

# **INFORME HIDROGEOLOGICO**

**POR**

**TESTIFICACION GEOFISICA**

**CAMPO DEL ARENAL**

**PROVINCIA DE CATAMARCA**

Pw-8 CMW-7

**COMITENTE: MINERA ALUMBRERA S.A.**

**PROINSA**

**Proyectos de Ingeniería S.A.**

**Dorrego 3187**

**(3000) Santa Fe**

**Tel/FAX: 0342 - 4552526 / 4811014 / 4562424**

**Email: [proinsa@gigared.com](mailto:proinsa@gigared.com)**

**- Agosto de 2006 -**

## INTRODUCCIÓN

Se presenta el resultado de los estudios hidrogeológicos realizados en perforaciones ubicadas en el Campo del Arenal propiedad de Minera Alumbreira para el abastecimiento de agua subterránea a los procesos productivos de su establecimiento minero.

Para ello se utilizaron técnicas geofísicas en sondeos (perfilaje múltiple de pozos) mediante el uso combinado de sondas de densidad o gamma-gamma y neutrónico.

Se realizaron registros en dos perforaciones, una destinada a perforación de explotación y la segunda correspondiente a una perforación de monitoreo de niveles estáticos y dinámicos dentro del mismo campo de bombeo.

Se contó con el apoyo del personal del Departamento de Medio Ambiente de Minera Alumbreira S.A. Geologo Martín Varela. Las tareas de campo se realizaron el día jueves 17 de agosto.

## OBJETIVOS

La aplicación de las técnicas radiactivas en sondeos tuvo como objetivo la determinación en profundidad de las características formacionales de porosidad (mediante sonda neutrónica) y de densidad de la formación (sonda gamma-gamma) en perforaciones de explotación y monitoreo del denominado Campo del Arenal, Provincia de Catamarca.

## METODOLOGIA

### Perfilaje Múltiple de Pozos.

A continuación se da a una breve descripción de los distintos métodos aplicados en la investigación geofísica .

#### a) Registros de Densidad (Gamma-Gamma)

El Registro obtenido mediante esta técnica se basa en la detección de Rayos Gamma atenuados, provenientes de una fuente de Cs137 de 0.66 Mev de energía que interacciona con los electrones de los elementos de la formación de modo tal que la intensidad de la radiación que alcanza el detector tipo Geiger-Muller es tanto menor, cuanto mayor es la densidad del material presente debido al espaciamiento fuente-detector (mayor a 20 cm), y a la mayor probabilidad de ocurrencia del efecto fotoeléctrico sobre el Compton para esas distancias.

Por consiguiente, la respuesta en número de cuentas por segundo, es inversa con la densidad. El registro provee un valor de densidad total, incluye la densidad del fluido presente en el espacio poroso (densidad in situ).

Los registros gamma-gamma miden la intensidad de la radiación Gamma de una fuente en una sonda después de que la radiación ha interactuado y atenuada dentro de la perforación y



los materiales geológicos vecinos a la misma. La fuente de radiación gamma es una pastilla radiactiva de  $Cs_{137}$  blindada la que es registrada por un detector de yoduro de sodio. La radiación gamma desde la fuente radiactiva penetra y es absorbida por el fluido, el encamisado, cementado y los materiales de las formaciones vecinas. La radiación gamma es absorbida por todos los materiales a través de los que la misma viaja. La densidad de la formación, los fluidos, el encamisado, cementado y sellos afectan el radio de investigación del registro gamma-gamma. La distancia fuente detector altera el volumen de material investigado.

El principal uso o aplicación de los registros gamma-gamma son la identificación de litología y la medición de la densidad total. También puede utilizarse para la localización de cavidades o fisuras fuera del encamisado de la perforación. Los registros gamma-gamma son sensibles a la presencia de los niveles de agua, por lo que permiten su determinación.

## b) Registro Neutrónico

Este perfil responde a una propiedad fundamental de las formaciones que es su riqueza en hidrógeno. Si todo el hidrógeno está en forma líquida (agua), y si esta ocupa todo el volumen de poros, la abundancia del mismo es un índice de la porosidad, es decir permite obtener valores de porosidad en formaciones saturadas.

Usando el método de neutrones epitérmicos, para el que se dispone de una fuente emisora de neutrones rápidos  $AmBe$  y de un detector de neutrones epitérmicos de tipo proporcional de F3B (trifloruro de boro) se puede determinar la porosidad de las formaciones atravesadas en la Zona Saturada y la humedad en la Zona no Saturada.

De acuerdo al US Army Corp of Engineers (1999) los registros neutrónicos son potencialmente la técnica más útil en el estudio de la geofísica de perforaciones o testificación geofísica de sondeos cuando son aplicadas al estudio de las aguas subterráneas. Esto se debe al hecho de que la respuesta medida es debido al hidrógeno presente y ello está relacionado a la presencia de agua. Los registros neutrónicos también tienen la ventaja sobre el resto de las técnicas radioactivas de testificación de que pueden correrse en sondeos secos o llenos de líquido, entubados o no entubados, y tienen un gran radio o volumen de influencia.

En los registros neutrónicos los neutrones son artificialmente introducidos en la perforación y la formación, y se registran los efectos del medio sobre los neutrones. Asumiendo que la mayor parte del hidrógeno presente ocurre en forma de  $H_2O$ , los materiales con mayor porosidad (y por ello mayor contenido de agua) disminuyen y capturan mayor cantidad de neutrones, resultando un menor conteo o llegada de neutrones al detector. Lo inverso ocurre en materiales de menor porosidad. Esta aseveración no es válida cuando existe presencia de hidrocarburos y otros materiales con base a hidrógeno presente.

Los registros neutrónicos son afectados por cambios en las condiciones de la perforación en un menor grado que los otros registros geofísicos que miden la propiedad de los materiales de las formaciones geológicas. El efecto más marcado en los registros neutrónicos se debe a cambios en el diámetro de la perforación.

El volumen de influencia, el cual es definido por el radio de investigación es un factor clave en el análisis de los registros neutrónicos. El radio de investigación depende tanto de la



distancia (espaciado) fuente-detector, la petrología del material y el contenido de agua (porosidad) dentro del volumen de influencia. El radio de investigación varía entre 0.15 m en materiales de alta porosidad y hasta 0.60 m en formaciones de baja porosidad o zonas no saturadas. Estas estimaciones han sido consideradas muy conservadoras, y en trabajos recientes de laboratorio con modelos semiinfinitos sugieren que el radio de investigación en arenas saturadas es mayor que 0.50 metros.

Las aplicaciones de los registros neutrónicos son utilizados mayormente para la medición del contenido de humedad en la zona no saturada (aplicaciones agropecuarias y movimiento del agua en los procesos de infiltración) y la determinación de la porosidad total (contenido de agua higroscópica, capilar y gravífica) en la zona saturada con fines hidrogeológicos. Debe considerarse que en la mayor parte de los medios geológicos el contenido de hidrógeno es directamente proporcional al contenido de agua intersticial (higroscópica).

### **Equipamiento del Perfilaje de Pozos.**

El equipo empleado en las tareas de perfilaje realizadas por PROINSA es un registrador continuo, basado en un equipo GOI de origen americano, con una capacidad de 550 metros de profundidad. El mismo ha sido adaptado para la toma digital de información, con conexión directa a una PC, que digitaliza la información simultánea cada 0.10 metros, de cuatro registros en forma simultánea (gamma natural, resistivos normales de corto y largo espaciado y de potencial espontáneo), y con una velocidad de ascenso de 3 metros/minuto.

El equipo de registración continua cuenta con capacidad para registros eléctricos (Normales Corta y Larga), de Potencial Espontáneo; y registros radiactivos (Gamma Natural, Neutrónico y Densidad).

Las sondas eléctricas son de alta resistencia mecánica, y una de ellas está diseñada para la medición de los registros eléctricos Normales de Corto y Largo Espaciado, Potencial Espontáneo y Gamma Natural. La sonda Gamma-Natural consiste en un detector a partir de un tubo fotomultiplicador, que es excitado por un destello luminoso originado por un cristal de centelleo cuando incide sobre él una radiación gamma, que son ampliados y transmitidos a la superficie para su registración.

### **Presentación de los resultados.**

Los resultados son presentados como un perfil integrado de todos los registros indicando porosidad y densidad de las formaciones investigadas.

## **RESULTADOS**

Se registraron dos perforaciones en el Campo del Arenal, las características de litología, encamisado, etc de las mismas fue provista por Minera Alumbrera S.A., la Tabla 1 resume las características de las mismas.

**Tabla 1. Característica de las perforaciones investigadas**

<b>Perforación</b>	<b>Profundidad Total</b>	<b>Profundidad Registrada</b>	<b>Destino</b>
<b>PW8</b>	225.50	225.50	Explotación
<b>CMW7</b>	51.50	50.00	Monitoreo

Los registros integrados de las Figuras 1 y 2 presentan los resultados del procesamiento de los registros neutrónicos y de gamma-gamma, indicando para cada una de las perforaciones los valores determinados a partir de las correlaciones de los valores de porosidad (zona saturada), humedad (zona no saturada) y de densidad de la formación.

### **CONCLUSIONES**

Se han podido registrar las propiedades físicas de porosidad/humedad y densidad de las formaciones correspondientes a dos perforaciones de propiedad de Minera Alumbraera S.A. en el Campo del Arenal de la Provincia de Catamarca, lugar de explotación de los recursos hídricos subterráneos con destino a agua industrial de la planta de la empresa.

Los valores determinados fueron obtenidos a partir de la calibración de los registros neutrónicos y de gamma-gamma registrados con un intervalo de muestreo de 0.10 metros a lo largo de todo el perfil de la perforación.

Los valores de humedad en la zona no saturada y porosidad de la zona saturada oscilan entre 9.72 y 25.33 % para el sondeo PW8, y entre 21.69 y 28.76 % para la perforación de monitoreo CMW 7 (todos los valores corresponden a la zona saturada).

Por otra parte la densidad de las formaciones atravesada varían entre 2.0 y 2.38  $\text{gr/cm}^3$ , para el sondeo PW8 y entre 1.90 y 2.63  $\text{gr/cm}^3$  para la perforación de monitoreo CMW 7

**Htco. Oscar Dalla Costa**

**Ing. Eduardo Luis Díaz**



## BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS CONSULTADAS

**Astier, J.L.** (1982). "Geofísica aplicada a la hidrogeología". Editorial Paraninfo. Madrid. España. 344 páginas.

**Cantos Figuerola, J.** (1974). "Tratado de Geofísica Aplicada". Editorial Litoprint. Madrid. España. 520 páginas.

**Castany, G.** (1975). "Prospección y explotación de las aguas subterráneas". Ediciones Omega. Barcelona. 738 páginas.

**Custodio, E. y R. Llamas.** (1976). "Hidrología Subterránea". Editorial Omega. Barcelona. España. 2359 páginas.

**Dresser Atlas** (1982). "Sistemas de Interpretación de Perfiles de Pozo Abierto". Impreso en Estados Unidos. Versión en Español. 52 páginas.

**Gearhart - Owen Industries** (1977). "Operators Manual Gamma Ray - CCL - Neutron Logging System". GOI 3500 Series. USA.

**Gearhart - Owen Industries** (1978). "WS 287 Manual Neutron Logging". GOI 3500 Series. USA.

**Huarte, J.P.** (1977). "Procedimiento de sondeos. Teoría, práctica y aplicaciones". Servicio de Publicaciones de la Junta de Energía Nuclear. Madrid. España. 553 páginas.

**Johnson** (1975). "El agua subterránea y los pozos". Editor Johnson Screen. Estados Unidos. Saint Paul. Minnessotta. 513 páginas.

**Gearhart - Owen Industries** (1977). "Operators Manual GOI 3500 Series Logging System". USA.

**Plata, A.** (1972). "Isotopos en Hidrología". Editorial Alhambra. Madrid. España. 328 páginas.

**Schlumberger Well Surveying Corporation** (1958). "Introducción al método Schlumberger de Perfilaje de Pozos". Documentos Schlumberger. Número. 8. 174 páginas. Versión en Español. Caracas. Venezuela.

**U.S. Army Corps of Engineers** (1999). "Engineering and Desing Groundwater Hydrology". Manual N° EM 1110-2-1421. Washington DC. Estados Unidos de América.