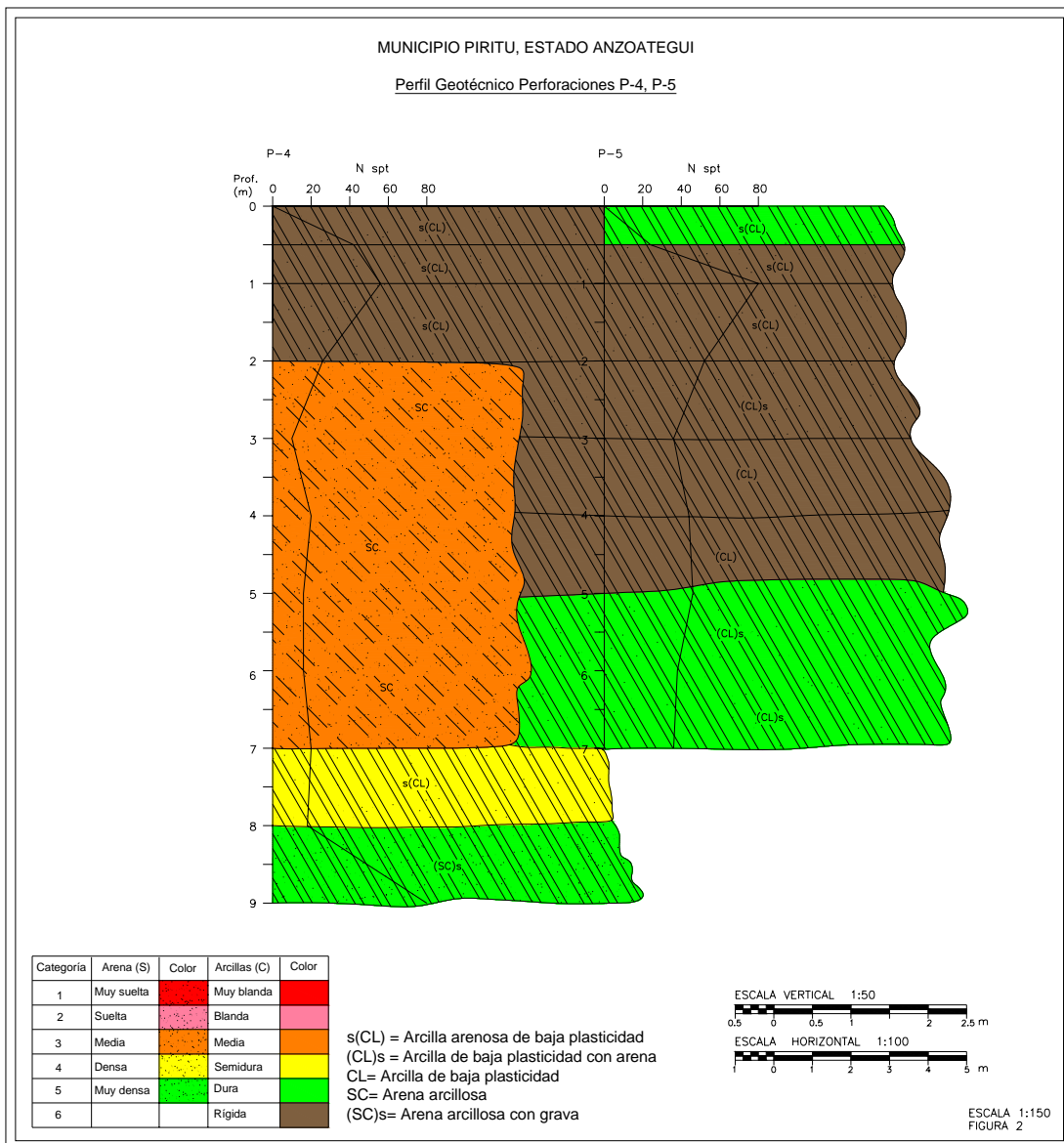
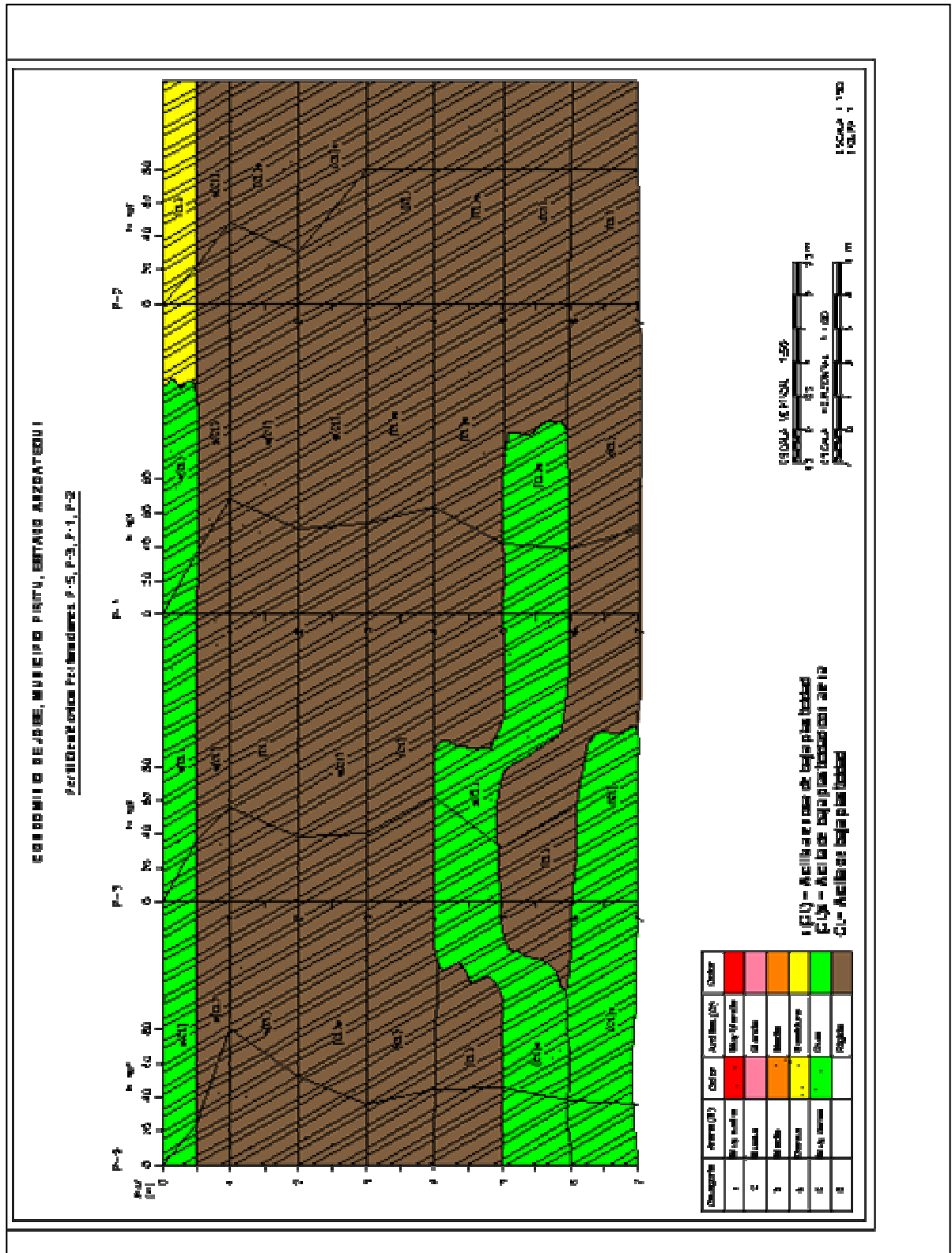


Figura 5.3 Perfiles de P-4 y P-5



5.1.2 En la zona de Santa Elena de Uairén

Para realizar un estudio de la zona se necesita tener todos los datos procesados de las mediciones eléctricas y de las perforaciones, con la finalidad de correlacionar los resultados y observar el comportamiento del suelo con sus variaciones en función de las interpretaciones teóricas y las obtenidas en campo.

La finalidad del estudio geoelectrico en la zona fue dar un apoyo complementario a los estudios de suelo hechos en la localidad.

Se hicieron cuatro sondeos eléctricos en un área aproximada de 250000m², donde se observan discrepancias entre las mediciones eléctricas y las perforaciones.

- Sondeo eléctrico vertical 5 (SEV-5)

Para el sondeo eléctrico vertical correspondiente a la tabla 6 de ANEXOS y gráfico 5.5a (SEV-5), la apertura máxima obtenida de AB/2 fue de 190 metros. Las mediciones mostraron una linealidad suave y una variación de la resistividad aparente del suelo que va en el orden de los 3000 ohm metros.

Gráfico 5.5a. SEV - 5

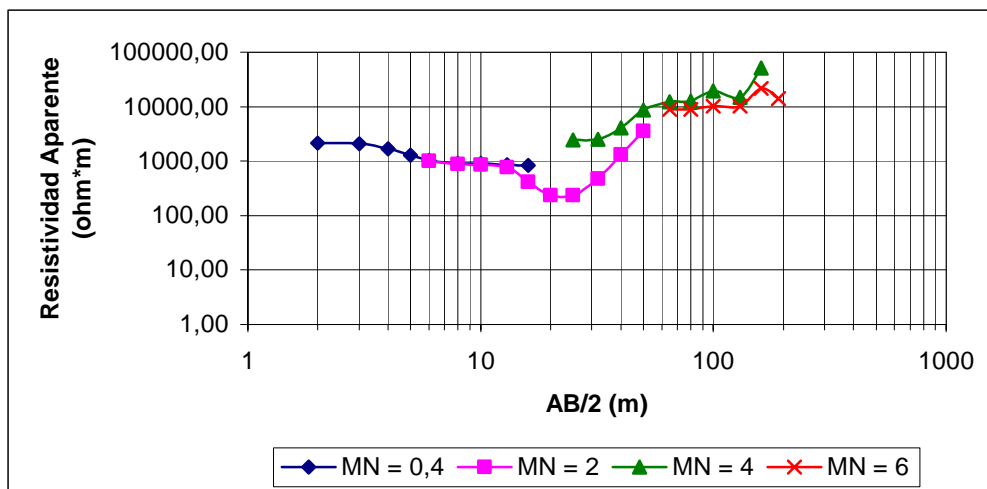
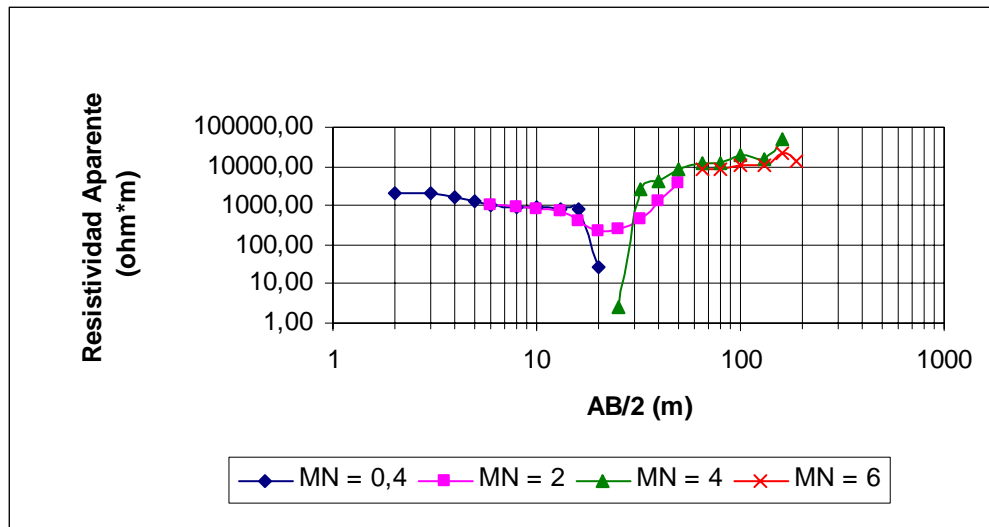


Gráfico 5.5b. SEV – 5



Realizando un estudio, se procesó la curva del gráfico 5.5a, tomando en cuenta el comportamiento y tendencia del gráfico 5.5b, donde se observan tendencias de mínimos resistivos, que sugieren elementos de baja resistividad.

Siguiendo el estudio de número de capas con sus respectivos espesores, mediante el procedimiento de curvas preestablecidas (Orellana 1982), se define que la curva es del tipo H, y a su vez se obtienen tres estratos bien definidos dando como resultados:

Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3
Espesor: 3.0 metros	Espesor: 1.95 metros	
ρ_o : 2056 Ωm	ρ_o : 143 Ωm	ρ_o : 788 Ωm

Según la litología propuesta por las resistividades establecidas por Orellana (1982) se tiene que la litología es:

Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3
Arenas secas y gravas	Arenas poco arcillosa	Arena gravosa

Para el intervalo de AB/2 comprendido entre 20 y 32 metros se observa una depreciación en la curva, producto de una capa de muy baja resistividad comparada con los otros medios. La capa se encuentra en un intervalo de 10 a 16 metros de profundidad, la cual pertenece al estrato 3 compuesto de arena gravosa y cuyos valores de resistividad están en el orden de los 250 ohmmetros.

Este medio podría ser agua debido a los valores de resistividad, concordando perfectamente con el intervalo propuesto por Orellana, (1982) en el cual las arenas y gravas con agua dulce se encuentran en un rango de 20-500 ohmmetro (Tabla 2.1. Resistividades de aguas y rocas según Astier, (1975) y Orellana (1982)).

Paralelo a este sondeo eléctrico vertical y a una distancia de 20 metros aproximados de separación, se hizo una perforación con profundidad máxima de 25.68 metros de profundidad

A lo largo del sondeo eléctrico vertical 5 (SEV-5) se hicieron cuatro perforaciones, con profundidades variables, de 0 a 25.68 metros.

Se realizó la descripción de cada una de las muestras obtenidas en las perforaciones, con la finalidad de obtener un perfil del suelo, para compararlo con los resultados obtenidos en el sondeo eléctrico vertical, y poder correlacionar ambas respuestas.

Todas las muestras de suelo fueron recolectadas y estudiadas por la empresa Ingenieros De Santis C.A.

La descripción de los suelos se realiza bajo los estándares de ASTM D 2487-93 y D 2488-93 del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Tabla 5.1. Descripción litológica y simbología empleada en la clasificación de los suelos de las distintas perforaciones (P1, P-2, P-3 y P-4)

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	SIMBOLO
Arcilla de alta plasticidad	CH
Arcilla de alta plasticidad con arena	(CH)s
Arcilla de alta plasticidad con grava	(CH)g
Arcilla de alta plasticidad arenosa	s(CH)
Arcilla de alta plasticidad arenosa con grava	S(CH)g
Arcilla de baja plasticidad	CL
Arcilla de baja plasticidad con arena	(CL)s
Arcilla de baja plasticidad con grava	(CL)g
Arcilla de baja plasticidad arenosa	s(CL)
Arcilla de baja plasticidad arenosa con grava	s(CL)g
Arcilla de baja plasticidad gravosa	g(CL)
Arcilla de baja plasticidad gravosa con arena	g(CL)s
Arcilla limosa	CL-ML
Limo con arena	(ML)s

Describiendo cada una de las muestras obtenidas en las perforaciones P-1, P-2, P-3 y P-4, cercanas al sondeo eléctrico vertical 5 (SEV-5), en la zona de estudio de Santa Elena de Uairén, y con sus respectivas clasificaciones y profundidades (tablas 7 a la 9 de ANEXOS), se tienen las siguientes tablas:

Tabla 5.2. Descripción litológica de los núcleos obtenidos en las pruebas de SPT perforación 1 (P-1), en la línea de SEV-5.

Muestra	Profundidad (m)	Litología	SUCS
M-0	(0.00 - 0.45)	Arcilla de color naranja con partículas aisladas de grava, compacta y desmoronable. Presenta puntos de otra arcilla de color rojo	CH
M-1	(0.55 - 1.00)	Arcilla de color naranja, compacta, presenta limo e impurezas (gravas)	CH
M-2	(1.55 - 2.00)	Arcilla color marrón, homogénea,	(CH)s
M-3	(2.55 - 3.00)	Arcilla de color naranja, con un contenido elevado de arcilla de color rojo, Y fragmentos de caolín	s(CH)g
M-4	(3.55 - 4.00)	Arcilla tipo colín con intrusiones de arcillas de color naranja en la cual se observan zonas de oxidación metálica.	CH
M-5	(4.55 - 5.00)	Arcilla tipo caolín de color gris, con presencia de arcilla color de naranja, la muestra esta compactada.	CH
M-6	(5.55 - 6.00)	Arcilla tipo caolín de color gris, húmeda y con algunas vetas de óxido.	CH
M-7	(6.55 - 7.00)	Arcilla tipo caolín, de color amarillento, con presencia de limo y una textura arenosa, desmoronable al tacto.	CH
M-8	(7.55 - 8.00)	Arcilla tipo caolín de color gris, con limo y partículas de textura arenosa.	CL
M-9	(8.55 - 9.00)	Arcilla tipo caolín de color gris, poco compacta y de textura arenosa.	CL
M-10	(9.55 - 10.00)	Arcilla tipo caolín de color blanco a gris, compacta con una textura mas uniforme y menos arenosa. Limo.	CL
M-11	(10.55 - 11.00)	Arcilla tipo caolín de color blanco a gris, compacta con una textura arenosa. Presencia de limo.	CL
M-12	(11.55-12.00)	Arcilla tipo caolín con arcilla de color amarillo a marrón, dispuestas en forma de capas paralelas entre si.	CL
M-13	(12.55-13.00)	Arcilla tipo caolín de color gris, con un contenido sustancial de limo. La textura es arenosa, veta de saprolización, transversal.	CL

M-14	(13.55-14.00)	Limo de baja plasticidad con arena. Se detallan vetas de saprolización.	(ML)s
M-15	(14.55-15.00)	Arcilla de color naranja, uniforme y compacta, arenosa al tacto y con presencia de limo.	CH
M-16	(15.55-16.00)	Arcilla de color naranja, con arcilla de color roja, vetas de caolín y zonas de saprolización.	CH
M-17	(16.55-17.00)	Arcilla tipo caolín de color gris a marrón, con vetas de color café, desmoronable y de textura arenosa.	CL
M-18	(17.55-18.00)	Arcilla tipo caolín de color blanco amarillento, con presencia de limo.	CL
M-19	(19.40-19.85)	Arcilla tipo caolín, seca y de textura arenosa, es compacta y se observa la presencia de limo y arcilla de color naranja. La muestra es compacta, desmoronable y arenosa, con algunas vetas de saprolización.	CL
M-20	(19.85-22.55)	Arcilla tipo caolín de color gris sucio, textura arenosa y vetas de saprolización	CL
M-21	25.68	Andesita muy meteorizada (podría ser dasta)	ROCA

Tabla 5.3. Descripción litológica de los núcleos obtenidos en las pruebas de SPT perforación 2 (P-2), en la línea de SEV-5.

Muestra	Profundidad (m)	Litología	SUCS
M-0	(0.00 - 0.45)	Arcilla de color rojo naranja compacta de alta plasticidad	CH
M-1	(0.55 - 1.00)	Arcilla de color naranja con vetas marrón claro, húmeda.	CH
M-2	(1.55 - 2.00)	Arcilla de color naranja compacta y húmeda de alta plasticidad	CH
M-3	(2.55 - 3.00)	Arcilla de color roja, de baja plasticidad arenosa con grava	s(CL)g
M-4	(3.55 - 4.00)	Arcilla color roja, de baja plasticidad con arena. Visualmente se observa contenido de limo y arcilla tipo caolín (50% a 60% visual)	(CL)s
M-5	(4.55 - 5.00)	Arcilla color roja de baja plástica con arena. 50% de arcilla tipo caolín, de forma independiente en el núcleo.	(CL)s
M-6	(5.55 - 6.00)	Arcilla color naranja en pequeña cantidad, con limo y arcilla tipo caolín (50% de la muestra), de forma independiente en el núcleo (transversalmente)	CL
M-7	(6.55 - 7.00)	Arcilla tipo caolín de baja plasticidad, de color amarillento, envuelto por una capa de arcilla (debido a la cuchara de perforación). Muestra impura con restos de material arcilloso en el interior (no es homogénea).	CL
M-8	(7.55 - 8.00)	Arcilla tipo caolín de baja plasticidad, arcilla color naranja, perfectamente intercalados horizontalmente.	CL
M-9	(8.55 - 9.00)	Arcilla color ocre, húmeda de baja plasticidad, se observa la presencia de limo y algún vestigio de arcilla tipo caolín.	CL
M-10	(9.55 - 10.00)	Arcilla limosa de color naranja claro, con presencia de arillas de color ocre a rojizo. Presenta poca plasticidad.	CL
M-11	(10.55 - 11.00)	Arcilla color naranja, de baja plasticidad	CL

Tabla 5.4. Descripción litológica de de los núcleos obtenidos en las pruebas de SPT P-3, en la línea de SEV-5.

Muestra	Profundidad (m)	Litología	SUCS
M-0	(0.00 - 0.45)	Arcilla color naranja de alta plasticidad, presenta degradación de colores (marrón), se observa la presencia de caolín en la zona arcillosa color naranja	CH
M-1	(0.55 - 1.00)	Arcilla color naranja, de alta plasticidad con arena	(CH)s
M-2	(1.55 - 2.00)	Arcilla color naranja, de alta plasticidad. Se observan manchas de color blanco muy pequeñas, posible limo o caolín.	CH
M-3	(2.55 - 3.00)	Muestra de caolín con arcillas color rojas y limo, perfectamente intrusionadas	CH
M-4	(3.55 - 4.00)	Arcilla color roja de alta plasticidad, con intrusiones de arcilla naranja, limo y c arcilla tipo caolín. Textura un poco arenosa.	CH
M-5	(4.55 - 5.00)	Arcilla tipo caolín de baja plasticidad, con intrusiones de arcillas en algunos puntos y en otros depositados en forma de capas horizontales.	CL
M-6	(5.55 - 6.00)	Arcilla tipo caolín de baja plasticidad, la arcilla esta en capas verticales (transversal al eje de revolución del núcleo) lo que indica un posible volcamiento de esa zona.	CL
M-7	(6.55 - 7.00)	Arcilla tipo caolín de baja plasticidad, de color gris, con vetas marrones en el interior del núcleo, los cuales son planos de fracturas o diaclasas. Posible saprolización.	CL
M-8	(7.55 - 8.00)	Arcilla color naranja	CH
M-9	(8.55 - 9.00)	Arcilla limosa decolor marrón con poca humedad, se observan granos blancos (posible caolín)	CL-ML
M-10	(9.55 - 10.00)	Arcilla arenosa de color naranja de baja plasticidad, limo y caolín, en forma de vetas, muy similar a la muestra M-7.	(CL)s
M-11	(10.55 - 11.00)	Arcilla arenosa de color marrón de baja plasticidad, con vetas de caolín, similar a la muestra anterior.	(CL)s

Tabla 5.5. Descripción litológica de de los núcleos obtenidos en las pruebas de SPT P-4, en la línea de SEV-5.

Muestra	Profundidad (m)	Litología	SUCS
M-0	(0.00 - 0.45)	Arcilla de color naranja claro, seca y contenido de limo.	CH
M-1	(0.55 - 1.00)	Arcilla de color naranja claro, en su interior se observan intrusiones de grava rodeados de arcilla roja. Existe presencia de arenas (al tacto)	CH
M-2	(1.55 - 2.00)	Arcilla de color naranja, muy seca y con alto contenido de grava y arena.	CH
M-3	(2.55 - 3.00)	Arcilla de color naranja, sobresaturada, plástica, homogénea.	CH
M-4	(3.55 - 4.00)	Arcilla naranja, con limo (color marrón). Se observan intercalaciones de arcilla roja. Textura granular al tacto.	CH
M-5	(4.55 - 5.00)	Arcilla tipo caolín de baja plasticidad y arcilla con tonalidades de naranja a roja. La muestra presenta humedad y plasticidad.	CL
M-6	(5.55 - 6.00)	Arcilla tipo caolín (blanco grisáceo) de baja plasticidad con partículas aisladas de arena. Se observan zonas arcillosas de color marrón naranja.	CL
M-7	(6.55 - 7.00)	Arcilla tipo caolín de baja plasticidad, de color gris, con intrusiones y vetas de arcilla naranja. Posible depositación ya que se observan líneas paralelas en una dirección.	CL
M-8	(7.55 - 8.00)	Arcilla tipo caolín de baja plasticidad con mezcla de arcilla color naranja a marrón claro y algo de limo.	CL
M-9	(8.55 - 9.00)	Arcilla tipo caolín de baja plasticidad con intrusiones de arcilla (posible descomposición de roca), dispuestas en capas paralelas.	CL

De las descripciones de cada uno de los núcleos se obtiene un perfil correlacionando el contenido del suelo según su profundidad, para luego realizar una comparación con el perfil eléctrico del SEV-5.

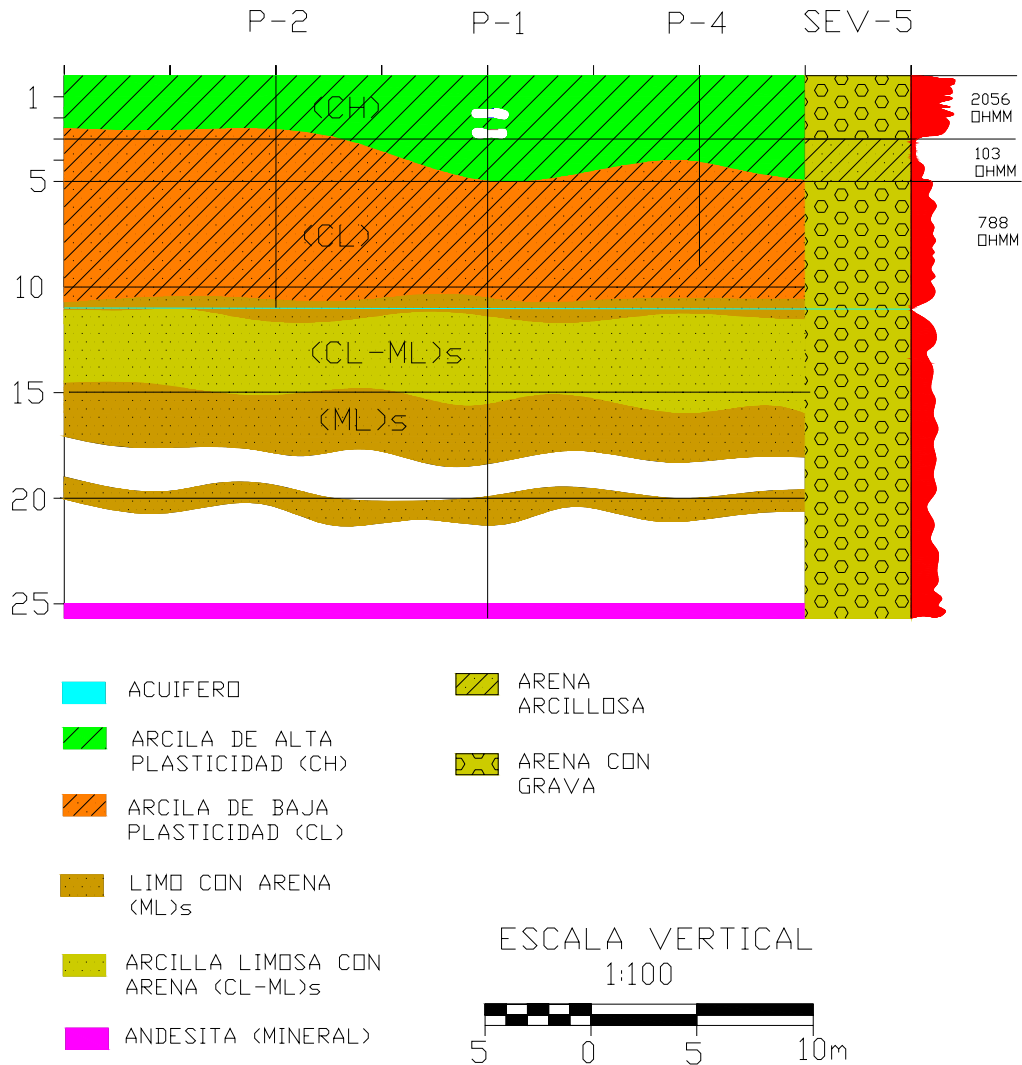


Figura 5.5 Litología, clasificación y espesor de capas para las perforaciones P-2, P-1 y P-4 de Santa Elena de Uairén con respecto a la interpretación geoelectrica y los valores de resistividad aparente.

Se observa en la figura 5.5, un comportamiento similar en cuanto a la litología de cada una de las perforaciones, teniéndose cuatro capas bien definidas.

Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4
3 a 4 metros	5 a 8 metros	1 a 3 metros	3 a 4 metros
Arcilla de alta plasticidad (CH)	Arcilla de baja plasticidad (CL)	Limo con arena (ML)s	Arcilla limosa con arena (CL-ML)s

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en las perforaciones y comparándolo con el sondeo eléctrico vertical 5 (SEV-5), se observan discrepancias en el contenido litológico; en cuanto al nivel freático el método eléctrico lo detectó sin problema, a diferencia de la perforación que no la percibió por que se uso la técnica de rotación, la cual requiere la inyección de agua al medio para una penetración eficiente en suelos de dureza considerable.

El nivel freático detectado en las mediciones eléctricas aparece aproximadamente en un rango de 10 a 16 metros de profundidad, coincidiendo con el observado en la perforación 1 (P-1) realizada en campo, que se encuentra a los 11 metros.

En cuanto al número de capas y espesores de las mismas detectadas por el método eléctrico es similar al obtenido en las perforaciones, tres estratos en general.

Comparando los resultados litológicos obtenidos en las perforaciones (tablas 5.1 a la 5.5), y las interpretaciones geofísica establecida según los señalamientos de Orellana (1982) se obtiene la tabla 5.6.

Tabla 5.6. Comparativa de los resultados obtenidos en campo y los interpretados por métodos eléctricos.

PROFUNDIDAD en metros	LITOLOGÍA ENCONTRADA (SUCS)	ρ_o (Ωm)	ORELLANA (1982) LITOLOGIA
0.00 – 0.45	CH	2056	Arenas secas y gravas
0.55 – 1.00	CH	2056	Arenas secas y gravas
1.55 – 2.00	(CH)s	2056	Arenas secas y gravas
2.55 – 3.00	s(CH)g	2056	Arenas secas y gravas
3.55 – 4.00	CH	143	Arenas poco arcillosas
4.55 – 5.00	CH	143	Arenas poco arcillosas
5.55 – 6.00	CH	143	Arenas poco arcillosas
6.55 – 7.00	CH	788	Arena gravosa
7.55 – 8.00	CL	788	Arena gravosa
8.55 – 9.00	CL	788	Arena gravosa
9.55 – 10.00	CL	788	Arena gravosa
10.55 – 11.00	CL	788	Arena gravosa
11.55 – 12.00	CL	788	Arena gravosa
12.55 – 13.00	CL	788	Arena gravosa
13.55 – 14.00	(ML)s	788	Arena gravosa
14.55 – 15.00	CH	788	Arena gravosa
15.55 – 16.00	CH	788	Arena gravosa
16.55 – 17.00	CL	788	Arena gravosa
17.55 – 18.00	CL	788	Arena gravosa
19.40 – 19.85	CL	788	Arena gravosa
19.85 – 22.55	CL	788	Arena gravosa
25.68	ROCA	788	Arena gravosa

Las muestras obtenidas de la perforación 1 (P-1) muestran características diferentes a las observadas en superficie. Los primeros dos metros aproximadamente, las muestras presentaban un color rojizo, completamente diferente a los núcleos

siguientes, cuyo color es marrón hasta los 14 metros de profundidad aproximadamente, figura 5.6.

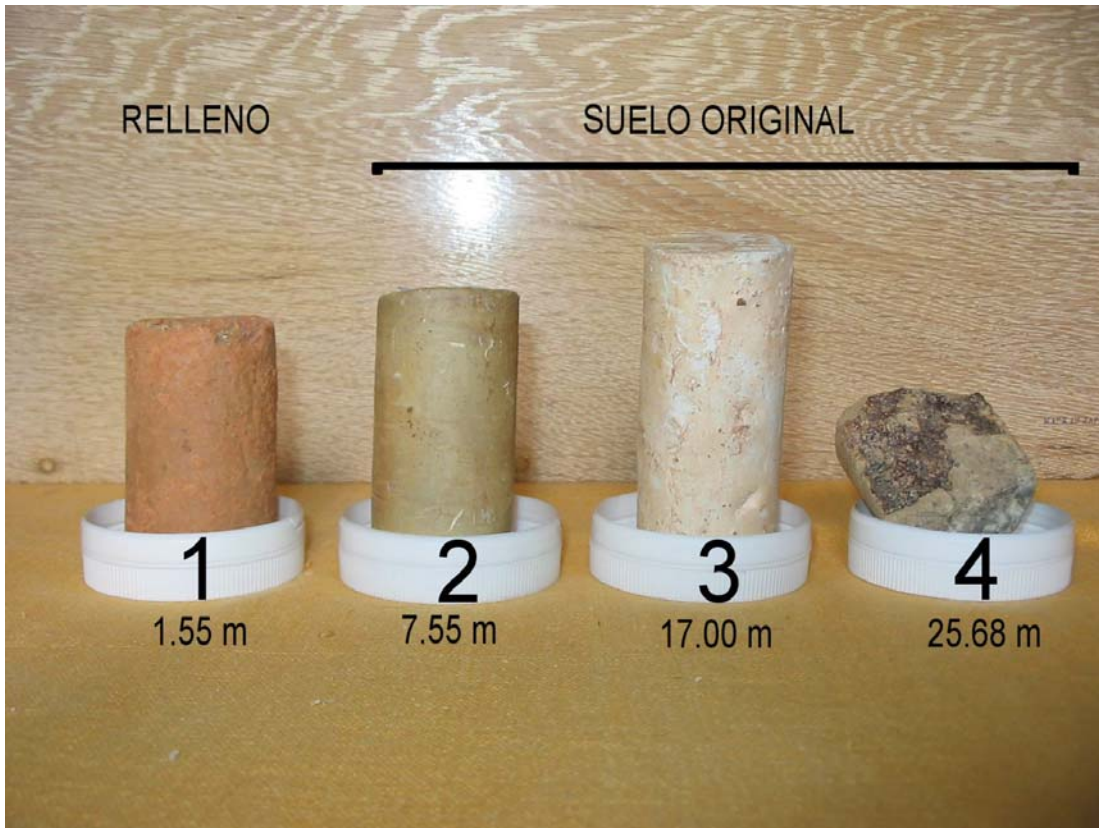


Figura 5.6 Visualización de los núcleos extraídos en la perforación P-1, paralela al SEV- 5, muestra 1 arcilla extraída a los 1.55 metros, muestra 2 arcilla extraída a los 7.55 metros, muestra 3 arcilla tipo caolín extraída a los 17 metros y la muestra 4 andesita extraída a los 25,68 metros de profundidad.

La arcilla tipo caolín se hizo presente a partir de los 4.55 metros de profundidad en las perforaciones P-2 y P-3, y no se encontró de manera uniforme a lo largo de las perforaciones, ya que se observan intercalaciones de arcilla y arcilla tipo caolín, las que aparecen hasta los 25.68 metros. A partir de esta profundidad se encontró andesita (roca).

5.1.2.1 Resultados de las resistividades medidas en los núcleos

Dada las discrepancias de los resultados obtenidos en las mediciones eléctricas con respecto a las perforaciones se realizaron mediciones de resistividades de los núcleos, con el fin de comprobar si presenta el mismo comportamiento.

Para tratar de dar los resultados más precisos en cuanto al comportamiento litológico de la zona, se procedió a realizar un estudio de resistividades de núcleos:

Tabla 5.7. Resistividad de los núcleos

Núcleo	Profundidad Muestra (m)	Resistividad Aparente
1	1.55 metros	1490.01 Ω m
2	7.55 metros	18272.52 Ω m.
3	17 metros	14315.19 Ω m.

Los valores obtenidos en las resistividades de los núcleos (tabla 5.7), son elevadas al igual que los resultados de campo, mas los resultados de las muestras 2 y 3 no son los mismos, debido a la geometría y tamaño del núcleo, así como también su contaminación por manipulación y pérdida de humedad.

5.1.2.2 Resultados de la fluorescencia de rayos X en los núcleos

Para el caso del estudio de fluorescencia de los núcleos de la zona de Sta Elena de Uairén, las muestras fueron analizadas mediante el equipo Philips Minipal PW 4025 con fuente de tubo de Rh, y cuyos resultados se muestran en porcentajes (tabla 5.8):

Tabla 5.8 FRX mayoritarios en % en muestras obtenidas en la perforación 1 (P-1)

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	TiO ₂
Núcleo 1	34.31	13.20	5.94	0.052	<1	0.039	2.90	0.88
Núcleo 2	47.64	26.69	4.12	0.027	<1	0.018	1.49	1.05
Núcleo 3	50.00	21.69	3.59	0.024	<1	0.039	2.90	0.88

Las muestras presentan un contenido bajo de óxido de hierro (hematina), a diferencia del óxido de aluminio y sílice que son elevados.

De los óxidos metálicos, el que se encuentra en mayor cantidad en todas las muestras es la bauxita (Al₂O₃) a causa de la presencia de caolín (Al₄[(OH)₈|Si₄O₁₀]), la presencia de sílice (SiO₂) es abundante en el núcleo 3, cuya composición es arcilla tipo caolín y su clasificación SUCS para la profundidad de recolección es de una arcilla de baja plasticidad (CH) y 56,99% de arena en la prueba pasa 200.

5.1.3 Análisis

Las resistividades aparentes, son elevadas para las arcillas observadas en la superficie del suelo. Estas respuestas discrepan de los resultados obtenidos en las perforaciones y buscando las posibles causas del comportamiento se realizaron múltiples pruebas.

Un suelo posee resistividad elevada, es porque en su composición puede tener:

1. Contenido elevado de sílice (resistividad del cuarzo es de 15000Ωm, Orellana 1982)
2. El porcentaje de óxidos metálicos en general, hematita (arcillas rojas), óxidos aluminio, etc., elevan la resistividad del medio.

3. El porcentaje de humedad del suelo. Tomando en cuenta que la resistividad de aguas dulces superficiales y de arroyo oscilan entre los $10\Omega\text{m}$ – $3000\Omega\text{m}$ (Orellana, 1982), se pudo originar el efecto pantalla (muestra de capa ficticia), característico de las arcillas

Analizando los resultados obtenidos en las múltiples pruebas y los factores que pueden alterar la resistividad se puede descartar muchos de las causas antes mencionadas:

1. El contenido de arena es muy escaso en los primeros metros, se observa un valor sustancial y estable a partir de los 14.55 metros de profundidad (tablas 5 de anexos), cuyos porcentajes aproximados están en el orden de 50%. El núcleo que se obtuvo a los 17 metros aproximadamente, en la perforación P-1, esta compuesto de caolinita, y su clasificación SUCS es de una arcilla de baja plasticidad (CH) y 56,99% de arena en la prueba pasa 200, en cuanto a su resistividad el valor obtenido fue de $14315.19\Omega\text{m}$.
2. El estudio de fluorescencia de rayos x para tres núcleos correspondiente a diferentes profundidades (Arcilla a 1.55m, Arcilla 2 a 7.55m y Arcilla tipo caolín a 17m) del pozo P-1, arrojan porcentajes de hematina pequeños, a diferencia del óxido de aluminio (los óxido actúan como dieléctricos, WHITTEN 1993), en los núcleos 2 y 3 es alto. El óxido de aluminio está presente en cantidad sustancial a partir de los 4 metros de profundidad, debido a la presencia de caolín ($\text{Al}_4[(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}]$). Es factible que aumente la resistividad del suelo, ya que en las perforaciones P-1, P-2, P-3 y P-4 se encontraron caolín a profundidades muy similares.
3. Conociendo la litología (a partir de cuatro perforaciones; P-1, P-2, P-3 y P-4). se observan cuatro estratos bien definidos, hasta una profundidad de 11 metros. El contenido de los estratos señalan una capa arcillosa de alta plasticidad, seguida de otra arcilla tipo caolín, y por último una capa

de arcilla antes de llegar al suelo meteorizado a 25.68 metros (andesita), litología que no se observo en el sondeo eléctrico vertical.

4. Teniendo en cuenta que el comportamiento físico de la corriente (Sears, 1988) busca irse por el medio mas conductivo (en este caso la arcilla), los valores de resistividad deberían ser bajos para el primer estrato, ya que la capa de caolín no permitiría el paso de corriente, por lo que la tercera capa que contiene arcilla es ciega al método (Orellana, 1982). Se pudo detectar tres estratos, debido al alto paso de corriente (amperaje del equipo diseñado), que rompe la barrera del dieléctrico natural (caolín), comportamiento similar a la del diodo Zener (Dorf, 1995).
5. El aumento de la resistividad en las arcillas por el alto contenido de agua desmineralizada (característica de la zona), es una opción viable ya que el porcentaje de humedad en las muestras obtenidas de los núcleos es elevada (estudio de humedad tablas 2 a 10 de ANEXOS).

Adicional a este sondeo se realizaron cuatro sondeos mas, tres de ellos en la zona de estudio de Santa Elena de Uairén y un tercero en Caracas para comprobar el buen funcionamiento del equipo.

La finalidad del sondeo eléctrico vertical 6, es probar el buen funcionamiento del equipo y verificar los valores obtenidos en el SEV-5.

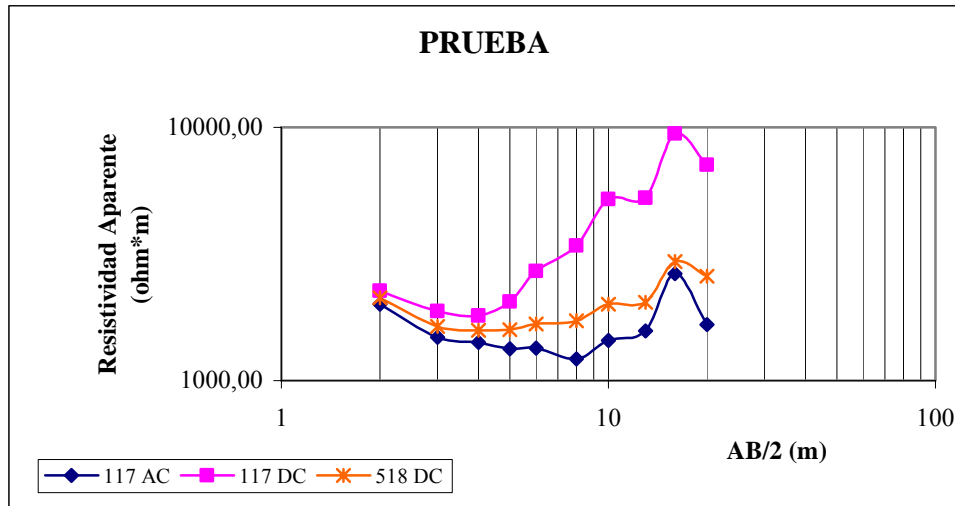
- .Sondeo eléctrico vertical 6 (SEV-6) Sondeos de verificación

En la zona de perforación de la perforación P-1, a 3 metros de distancia, se realizaron tres sondeos en una misma línea, mostrados en las tablas 11a, 11b y 11c de ANEXOS y representados en el gráfico 5.6.

El comportamiento es similar en los valores obtenidos de las mediciones con corriente alterna 117 V AC y 518 V DC, a diferencia del medido con 117 V DC. Este

fenómeno físico es debido al comportamiento característico del equipo ya que el filtro está diseñado para trabajar óptimamente con voltajes superiores a los 400 V DC.

Gráfico 5.6. SEV - 6



- Sondeo eléctrico vertical 7 (SEV-7)

Para el sondeo eléctrico vertical, correspondiente a la tabla 12 de ANEXOS y gráfico 5.7 (SEV - 7), la apertura máxima obtenida de AB/2 fue de 100 metros. Las mediciones mostraron una linealidad suave y una variación de la resistividad aparente del suelo se encuentran en el orden de los 1500 ohm metros.

Los valores mínimos de resistividad observados en el gráfico 5.7 para MN igual a 0.4 y 4 metros no son tomados en cuenta ya que la tendencia de MN 2 es diferente (Bhattacharya, 1968).

Realizando el estudio geofísico y analizando las curvas mediante el procedimiento de curvas preestablecidas (Orellana 1982), se observa que la curva es de tipo K, y se obtienen tres estratos bien definidos:

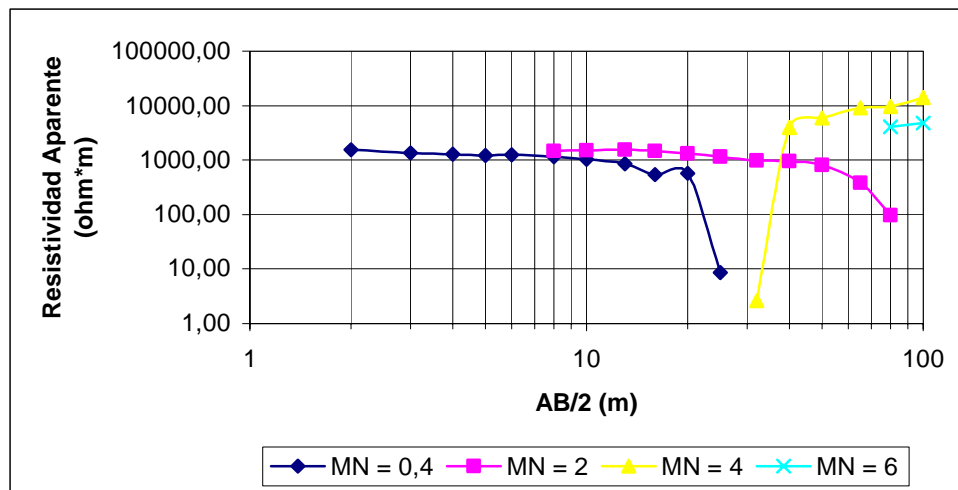
Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3
Espesor: 2.0 metros	Espesor: 4.0 metros	
ρ_o : 1538 Ωm	ρ_o : 769 Ωm	ρ_o : 2400 Ωm

Según la litología propuesta por las resistividades establecidas por Orellana (1982) se tiene que la litología es:

Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3
Arenas secas y gravas	Arenas gabrosas	Arenas secas y gravas

Esta línea eléctrica se realizó paralelamente a unos 200 metros al sur del sondeo eléctrico vertical 5. Es preciso mencionar que el comportamiento del suelo es uniforme, lo cual se refuerza con los núcleos obtenidos para estudio de la zona, provenientes de otras perforaciones cercanas P-5 y P-6.

Gráfico 5.7. SEV - 7



A lo largo del sondeo eléctrico vertical 7 (SEV-7) se hicieron dos perforaciones, con profundidades variables, de 0 a 6 metros (figura 5.7).



Figura 5.7. Perforación P-5, observada desde el punto de medición del sondeo eléctrico vertical 7 (SEV-7)

Es necesario describir cada una de las muestras obtenidas en las perforaciones, con la finalidad de obtener un perfil del suelo, para compararlo con los resultados obtenidos en el sondeo eléctrico vertical, con la finalidad de correlacionar ambas repuestas.

Analizando el contenido litológico de las muestras y obteniendo su clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), de la tabla 13 de ANEXOS, para correlacionarlo con los datos de pozo P-1, P-2, P-3 y P-4 y así determinar un comportamiento uniforme del suelo se tienen las siguientes tablas:

Tabla 5.9. Descripción litológica de de los núcleos obtenidos en las pruebas de SPT P-5, en la línea de SEV-7.

Muestra	Profundidad (m)	Litología	SUCS
M-0	(0.00 - 0.45)	Material compuesto de grava y arena, no uniforme y de color marrón. Muestra húmeda al tacto.	GW
M-1	(0.55 - 1.00)	Muestra con granos arcillosos de color rojo, naranja, arena y grava. Húmedo al tacto.	(CH)s
M-2	(1.55 - 2.00)	Arcilla seca de color marrón claro, de alta plasticidad, con intrusiones de arcilla mas clara (marrón).	CH
M-3	(2.55 - 3.00)	Arcilla de color naranja, de alta plasticidad. No se detallan impurezas en la zona externa.	CH
M-4	(3.55 - 4.00)	Arcilla tipo caolín (blanco sucio), limo y arcilla naranja a roja. Se siente la presencia de granos en la muestra. El núcleo tiene poca humedad.	CL
M-5	(4.55 - 5.00)	Arcilla naranja, se percibe humedad, la muestra esta rodeada de caolín y presenta granulometría variada.	CL
M-6	(5.55 - 6.00)	Características similares a la muestra M-5, la única diferencia es el color del caolín, blanco mas puro.	CH

Se puede observar cuatro estratos bien definidos y con su litología:

Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4
0 a 1m	1.55 a 3m	3.55 a 4 m	4.55 a 6 m.
Grava y arena	Arcilla de alta plasticidad (CH)	Arcilla tipo caolín	Arcilla

Tabla 5.10. Descripción litológica de de los núcleos obtenidos en las pruebas de SPT P-6, en la línea de SEV-7.

Muestra	Profundidad (m)	Litología	SUCS
M-0	(0.00 - 0.45)	Grava de diferente tamaño, húmeda de color rojo a marrón oscuro.	GW
M-1	(0.55 - 1.00)	Granos de color ocre, se percibe humedad.	GW
M-2	(1.55 - 2.00)	Arcilla tipo caolín, limo y arcilla naranja. El caolín es de color blanco amarillento y se encuentra en los extremos en forma de intrusión. Muestra poco arenosa.	CL
M-3	(2.55 - 3.00)	Arcilla tipo caolín, limo y arcilla naranja, la cual se encuentra en vetas sobre el caolín. Se detalla intrusiones de limo y arcillas rojas. Es arenoso y desmoronable al tacto.	CL
M-4	(3.55 - 4.00)	Arcilla color naranja, con caolín en vetas e intrucionado. Se observa una saprolización y los planos de corte tienen 45° aprox.	CH
M-5	(4.55 - 5.00)	Arcillas de color naranjas a rojas, con caolín dispuestos en forma de “augengneis”	CH
M-6	(5.55 - 6.00)	Arcilla color naranja con puntos blancos (caolín) y rojos. La muestra es arenosa al tacto, con presencia de limo (blanco grisáceo) con partículas aisladas de arena. Se observan zonas arcillosas de color marrón naranja.	CH

Se puede observar tres estratos bien definidos y con su litología:

Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3
0 a 1m	1.55 a 3 m	3.55 a 6 m.
Grava y arena	Arcilla tipo caolín	Arcilla

De las descripciones de cada uno de los núcleos se obtiene un perfil correlacionando cada una de las perforaciones (tablas 5.9 y 5.10) y el contenido del suelo según su profundidad, para luego realizar una comparación con el perfil eléctrico del SEV-7.

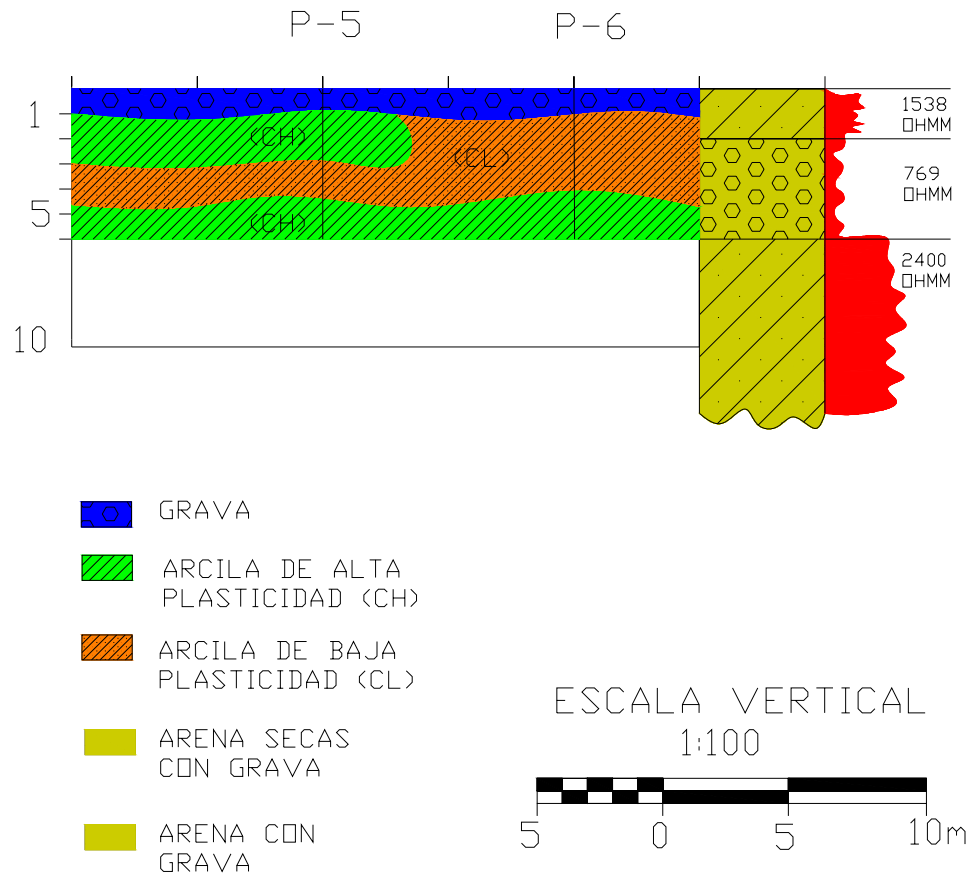


Figura 5.8 Litología y espesor de capas para las perforaciones P-5 y P-6 de Santa Elena de Uairén.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en el análisis litológico del suelo y comparándolo con el sondeo eléctrico vertical, se tiene el perfil de la figura 5.8, en

el cual se observa un comportamiento similar en cuanto a la litología de cada una de las perforaciones, teniéndose tres capas bien definidas:

Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3
0 a 1 metros	1 a 4 metros	4 a 6 metros
Grava	Arcilla y arcilla tipo caolín	Arcilla

Cabe mencionar que las perforaciones y obtención de los núcleos se realizaron sobre una plataforma llena de grava, la cual es depositada artificialmente.

A pesar de ser perforaciones de poca profundidad, se obtiene una secuencia y comportamiento del suelo.

Tomando en cuenta la cantidad de estratos y los espesores, el método de prospección geoelectrica coincide con la cantidad de capas obtenidas en el estudio de suelo realizado.

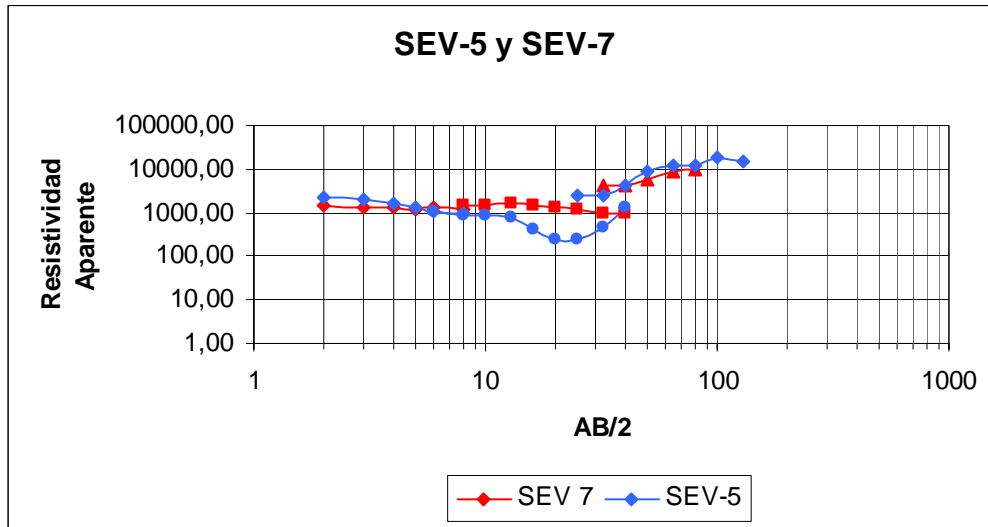
Correlacionando los resultados de las perforaciones P-5 y P6, con respecto al sondeo eléctrico vertical 7 (SEV-7), se tiene:

ESTRATOS	ESPEORES PRODUCTO SPT	ESPEORES PRODUCTO SEV	DIFERENCIA DE ESPEORES
Estrato 1	1	2	1
Estrato 2	4	4	0
Estrato 3	2	∞	∞

Los métodos de prospección geoelectrica tienen un rango de apreciación durante el cálculo de los espesores de cada capa, teniendo un margen de error del 5% aproximadamente, (Bhattacharya, 1968) debido a la percepción visual y deformación de las curvas preestablecidas.

Graficando SEV-5 y SEV-7 para observar si presenta un comportamiento similar en cuanto a resistividad y forma, se tiene:

Gráfico 5.7b. Comparación de SEV-5 y SEV-7



Se observa un comportamiento muy similar en cuanto a los valores de resistividad y tendencia de la gráfica.

Los porcentajes de humedad son elevados en todas las perforaciones, encontrándose un aproximado de 24% (valor promedio tablas Anexos suministradas po Ingenieros De Santis C.A.)

- Sondeo eléctrico vertical 8 (SEV-8)

Para el sondeo eléctrico vertical correspondiente a la tabla 14 de ANEXOS y gráfico 5.8 (SEV - 8) la apertura máxima obtenida de AB/2 fue de 32 metros. Las mediciones mostraron una linealidad suave a excepción del punto que corresponde a AB/2 = 8, por el cual pasa una tubería con cableado como se muestra en la figura

5.9. Las variaciones de la resistividad aparente del suelo son del orden de los 1200 ohm metros, que va acorde con los sondeos anteriores.

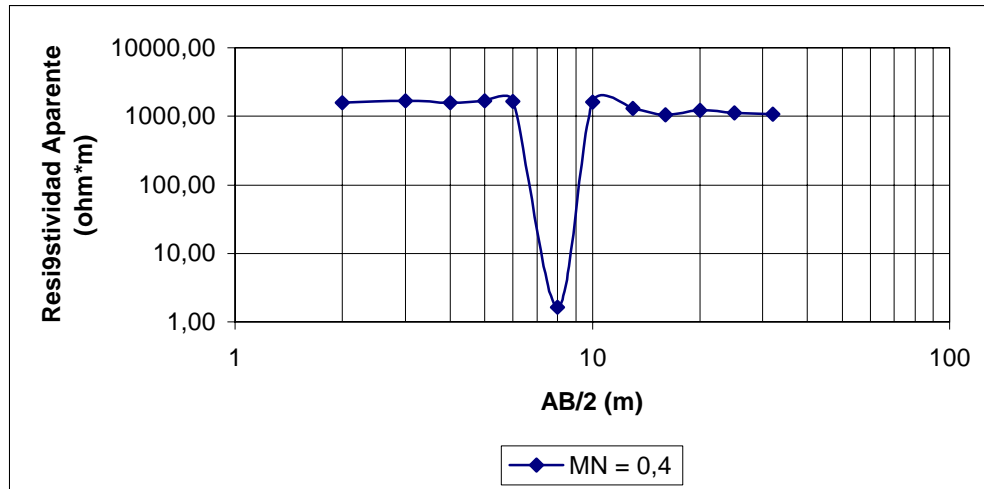


Figura 5.9. Visualización del cableado en el SEV-8 para AB/2 8m

No se realizó la interpretación gráfica porque se observa una linealidad en el comportamiento de las resistividades, y solamente se utilizó el método para verificar el comportamiento del equipo y de la medición para detectar tuberías, que como se observa en la gráfica 5.8 coinciden con exactitud, pues se conocía exactamente la ubicación del paso de la tubería.

No se realizó perforación a lo largo del tendido eléctrico 8 (SEV-8).

Gráfico 5.8. SEV - 8



5.2 Resultados de la calibración con el equipo GEOSCA

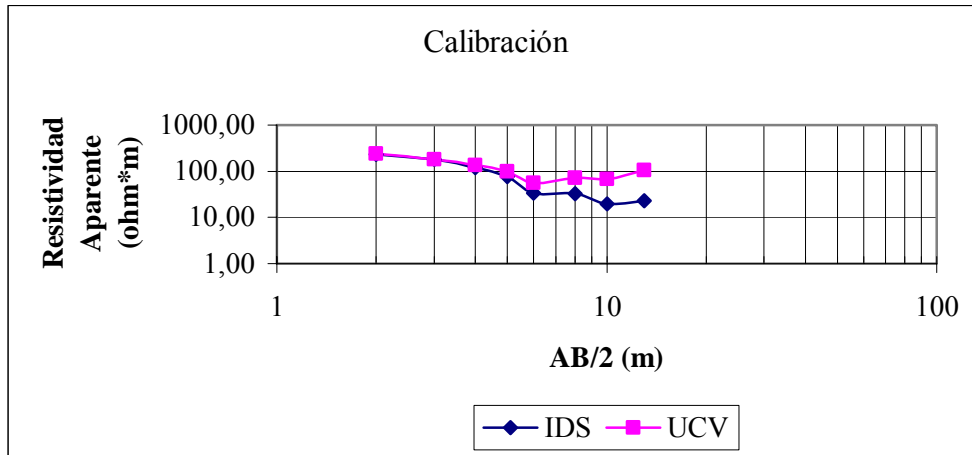
Al realizar las mediciones del equipo diseñado y el perteneciente a la Universidad Central de Venezuela, se obtuvieron valores muy parecidos del comportamiento del suelo.

Los valores de resistividades aparentes de un equipo respecto al otro (Gráfico 5.9), varían en el rango de 4 hasta 84 Ω m.

Se observa una diferencia notable, causada por las características de inducir corriente (Orellana, 1982) de cada equipo, siendo el diseñado superior ya que posee mayor facilidad de suministrar más amperaje en el subsuelo, lo que se traduce en una mejor resolución (Orellana, 1982).

Las tablas 15a y 15b del ANEXO y la gráfica 5.9, muestran los resultados obtenidos con el dispositivo Schlumberger para los dos equipos de medición:

Gráfico 5.9. SEV -9



Después de haber finalizado todos los estudios exigidos para este proyecto, y haber culminado los trabajos de campo, se concluye lo siguiente:

- Los resultados teóricos obtenidos en el desarrollo del equipo presentan una variación aceptable con respecto a las mediciones prácticas.
- El diseño del equipo es un filtro propuesto, y se aplicó de manera que se obtuvieran altas tensiones para tener una ganancia de corriente y voltaje, lo que se traduce en una entrada de 110 V AC y una salida nominal de 400 V DC teórica, valores que se llevaron a una salida de 600 V DC y 1KVA de potencia, lo que significa una gran ventaja al momento de realizar las mediciones de tendidos largos.
- Al realizar las mediciones y comparar la interpretación geoelectrica, en la zona de Puerto Píritu con los resultados obtenidos del SPT se pudo observar que son similares en cuanto a litología y espesor de capas, teniendo un error de precisión muy pequeño para la zona.
- Las mediciones realizadas con el equipo en Santa Elena de Uairén, presentan discrepancias con respecto a la clasificación de las muestras hechas por el método de SPT, ya que las mismas son de composición arcillosa con alta humedad, y la clasificación de la interpretación geoelectrica sugiere la presencia de arenas secas acompañadas de gravas, sin embargo, estos resultados pueden ser explicados por:
 1. Contenido alto de humedad, en las arcillas y tomando en cuenta que el agua posee muy bajo contenido mineral (similar al agua de batería), el medio puede presentar una resistividad aparente alta. Según la clasificación de resistividades estudiadas por Orellana (1982), para aguas dulces superficiales y de arroyo que oscilan entre los $10\Omega\text{m}$ – $3000\Omega\text{m}$, es loable pensar el efecto del agua desionizada (desmineralizada), que se encuentra en un rango de 1 a

100000 para agua pura y de 100000 a 180000 ohmm para aguas ultrapuras (Lenntech Agua residual & purificación del aire Holding B.V, 2004)

2. El contenido aceptable de óxidos de aluminio (proveniente del caolín), puede haber generado alteraciones en las mediciones ya que la bauxita actúa como dieléctrico (WHITTEN, 1993).
 3. El caolín, esta conformado molecularmente por enlaces de Van der Waals, cuyas propiedades físicas son aislantes (dieléctrico) por su fácil separación molecular, tanto para estados sólidos como líquidos, a diferencia del enlace metálico (Cornelis, 1998). La caolinita se utiliza para la fabricación de implementos cerámicos, utilizados en la industria eléctrica como aislante eléctrico y térmico.
- Las mediciones con corriente alterna y mediciones con corriente continua para tendidos cortos de $AB/2$, son equivalentes, y dan como respuesta en la zona de Santa Elena de Uairén resistividades altas, que concuerdan con los valores de las mediciones de los tendidos largos realizados con el rectificador de onda.
 - Los estudios de resistividades de núcleo realizados en el laboratorio del Departamento de Geofísica, para la zona de Santa Elena de Uairén, pertenecientes a una misma perforación, presentan valores altos de resistividad, al igual que en campo.
 - Las posibles causas de resistividades altas en la zona de Santa Elena de Uairén, donde se realizó el SPT P-1 se pueden atribuir a diferentes factores, como son:
 1. La zona de estudio es depositacional, lo que trae como consecuencia un contenido elevado de arena, como lo indica la geología regional de la zona.
 2. Contenido alto de humedad, en las arcillas y tomando en cuenta que el agua posee muy bajo contenido mineral (similar al agua de batería), el medio puede presentar una resistividad aparente alta.

3. Tras un análisis de fluorescencia de rayos X, los porcentajes obtenidos de óxido de aluminio (perteneciente al caolín; aislante natural utilizado para hacer piezas de cerámica y porcelana), valores que influyen notablemente en las características físicas del suelo, de igual manera se observan índices de hematinas muy pequeños para poder afectar el comportamiento del suelo.
 4. El suelo está clasificado en la capa superior como arcilla de alta plasticidad (CH), y concuerda las características físicas del medio y con el contenido de agua desmineralizada. Debajo se encuentra una arcilla de baja plasticidad (CL) y arcillas arenosas de baja plasticidad s(CL), profundidad en la cual aparece el caolín; aproximadamente 5 metros. La arcilla limosa se denota como CL-ML a una profundidad de 8,55 a 9 metros, para concluir con otro estrato de arcilla plástica (CH). Cabe mencionar que las arcillas contienen partículas de agua, y en la zona de estudio el contenido mineral es escaso, motivos suficientes para aumentar la resistividad del medio.
- Debido al comportamiento anómalo de las arcillas presentes en la zona de estudio del Edo. Bolívar, es recomendable complementar la información de los sondeos eléctricos verticales con datos de perforaciones.
 - Se detectó un nivel freático en las mediciones eléctricas SEV-5, y aparece en un rango de 10 a 16 metros de profundidad aproximadamente, coincidiendo con el observado en la perforación 1 (P-1) realizada en campo, que se encuentra a los 11 metros.
 - La perforación P-1 detectó 3 estratos, coincidiendo con los obtenidos en el sondeo eléctrico vertical 5 (SEV-5), en cuanto a los espesores, la primera capa de las perforaciones es de 3m igual al obtenido en la interpretación del sondeo eléctrico vertical. El espesor de la segunda tiene una diferencia de 1.05m aproximadamente.
 - Para el SEV-7, el espesor de la primera capa es de 1 metro, teniendo tanto para la perforación 1 (P-1) como para el sondeo eléctrico vertical, para la segunda capa no se observan diferencias.

- La medición usando el dispositivo Schlumberger, con el equipo GEOSCA y el diseñado, en los jardines de la UCV, arrojaron un comportamiento muy similar en los valores de resistividades. Adicionalmente el equipo diseñado, al tener una mayor potencia (capacidad de corriente), ofrece una mejor resolución que se traduce en una detección más pronta y precisa de la profundidad de las capas del subsuelo.

- ASTIER, J. (1975). **Geofísica Aplicada a la Hidrogeología**. España, Editorial Paraninfo. 344 p.
- ALTET, J. (1976). **Técnicas Analógicas**. Caracas, Instituto Universitario de Tecnología. 74 p.
- ALVIN, K. (1980). **Electrical Power Systems Engineering**. México, McGraw-Hill. 249 p.
- AutoCAD, 2000. (1999). U. S. and Internacional Copyringht Laws. Autodesk. Inc. (programa).
- BAEZ, D. (1997) **Análisis de Circuitos SPICE**. México, Ediciones Omega. 1232 p.
- BHATTACHARYA, P. **Cirect Current Goelectric Sounding**. Netherlands, Elsevier Publishing Company. 135p.
- BOYLESTAD (1998) **Análisis Introductorio a la Electrónica**. México, Editorial Trillas. 860 p.
- BOYLESTAD (1998) **Análisis Introductorio de Circuitos**. México, Editorial Trillas. 720 p.
- CANTOS, J. (1974) **Tratado de Geofísica Aplicada**. España, 519 p.
- CORNELIS, K., CONELIUS,S., HURLBUT. (1998) **Manual de Mineralogía**. México, Editorial Reverté, Cuarta Edición, 679p.
- C.V.G. Técnica Minera C.A. & US GEOLOGICAL SURVEY (1993) **Geology and Mineral Resource Assessment of the Venezuelan Guayana Shield**. Bulletin 2062. United Stated Government. Printing office Washington.
- DAS, B. (2001) **Fundamentos de Ingeniería Geotécnica**. México, Thomson Learning., 594 p.

- DOBRIN, B. (1961) **Introducción a la Prospección Geofísica**. España, Ediciones Omega, 526 p.
- DOBRÍN, M. 1988. **Tratado de Geofísica Aplicada**. Ed. Litoprint. Madrid, España. P. 650.
- DORF (1999) **Circuitos Eléctricos: Introducción al Análisis de Diseño**. México, Ediciones Omega., Segunda Edición, 1124 p.
- ENCICLOPEDIA MICROSOFT ENCARTA 2002. © 1993-2001 Microsoft Corporation [Consulta: 2004, abril].
- FARMER, I.W. (1968). **Engineering properties of rocks**. London. Ediciones Butler & Tanner. 180 p.
- GIBBS A. K., BARRON C. N. (1993). **The geology of the Guiana Shield**. Oxford University Press. New York, USA.
- GONZÁLEZ DE JUANA, C., ITURRALDE J. y PICARD X. (1980) **Geología de Venezuela y sus cuencas petrolíferas**. Ed. FONINVES, Caracas; vol. 1: 407 pp. y vol. 2: 624 pp.
- GRIM, R.E. (1953). **Clay Mineralogy**. McGraw Hill, New York.
- GUEGUEN, Y., PALCIAUSKAS, V. (1994). **Introduction to the physics of rocks**. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- MARTÍN B. C. (1974) **Paleotectónica del Escudo de Guayana**. Conferencia Geológica Inter.-Guayanas IX, ciudad Guayana Venezuela, Mayo 1972, Memoria Bol. Geol. Caracas, Páb. Esp 6: 251-305.
- MAVKO, G., MUKERJI, T., DVORKIN, J. (1998). **The rock physics handbook**. Cambridge University Press.
- MENDOZA, V. (1977) **Evolución Tectónica del Escudo de Guayana**. Congreso Latinoamericano de Geología II, Caracas, Noviembre 1973, Memoria Bol. Geol. Caracas, Páb. Esp 7, III: 2237-2270.

- MENÉNDEZ V. (1968) **Revisión de la Estratigrafía de la Provincia de Pastora según el estudio de la Región de Guasipati, Guayana Venezolana.** Bol. Geolo., Caracas, 9 (19): 309 – 338.
- MENÉNDEZ V. (1972) **Geología de la Región de Guasipati, Guayana Venezolana.** Congreso Geológico Venez. IV Caracas Noviembre 1969, Memoria Bol. Geol. Caracas, Púb. Esp 5, IV:2001-2046.
- MOONEY, H. (1977). **Handbook of engineering geophysics.** Bison Instruments, Inc.
- ORELLANA, E. (1982). **Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua.** España, Editorial Paraninfo, 578 p.
- ROEPER (1970). **Las corrientes de cortocircuito en las redes.** España, Editorial Dossat, 104 p.
- SÁNCHEZ, F. (1987). **Prospección hidrogeológica en rocas ígneas y metamórficas mediante Sondeos Eléctricos Verticales. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos, XI: 557-566.** Dpto Geología Universidad Salamanca. España
- SEARS (1988). **Física Universitaria.** México, Addison-Wesley Iberoamericana, Sexta Edición, 1110 p.
- SILVER, E., J. CASE, y H. MACGILLAVRY, (1975). **Geophysical study of the Venezuela bordeland.** Geol. Soc. Am. Bull.; 86: pp 213-226.
- SIMONES, (1995). **Electrónica Analógica.** Unidad Profesional de Enseñanza Tecnológica. Caracas Venezuela, 200p.
- STRAUSS, L. (1975) **Wave Generation and shaping.** México, McGraw-Hill Second Edition. 775 p.
- TERZAGHI, K. y PECK, R. B. (1986). **Mecánica de suelos en la ingeniería práctica.** Buenos Aires, Argentina, Editorial El Ateneo. 564 p.

- TOLKIEM (1995). **Principios Digitales**. México, Serie Shaum Segunda Edición 382 p.
- VAN DE PUTTE W. (1972). **Contribution to the Stratigraphy and structure of the Roraima formation, State Bolívar Venezuela**. MEM. Conferencia Interguayanás. Editorial Sucre. Publicación Especial N° 6. p. 372-394.
- VAN VALKENBURG (1996). **Análisis de Redes**. México, Limusa Noriega Editores, 636 p.
- WHITTEN, K., GAILEY, K., DAVIS R. (1993). **Química General**. México, McGraw Hill Tercera Edición. 884 p.
- YÁNEZ GALO (1985) **Geología y Geomorfología del Grupo Roraima en el sureste de Venezuela**. Congreso Geológico Venezolano, 6th. Caracas, Memoria v. 2, p. 1243-1306.

Tabla 1. SEV – 1 Puerto Píritu, Edo. Anzoátegui.

Fecha: 06 / 09 / 2004

Lugar: Edo. Anzoategui

Rumbo: NS

OBS	AB/2	MN (m)		I(mA)		V(mV)		R _o (Ωm)	
1	2	0,4		3840,00		273,70		2,22	
2	3	0,4		3970,00		179,40		3,18	
3	4	0,4		3810,00		111,60		3,67	
4	5	0,4	2	3920,00	4030,00	92,90	348,50	4,65	3,26
5	6	0,4	2	4010,00	4270,00	83,40	2928,00	5,87	37,70

Tabla 2. SEV – 2 Puerto Píritu, Edo. Anzoátegui

Fecha: 09 / 09 / 2004

Lugar: Edo. Anzoategui

Rumbo: EW

OBS	AB/2	MN (m)		I(mA)		V(mV)		R _o (Ωm)	
1	2	0,4		2273,00		782,00		8,71	
2	3	0,4		3245,00		511,00		25,33	
3	4	0,4		1154,00		100,00		25,07	
4	5	0,4		2366,00		119,00		33,33	
5	6	0,4		1965,00	2004,00	76,00	284,00	45,19	
6	8	0,4		477,00	455,00	95,00	359,00	55,26	
7	10	0,4	2	2734,00	2920,00	38,00	154,00	10,91	8,20
8	13	0,4	2	515,00	522,00	89,00	184,00	229,33	93,02
9	16	0,4	2	2930,00	2745,00	51,00	78,00	34,99	11,38
10	20	0,4	2	57,00	609,00	7,00	103,00	385,77	106,00

Tabla 3. SEV – 3 Puerto Píritu, Edo. Anzoátegui

Fecha: 09 / 09 / 2004

Lugar: Edo. Anzoategui

Rumbo: EW

OBS	AB/2	MN (m)			I(mA)			V(mV)			R _o (Ωm)		
1	2	0,4			0,44			0,78			55,28		
2	3	0,4			0,46			0,40			60,58		
3	4	0,4			0,40			0,21			66,12		
4	5	0,4	2		0,40	0,41		0,15	0,65		71,06		
5	6	0,4	2		0,33	0,32		0,08	0,38		66,76	64,60	
6	8	0,4	2		0,22	0,22		0,04	0,15		84,48	67,47	
7	10	0,4	2		0,21	0,21		0,03	0,09		104,68	69,61	
8	13	0,4	2		0,31	0,31		0,03	0,08		145,54	71,51	
9	16	0,4	2		0,26	0,26		0,03	0,04		193,30	64,70	
10	20	0,4	2		0,29	0,29		0,03	0,04		281,63	77,80	
11	25		2	4		0,42	42,00		0,04	0,06		81,68	0,67
12	32		2	4		0,38	59,00		0,03	0,04		126,86	0,50
13	40		2	4		0,29	49,00		0,02	0,03		199,20	0,64
14	50		2	4		0,36	33,00		0,02	0,02		250,79	1,43

Tabla 4. SEV – 4 Puerto Píritu, Edo. Anzoátegui

Fecha: 09 / 09 / 2004

Lugar: Edo. Anzoategui

Rumbo: NS

OBS	AB/2	MN (m)			I(mA)			V(mV)			V/I (Ω)			R _o (Ωm)		
1	2	0,4			9,99			0,06			0,28			8,71		
2	3	0,4			9,61			0,08			0,36			25,33		
3	4	0,4			9,62			0,06			0,20			25,07		
4	5	0,4			10,30			0,06			0,17			33,33		
5	6	0,4			12,06			0,08			0,16			45,19		
6	8	0,4			9,87			0,08			0,11			55,26		
7	10	0,4	2		0,64	10,00		0,07	0,23	0,10	0,02			82,19	3,53	
8	13	0,4	2		9,82	9,82		0,07	0,13	0,01	0,01			10,00	3,57	
9	16	0,4	2		13,40	9,80		0,08	0,02	0,01	0,00			12,15	0,61	
10	20	0,4	2		9,90	9,83		0,06	0,61	0,01	0,06			19,67	38,89	

Tabla 5.- Caracterización geotécnica de los suelos de las perforaciones 1 - 5, en el Edo. Anzoátegui

Perforación 1

Prof. (m)	Intervalo	Litología	Composición			Humedad (%)	Compacidad o Consistencia
			Grava %	Arena %	Finos %		
0	0,00-0,45	s(CL)	0,00	38,94	61,06	7,78	Dura
1	0,55-1,00	s(CL)	0,43	47,47	52,10	5,24	Rígida
2	1,55-2,00	s(CL)	0,00	37,86	62,40	8,01	Rígida
3	2,55-3,00	s(CL)	0,00	38,68	61,32	4,56	Rígida
4	3,55-4,00	(CL)s	0,00	23,37	76,63	6,44	Rígida
5	4,55-5,00	(CL)s	0,23	26,18	73,59	5,89	Rígida
6	5,55-6,00	(CL)s	0,00	19,62	80,83	8,23	Dura
7	6,55-7,00	CL	0,00	8,51	91,49	15,94	Rígida

Perforación 2

Prof.	Intervalo	Litología	Composición			Humedad (%w)	Compacidad o Consistencia
			Grava %	Arena %	Finos %		
0	0,00-0,45	CL	0,00	11,28	88,72	11,78	Semidura
1	0,55-1,00	s(CL)	0,00	37,57	62,43	9,36	Rígida
2	1,55-2,00	(CL)s	0,00	26,72	73,28	9,41	Rígida
3	2,55-2,98	(CL)s	0,00	19,41	80,59	6,25	Rígida
4	3,55-3,97	CL	0,63	8,42	90,95	6,52	Rígida
5	4,55-4,90	(CL)s	2,35	15,99	81,66	9,64	Rígida
6	5,55-5,95	CL	0,00	12,23	87,77	9,93	Rígida
7	6,55-6,90	CL	0,00	5,45	94,55	15,65	Rígida

Perforación 3

Prof. (m)	Intervalo	Litología	Composición			Humedad (%)	Compacidad o Consistencia
			Grava %	Arena %	Finos %		
0	0,00-0,45	s(CL)	0,31	29,58	70,11	7,85	Dura
1	0,55-1,00	s(CL)	0,00	33,21	66,79	6,18	Rígida
2	1,55-2,00	CL	0,00	4,01	95,99	17,73	Rígida
3	2,55-3,00	s(CL)	0,00	35,81	64,19	9,31	Rígida
4	3,55-4,00	CL	1,21	4,52	94,27	14,08	Rígida
5	4,55-5,00	s(CL)	0,00	31,19	68,81	6,98	Dura
6	5,55-6,00	CL	0,00	10,24	89,79	8,18	Rígida
7	6,55-7,00	CL	0,00	14,36	85,64	9,83	Rígida

Perforación 4

Prof. (m)	Intervalo	Litología	Composición			Humedad (%)	Compacidad o Consistencia
			Grava %	Arena %	Finos %		
0	0,00-0,45	s(CL)	0,37	42,75	56,88	6,20	Rígida
1	0,55-1,00	s(CL)	0,00	41,87	58,13	5,49	Rígida
2A	1,55-1,90	s(CL)	0,00	42,51	57,49	9,65	Rígida
2B	1,90-2,00	s(CL)	0,00	49,51	50,49	7,60	Rígida
3	2,55-3,00	SC	0,00	72,47	27,53	5,04	Media
4	3,55-4,00	SC	0,00	63,81	36,19	5,66	Media
5	4,55-5,00	SC	0,00	55,00	45,00	6,59	Media
6	5,55-6,00	SC	0,00	45,07	54,93	8,59	Media
7	6,55-7,00	SC	0,00	68,61	31,39	5,54	Media
8	7,55-8,00	s(CL)	0,00	37,87	62,13	11,47	Semidura
9	8,55-9,00	(SC)s	23,42	63,53	13,05	4,63	Muy densa

Perforación 5							
Prof. (m)	Intervalo	Litología	Composición			Humedad (%)	Compacidad o Consistencia
			Grava %	Arena %	Finos %		
0	0,00-0,45	s(CL)	0,44	41,22	58,34	4,23	Dura
1	0,55-1,00	s(CL)	0,00	42,32	57,68	5,47	Rígida
2	1,55-2,00	s(CL)	0,00	42,83	57,17	5,97	Rígida
3	2,55-3,00	(CL)s	0,22	23,10	76,68	7,65	Rígida
4	3,55-4,00	CL	0,00	11,27	88,73	14,21	Rígida
5	4,55-5,00	CL	0,00	13,65	86,35	12,05	Rígida
6	5,55-6,00	(CL)s	0,00	25,25	74,75	7,84	Dura
7	6,55-7,00	(CL)s	0,00	29,94	70,06	7,63	Dura

Tabla 6.- SEV-5

Fecha: 30 de septiembre de 2004

Lugar: Sta. Elena de Uairen.

Rumbo NS

OBS	AB/2	MN (m)				I(mA)				V(mV)			
1	2	0,4				34,00				2340,00			
2	3	0,4				32,00				935,00			
3	4	0,4				39,00				519,00			
4	5	0,4				47,00				304,00			
5	6	0,4	2			37,00	33,00			135,60	610,00		
6	8	0,4	2			35,00	41,00			63,70	367,00		
7	10	0,4	2			31,00	28,00			35,50	152,60		
8	13	0,4	2			46,00	50,00			29,50	144,50		
9	16	0,4	2			36,00	33,00			15,10	34,50		
10	20		2			26,00	27,00	27,00			10,00	230,00	
11	25		2	4			42,00	42,00			10,20	212,00	
12	32		2	4			60,00	59,00			17,50	184,50	
13	40		2	4			48,00	49,00			25,30	157,80	
14	50		2	4			34,00	33,00			30,70	145,60	
15	65			4	6			24,00	24,00			89,40	95,30
16	80			4	6			34,00	33,00			86,00	88,40
17	100			4	6			41,00	42,00			100,60	81,80
18	130			4	6			52,00	51,00			57,30	59,00
19	160			4	6			19,00	19,00			48,60	31,00
20	190				6				25,00				18,60

OBS	R _o (Ωm)			
1	2140,53			
2	2056,17			
3	1668,11			
4	1267,97			
5	1035,06	1016,26		
6	914,26	885,81		
7	899,05	847,52		
8	851,02	762,65		
9	843,21	418,76		
10		232,13		
11		238,04	2461,89	
12		468,69	2505,15	
13		1323,88	4036,77	
14		3544,42	8649,32	
15			12348,99	8765,58
16			12706,26	8964,08
17			19263,28	10188,53
18			14622,62	10231,42
19			51421,49	21862,21
20				14059,52

Tabla 7. Caracterización geotécnica de los suelos de la perforación 1, en Santa Elena de Uairén, Edo. Bolívar

Perforación 1 EP						
Prof. (m)	Intervalo	Litología	Composición			Humedad (%)
			Grava %	Arena %	Finos %	
0	0,00-0,45	CH	4,83	31,69	63,48	32,02
1	0,55-1,00	CH	0,65	19,34	80,01	30,51
2	1,55-2,00	(CH)s	0,00	21,17	78,83	27,20
3	2,55-3,00	s(CH)g	0,13	48,15	51,72	20,43
4	3,55-4,00	CH	0,00	18,49	81,51	25,39
5	4,55-5,00	CH	0,00	3,33	96,67	28,84
6	5,55-6,00	CH	8,07	12,35	79,58	29,31
7	6,55-7,00	CH	0,00	51,08	48,92	16,51
8	7,55-8,00	CL	0,00	17,29	82,71	29,60
9	8,55-9,00	CL	0,00	29,00	71,00	26,58
10	9,55-10,00	CL	0,00	25,21	74,79	31,41
11	10,55-11,00	CL	0,00	11,54	88,46	28,92
12	11,55-12,00	CL	0,00	68,49	31,51	33,33
13	12,55-13,00	CL	0,00	16,89	83,11	26,78
14	13,55-14,00	(ML)s	0,00	28,55	71,45	28,16
15	14,55-15,00	CH	0,00	65,59	34,41	23,97
16	15,55-16,00	CH	0,00	45,00	55,00	29,05
18	16,55-17,00	CL	0,00	56,99	43,01	25,59
18	17,55-18,00	CL	0,00	31,99	68,01	29,68
19	19,40-19,85	CL	0,00	28,52	71,48	33,11
20	19,85-22,55	CL	0,00	59,82		24,81
21	25,68	ROCA				

Tabla 8. Caracterización geotécnica de los suelos de la perforación 2, en Santa Elena de Uairén, Edo. Bolívar

Perforación 2 EP

Prof. (m)	Intervalo	Litología	Composición			Humedad (%)
			Grava %	Arena %	Finos %	
0	0,00-0,45	CH	0,00	5,81	94,19	27,40
1	0,55-1,00	CH	3,64	57,81	38,55	26,99
2	1,55-2,00	CH	2,67	26,77	70,56	22,71
3	2,55-3,00	s(CL)g	0,52	32,42	67,06	25,42
4	3,55-4,00	(CL)s	0,22	5,26	94,52	29,06
5	4,55-5,00	(CL)s	0,00	2,53	97,47	32,68
6	5,55-6,00	CL	0,00	3,65	96,35	30,61
7	6,55-7,00	CL	0,00	4,16	95,84	27,59
8	7,55-8,00	CL	0,00	4,00	96,00	26,58
9	8,55-9,00	CL	0,00	7,21	92,79	33,05
10	9,55-10,00	CL	0,00	4,39	95,61	32,59
11	10,55-11,00	CL	0,00	5,88	94,12	32,55

Tabla 9. Caracterización geotécnica de los suelos de la perforación 3, en Santa Elena de Uairén, Edo. Bolívar

Perforación 3 EP

Prof. (m)	Intervalo	Litología	Composición			Humedad (%)
			Grava %	Arena %	Finos %	
0	0,00-0,45	CH	1,00	5,26	93,74	34,09
1	0,55-1,00	(CH)s	3,48	20,74	75,78	23,26
2	1,55-2,00	CH	7,02	10,71	82,27	34,18
3	2,55-3,00	CH	0,00	16,40	83,60	31,30
4	3,55-4,00	CH	0,00	3,99	96,01	31,87
5	4,55-5,00	CL	3,01	17,50	79,49	28,51
6	5,55-6,00	CL	0,00	14,34	85,66	28,72
7	6,55-7,00	CL	0,00	14,79	85,21	27,58
8	7,55-8,00	CH	0,00	10,96	89,04	19,19
9	8,55-9,00	CL-ML	0,00	19,23	80,77	23,53
10	9,55-10,00	(CL)s	0,00	28,12	71,88	23,21
11	10,55-11,00	(CL)s	0,49	29,84	69,67	27,62

Tabla 10. Caracterización geotécnica de los suelos de la perforación 4, en Santa Elena de Uairén, Edo. Bolívar

Perforación 4 EP

Prof. (m)	Intervalo	Litología	Composición			Humedad (%)
			Grava %	Arena %	Finos %	
0	0,00-0,45	CH	6,87	16,89	76,24	20,50
1	0,55-1,00	CH	5,47	14,78	79,75	25,61
2	1,55-2,00	CH	8,43	46,68	44,89	15,99
3	2,55-3,00	CH	3,73	5,41	90,86	28,43
4	3,55-4,00	CH	0,00	6,92	93,08	41,24
5	4,55-5,00	CL	0,00	12,80	87,20	37,01
6	5,55-6,00	CL	0,00	21,34	78,66	29,29
7	6,55-7,00	CL	0,00	23,93	76,07	28,96
8	7,55-8,00	CL	0,00	27,05	72,95	30,46
9	8,55-9,00	CL	0,00	5,09	94,91	17,57

Tabla 11 a, b, y c. SEV - 6

Fecha: 05 de octubre del 2004
 Lugar: Sta. Elena de Uairen.
 Rumbo: EW

Alterna 117v

OBS	AB/2	MN (m)	I(mA)	V(mV)	R _o (Ωm)
1	2	0,4	8,03	517,00	2002,44
2	3	0,4	6,87	145,00	1485,28
3	4	0,4	8,60	97,00	1413,83
4	5	0,4	7,49	51,00	1334,82
5	6	0,4	5,47	26,00	1342,44
6	8	0,4	7,00	17,00	1219,97
7	10	0,4	6,01	11,00	1436,93
8	13	0,4	8,43	10,00	1574,15
9	16	0,4	6,83	9,00	2649,01
10	20	0,4	13,20	7,00	1665,83

Continua 117

OBS	AB/2	MN (m)	I(mA)	V(mV)	R _o (Ωm)
1	2	0,4	7,00	510,00	2265,99
2	3	0,4	6,00	160,50	1882,44
3	4	0,4	8,00	115,30	1806,60
4	5	0,4	7,00	73,20	2049,97
5	6	0,4	5,00	48,00	2711,32
6	8	0,4	6,00	40,80	3415,92
7	10	0,4	5,00	33,20	5212,96
8	13	0,4	8,00	31,70	5258,27
9	16	0,4	6,00	28,10	9414,93
10	20	0,4	12,00	27,10	7094,05

Continua 518

OBS	AB/2	MN (m)	I(mA)	V(mV)	R _o (Ωm)
1	2	0,4	29,00	1983,00	2126,72
2	3	0,4	25,00	581,00	1635,44
3	4	0,4	32,00	403,00	1578,62
4	5	0,4	28,00	227,00	1589,29
5	6	0,4	21,00	124,60	1675,75
6	8	0,4	27,00	92,50	1720,98
7	10	0,4	22,00	56,00	1998,40
8	13	0,4	32,00	49,00	2031,98
9	16	0,4	24,00	35,20	2948,45
10	20	0,4	48,00	39,40	2578,47

Tabla 12.- SEV-7

Fecha: 01 de octubre de 2004
 Lugar: Sta. Elena de Uairen.
 Rumbo: EW

AB/2	MN (m)			I(mA)			V(mV)			
2	0,4			73,00			3610,00			
3	0,4			84,00			1616,00			
4	0,4			62,00			627,00			
5	0,4			75,00			465,00			
6	0,4			74,00			331,00			
8	0,4	2		75,00	70,00		170,00	1050,00		
10	0,4	2		70,00	76,00		91,40	727,00		
13	0,4	2		67,00	59,00		43,00	347,00		
16	0,4	2		60,00	70,00		16,20	257,00		
20	0,4	2		134,00	114,00		24,60	240,00		
25	0,4	2		115,00	138,00		0,20	160,20		
32		2	4		126,00	102,00		77,40	0,34	
40		2	4		71,00	78,00		26,80	250,00	
50		2	4		74,00	67,00		15,10	204,00	
65		2	4		59,00	67,00		3,40	184,00	
80		2	4	6	93,00	83,00	76,00	0,90	160,00	93,50
100			4	6		78,00	91,00		139,40	84,20

AB/2	R _o (Ωm)			
2	1538,05			
3	1353,82			
4	1267,65			
5	1215,42			
6	1263,30			
8	1138,64	1484,40		
10	1025,10	1487,56		
13	851,66	1552,05		
16	542,78	1470,60		
20	576,68	1319,47		
25	8,54	1137,86		
32		987,11	2,65	
40		948,08	4017,61	
50		801,00	5968,84	
65		382,36	9104,34	
80		97,27	9683,68	4116,85
100			14030,86	4840,37

Tabla 13. Caracterización geotécnica de los suelos de las perforaciones P-5 y P-6, en Santa Elena de Uairén, Edo. Bolívar

Perforación 5 PT

Prof. (m)	Intervalo	Litología	Composición			Humedad (%)
			Grava %	Arena %	Finos %	
0	0,00-0,45	GW	40,20	49,88	9,92	11,46
1	0,55-1,00	(CH)s	4,25	12,73	83,02	33,91
2	1,55-2,00	CH	1,33	90,31	8,36	34,46
3	2,55-3,00	CH	0,00	13,70	86,30	35,87
4	3,55-4,00	CL	0,00	5,09	94,91	27,99
5	4,55-5,00	CL	0,00	4,93	95,07	32,86
6	5,55-6,00	CH	0,00	6,80	93,20	30,61

Perforación 6 PT

Prof. (m)	Intervalo	Litología	Composición			Humedad (%)
			Grava %	Arena %	Finos %	
0	0,00-0,45	GW	27,50	55,30	17,20	14,55
1	0,55-1,00	GW	40,31	50,41	9,28	16,59
2	1,55-2,00	CL	0,00	11,06	88,94	30,26
3	2,55-3,00	CL	0,00	13,01	86,99	26,24
4	3,55-4,00	CH	0,00	13,12	86,88	28,77
5	4,55-5,00	CH	0,00	4,93	95,07	32,86
6	5,55-6,00	CH	0,00	15,75	84,25	5,35

Tabla 14.- SEV- 8

Fecha: 02 de octubre del 2004

Lugar: Sta. Elena de Uairen.

Rumbo: EW

OBS	AB/2	MN (m)	I(mA)	V(mV)	V/I (Ω)	R _o (Ω m)
1	2	0,4	184,00	9290,00	50,49	1570,30
2	3	0,4	108,00	2560,00	23,70	1668,07
3	4	0,4	97,00	1213,00	12,51	1567,52
4	5	0,4	120,00	1030,00	8,58	1682,64
5	6	0,4	134,00	782,00	5,84	1648,21
6	8	0,4	84,00	0,28	0,00	1,64
7	10	0,4	66,00	134,50	2,04	1599,91
8	13	0,4	84,00	82,50	0,98	1303,31
9	16	0,4	87,00	45,10	0,52	1042,12
10	20	0,4	77,00	29,70	0,39	1211,64
11	25	0,4	62,00	14,10	0,23	1116,27
12	32	0,4	64,00	8,60	0,13	1080,67

Tabla 15a Resultados con el equipo diseñado

Fecha: 18 de octubre del 2004
 Lugar: UCV
 Rumbo: EW
 Equipo: IDS

OBS	AB/2	MN (m)	I(mA)	V(mV)	V/I (Ω)	R _o (Ω m)
1	2	0,4	480,00	3600,00	7,50	233,26
2	3	0,4	460,00	1170,00	2,54	178,99
3	4	0,4	440,00	415,00	0,94	118,23
4	5	0,4	470,00	184,00	0,39	76,75
5	6	0,4	700,00	82,90	0,12	33,45
6	8	0,4	480,00	31,00	0,06	32,44
7	10	0,4	494,00	12,30	0,02	19,55
8	13	0,4	324,00	5,60	0,02	22,94

Tabla 15b Resultados con el equipo de la UCV

Fecha: 18 de octubre del 2004
 Lugar: UCV
 Rumbo: EW
 Equipo: UCV

OBS	AB/2	MN (m)	I(mA)	V(mV)	V/I (Ω)	R _o (Ω m)
1	2	0,4	395,00	3070,00	7,77	241,73
2	3	0,4	420,00	1090,00	2,60	182,63
3	4	0,4	375,00	412,00	1,10	137,72
4	5	0,4	420,00	215,00	0,51	100,35
5	6	0,4	485,00	97,50	0,20	56,78
6	8	0,4	418,00	59,50	0,14	71,51
7	10	0,4	453,00	38,80	0,09	67,24
8	13	0,4	280,00	22,00	0,08	104,26

A continuación se muestran cada uno de los ábacos necesarios para la interpretación de los sondeos eléctricos verticales:

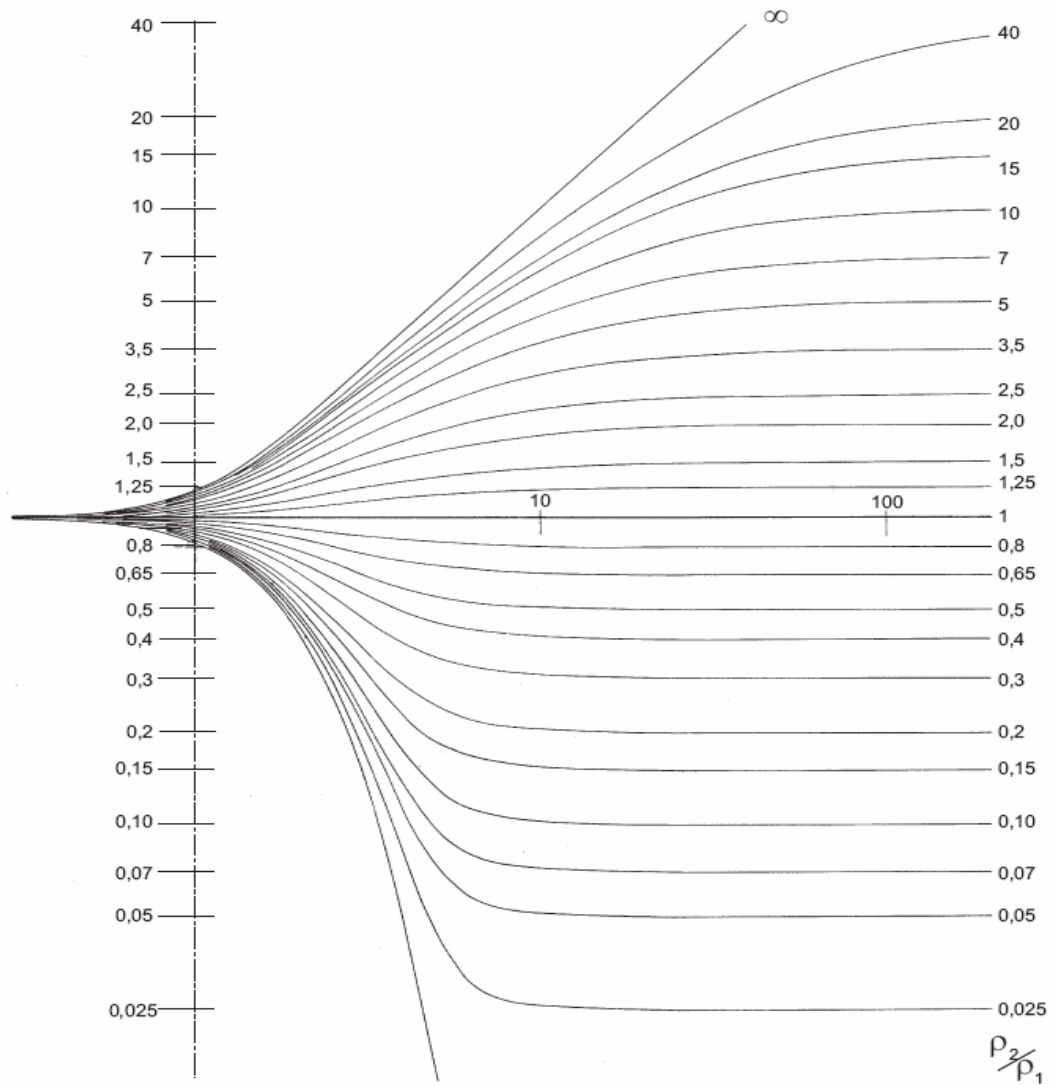
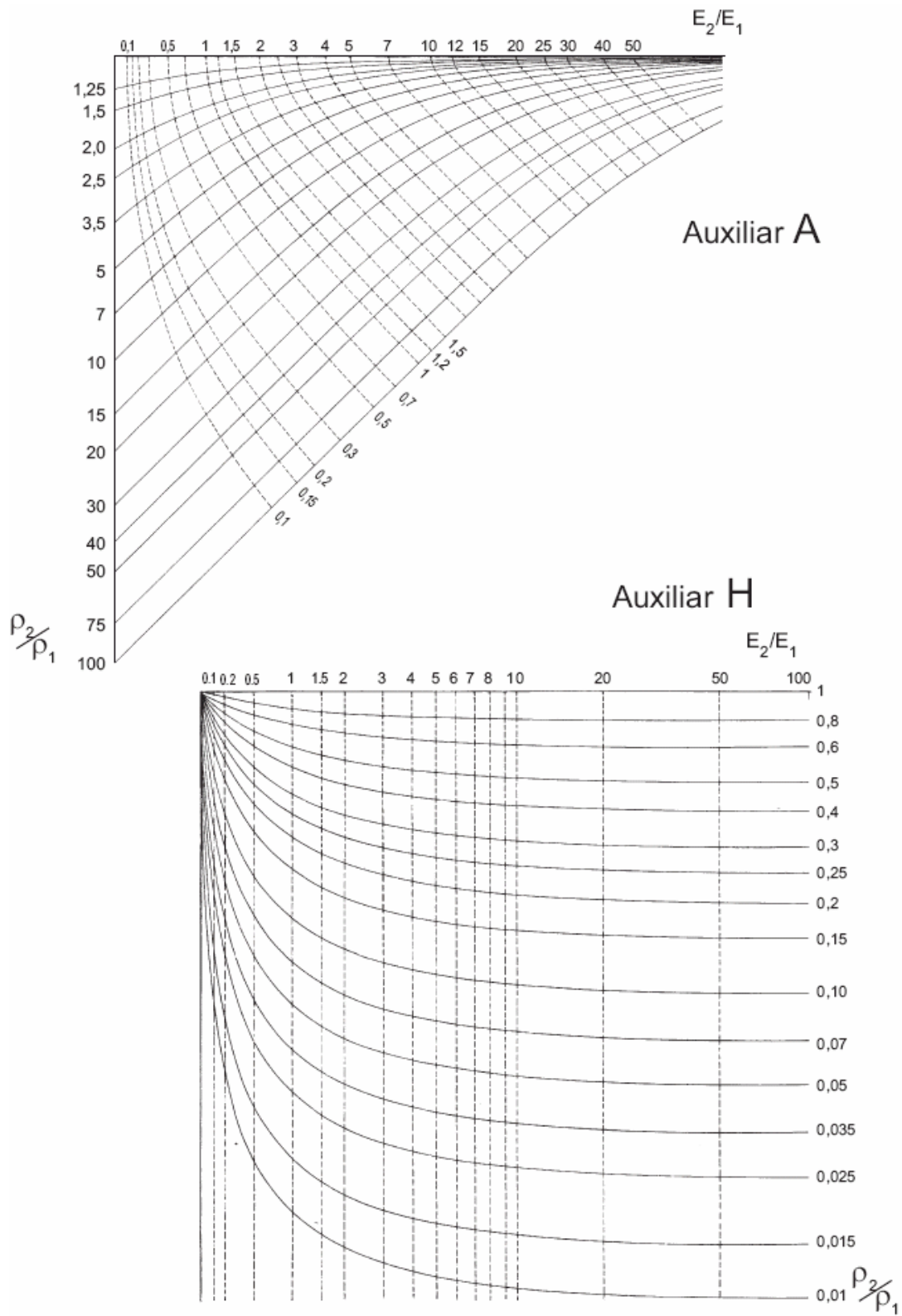


Gráfico patrón de dos capas



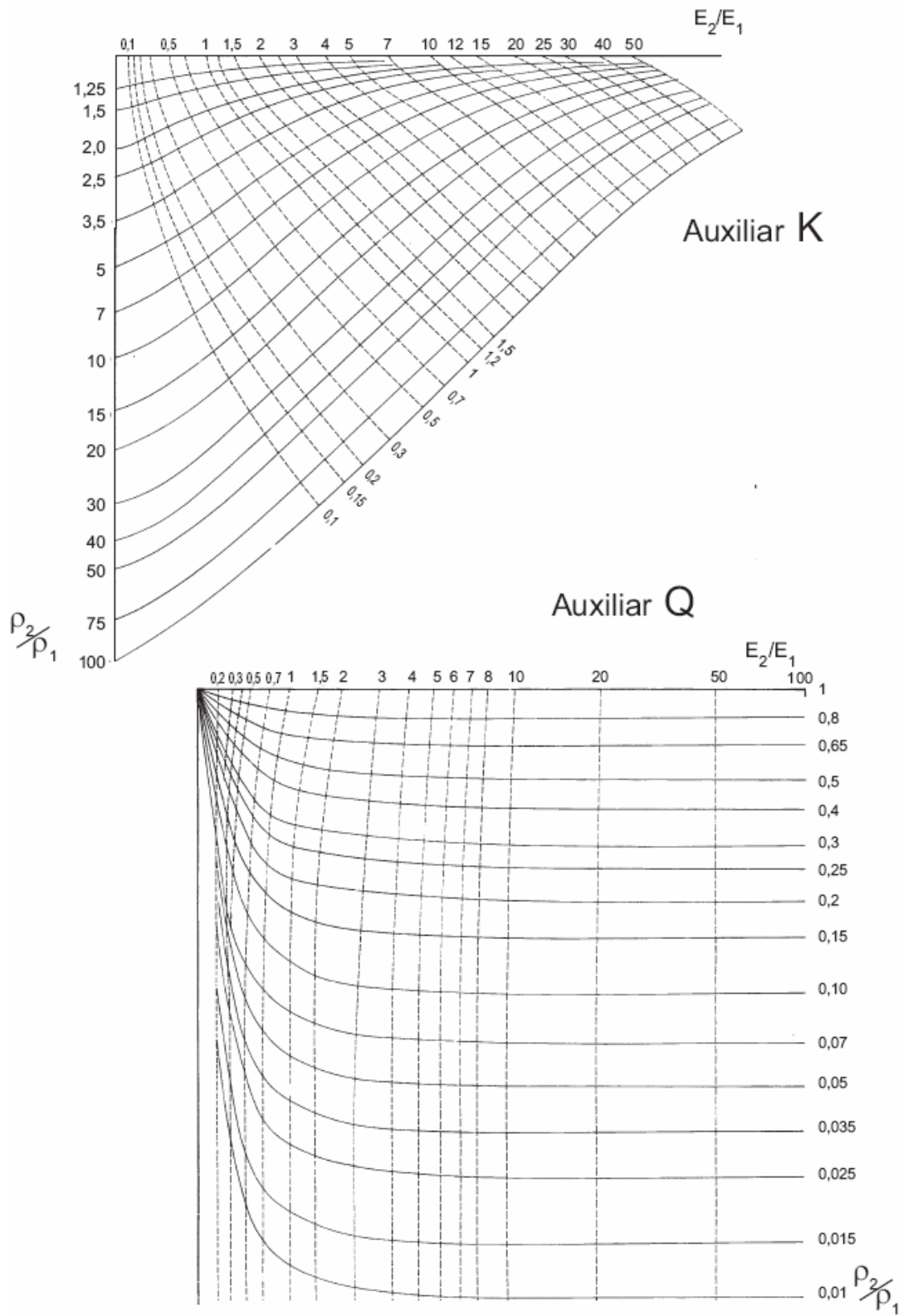


Figura 1A Diagrama del diseño

