

950

950

950



OPERACIONES DE PERFILAJE EN LAS PERFORACIONES

ANGUINAN 11 Y ANGUINAN 17

JOSE M. MOLLON  
-1968-



### Antecedentes:

El motivo del presente informe se origina, como trabajo requerido por la compañía de perforaciones Luja Hnos. y Cía., contratista de la provincia de La Rioja. Dicha compañía solicitó la realización de operaciones de perfilaje en las perforaciones a su cargo, en la localidad de Anguinán, Departamento de Chilecito, provincia de La Rioja.

Por tal motivo y de acuerdo con lo dispuesto por la superioridad, se efectuó una comisión geofísica, integrada por el suscripto y el Sr. Juan A. Rovelli del Depto. de Perforaciones, la que tuvo a su cargo dos operaciones de perfilaje en las perforaciones Anguinán 11 y Anguinán 17.

El propósito de tomar perfiles de los pozos fue el de obtener un conocimiento más acabado de la geología del subsuelo, acotar correctamente las profundidades para la posterior entubación, y efectuar correlaciones estratigráficas con las próximas perforaciones a realizar.

En ambas perforaciones se registraron curvas de potenciales naturales, de resistividad, de rayos gamma, medición de la resistividad del lodo y la medición de la temperatura de fondo, para calcular los perfiles en función de dicho parámetro.

A continuación se expondrá una explicación somera sobre el comportamiento de las formaciones atravesadas por la perforación y una descripción teórica de las curvas registradas.

### Efecto de la perforación sobre formaciones adyacentes:

La manera de perforar un pozo y su diámetro tiene una gran importancia sobre los perfiles que han de registrarse, debido a la resistividad de la inyección y al efecto de la invasión del filtrado de la misma en las formaciones circundantes.

Haciendo un corte vertical del mismo, se pueden de-



finir claramente cuatro zonas, que son: "Revoque o pared de pozo"; "Zona Invadida"; "Zona Levada" y "Zona no Contaminada".

En formaciones arcillosas, o aquellas ciertamente consolidadas, el diámetro del pozo se mantiene casi constante al del trépano, debido a que después de levantar la herramienta, ocurre cierta filtración adicional del filtrado de la inyección alojado en la "zona invadida", causando un aumento en el espesor del revoque y por consiguiente una reducción en el diámetro del mismo. Esta influencia del diámetro es aún más notoria cuando el diámetro de la sonda es considerablemente menor que el del pozo.

En formaciones porosas y permeables, el efecto de la invasión depende de varias causas, siendo una parte función de la calidad y tipo de inyección utilizada, y otra, de las propiedades físicas de las formaciones atravesadas.

Pruebas realizadas en laboratorio demuestran que el filtrado total que se escurre a través de la pared es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo que tarda la acción de filtración  $Ft = K\sqrt{tf}$ , y como la pared del pozo es la resultante de la acumulación de partículas sólidas en suspensión en el seno de la inyección, el espesor de la misma  $tmc$ , es proporcional también a la raíz cuadrada del tiempo que tarda la acción filtrante. Es decir:  $tmc = K\sqrt{tf}$ .

#### Descripciones teóricas de las curvas registradas:

Las curvas eléctricas se obtuvieron por medio de la sonda de "punto único de resistividad" simultáneamente con la de potencial.

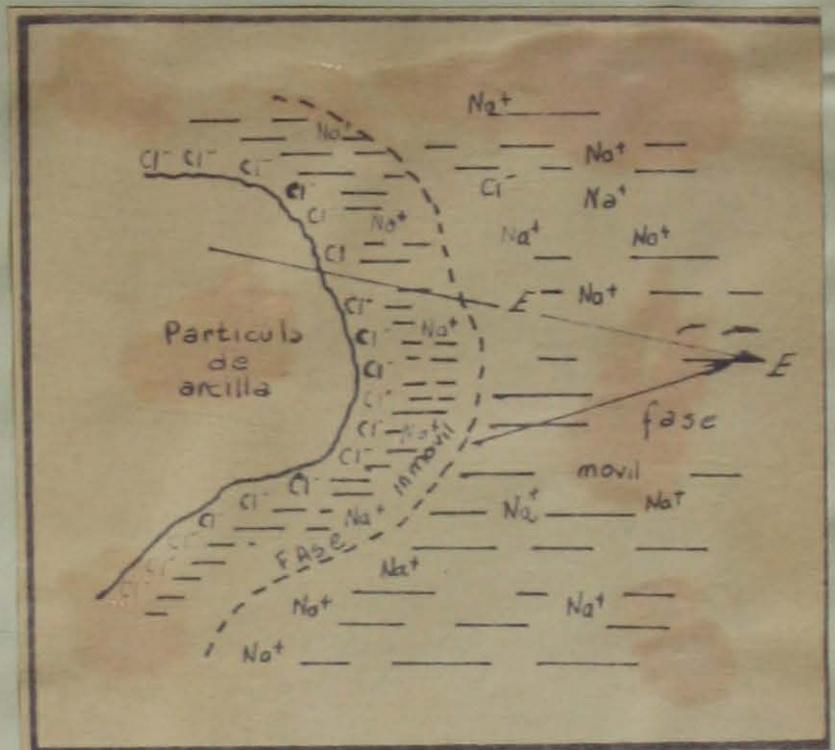
#### Curva de potencial:

La curva de potencial refleja las diferencias de potencial existentes entre un electrodo de tierra, cuyo potencial eléctrico se toma como referencia, y otro dentro del pozo, que contenga lodo de perforación. Las características de

esta curva están en estrecha dependencia con el tipo de inyección y con las características de las formaciones circundantes.

Las variaciones de potencial en la perforación se producen por caídas de potencial debidas a corrientes que circulan entre las formaciones y la columna de inyección. Estas corrientes las generan fuerzas electromotrices de carácter electroquímico y electrocinético que tienen su origen en los contactos entre la inyección y el agua de formación contenida en la roca.

Si consideramos que la formación está representada por ejemplo por una partícula de arcilla, ésta absorbería la mayoría de los iones de cloruro de sodio (Cl Na) presentes en el sistema. Cuando el agua se pone en contacto con el filtrado de la inyección y entra en contacto con la arcilla, los aniones (Cl)<sup>-</sup> son absorbidos por la arcilla y los cationes se disuelven. Pero algunos cationes (Na)<sup>+</sup>



son atraídos por partículas de arcilla cargadas negativamente y permanecen cerca de la misma formando una capa inmóvil. Si se mide la caída de potencial entre las partículas de arcilla y puntos sucesivamente retirados de la misma en la solución del agua, se ve que aquella aumenta progresivamente.

En consecuencia, el potencial máximo se puede calcular por la ecuación de Nerst:

$$E = - \frac{RT}{nF} \ln \frac{C_1}{C_2}$$

donde:

- R = Constante de los gases  
T = Temperatura absoluta en grados Kelvin  
n = Valencia  
F = Constante electrostática medida en Coulombios  
ln = Logaritmo nepperiano (base e = 2,71828)  
C<sub>1</sub> = Concentración de sales de un medio  
C<sub>2</sub> = Concentración de sales del otro medio



### Curva de resistividad

Es una curva que registra las diferencias de resistividad de las formaciones atravesadas por la perforación a medida que la sonda asciende en el pozo.

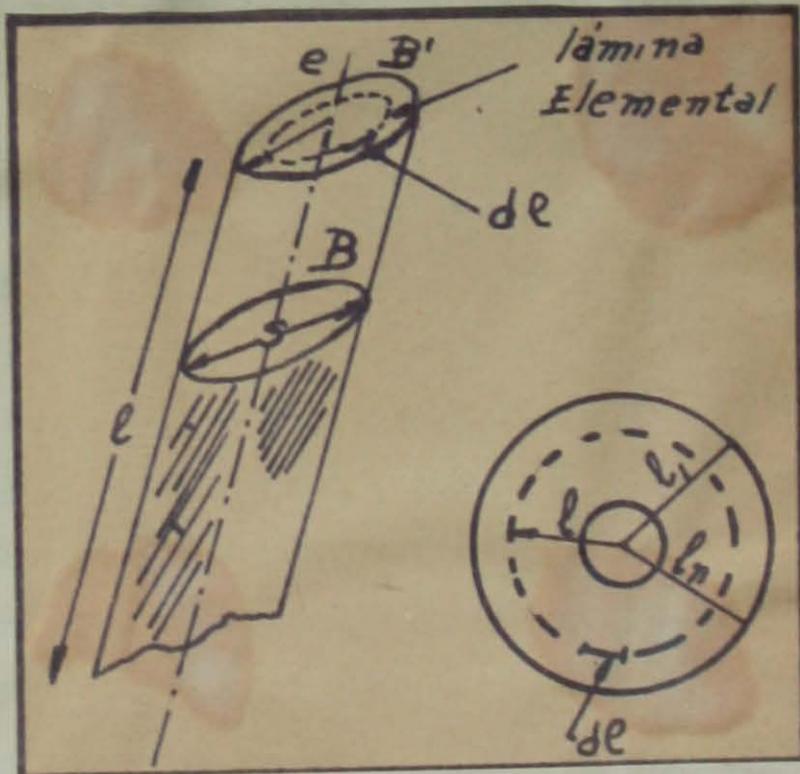
De acuerdo con la expresión que da la resistencia eléctrica de un conductor:

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

esta ecuación está limitada al caso de conductores de sección uniforme. Si el conductor tiene una forma cilíndrica, cuya sección sea  $s$  y  $l$  su longitud, el flujo de corriente desde la superficie  $B$  a la superficie  $B'$ , atraviesa varias láminas una a continuación de la otra, y tendremos  $n$  conductores en serie.

La resistencia total del conductor es igual a la suma algebraica de la resistencia de cada una de las láminas. Suponiendo que los radios de entrada y de salida sean  $l_1$  y  $l_n$  respectivamente y que una de las láminas,  $S_k$  por ejemplo, tenga un radio  $l$  y un espesor  $dl$ , la superficie de dicha lámina será  $4\pi l^2$  y su resistencia  $R_k$  será:

$$dR_k = \rho \frac{dl}{4\pi l^2}$$



La resistencia total de las láminas desde B a B' será:

$$dR_k = \sum_{k=1}^{\infty} \rho \frac{dl}{4\pi l^2}$$

$$\int dR_k = \int_{L_1}^{L_n} \rho \frac{dl}{4\pi l^2}$$

$$R_k = \frac{\rho}{4\pi} \left( \frac{1}{L} \right)_{L_1}^{L_n} = \frac{\rho}{4\pi} \left( \frac{1}{L_n} - \frac{1}{L_1} \right)$$



Si un electrodo esférico de radio  $r$  es colocado frente a un estrato a investigar, su resistencia se puede determinar por la aplicación de la ley de Ohm, es decir, por la medición de la corriente  $I$  y por la tensión aplicada.

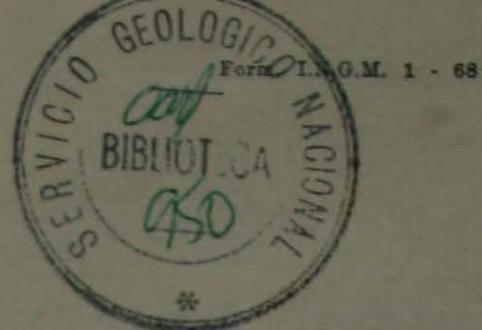
$$R_e = \frac{V}{I}$$

La resistividad será entonces:

$$\rho = 4\pi R_e r = 4\pi \frac{V}{I} r$$

Esta ecuación se verifica si el terreno es homogéneo e isótropo y si el electrodo tiene su geometría esférica. Ahora bien, si el terreno no es homogéneo, no se puede aplicar dicha ecuación, pero sin embargo la expresión  $4\pi \frac{V}{I} r$ , tiene un valor numérico definido que está relacionado con la resistividad de los materiales que rodean el electrodo. El valor de  $\rho'$  es llamado resistividad aparente de las formaciones que circundan al electrodo. El significado físico de  $\rho'$ , es la resistividad de una formación imaginaria, supuesta homogénea e isótropa, en la cual el electrodo tendría una resistencia  $R' = \rho' \frac{1}{4\pi r}$

Como se expresó anteriormente, las curvas de resistividad se registraron con el método de "punto único de resistividad". Sus ventajas son: la medida de resistividad de secciones delgadas y los cambios litológicos son marcados con cierta definición. En cuanto a sus limitaciones, después de considerar el efecto del diámetro del pozo, tamaño y geometría del electrodo, efecto de la invasión del lodo de la perforación, se puede resumir en: pequeño poder de penetración y respuesta no lineal, es decir, aplastamiento de la curva.



### Perfil radioactivo

Los perfiles radioactivos convencionales pueden ser de dos tipos: a) aquellos que miden la radioactividad natural de las formaciones (perfil de rayos gamma) y b) los que miden las radiaciones reflejadas por las formaciones cuando se las somete a la acción de una fuente de neutrones de alta velocidad (perfil neutrónico). Nos referiremos particularmente al perfil de rayos gamma.

La radiación gamma es una radiación de ondas electromagnéticas de alta energía emitida por los núcleos de los átomos. Los elementos que producen rayos gamma son sumamente inestables, y sus átomos sufren continuas transformaciones en otros átomos diferentes, teniendo cada uno de ellos su propia vida media. La energía de los rayos gamma se expresa en millones de electron-voltios (M.e.v.). Este perfil puede ser registrado en pozos abiertos, entubados y con cualquier tipo de inyección. Su utilización tiene importancia para la correcta definición de las superficies de contacto y la marcada definición que muestran entre arcillas y arena; permite utilizar este registro en lugar de la curva de SP en aquellas perforaciones que se ejecutaron con inyección salina.

Nuestra sonda detectora registra la radioactividad natural por medio de un dispositivo llamado centelleómetro que produce un destello luminoso al ser alcanzado uno de sus cristales por una radiación gamma. Este destello es recibido por un tubo fotomultiplicador que transforma esa energía lumínica en un pulso eléctrico. Las fluctuaciones estadísticas son comunes a cualquier medición radioactiva. Si se considera un número de núcleos radioactivos, éstos sufrirán un gradual proceso de desintegración y no se puede determinar el momento exacto en que alguno de ellos dejará o comenzará a emitir radiaciones, sino que lo hará sujeto a condiciones físicas. Es decir, la desintegración y por lo tanto la emisión es completamente casual. Se puede decir entonces que el número de núcleos que se desintegra

en períodos cortos para cada uno de ellos, fluctuará alrededor de un valor medio. La variación de estos valores medios de la curva de discontinuidad de desintegración se llaman fluctuaciones estadísticas.





### Descripción de los registros obtenidos:

Se desarrollará primeramente la descripción ~~cuantitati~~-  
va correspondiente a la perforación Anguinán 11 y a continua-  
ción la respectiva de Anguinán 17. Las descripciones cuantitati-  
vas, producto del cálculo de los perfiles, son imposibles mate-  
rializarlas por cuanto los ábacos de interpretación vienen tabu-  
lados para profundidades grandes. Para calcular los valores de  
Rmf y Rmc se debe calcular previamente la temperatura de forma-  
ción en función de la temperatura de fondo. El nomograma emplea-  
do para estimar la temperatura de formación, marca la escala de  
profundidades cada mil metros con divisiones de cincuenta en  
cincuenta metros, por lo tanto es imposible interpolar los valo-  
res de profundidad medidos en ambas perforaciones, pues salen  
de las líneas de gradiente geotérmicas zonales.

#### Anguinán 11

Se perforó hasta una profundidad de 130 mts. vale de-  
cir 426,530', con un diámetro de 215,9 mm., sin reducción hasta  
el fondo; la escala de profundidades que se empleó en el registro  
fue de 20 pie/pulgada de registro.

Se corrieron tres registros con idéntica escala de pro-  
fundidades, dos eléctricos y uno radioactivo. Las sensibilida-  
des empleadas para los primeros fueron: 25 mv/pulgada y con una  
base de 325 mv para la curva de potencial; y 10 ohm-metro/pulga-  
da con una base de 315 mv para la curva de resistividad. La cur-  
va de rayos gamma se registró con una sensibilidad de 5 mv/pul-  
gada, con una base de 430 mv y con una velocidad de ascenso de  
5/35.

El valor de la resistividad de la inyección (Rm) medi-  
do a 28,8° F es de 7,5 ohm-metro; corregido a la temperatura de  
fondo por medio de la expresión :  $R_m \text{ a BHT} = R_m \frac{(TR_m + 6,77)}{BHT + 6,77}$  es  
de 5,22 ohm-metro.

La temperatura de fondo BHT, medida con un termómetro  
de máxima es de 78,80° F.

De acuerdo con los registros obtenidos, se pueden distinguir cinco zonas:

1a.	de 96,00' a 118,00'	Espesor: 22,00'
2a.	de 170,00' a 302,00'	Espesor: 132,00'
3a.	de 302,00' a 360,00'	Espesor: 58,00'
4a.	de 360,00' a 376,00'	Espesor: 16,00'
5a.	de 376,00' a 412,00'	Espesor: 36,00'



1a. capa: 96,00' a 118,00'

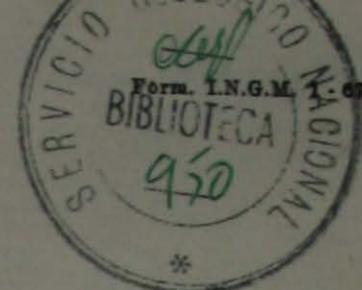
Capa arenosa arcillosa con intercalaciones duras. Predomina la arena. Las posibles intercalaciones pueden ser arenas muy gruesas o bien gravillas, como lo muestran los picos de la curva de rayos gamma. Los valores de potencial natural varían entre 348 mv a 360 mv. La curva de resistividad acusa valores altos. De lo arriba mencionado, y de la curva radioactiva se puede decir que se está frente a una capa permeable que puede contener agua.

2a. capa: 170,00' a 302,00'

Zona arenosa, también con intercalaciones arcillosas. En este horizonte predominan las arenas. La curva de potencial se recuesta hacia la línea de base de las arenas, alcanzando valores picos de potencial de 380 mv. Dentro de esta zona se puede distinguir un área bien diferenciada, la que se considera como un acuífero. Es de destacar que por los valores alcanzados por las curvas todo el Horizonte es permeable y contiene agua; pero entre la profundidad de 250,00' y 302,00' se la puede considerar como la óptima, pues en ella las curvas toman los valores más altos. Asimismo inmediatamente debajo del lecho de ese horizonte se encuentra la arcilla, la que permitirá asegurar la cañería filtro.

3a. capa: 302,00' a 360,00'

La curva de potencial muestra su parte cóncava hacia la línea base de las arcillas. Los valores registrados son bajos. Algo similar ocurre con la de resistividad; sus valores promedios se mantienen casi constantes, sin alcanzar valores repre-



sentativos, recostándose sobre el cero del registro, mientras que la curva radioactiva se manifiesta con grandes incrementos de radioactividad, lo que indica que se está frente a una formación arcillosa bien definida.

4a. capa: 360,00' a 376,00'

El comportamiento de las curvas en este tramo es muy similar al anterior.

5a. capa: 376,00' a 412,00'

A esta profundidad se puede observar en la curva de resistividad un incremento de sus valores medios, mientras que la de potencial se mantiene casi constante; la curva radioactiva muestra incrementos de radioactividad, pero también indica zonas arenosas. Es decir, que la zona investigada sería arena arcillosa. Si consideramos la curva de resistividad, se puede decir que a esta profundidad se encuentra un acuífero.

Desde 412,00' hasta los 420,00' se está en una zona de arcillas bien definidas como lo indican los tres registros.

#### Resumen:

Del análisis cualitativo de los registros, se deduce que la primera zona contiene agua; que la segunda es una zona permeable y que el área óptima de explotación en lo referente a la ubicación de la cañería filtro estaría comprendida entre los 250,00' y 302,00'. La última zona a explotar estaría ubicada entre los 376,00' y 412,00', la que en su lecho presenta un frente arcilloso bien definido para clavar la cañería.

#### Anguinán 17

Se ejecutó la perforación homónima hasta una profundidad de 183,00 metros, igual a 600,423', con un diámetro de 9'', con reducción a 8 5/8'' a los 328,1' hasta el fondo; la escala de profundidades empleada en el registro fue de 20 pie/pulgada.

Se obtuvieron con igual escala de profundidad tres perfiles: dos eléctricos y uno radioactivo. Las sensibilidades empleadas en los primeros fueron 50 mv/pulgada, con una base de 770 mv para la curva de potencial; y 10 ohm-metro/pulgada, con una base

de 340 mv para el registro de resistividad. El perfil radioactivo se registró con una sensibilidad de 5 mv/pulgada, con una base de 450 mv y con velocidad de ascenso 15/35.

El valor de BHT es de 82,4° F.

La resistividad de la inyección (Rm) medida a 63,50° F es de 7,2 ohm-metro; corregida a la temperatura de fondo es Rm a BHT de 5,73 ohm-metro.

De acuerdo con los registros se pueden distinguir 13 zonas que son:

1ra.	de 158,00' a 199,00'	espesor: 41,00'
2da.	de 199,00' a 238,00'	espesor: 39,00'
3ra.	de 238,00' a 262,00'	espesor: 24,00'
4ta.	de 262,00' a 284,00'	espesor: 22,00'
5ta.	de 284,00' a 322,00'	espesor: 38,00'
6ta.	de 322,00' a 364,00'	espesor: 42,00'
7ma.	de 364,00' a 387,00'	espesor: 23,00'
8va.	de 387,00' a 446,00'	espesor: 59,00'
9na.	de 446,00' a 470,00'	espesor: 24,00'
10ma.	de 470,00' a 542,00'	espesor: 72,00'
11ra.	de 542,00' a 562,00'	espesor: 20,00'
12da.	de 562,00' a 584,00'	espesor: 22,00'
13ra.	de 584,00' a 598,00'	espesor: 14,00'



1ra. capa: Las deflexiones de la curva de potencial muestran su parte cóncava hacia la línea base de las arcillas. Los valores alcanzados por esta curva oscilan entre los 780 mv y 820 mv. La curva de resistividad muestra valores altos; el perfil radioactivo muestra valores promedios de radiación con ciertas agudezas en sus picos. De esto se puede decir que la formación<sup>es</sup>/arenosa con intercalaciones de limo o arcillas.

2da. capa: La curva de potencial declina hacia el lado de las arcillas; igualmente se comporta la curva de resistividad, mientras que el perfil radioactivo marca incrementos de radioactividad, con picos agudos, lo que demuestra la existencia



de materiales duros. De lo observado se puede deducir que se está frente a una capa arcillosa, con rodados y algo de arena (la que puede encontrarse en poca escala frente a la arcilla).

3ra. capa: El comportamiento de las curvas es casi igual al anterior, solamente que en este tramo la curva de resistividad tiende a incrementarse, lo que denotaría la presencia de arena, pero en mayor cantidad que en la anterior.

4ta. capa: Idéntico comportamiento de las curvas que en el tramo anterior. Por lo tanto se deduce que la litología es igual.

5ta. capa: La curva de potencial aumenta hacia los valores negativos, alcanzando a  $-830$  mv entre  $306,00'$  y  $314,00'$ ; a la misma profundidad la curva de resistividad aumenta. Igualmente en el registro radioactivo se produce un decremento de radioactividad a esa profundidad. Esto nos demuestra la presencia de arena. Por encima y por debajo de esa arena se encuentran materiales arcillosos con posibles intercalaciones de rodados.

6ta. capa: Por los valores alcanzados en las curvas, se puede estimar una zona permeable, formada por arena, con intercalaciones de materiales duros.

7ma. capa: La curva de potencial alcanza picos altos, tangentes a la línea base de las arenas del orden de  $-872$  mv. La curva de resistividad también toma valores ponderables. El registro radioactivo muestra una zona arenosa con ciertas intercalaciones de rodados. Por los valores obtenidos se trata de una zona permeable, con fluidos.

8va. capa: Los valores de la curva de resistividad se mantienen en igual orden que en el tramo anterior, es decir de  $370$  ohm-metro. Sin embargo, la curva de potencial declina algo por la presencia de rodados, pero siempre las deflexiones son hacia la zona de las arenas. Este horizonte es permeable y contiene fluido.

9na. capa: El comportamiento de este horizonte en cuanto a los parámetros eléctricos es igual que el anterior. La curva de ra-

Los gamma muestra que la zona es más arenosa que la anterior. No se puede asegurar que se comporta esta capa como un horizonte productor independiente del anterior, sino que es el mismo.

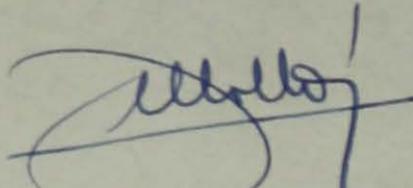
10ma. capa: En esta zona los valores de resistividad registrados son máximos; la curva de potencial tiende a aumentar hacia la línea de las arenas, las deflexiones son algo restringidas por la presencia de rodados, también acusados por la curva radioactiva. Los elementos que componen este horizonte acuífero son: arena, rodados y material arcilloso en tramos.

11a. capa: La curva de potencial, al igual que la de resistividad, declina notoriamente, mientras que la radioactiva aumenta. Esto pone de manifiesto la existencia de arcillas.

12da. capa: Capa areno-arcillosa, en la que predomina arcilla con rodados. Aquí se denota la posible existencia de agua. Pero de acuerdo con el informe del señor Jefe de Sondeos "a esta profundidad la inyección floculaba".

13ra. capa: Igual que la anterior.

Resumen: De la descripción precedente se puede estimar la existencia de una zona permeable con contenido de fluido desde los 364,00' hasta los 542,00'. En esta última cota se puede asegurar la cañería filtro, por encontrarse por encima de la arcilla.

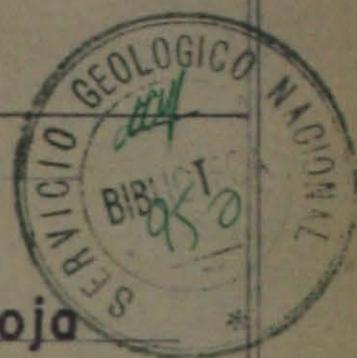
  
José M. MOLLÓN



# INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA

DEPARTAMENTO DE  
GEOFISICA

PERFIL ELECTRICO



REPARTICIÓN: LUJA Hnos y Cia

POZO Anguinan 11

ZONA Chilecito

PROVINCIA La Rioja

COORDENADAS

VARIOS

ORIGEN DE MEDIDAS

ALTURA

PERFORADOR Terreno

BOCA DE POZO

PERFIL Terreno

MESA ROTARIA

FECHA 23/7/68.

PROFUNDIDAD PERFORADA 426,530'

PROFUNDIDAD PERFILADA 420,00'

PRIMERA LECTURA 418'

ULTIMA LECTURA 4'

CAÑERIA GUIA Sin entubar

DIAMETRO DE POZO 215 mm

TIPO DE INYECCION Bentonita sin tratar

DENSIDAD 1105 VISCOSIDAD

pH 6,5 AGUA DEL FILTRADO

ORIGEN DE MUESTRA Perforación

R<sub>m</sub> 7,5 Ωm @ 28,8°F

R<sub>mf</sub> Ωm @

R<sub>mc</sub> Ωm @

ORIGEN DE R<sub>mf</sub> y R<sub>mc</sub>

R<sub>m</sub> A TEMPERATURA DE FONDO 5,22 Ωm

TEMPERATURA DE FONDO 78,80°F

REGISTRADO POR: J.M. Mollon y J.A. Rovelli

PRESENCIADO POR: C. Aguilera

OBSERVACIONES: