

“DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE BASALTOS EN UN PERFIL EMPLEANDO TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE DATOS CON ARREGLO SCHLUMBERGER”

¹ Lic. Andrés López Hidalgo - alhgeofisica@arnet.com.ar

1 - Geofísico Consultor - ALH Geofísica - Investigador Instituto Geofísico Sismológico F. Volponi
Fac. Cs. Exactas Fís. y Naturales. UNSJ.

Keywords: *Tomografía Eléctrica, espesor de basaltos, resistividad, inversión, resolución.*

Abstract

“DETERMINATION OF THE THICKNESS OF BASALT IN A PROFILE EMPLOYED ELECTRICAL TOMOGRAPHY FROM DATA WITH SCHLUMBERGER ARRAY IN A PROFILE”

The thickness of basalt is a parameter of importance that is needed to be checked with accuracy in the calculation of static corrections that will be applied to the reflection seismic data in hydrocarbon exploration 2D and/or 3D. The Electrical Tomography have the capacity needed to resolve this situation.

Introducción.

El método de Tomografía Eléctrica (TE) en su modalidad de Resistividad de Alta Resolución en Dos y Tres Dimensiones (R2D y R3D) es una técnica de prospección recientemente desarrollada para la investigación de áreas con anomalías complejas (resistivas o conductivas), donde el empleo de otras técnicas de Resistividad NO PERMITEN obtener información de detalle en Dos y Tres dimensiones. En su sentido más amplio la TE es una técnica geofísica para el estudio del subsuelo que consiste en determinar la distribución de un parámetro físico característico del mismo dentro de un ámbito espacial limitado, a partir de un número muy elevado de medidas realizadas desde la superficie del terreno.

La TE tiene por objetivo específico determinar la distribución real de la resistividad del subsuelo hasta un cierto rango de profundidad a lo largo de un perfil de medida, a partir de los valores de resistividad aparente obtenidos mediante mediciones realizadas por métodos convencionales de corriente continua.

Un factor clave de esta técnica es que, del número y distribución de las mediciones de campo, dependerá tanto de la resolución (vertical y horizontal) como de la profundidad de investigación buscada. Como regla general, un estudio de TE requiere la obtención de un número muy elevado de datos, con un espaciado entre medidas constante para conseguir la necesaria resolución lateral y también que éstas se realicen involucrando de forma progresiva varios rangos de profundidad.

Metodología - Adquisición de datos.

Los datos se obtuvieron a través de una serie de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) convencionales dispuestos en un perfil y separados entre si entre 150 y 200 m. En general el aspecto de las curvas de campo se corresponden con la curva de Figura 1.

Pseudosección. Resultados de los SEV.

El resultado obtenido de todos los SEV es un conjunto de datos que se disponen en forma de red bidimensional con la que se puede lograr una pseudosección de resistividad aparente. Esta constituye una sección con curvas de iso-resistividad que reflejan cualitativamente la variación espacial (2D) de resistividad aparente en el perfil investigado (Figura 4c).

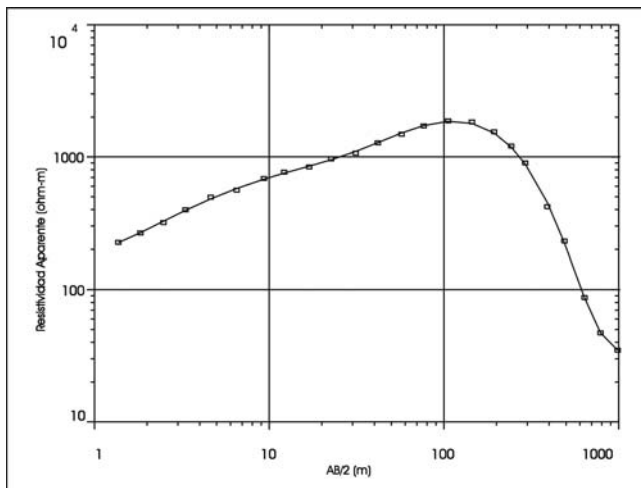


Figura 1: Gráfico SEV - Dispositivo Schlumberger - AB máximo 2000 metros

Procesamiento, Inversión e Interpretación.

A partir de esta malla en dos dimensiones de resistividades aparentes se efectúa la interpretación cualitativa de los datos, permitiendo inferir la existencia de sectores subterráneos anómalos.

Previo a la inversión es necesario generar un modelo de bloques que es la base del método citado, este nos permite definir la resolución horizontal y vertical que se obtendrá en la imagen después de la inversión. En el caso 2-D, se discretiza la sección transversal a la superficie que se localiza debajo del

arreglo de electrodos (perfil de apoyo de los SEV) en celdas o bloques (Figura 2).

Posteriormente se lleva a cabo un post-procesamiento efectuando un modelado 2D introduciendo los datos en un algoritmo que transforma, a través de rutinas de inversión aplicando el método numérico de mínimos cuadrados rápido (rapid least-squares) para el cálculo de elementos finitos y diferencias finitas (Loke M.H. and Barker R.D.,1996), la red o malla de resistividades aparentes 2D en una sección de resistividades y profundidades verdaderas 2D, proceso denominado Inversión.

El objetivo concreto de la inversión es obtener la resistividad de cada celda o bloque rectangular los que producirán en la superficie del terreno una serie de potenciales que no discrepen en el sentido de los mínimos cuadrados con los datos obtenidos en campo.

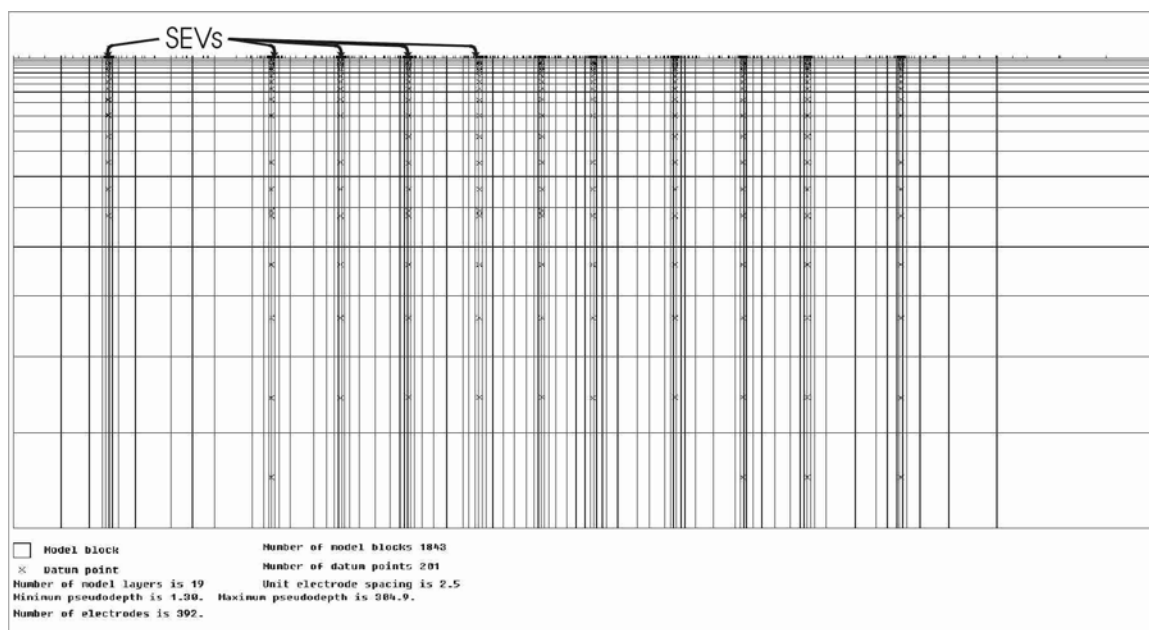


Figura 2: Modelo de Bloques a partir de datos de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) con arreglo Schlumberger; obsérvese la discretización del semiespacio en bloques rectangulares (red de elementos finitos) que darán lugar a una Imagen 2D de Alta Resolución.

En caso de tener una topografía considerable respecto de la resolución vertical buscada, es necesario introducir las elevaciones de todos los electrodos involucrados en la obtención de cada dato de resistividad aparente, de este modo, y al aplicar el cálculo por el método de elementos finitos, cada elemento finito representativo de un bloque en particular se ajustara bidimensionalmente, de modo que el conjunto de estos elementos conformaran una red de dos dimensiones ajustada topográficamente que darán lugar a la imagen de resistividad real 2D (longitud-profundidad-resistividad).

El procesamiento de datos no es un proceso realizado solo por la computadora sin intervención humana, sino que se trata de la interacción hombre maquina debido a que es necesario configurar un conjunto de algoritmos de calculo de acuerdo a las variaciones de los valores de profundidad y resistividad que puedan obtenerse por otros medios, del conocimiento general del área y de la naturaleza de las anomalías investigadas, además de la experiencia propia de quien ejecuta la tarea de interpretación.

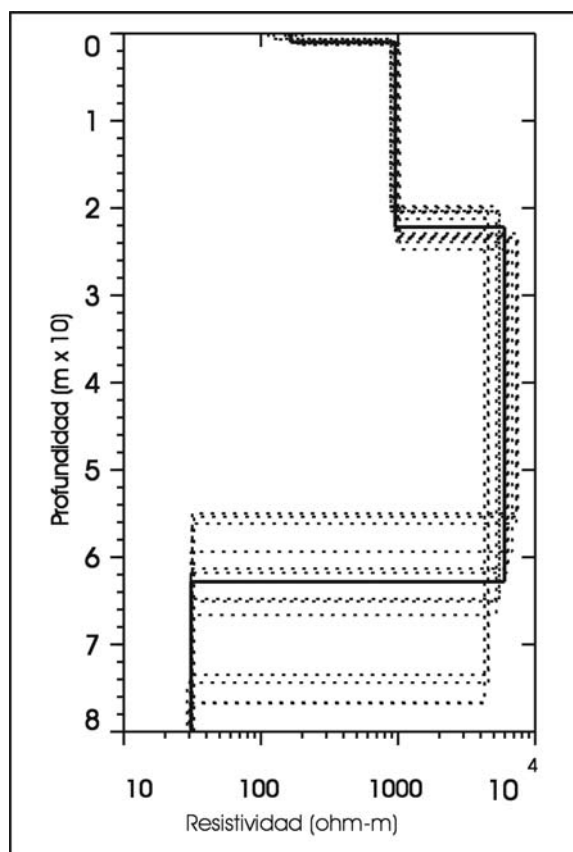
Resultado – Imagen de Tomografía Eléctrica.

La Inversión de los datos arroja como resultado una “Imagen Geoeléctrica de Resistividades y Profundidades Verdaderas” o modelo de Resistividad de Alta Resolución con una muy buena aproximación a la estructura o modelo del subsuelo; este resultado puede ser, en la mayoría de los casos, constatado con las observaciones de campo y datos de perforaciones, uphole, etc.

En nuestro caso se tienen dos upholes situados en el punto del SEV 1 uphole A) (Figura A) y en el punto del SEV 11 uphole B) (Figura B).

Tomografía Eléctrica (TE) versus Sondeo Eléctrico Vertical (SEV).

El SEV es un Método Resistivo (1D) cuya finalidad es la de determinar la distribución vertical de resistividades bajo el punto sondeado. La mayor eficacia del Método corresponde al caso en que este se efectúe sobre un terreno compuesto por capas lateralmente homogéneas en lo que respecta a la resistividad, y limitadas por planos paralelos a la superficie del terreno (medio estratificado).



La experiencia demuestra que los resultados teóricos obtenidos para medios de esta clase, son tolerablemente válidos para estratos inclinados hasta unos 10°. Las condiciones anteriormente mencionadas son difíciles de encontrar en la naturaleza, por lo que en muchos casos el SEV arroja resultados poco confiables, además de estar muy afectado por variaciones laterales no interpretables por los métodos convencionales.

Además de lo dicho en el párrafo anterior se presenta que en la inversión de cualquier SEV se tienen varios modelos de capas para una misma curva de campo, a lo que llamamos ambigüedad del problema inverso del SEV, por lo que este fenómeno fue denominado equivalencia (Maillet, R. 1947). Así la interpretación de un SEV arroja como resultado una serie de modelos o cortes equivalentes (Figura 3).

La TE puede resolver la ambigüedad que surge de la aplicación del SEV, debido a que el método intrínsecamente calcula la sección de resistividad en 2D, además de poseer una elevada resolución vertical y lateral lo que nos permite estudiar las estructuras del subsuelo en dos y tres dimensiones.

Figura 3: Modelo de capas para un SEV (línea continua) y modelos equivalentes (líneas de puntos).

Para comprobar la eficacia de esta nueva Técnica de prospección, se han transformado, por medio de un programa computacional, los datos obtenidos con un arreglo electródico Schlumberger en un perfil (SEV colineales) a datos en red para Tomografía Eléctrica 2D; luego se realizó la inversión de estos últimos obteniéndose como resultado una nítida imagen del subsuelo con una resolución lateral y vertical muy superior a la del perfil obtenido por inversión 1D individual de los datos de los SEV (Figura. 4).

Resultados de la TE en un caso de determinación del espesor de Basaltos (Figura 4)

En el presente ejemplo el objetivo principal fue el de determinar el espesor de basaltos para el cálculo de las Correcciones Estáticas que serán aplicadas a los datos de sismica de reflexión en la exploración petrolera 2D y/o 3D. Para ello se llevaron a cabo 12 SEVs, distribuidos a lo largo de un perfil de 2500 m. Para mejorar la interpretación y ajuste del SEV N° 1, se midió transversalmente y en la misma situación de este, el SEV N° 11 (Figura 4a).

Se destaca que sobre el perfil se tienen dos pozos con sus respectivos upholes A y B, Figuras a) y b) con los que se pudo validar los resultados de la TE.

Tanto el procesamiento como la interpretación del Perfil Geoeléctrico y la Imagen de TE, se han efectuado independientemente tanto para los SEVs. (Figura 4a) como para la Tomografía Eléctrica (Figura 4 b). De la comparación de los resultados entre el perfil obtenido con 11 SEV colineales y la TE se destaca que las zonas de basaltos de alta resistividad con sus espesores son expuestos con una alta resolución vertical y horizontal en la imagen de TE, no pudiendo observarse lo mismo en el Perfil Geoeléctrico obtenido con los SEVs, el límite Basalto-Terciario difiere notablemente respecto al obtenido con TE.

Se destaca que algunos SEVs. presentan una “franja” más restringida de modelos equivalentes lo que hace que el corte elegido se acerque al modelo real, como es el caso de los SEV 12, 2, 4 y 8. Es decir que si el análisis de equivalencias del modelo de un SEV arroja una “franja” muy ancha (Lineas de punto Figura 3) esto implicará mayor ambigüedad en el modelo elegido. Esto se destaca en los SEVs. 1, 3, 4, 5, 6, 7, 9 y 10. Cabe destacar que el SEV 10 posee una gran ambigüedad la que se intento salvar por todos los medios que permite la interpretación de SEV, pero no se consiguió el resultado esperado, ya que el corte no condice con lo que muestra la imagen, en la cual se puede observar que el espesor de basaltos es mayor, resultado que resulta más coherente con las observaciones de campo y con los datos de perforación mostrados en el Uphole B.

En la imagen de TE también se pueden apreciar las variaciones laterales de resistividad dentro de la capa de basaltos poniendo de manifiesto las heterogeneidades que existen dentro de la misma. Dichas heterogeneidades no se pueden ver con técnicas convencionales de sondeo eléctrico vertical, pero la TE las resalta.

Queda con esto expresada la superioridad del Método de Tomografía Eléctrica frente al Sondeo Eléctrico Vertical en cuanto a resolución lateral y vertical se refiere.

El límite entre los Basaltos y las Areniscas y Limolitas Terciarias estaría definido por la línea continua, señalada en la Imagen de TE; la misma posee respaldo numérico, es decir cada bloque calculado con TE posee una progresiva y una elevación o profundidad respecto de la topografía (coordenadas bidimensionales) además de la resistividad real de cada uno. Si asumimos que la resistividad de los basaltos es mucho mas elevada que la de las Areniscas y Limolitas Terciarias infrayacentes, con solo identificar dentro de esta base numérica el valor de resistividad de una de estas dos unidades geológicas e interpolar la línea que las separa, se consigue delimitar el plano de separación o contacto entre los Basaltos y las Areniscas y Limolitas Terciarias.

De la comparación cuanti-cualitativa de los resultados entre los Uphole A y B y la sección de TE en el entorno de los mismos, se puede apreciar que la variación vertical de la resistividad dentro de los basaltos indica un cambio en su estado y que a su vez presenta un cambio en la velocidad de los mismos que se correlaciona perfectamente con los valores de velocidad, ya sea que estén fracturados o masivos, esto permite decir que el modelo de TE no presenta ambigüedad respecto al modelo geológico obtenido tanto con los datos de litología de la perforación como de la correlación Resistividad – Velocidad – Profundidad.

Ventajas del Método

Las ventajas más sobresalientes de la Tomografía Eléctrica son:

- ✓ Elevada resolución vertical y lateral
- ✓ Corrección topográfica de la imagen por el método de elementos finitos

- ✓ La ambigüedad se suprime frente a los resultados con SEV
- ✓ La cobertura areal es considerablemente mayor que la lograda con los métodos tradicionales, tales como perforaciones, UP-Hole, etc.
- ✓ Los resultados son presentados en forma tal que posibilitan una fácil comprensión por parte de Geólogos, Ingenieros, u otros especialistas.-

Para cumplir con tales requerimientos todo el proceso de manejo de datos debe ser sistematizado tanto en las etapas de adquisición, procesamiento, interpretación y presentación de resultados, a fin de coleccionar la mayor cantidad de información posible en el menor tiempo y con la menor probabilidad de error.

Conclusiones

- ✓ El límite entre los Basaltos y las Areniscas y Limolitas Terciarias estaría definido por la línea continua, señalada en la Imagen de TE; la misma posee respaldo numérico.
- ✓ En la imagen de TE se pueden apreciar las variaciones laterales de resistividad dentro de la capa de basaltos poniendo de manifiesto las heterogeneidades que existen dentro de la misma.
- ✓ De la comparación cuanti-cualitativa de los resultados entre los Uphole A y B y la sección de TE en el entorno de los mismos, se puede apreciar que la variación vertical de la resistividad dentro de los basaltos indica un cambio en su estado y que a su vez presenta un cambio en la velocidad de los mismos que se correlaciona perfectamente con los valores de velocidad, ya sea que estén fracturados o masivos, esto permite decir que el modelo de TE no presenta ambigüedad respecto al modelo geológico obtenido tanto con los datos de litología de la perforación como de la correlación Resistividad – Velocidad – Profundidad
- ✓ Las ambigüedades que se presentan en la interpretación de los SEV se suprimen al aplicar el calculo por elementos finitos dando como resultado una imagen de TE de Alta Resolución.
- ✓ Por las razones antes mencionadas se recomienda la aplicación de la Tomografía Eléctrica al estudio del espesor de Basaltos para la posterior Corrección Estática de datos sísmicos dada la alta resolución de este método de cálculo.

Agradecimientos

El autor agradece a la empresa TOTAL AUSTRAL S.A. por permitir la publicación de estos datos.

Citas Bibliográficas.

- Loke M.H. and Barker R.D., 1996. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudo-sections using a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, **44**, 131":152.
- Maillet, R. 1947. The fundamental equations of electrical prospecting. *Geophysics* XII, p. 529-556.

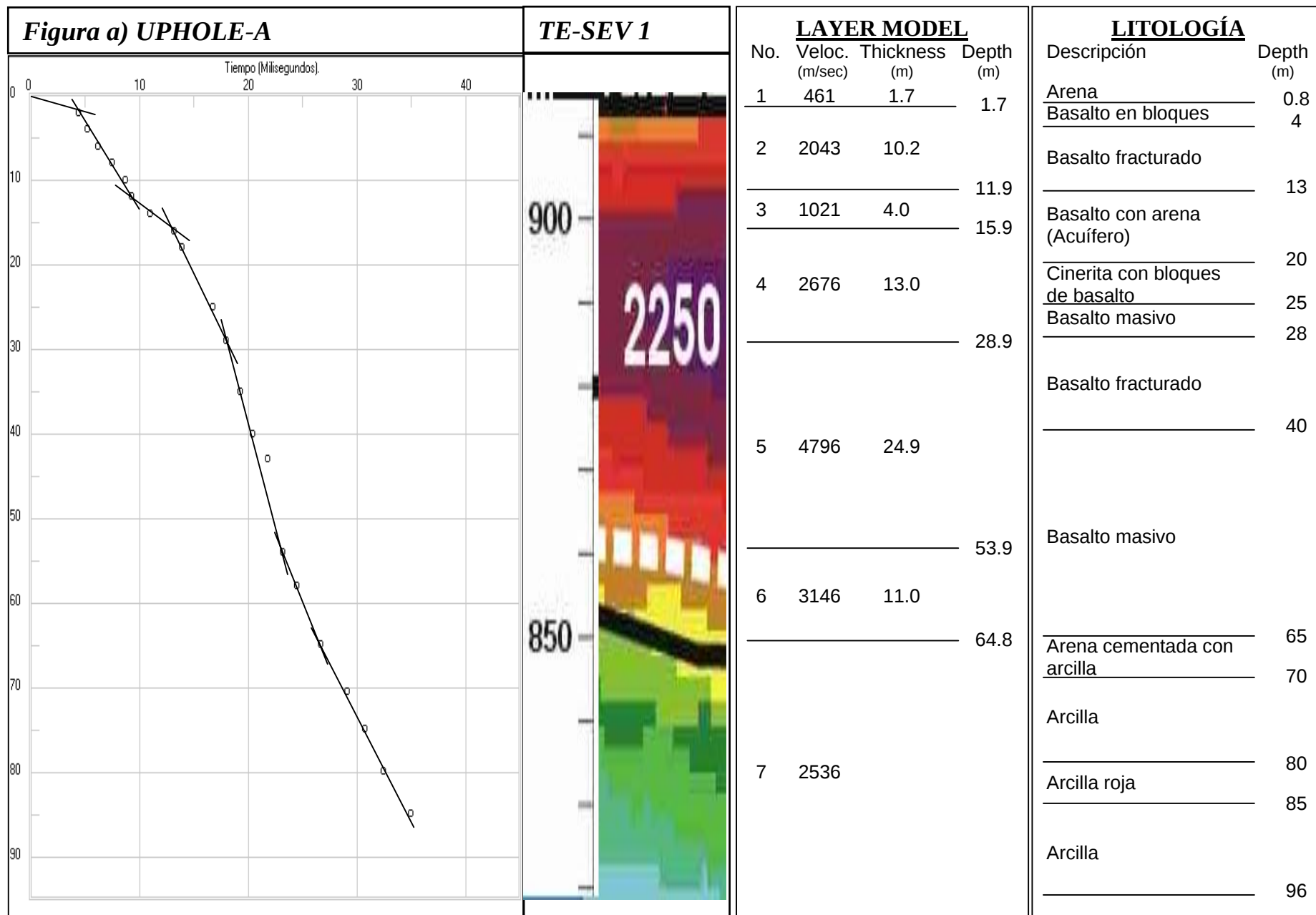


Figura b) UPHOLE-B

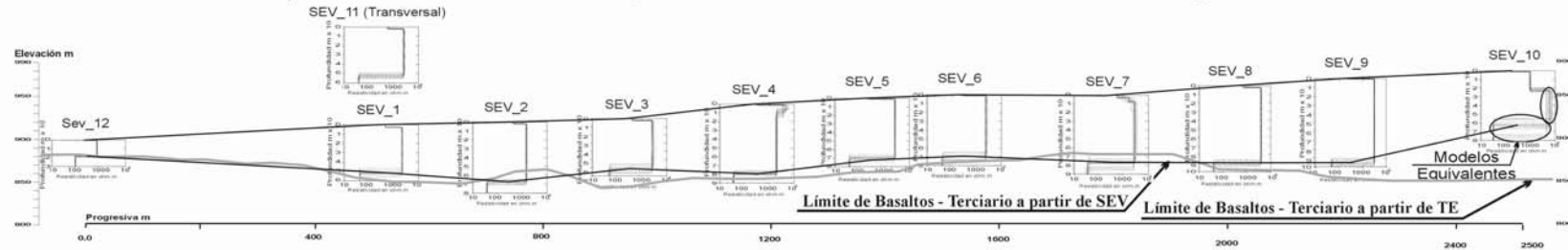


TE-SEV 11

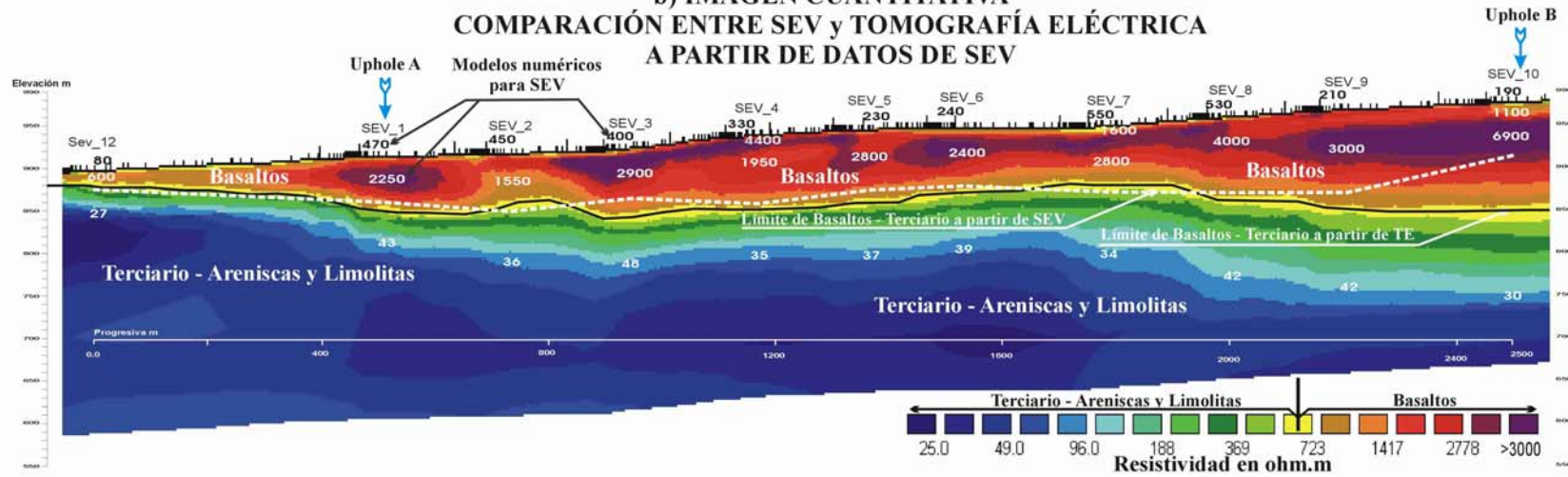


LAYER MODEL				LITOLOGÍA	
No.	Veloc. (m/sec)	Thickness (m)	Depth (m)	Descripción	Depth (m)
1	635	4.1	4.1	Arena con bloques de basalto	3
2	2404	11.7	15.8	Basalto en bloques	14
3	1332	20.3	36.1	Basalto fracturado	25
				Basalto con arena (Acuífero)	38
4	2408	23.9	60.0	Cinerita con bloques de basalto	45
				Basalto masivo	65
5	1508	18.8	78.9	Basalto fracturado	
6	2151	16.3	95.2		95
7	1481	4.5	99.7	Basalto masivo	
8	2540				113

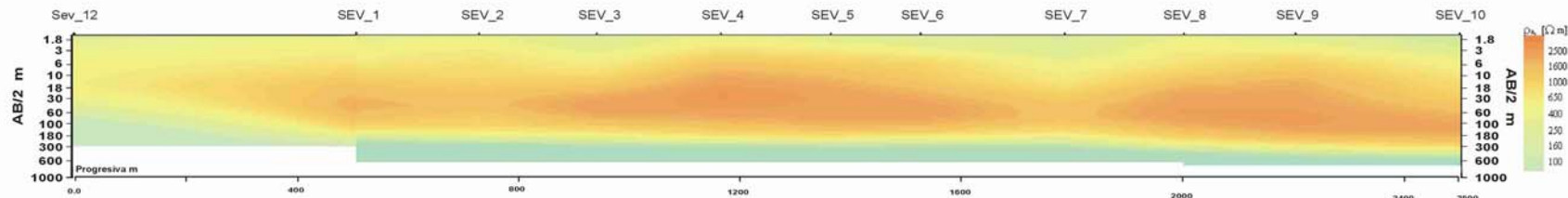
a) PERFIL GEOELECTRICO, INTERPRETACION DE SEVs Y CORTES EQUIVALENTES



b) IMAGEN CUANTITATIVA COMPARACIÓN ENTRE SEV y TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE DATOS DE SEV



c) PERFIL GEOELECTRICO, PSEUDOSECCION INTERPRETACION CUALITATIVA



Autor del Artículo:

Lic. Andrés López Hidalgo
Geofísico Consultor

Título del Artículo:

DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE BASALTOS EN UN PERFIL
EMPLEANDO TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE DATOS
CON ARREGLO SCHLUMBERGER

Títulos de Figura:

a) Perfil Geoelectrico, Interpretación de SEV y Cortes Equivalentes
b) Imagen Cuantitativa, Comparación Entre SEV y Tomografía Eléctrica a partir de datos de SEV
c) Perfil Geoelectrico, Pseudoseccion Interpretacion Cualitativa

Escalas:

H : 1 : 7.500
V : 1 : 5.000

Figura N°:

4