

# EVOLUCION DE LAS CONDICIONES HIDROQUIMICAS E HIDRODINAMICAS EN UNA PERFORACION TERMAL EN ENTRE RIOS.

E. Díaz, O. Dalla Costa y B.C. Aceñolaza  
PROINSA - Proyectos de Ingeniería S.A.  
Dorrego 3187 - (3000) Santa Fe - Tel/FAX: 342 - 4552526  
Email: [proinsa@gigared.com](mailto:proinsa@gigared.com)

## RESUMEN

Se presentan los resultados del monitoreo de la Perforación Termal de Villa Elisa en los aspectos hidroquímicos, hidrodinámicos y de parámetros hidráulicos formacionales. Mediante el procesamiento de 26 análisis físico químicos, mediciones sistemáticas de niveles estáticos al inicio del bombeo y de los dinámicos al final de la operación diaria y la interpretación de los valores de recuperación de niveles en función del tiempo se ha determinado para diferentes fechas los parámetros formacionales de Transmisividad y Conductividad Hidráulica, y su efecto sobre el quimismo del agua utilizada por el Complejo.

El uso de una sonda geofísica ha permitido determinar 10 intercalaciones de areniscas, totalizando 173 metros, intercaladas en los basaltos de la Fm. Serra Geral aportan agua de elevada salinidad, fundamentalmente cloruradas sódicas, a las explotadas por el sistema. El registro de resistividad del fluido ha permitido precisar las zonas donde se producen ingresos de mayor contenido salino.

Se han determinado las relaciones iónicas fundamentales y el efecto que sobre la calidad del agua termal ha producido la disminución de los caudales de explotación. Finalmente se proponen medidas de monitoreo adicionales a las llevadas adelante, atendiendo a la influencia del nuevo complejo termal de San José ubicado a una distancia menor a 20 km

**Palabras Claves:** monitoreo, hidroquímica, hidrodinámica, Guaraní

## ABSTRACT

The results of the monitoring of hydrochemicals, hydrodynamic and hydraulic parameter formation of the thermal Villa Elisa borehole are presented.

By means of 26 physical chemical analysis, systematic measurements of static and dynamic levels of the daily pumping operation, the formation parameters of transmissivity and hydraulic conductivity has been determined for different dates by the interpretation of the levels recovery, and the effect over the chemical characteristics over the pumped water to the thermal complex.

The use of a geophysical multiparametric probe determines 10 intercalations of gritty, representing 173 meters total length, inserted in the basalts of the Fm Serra Geral. Those intercalations contribute with water of high salinity, fundamentally sodium chlorates, related to those exploded by the system. The registration of water electrical resistivity could specify the areas of water with high saline content.

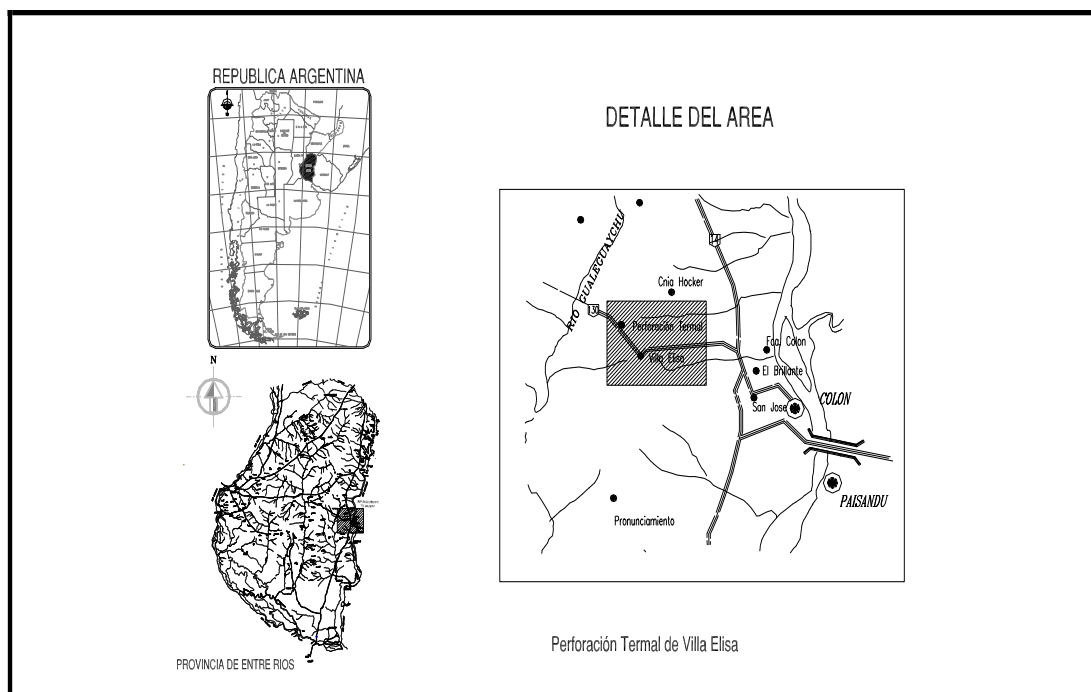
Also, it have been determined the fundamental ionic relationships and the effect produced by the decrease of the flows of exploitation. Finally additional monitoring measures are proposed to take in account the influence of the exploitation a new thermal complex, located in San José city.

**Key Words:** monitoring, hydrochemistry, hydrodynamic, Guarani

## INTRODUCCION

A partir de la inauguración del Complejo Termal de Villa Elisa, en la Provincia de Entre Ríos, se han iniciado tareas sistemáticas de monitoreo de caudales y determinación de la calidad físico - química del agua del complejo termal, de la perforación que abastece de agua al complejo, y de una perforación utilizada para diluir el efluente y llevar la conductividad eléctrica del agua a valores dentro de la norma de consumo para ganado, como asimismo de niveles/presiones.

Asimismo se han realizado tareas de mantenimiento anual del sistema de bombeo y en el año 2004 se complementó la información con un Perfilaje Múltiple de Pozos con sondas radiactivas (Gamma Natural), Eléctricas (Normales de corto y largo espaciado, lateral y monoeléctrica), de Potencial Espontáneo, Temperatura y Conductividad del Fluido, que no fue ejecutado cuando se realizó la perforación. En todos los casos se realizaron ensayos de recuperación de niveles posteriores al bombeo y su interpretación mediante software adecuado para determinar los parámetros hidráulicos formacionales.



**Figura 1. Plano de Ubicación de la Perforación Termal de Villa Elisa**

## OBJETIVOS

Los objetivos del trabajo han sido definir las características hidráulicas del tramo intrabasáltico de la perforación termal, evaluar la evolución de la calidad físico - química del agua del complejo en los 5 años de operación, bajo distintos regímenes de bombeo, monitorear los descensos de niveles producidos en el sistema explotado y evaluar las variaciones de la transmisibilidad de las capas acuíferas del sistema explotado mediante ensayos de recuperación de niveles. Análisis de los registros históricos de las mediciones de niveles dinámicos y recuperación de los años 2003 y 2004 y finalmente recomendar medidas de control y monitoreo a la sociedad encargada del manejo del Complejo Termal, adicionales a las ejecutadas

## **METODOLOGIA**

### **Recopilación de Antecedentes**

Se ha recopilado la información de datos hidroquímicos de los complejos termales de la Provincia de Entre Ríos y de la información generada por el mismo complejo Termal desde el inicio de la operación. Se dispone asimismo de la información geofísica eléctrica de los estudios realizados previos al inicio de la perforación, y de la información geológica del sondeo ejecutado y el primer ensayo de recuperación de caudales, Ainchil et al (1997), Ainchil et al (1998), Benitez (1997), Díaz et al (1993), Giusso et al (1997), Fili et al (1998), Tujchneider et al (2003).

### **Perfilaje Múltiple de Pozos**

A los efectos de alcanzar los objetivos de perfiló mediante una sonda multiparamétrica que cuenta con registros simultáneos de: Gamma natural, Resistividad Normal larga (64") y Normal Corta (16"), Resistividad del fluido, Resistividad Lateral, Potencial espontáneo, Resistividad Monoeléctrica, Temperatura y temperatura diferencial, y inclinación y desviación de la perforación.

El equipo perfilador utilizado es de origen norteamericano, marca Century Geophysical Corp. Está integrado por un sistema de registro (Compu Log Ultra Lite), un malacate (Dramworks 1000) y una sonda que permite el registro simultáneo de las variables. Finalmente el equipo se completa con un malacate automático con 1000 metros de cable, que es controlado por el sistema de cómputo que controla asimismo a la herramienta de pozo. El sistema de computación cuenta con un software de registro, procesamiento e interpretación. El registro puede observarse en pantalla a tiempo real.

### **Ensayo de Recuperación de Niveles**

Los niveles estáticos en la perforación termal fueron determinados, en referencia a la brida de la perforación, mediante sonda bipolar.

Las mediciones se realizaron con intervalos de tiempo variable, pero en todos los casos con mediciones de una a tres veces por mes, a lo largo de los años 2003 y 2004, midiendo el nivel dinámico antes de la parada de la bomba a la noche y el nivel estabilizado antes del encendido el día siguiente, registrando asimismo la cantidad de horas de funcionamiento y horas de motor apagado.

### **Evolución hidroquímica**

Se analizaron la evolución de parámetros seleccionados de los análisis físico - químicos en el tiempo y correlacionándolos con los caudales de explotación.

Las muestras de agua fueron analizadas en laboratorios locales, de universidades, del INTI y en un laboratorio acreditado de la ciudad de Santa Fe, utilizando las técnicas convencionales de determinaciones de aniones y cationes principales, y en algunos casos de oligoelementos. Asimismo se cuenta con una determinación realizada por un Comité de Expertos cubanos

contratados por el Consejo Federal de Inversiones, en un laboratorio de La Habana (Cuba), Montaña et al (1998), Silva (1999), Romero sanchez et al (2002).

## **Ensayo de Caudales**

Se determinaron los parámetros formacionales de transmisividad y conductividad hidráulica mediante la aplicación del método de Recuperación de niveles a los registros de recuperación del nivel dinámico a partir del apagado de la electrobomba, el primero de los análisis fue realizado en condiciones del surgencia y las nuevas mediciones en condición de niveles semisurgentes luego de más de 12 horas de bombeo y niveles dinámicos estabilizados.

Se utilizó el software Aquifer Test de Waterloo Hydrologic (1996), en la opción Ensayo de Recuperación de Theis & Jacob.

## **RESULTADOS**

### **Perfilaje Múltiple de Pozos**

La perforación se encuentra encamisada en el tramo suprabasáltico, 415 metros desde boca de pozo, la profundidad libre del perfilaje fue de 872.40 metros por razones de seguridad, debido a que a partir de los 884.50 metros se encuentra obstruida la misma con el tren de caños camisa y la bomba que se descolgara cuando se ejecutaba tareas de mantenimiento (Proinsa, 2002).

Desde un punto de vista hidrogeológico los registros definen con precisión diez (10) intercalaciones de areniscas, totalizando 173 metros, comparables con los 152 metros del Pozo Termal de San José; Arce (2004); y los 142 metros de Federación, pero muy inferiores a los 236 metros del Pozo Termal de la localidad de Colón. Los tramos se encuentran entre los: 430 - 448 m; 487 - 500 m; 510 - 524 m; 556 - 578 m; 606 - 622 m; 631 - 638 m; 677 - 707 m; 743 - 758 m; 779 - 804 m y desde 857 a 870 m (fin del tramo registrado).

La temperatura del fluido varía a lo largo del registro, pero en el tramo intrabasáltico no encamisado pueden diferenciarse zonas con variaciones de temperatura en todos los casos con aumento de la temperatura del agua de la perforación en profundidad.

Finalmente puede señalarse que a partir de los 648 metros de profundidad hacia boca de pozo el agua comienza a perder temperatura y comienza a salinizarse.

### **Análisis Físico - Químicos**

Los análisis físico químicos desde 1996 a la fecha, 26 en total, muestran un incremento gradual de la salinidad desde 7,5 gr/litro al finalizar la perforación y en condiciones de surgencia natural con un caudal de 10 m<sup>3</sup>/hora, hasta un máximo de 20 gr/litro con caudales de bombeo mediante bomba electrosumergible de 100 m<sup>3</sup>/hora.

Un cambio en el régimen de bombeo y en las características del complejo termal (protección térmica de algunas de las piscinas para disminuir la pérdida de calor por conducción y convección), tanto en las horas de operación del sistema como en los caudales erogados, reduciéndolos a 60 m<sup>3</sup>/hora, llevaron a una disminución de la salinidad en las últimas mediciones a 12 gr/litro. Las

Figuras 2 y 3 muestran la evolución temporal de la Conductividad Eléctrica, el Residuo Seco, cloruro, sulfato y sodio.

La relación iónica entre los contenidos de cloruros y de sodio, Figura 4, marca una relación lineal del tipo:

$$Cl = 0,4863 * Na + 2205 \quad \text{con una } R^2 = 0.8025$$

indicador de una muy buena correlación temporal de ambos parámetros. La relación entre los residuos secos y la conductividad eléctrica indica una relación:

$$RS = 1,1731 * CE + 3791,2 \quad \text{con una } R^2 = 0,697$$

Por otra parte no existe una relación directa entre los contenidos de cloruros y de sulfatos, con valores de cloruros que aumentan al doble, el contenido de sulfatos se mantiene en el mismo orden, con una  $R^2$  muy baja.

La Figura 5 muestra la relación entre sodio, cloruros y sulfatos con la Conductividad Eléctrica. Las relaciones indican las siguientes ecuaciones:

$$Na = 0,1438 * CE + 2464 \quad \text{con una } R^2 = 0,6508$$

$$Cl = 0,2635 * CE + 1037,2 \quad \text{con una } R^2 = 0,4987$$

$$SO_4 = 0,0537 * CE + 2342,5 \quad \text{con una } R^2 = 0,188$$

A partir de las ecuaciones surge claramente que el incremento de la salinidad se explica por incremento de los cloruros y el sodio, los valores de sulfatos se mantienen casi constantes con un incremento del 5,4 % por cada incremento de la Conductividad Eléctrica.

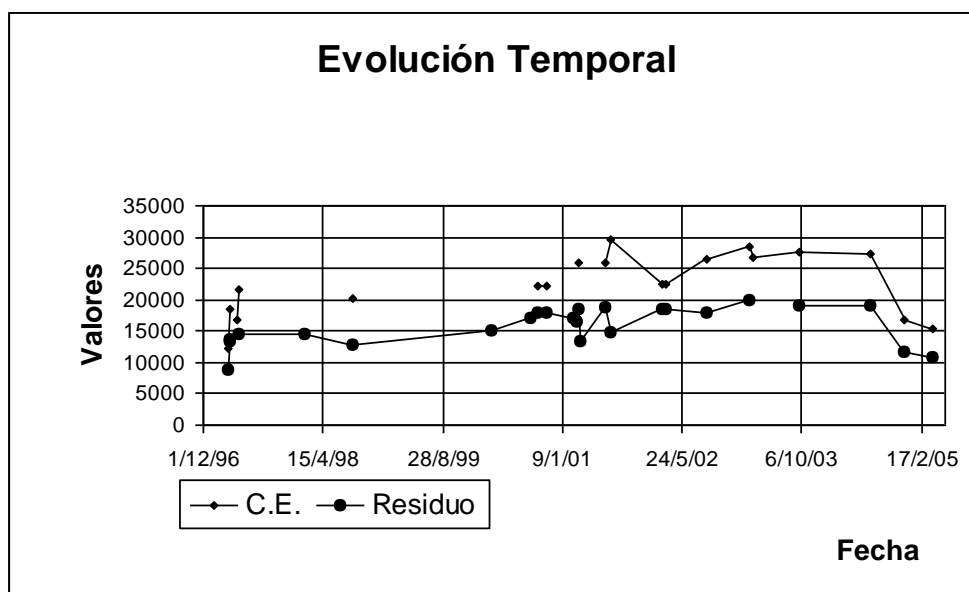
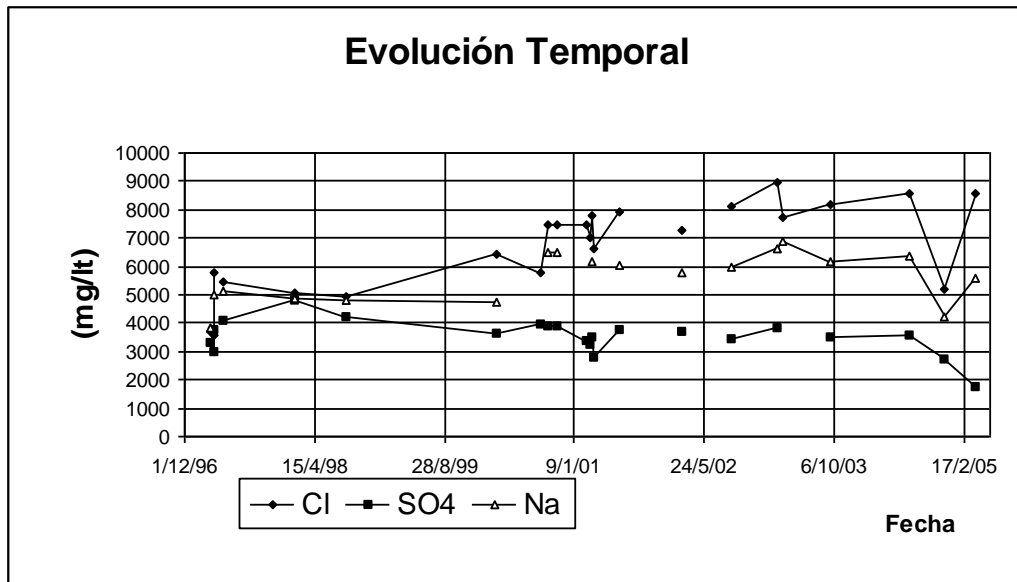
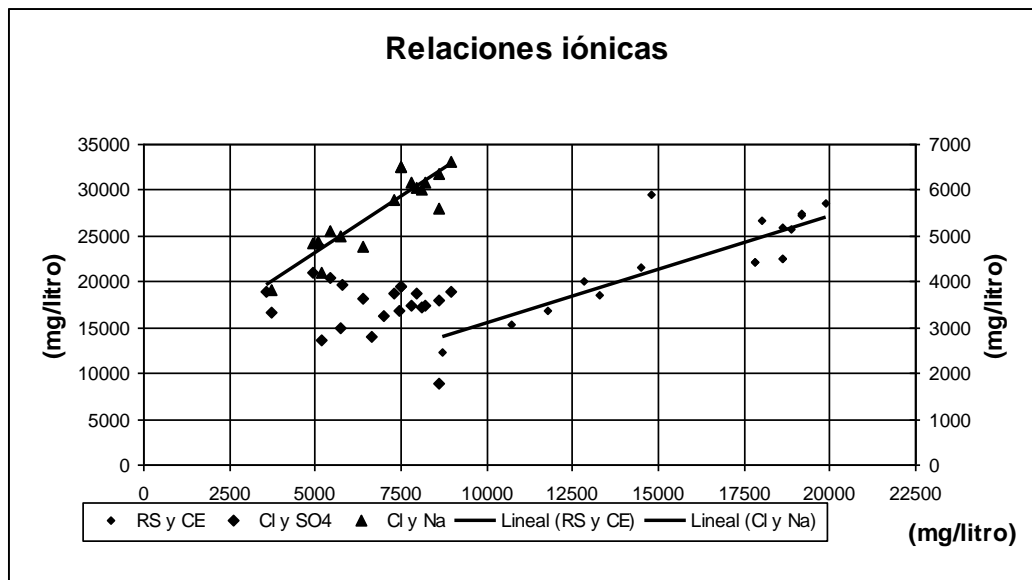


Figura 2. Distribución Temporal de la salinidad (CE y RS)



**Figura 3. Evolución Temporal de los contenidos iónicos (Cl, SO<sub>4</sub> y Na)**



**Figura 4. Relaciones Químicas (RS, CE, Cl, SO<sub>4</sub> y Na)**

Finalmente del perfilaje múltiple de pozos realizado, en especial la variación de la conductividad eléctrica, Figura 6, surge que a los 880 metros la conductividad eléctrica del agua del sondeo es de 13100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , luego aumenta a partir de los 860 m a valores del orden de 18000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , a la profundidad de 618 metros bbp alcanza los 19000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y a partir de los 450 metros bbp se estabiliza en los 21000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , que es el agua que finalmente es explotada en el complejo termal.

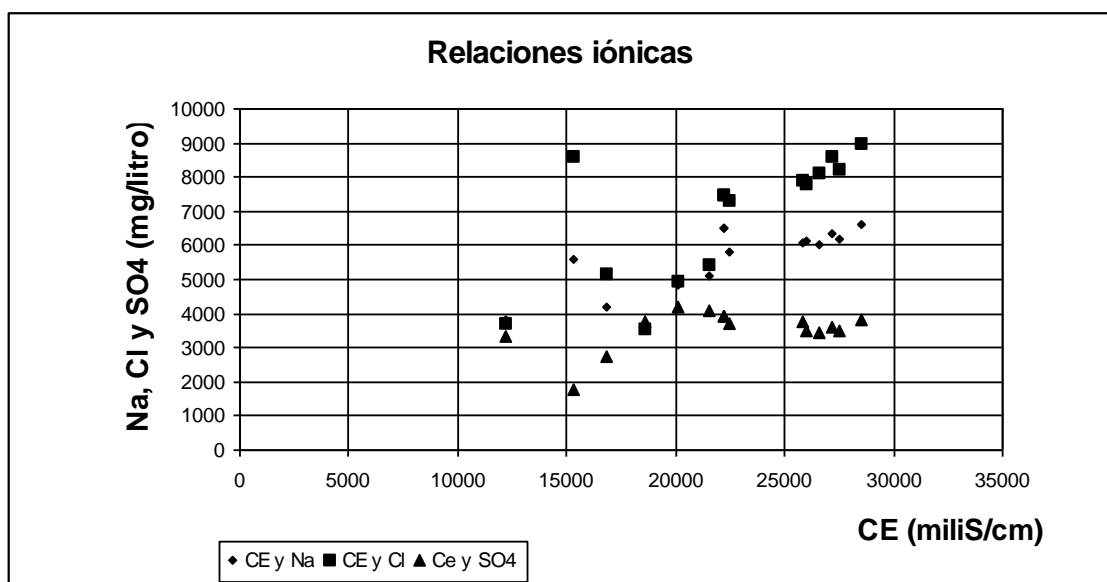


Figura 5. Relaciones Químicas (CE, Na, Cl y SO<sub>4</sub>)

### Evolución de los Niveles

Los valores registrados oscilan entre niveles dinámicos máximos de 65.4 metros y de 38.4 metros de niveles de recuperación antes del bombeo en el año 2003, entre niveles dinámicos máximos de 62.8 metros y de 48.1 metros de niveles de recuperación antes del bombeo en el año 2004.

Para el año 2003, los niveles dinámicos más profundos se producen en los meses de invierno, habiéndose detectado casos de bombeos continuos de hasta 67 horas y 3 horas de bomba apagada en la semana turística del 17 de Agosto, las horas diarias de bomba apagada oscilan entre 2 y 5,5 horas, llegando en casos excepcionales a cero horas. Mientras en el año 2004, los niveles dinámicos más profundos se producen nuevamente en los meses de invierno, habiéndose detectado casos de bombeos continuos de hasta 144 horas y 3 horas de bomba apagada en el período 30 de Junio al 6 de Julio, las horas de bomba apagada oscilan entre 3 y 4,4 horas, llegando en casos excepcionales a cero horas.

Los niveles dinámicos máximos, oscilaron entre 31.27 y 69.93 metros bajo boca de pozo. Los niveles mínimos, registrados al inicio del bombeo todas las mañanas, pasaron de una condición de perforación surgente al finalizar la perforación en 1997, hasta 48.10 metros bajo boca de pozo luego de 5 años de operación, la Tabla 1 presenta los valores extremos registrados.

Tabla 1. Caudales y niveles dinámicos registrados

Año	Caudales de Operación (m <sup>3</sup> /h)	Nivel Dinámico (metros)	Nivel Estático (metros)
1997	12	surgente	surgente
2000	60	s/d	s/d
2001	60	-35.00	-15.0
2002	100	-69.93	s/d
2003	60	-65.40	-38.4
2004	60	-62.80	-48.1

## Ensayo de Caudales

Los resultados de la interpretación de los ensayos de recuperación de niveles presentan los siguientes valores, Tabla 2, lo que indica una continuidad de los valores de Transmisibilidad a lo largo del tiempo, con un incremento gradual de los valores para estabilizarse en los tres últimos años de operación del Complejo.

**Tabla 2. Resumen de los datos de los Ensayos de Caudales**

<b>Fecha</b>	<b>Transmisibilidad (m<sup>2</sup>/día)</b>	<b>Conductividad Hidráulica (m/día)</b>
Abril/97	21,80	0,098
Dic/02	25,70	0,115
Dic/03	26,30	0.118
Dic/04	26,10	0.117

## CONCLUSIONES.

A partir de los registros de Perfilaje Múltiple de Pozos se han podido determinar la existencia de 10 tramos de intercalaciones de areniscas entre los 420 y los 870 metros de profundidad bajo boca de pozo y la presencia de dos ingresos definidos de agua a los 442 y 508 metros bajo boca de pozo, que se mezclan con el agua que ingresa a la formación desde profundidades mayores a los 870 metros.

Existen tres zonas con variaciones de temperatura, desde los 435 hasta los 514 metros, desde los 514 hasta los 648 metros y desde los 648 metros hasta los 870 metros bbp.

Que las variaciones de los niveles dinámicos máximos a lo largo de las últimas dos campañas se han estabilizado en el orden de los 62-65 metros de profundidad desde brida de boca de pozo. Lo que se ha incrementado es la profundidad a la que se recuperan los niveles cuando se reenciende la bomba, el mínimo valor del año 2003 fue el 27 de enero de -38.4 metros bajo boca de pozo, pasó a -48.1 metros el 5 de febrero del 2004, lo que indica que en un año las recuperaciones luego del apagado de la bomba disminuyeron 9.70 metros.

Finalmente que el incremento en el tiempo de la salinidad del agua se explica en los aportes de las areniscas intrabasálticas y que el agua de los tramos inferiores disminuyó sus aportes a la explotación actual del sistema.

A partir de los señalado se recomiendan las siguientes medidas de control:

- En coincidencia al inicio del bombeo del Pozo Termal de San José, ubicado a 12 kilómetros del complejo, comenzar a monitorear con mayor frecuencia los niveles estáticos y dinámicos de la perforación, al menos semanalmente y en especial los fines de semana, coincidente con los mayores consumos.

- Incorporar como nuevos elementos de monitoreo: la temperatura del agua, con sensor dentro de la cañería, temperatura ambiental, caudalímetro y presión de bombeo en boca de pozo, los que deberían ser en lo posible de registro continuo y almacenamiento en memoria, o al menos periodicidad diaria.



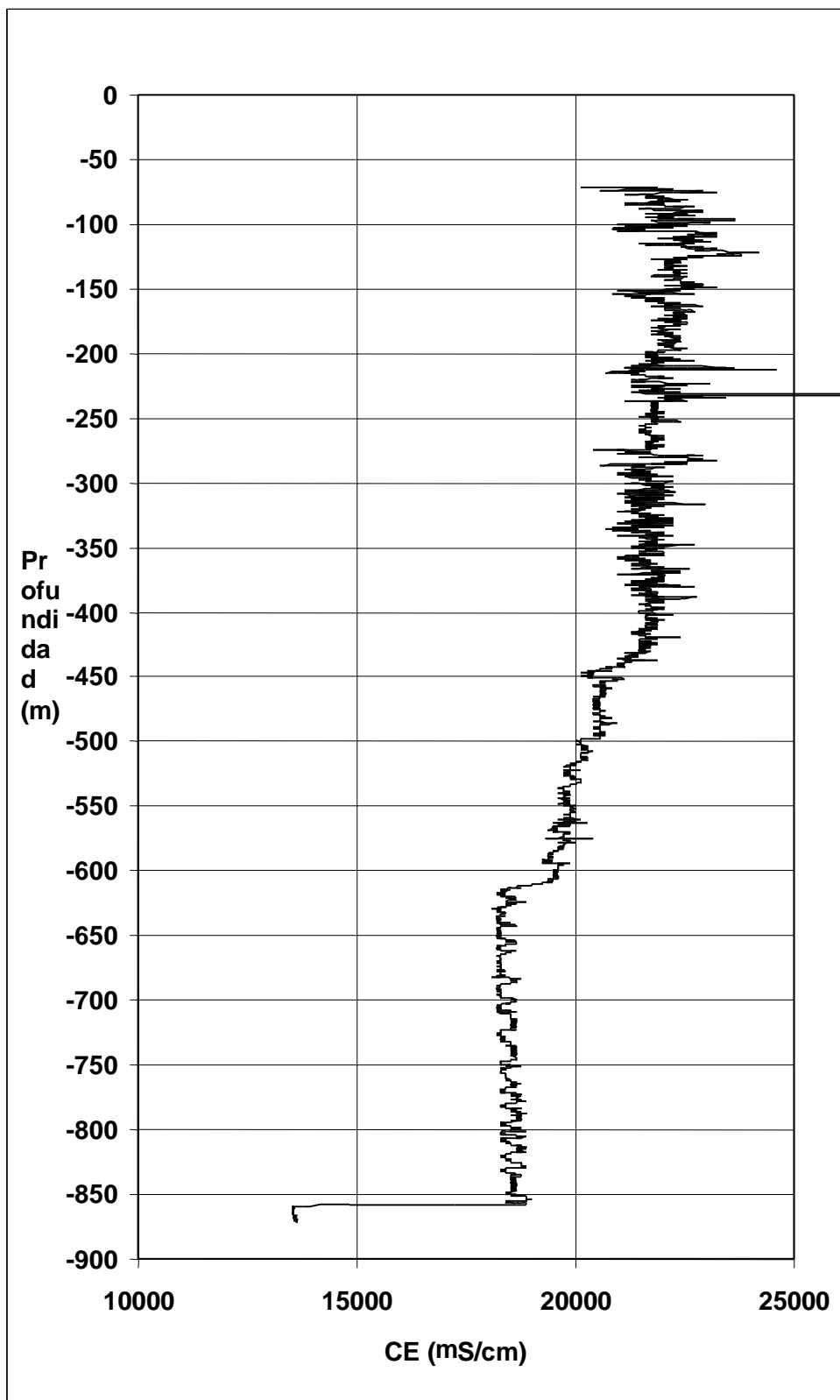


Figura 6. Perfil de Conductividad Eléctrica del fluido

## REFERENCIAS

**Ainchil, J y Giusso, M.** (1997). Perforación Villa Elisa -1. Ensayo Hidráulico. Universidad Nacional de La Plata. 5 páginas. Inédito.

**Ainchil, J.; Giusso, M. Kruse, E. y S. San Cristobal.** "Criterios de interpretación en los estudios geoelectricos del Acuífero Hidrotermal profundo en la mesopotamia Argentina". IV Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. Montevideo. R.O.U. 1998. Vol III: pp 1305-1314.

**Arce. L.** (2004). Informe del Perfilaje Múltiple de Pozos de la localidad de San José. Provincia de Entre Ríos. Inédito. 5 páginas.

**Benitez, J.C.** (1997). Perforación para captación de Agua Termal. Informe Final. Inédito. 12 páginas.

**Díaz, E; Sanguinetti, J.A. y Dalla Costa, O.A.** (1993). Prospección Geoelectrica de Acuíferos Profundos. Municipalidad de Villa Elisa. Octubre de 1993. Inédito.

**Díaz, E.; Dalla Costa, O. y J.A. Sanguinetti.** (2003). El Sistema Acuífero Guaraní. Los Estudios, la explotación y gestión en Entre Ríos. III Congreso Argentino de Hidrogeología. Rosario. Setiembre de 2003. Vol I: pp 81-90.

**Fili, M.; da Rosa Filho Ernani; Auge, M.; Montañó Xavier, J. y Tujchneider, O.** (1998). El Acuífero Guaraní: un recurso compartido por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay (América del Sur). Boletín Geológico Minero. ITGE. Vol 109-4 pag:389-394

**Giusso, M. y J. Ainchil.** (1997). Perforación Villa Elisa -1. Informe Preliminar. Recomendaciones para la continuación de la obra. Universidad Nacional de La Plata. Inédito. 3 páginas.

**Montañó J.; Tujchneider, O.C.; Auge, M.; Fili, M.; Paris, M.; D' Elía, M.; Pérez, M.; Nagy, M.I.; Collazo, P y Decoud, P.** (1998). Acuíferos Regionales en América Latina. Sistema Acuífero Guaraní. Capítulo argentino-uruguayo. Centro de Publicaciones. Secretaría de Extensión. UNL. 216 p.

**PROINSA - Proyectos de Ingeniería S.A.** (2002). Perfilaje Múltiple de Pozos. Perforación Termal de Villa Elisa. Termas de Villa Elisa S.A. Diciembre de 2002. 25 páginas. 1 plano.

**Romero Sanchez, J.; Moreno Cao, A.M. y P. Cervantes Gonzalez** (2002). El turismo, la salud y la industria especializada a partir de los recursos termales de la Provincia de Entre Ríos. Informe Final. Contrato de Consultoría. CFI - Provincia de Entre Ríos. 302 páginas. Inédito.

**Silva, A.A.** (1999). Contribución al conocimiento de la Geología e Hidrogeología del Sistema Acuífero termal de la Cuenca Chacoparanaense Oriental Argentina. Tesis Doctoral. UBA. 1999. Tomos I y II.

**Tujchneider, O.C.; Perez, M.; Paris, M. y M. D'Elía.** (2003). Sistema Acuífero Guaraní: Un recurso compartido por cuatro países. III Congreso Argentino de Hidrogeología. Rosario. Setiembre de 2003. Vol I: pp 71-80.

**Waterloo Hydrogeologic.** (1996). User's Manual for Aquifer Test. Waterloo. Ontario. Canada. 158 páginas.