



**Testificación Geofísica realizada para el IGME
en las Lagunas de Estaña, Huesca**

INDICE

| | | |
|------|---|---|
| 1. | Presentación y objetivos | 1 |
| 1.1. | Equipo técnico del estudio | 1 |
| 2. | Metodología de trabajo | 2 |
| 3. | Descripción del trabajo realizado | 4 |
| 4. | Procesado de los datos y presentación de los resultados | 6 |
| 4.1. | Normalización de los registros de Conductividad | 6 |
| 4.2. | Cálculo de la concentración | 6 |

FIGURAS

1. Resistividad de soluciones de CINA.
2. Calibración de la sonda de Conductividad y Temperatura (S/N 1497) en el mes de Diciembre de 2.008.

ANEXO

Registros geofísicos de los sondeos medidos

1. PRESENTACIÓN

En este documento presentamos una breve memoria de los trabajos de testificación geofísica que se llevaron a cabo en Estaña (Huesca) durante el mes de noviembre de 2.009. Estos registros en sondeos forman parte del Proyecto “**FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO DE HUMEDALES RELACIONADOS CON LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA CUENCA DEL EBRO**” y se han desarrollado de acuerdo con las instrucciones recibidas de los técnicos del **Instituto Geológico y Minero de España (IGME)** en lo que se refiere a los parámetros a registrar y a los sondeos a estudiar. El objetivo de las medidas fue aportar información de tipo hidrogeológico, pero desconocemos otros detalles del proyecto.

La testificación geofísica que se detalla en ese informe ha sido llevada a cabo por **International Geophysical Technology, S.L. (I.G.T.)** mediante contrato de Asistencia Técnica con **IGME**, en este Proyecto.

Consideramos conveniente dejar constancia de que **I.G.T.** no ha participado en la planificación de los trabajos. Su labor se ha limitado exclusivamente a la obtención de los registros geofísicos. Por parte de nuestro cliente no nos han sido entregadas con anterioridad a la campaña ningún tipo de especificaciones técnicas al respecto. En consecuencia la obtención de los registros y su interpretación se han llevado a cabo según la metodología habitual para las aplicaciones de tipo hidrogeológico.

1.1. Equipo técnico del estudio

En la ejecución de este trabajo ha participado el personal técnico de la plantilla de **I.G.T.** que a continuación se relaciona indicando la función realizada por cada uno de ellos:

- Teresa Granda París. Ingeniero de Minas. Procesado de los registros y redacción del informe.
- Antonio Álvaro Granda. Técnico Geofísico. Responsable de la toma de datos en calidad de Jefe de equipo. Toma de datos y ejecución de las medidas.
- Dragomir Angelov Dichev. Ayudante. Trabajos de campo.

2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

En esta campaña se han realizado dos registros independientes, empleando dos sondas distintas que son las que enumeramos a continuación, junto con los parámetros registrados por cada una de ellas. Ambas sondas han sido fabricadas por Robertson Geologging Ltd (www.geologging.com).

- Sonda de Radiación Gamma Natural, Conductividad del fluido y Temperatura del fluido (*GCT Probe*). El registro de la Radiación Gamma Natural es un indicador específico del contenido de arcilla de los materiales del subsuelo. En ausencia de mineralizaciones o de algún tipo de contaminación de carácter radiactivo, la Radiación Gamma Natural (RGN) del terreno depende exclusivamente del contenido en el isótopo K40 que forma parte de los materiales arcillosos.

- Sonda de Conductividad o Resistividad de la formación por Inducción (*Induction Probe*). Esta sonda se emplea cuando los sondeos se encuentran entubados con tubería de PVC, por el riesgo de que se derrumben, para obtener un registro de Conductividad y Radiación Gamma Natural. Mediante una sencilla fórmula matemática es posible, a partir de los valores de conductividad medidos en mS/m, obtener los valores en Ohm.m de la resistividad del terreno en el cual se han perforado los sondeos.

El registro de Radiación Gamma Natural se emplea habitualmente como una herramienta para la obtención de información de tipo litológico, y concretamente para la diferenciación entre niveles detríticos y niveles arcillosos, clasificando los primeros en función de su mayor o menor grado de limpieza o contenido arcilloso. Normalmente se efectúan las medidas en sondeos desnudos, aunque es posible hacerlo en sondeos entubados con PVC (teniendo en cuenta que los registros de Radiación Gamma Natural estarán afectados por cierta atenuación. El modelo de respuesta del terreno para esta combinación de registros es el que indicamos en el cuadro siguiente.

Al margen de esta aplicación inmediata de los registros de Radiación Gamma Natural de carácter cualitativo, existe otra complementaria con ella que es la posible correlación entre sondeos. Tal correlación se basa en que un registro de Radiación Gamma Natural de un sondeo puede considerarse como una marca específica del mismo, capaz de diferenciarle de forma inequívoca de cualquier otro. A este respecto se suele decir que un registro de Radiación Gamma Natural de un sondeo es como la “huella dactilar” del mismo.

La similitud de ciertos rasgos relevantes con los registros de otros sondeos situados en su proximidad constituye una vía para la correlación de resultados entre ellos de una forma totalmente objetiva. En este proceso juegan un papel de fundamental importancia los posibles niveles guía de las formaciones sedimentarias. Se trata de niveles que en principio deben tener una considerable extensión lateral y caracterizarse por una respuesta inequívoca y muy acusada en los registros geofísicos.

| | Resistividad | | | Radiación Gamma Natural | | |
|-------------------------|--------------|-------|------|-------------------------|-------|------|
| | Alta | Media | Baja | Alta | Media | Baja |
| Arcillas | | | ■ | ■ | | |
| Arenas con finos | | ■ | | | ■ | |
| Arenas | ■ | | | | | ■ |

Tabla I.- Relación cualitativa entre la naturaleza del terreno y la aplicación de los registros de Radiación Gamma Natural y Resistividad.

De acuerdo con las ideas expuestas es habitual la obtención de registros de Radiación Gamma Natural en los sondeos perforados en el marco de estudios hidrogeológicos, con el objetivo de identificar y diferenciar los niveles permeables de los impermeables, especialmente cuando se trata de niveles de gravas o arenas intercalados en materiales arcillosos.

Las medidas de la Radiación Gamma Natural se efectúan mediante un detector de yoduro de sodio, presentándose los resultados en función del número de impulsos de energía captados por el detector durante un periodo determinado de tiempo, en concreto durante un segundo. Así pues para el tipo de sondas utilizado en aplicaciones geológicas como las de este caso, las referidas medidas se expresan en cuentas por segundo (cps)

El proceso de medición de la Radiación Gamma Natural es de tipo estadístico. El isótopo K40 de los materiales arcillosos emite de forma continua radiación gamma en forma de pulsos discretos de energía. El número de estos pulsos que son registrados por un cierto sensor es por lo tanto función del volumen del detector, de su proximidad al material emisor y del tiempo de permanencia del mismo frente al material emisor.

Consecuentemente los valores absolutos de cualquier registro de Radiación Gamma Natural no deben tomarse en términos cuantitativos exclusivamente porque dependen del volumen del detector empleado y también de la velocidad de desplazamiento de la sonda a lo largo del sondeo. Finalmente también depende de la proximidad de la sonda a la formación rocosa, es decir del diámetro del sondeo. En definitiva, para las aplicaciones hidrogeológicas como la del presente estudio el objetivo es determinar las variaciones del registro de Radiación Gamma Natural a lo largo del sondeo, con independencia de sus valores absolutos. Se trata en definitiva de aplicaciones de carácter exclusivamente cualitativo.

3. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO

Las medidas de testificación geofísica se llevaron a cabo el día 4 de Noviembre de 2.009, y se hicieron en los sondeos escogidos por **IGME**. Se había previsto el registro de seis sondeos, pero finalmente solo fue posible registrar cinco sondeos, debido al deterioro de la tubería de PVC de uno de ellos (no fue posible introducir las sondas en el sondeo). En la siguiente tabla incluimos un resumen de los trabajos realizados y las profundidades registradas.

Dentro de las normas de la buena práctica para la ejecución de este tipo de medidas se incluye desplazar la herramienta de registro a muy baja velocidad, mantener ésta constante a lo largo de todo el sondeo y operar con la misma velocidad para todos los sondeos de una misma campaña. De este modo se trata de conseguir la mayor resolución posible especialmente en la determinación de los límites entre los diferentes niveles atravesados por el sondeo y también que sean comparables los registros de todos los sondeos de cada zona. Este fue el criterio que se siguió durante la toma de datos, desplazando la sonda a una velocidad de 3m/minuto.

| SONDEO | X UTM | Y UTM | Z UTM | TRAMO REGISTRADO SONDA GCT (SN 1497) | TRAMO REGISTRADO SONDA INDUCCIÓN (SN 4082) |
|--------------|--------|---------|--------|--|--|
| S1 | 791382 | 4659230 | 673.67 | 0 - 40.8 m | No registrado |
| S3 | 792321 | 4658907 | 677.27 | 0 - 15 m | 2.5 - 15 |
| S3b | 792682 | 4659001 | 678.35 | 0 - 49.6 m | 0 - 46.6 |
| S4 | 792252 | 4658797 | 678.4 | 0 - 35.5 m | 2.5 - 33.9 |
| S6 | 791904 | 4659464 | 692.47 | 0 - 38 m | 2.5 - 39.3 |
| TOTAL | | | | 178.9 m | 127.3 m |

Tabla I.- Resumen del trabajo realizado



Algunos momentos de la adquisición de los datos

4. PROCESADO DE LOS DATOS Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

Todas las medidas obtenidas en los sondeos se representan habitualmente sin ninguna transformación en función de la profundidad, seleccionando las correspondientes escalas, de modo que en los registros puedan observarse fácilmente todas las variaciones significativas. Sobre los registros no hemos añadido ningún comentario relativo a su interpretación puesto que desconocemos los términos de interés para los objetivos del estudio

Los gráficos con los registros geofísicos obtenidos se incluyen en el **Anexo** de este informe. En el CD adjunto incluimos igualmente los ficheros digitales de los datos medidos, en formato LAS según las normas SIGEOF.

En algunos de los registros obtenidos aparecen pequeños picos (*spikes*) que alteran la continuidad de los mismos. Estos valores puntuales se deben a la presencia de suciedad dentro de los sondeos, que causa una obturación momentánea de los sensores de las sondas. Estos valores se han eliminado para representar gráficamente los resultados. No obstante se mantienen en los ficheros de datos digitales originales y entregados junto con este informe.

4.1. Normalización de los registros de Conductividad

Adicionalmente al procesado de los datos descrito se ha llevado a cabo la normalización de los registros de Conductividad de todos los sondeos para una temperatura de 25°C. Para el cálculo de los valores de la Conductividad normalizada a 25°C a partir de los valores medidos por las sondas, se ha aplicado la expresión:

$$C_{25} = C_t [46'5/(T+21'5)]$$

en la que C_t es la Conductividad medida por la sonda a temperatura T . Esta fórmula es la transformación, para operar con unidades de Conductividad, de la expresión:

$$R_t = R_x [T_x + 21'5/(T_t + 21'5)]$$

publicada en los “*Fundamentals of Log Interpretation Charts*” de Schlumberger (**Figura 1**). Mediante la expresión de cálculo de C_{25} se puede calcular la Conductividad de una disolución de ClNa a 25°C a partir de los valores de la Conductividad (C_t) y Temperatura (t) conocidos.

4.2. Cálculo de la concentración

Además se han calculado los correspondientes valores de la concentración de sales disueltas, expresado en gramos de soluto por litro de disolvente, para soluciones equivalentes de ClNa, en base a los valores de conductividad normalizados a 25°C. Los coeficientes de la fórmula a aplicar para el cálculo de la salinidad a partir de las medidas de la Conductividad obtenidas con esta sonda se han obtenido mediante calibración de la sonda

La calibración de esta sonda se realizó en Diciembre de 2.008 en las instalaciones del **IGME** en Tres Cantos (Madrid) Para ello se emplearon disoluciones patrón preparadas por el **IGME** con las siguientes concentraciones de ClNa: 0'5, 1, 2'5, 3, 7, 10, 12, 15, 20 y 30 g/l. La tabla con los datos y los gráficos resultantes de estas medidas son las que presentamos en la **Figura 2**.

A partir de estos gráficos Conductividad-Concentración se ha determinado la expresión matemática a aplicar para el cálculo automático de la Concentración en g/l, a partir de las medidas de Conductividad obtenidas por el equipo y normalizadas a 25°C. Esta expresión resultó la siguiente:

$$Y = 0'437001321 * X ^{1'091302134}$$

donde:

Y es la Concentración de ClNa en g/l calculada a partir de la Conductividad a 25°C

X es la Conductividad en mS/cm normalizada a 25°C

^ indica "elevado a"

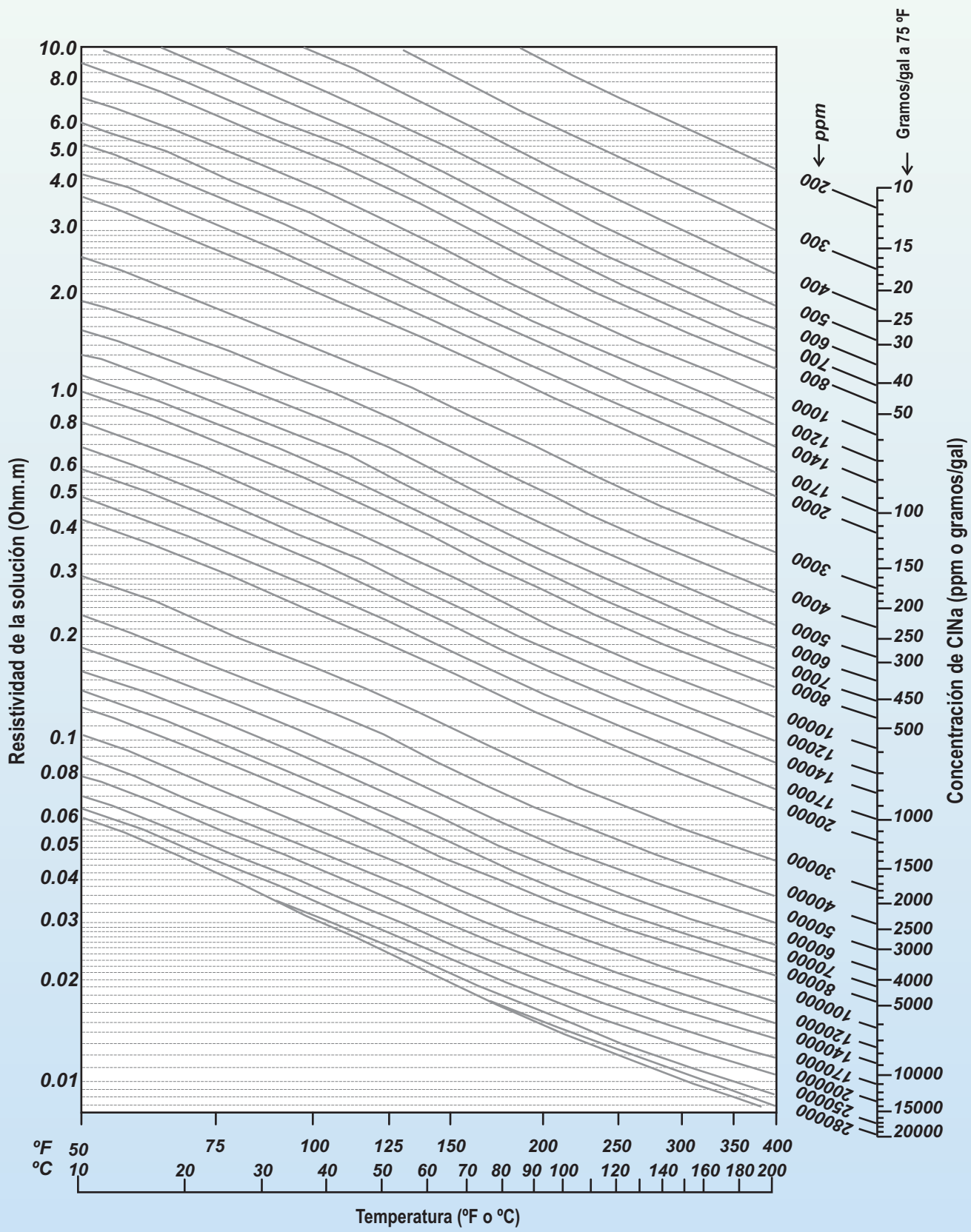
Los resultados de ambas operaciones están incluidos en los gráficos del **Anexo**.

En el caso de los registros de resistividad obtenidos mediante la sonda de inducción se observan, en los metros previos a la entrada de la sonda en el agua en el interior del sondeo, valores de resistividad superiores a los que se miden una vez la herramienta dentro del agua. Esta diferencia es debida al efecto del agua que satura el terreno por debajo del nivel del agua en el sondeo, y por lo tanto disminuye la resistividad del mismo.

San Sebastián de los Reyes, Diciembre 2.009
International Geophysical Technology, S.L.

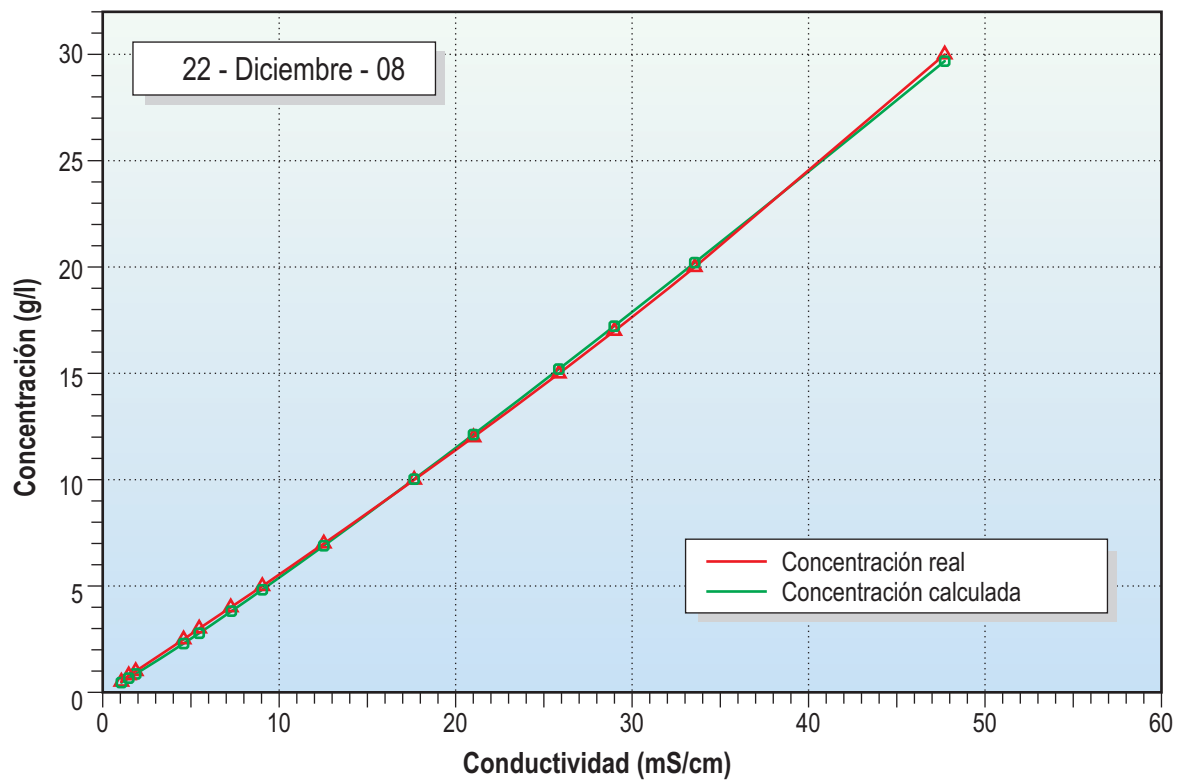


Fdo.: Teresa Granda París
Ingeniero de Minas



©Schlumberger
Log Interpretation Charts

Figura 1.- Resistividad de soluciones de ClNa.



| Concentración (g/l) | Conductividad a 25° (mS/cm) | Concentración calculada (g/l) | Error cuadrático |
|--|-----------------------------|-------------------------------|------------------|
| 0.5 | 1.048 | 0.460 | 0.00160 |
| 0.8 | 1.474 | 0.667 | 0.01759 |
| 1.0 | 1.869 | 0.865 | 0.01829 |
| 2.5 | 4.582 | 2.301 | 0.03965 |
| 3.0 | 5.460 | 2.786 | 0.04579 |
| 4.0 | 7.258 | 3.801 | 0.03961 |
| 5.0 | 9.038 | 4.829 | 0.02928 |
| 7.0 | 12.531 | 6.898 | 0.01042 |
| 10.0 | 17.648 | 10.023 | 0.00054 |
| 12.0 | 21.018 | 12.129 | 0.01667 |
| 15.0 | 25.853 | 15.204 | 0.04163 |
| 17.0 | 28.992 | 17.229 | 0.05262 |
| 20.0 | 33.557 | 20.210 | 0.04423 |
| 30.0 | 47.720 | 29.679 | 0.10292 |
| Error cuadrático medio | | | 0.032910 |
| Ecuación de ajuste: Concentración de ClNa = $K_1 \cdot \text{Conductividad}_{25} \wedge K_2$ | | | |
| K_1 : 0.437001 | | K_2 : 1.091302 | |

Figura 2.- Calibración de la sonda de Conductividad y Temperatura (S/N 1497) en el mes de Diciembre de 2.008.

A N E X O

Registros geofísicos de los sondeos medidos

Registros

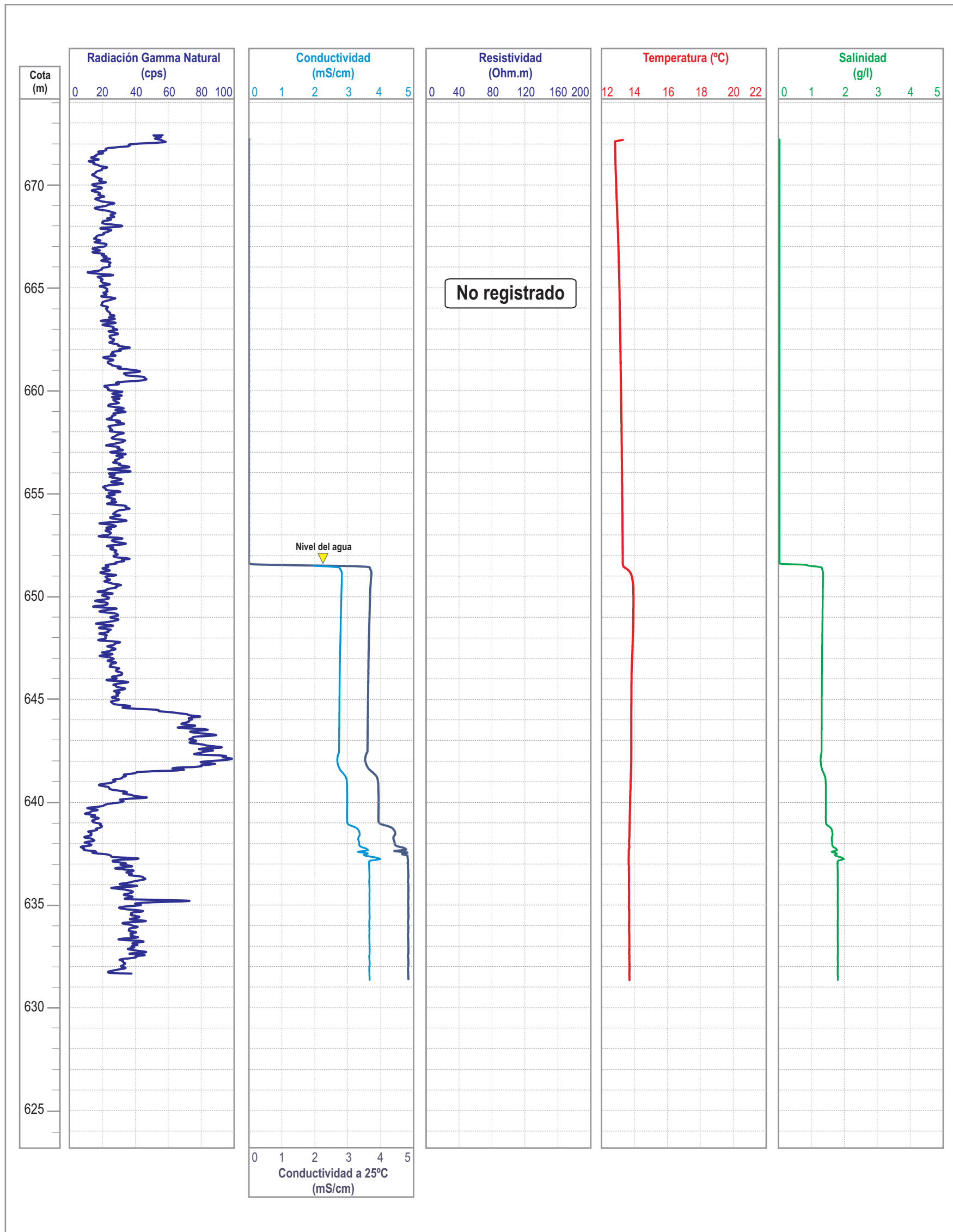
- Temperatura (°C)
- Radiación Gamma Natural (c.p.s.)
- Conductividad del fluido (mS/cm)
- Conductividad a 25°C (mS/cm)
- Resistividad de la formación o terreno (Ohm.m)
- Salinidad (g/l)

Instrumentación

- RG Micrologger II (SN 4082)
- GCT probe (SN 1497)
- Induction probe (SN 2052)

Escala

1/200



Registros

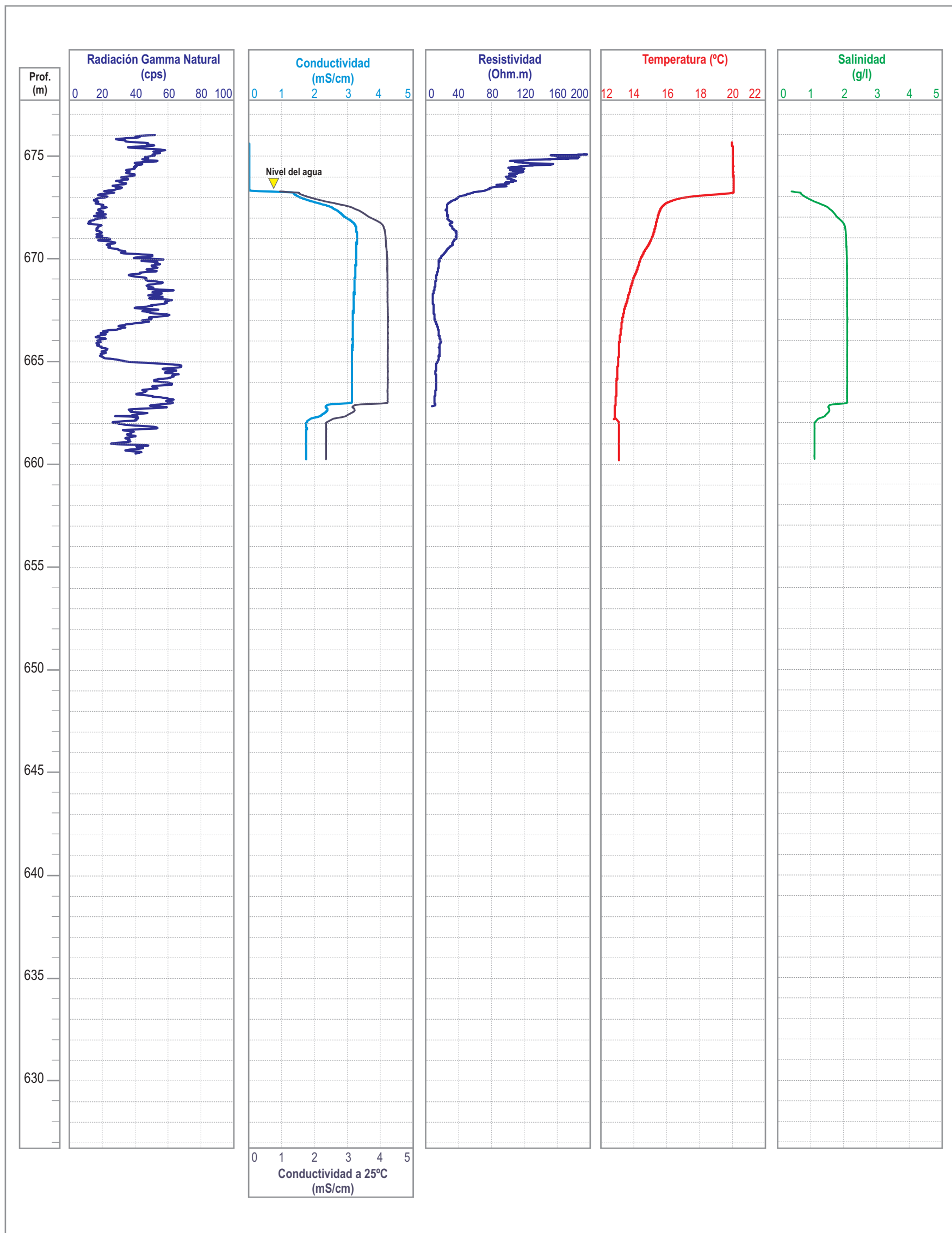
- Temperatura (°C)
- Radiación Gamma Natural (c.p.s.)
- Conductividad del fluido (mS/cm)
- Conductividad a 25°C (mS.cm)
- Resistividad de la formación o terreno (Ohm.m)
- Salinidad (g/l)

Instrumentación

- RG Micrologger II (SN 4082)
- GCT probe (SN 1497)
- Induction probe (SN 2052)

Escala

1/200



Registros

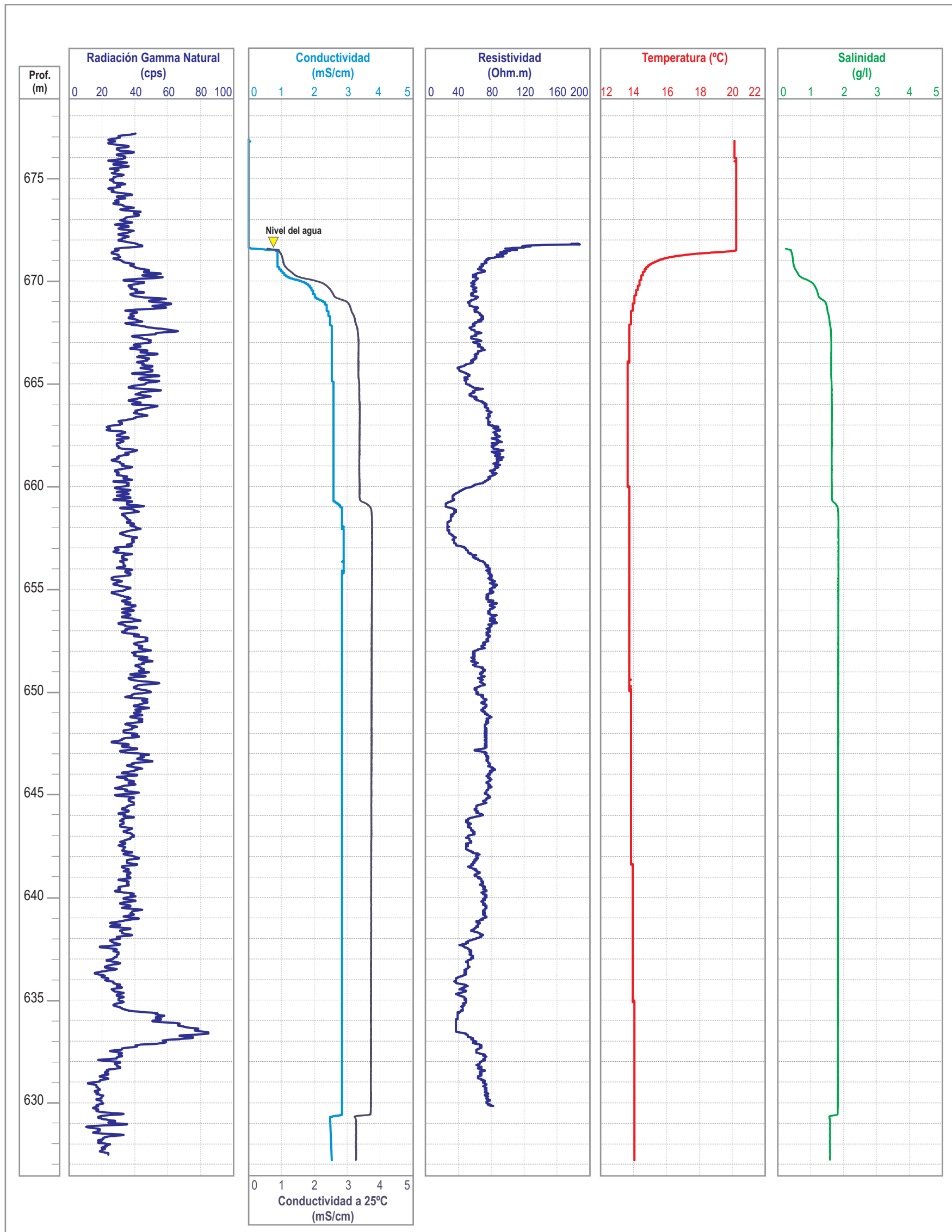
- Temperatura (°C)
- Radiación Gamma Natural (c.p.s.)
- Conductividad del fluido (mS/cm)
- Conductividad a 25°C (mS/cm)
- Resistividad de la formación o terreno (Ohm.m)
- Salinidad (g/l)

Instrumentación

- RG Micrologger II (SN 4082)
- GCT probe (SN 1497)
- Induction probe (SN 2052)

Escala

1/200



Registros

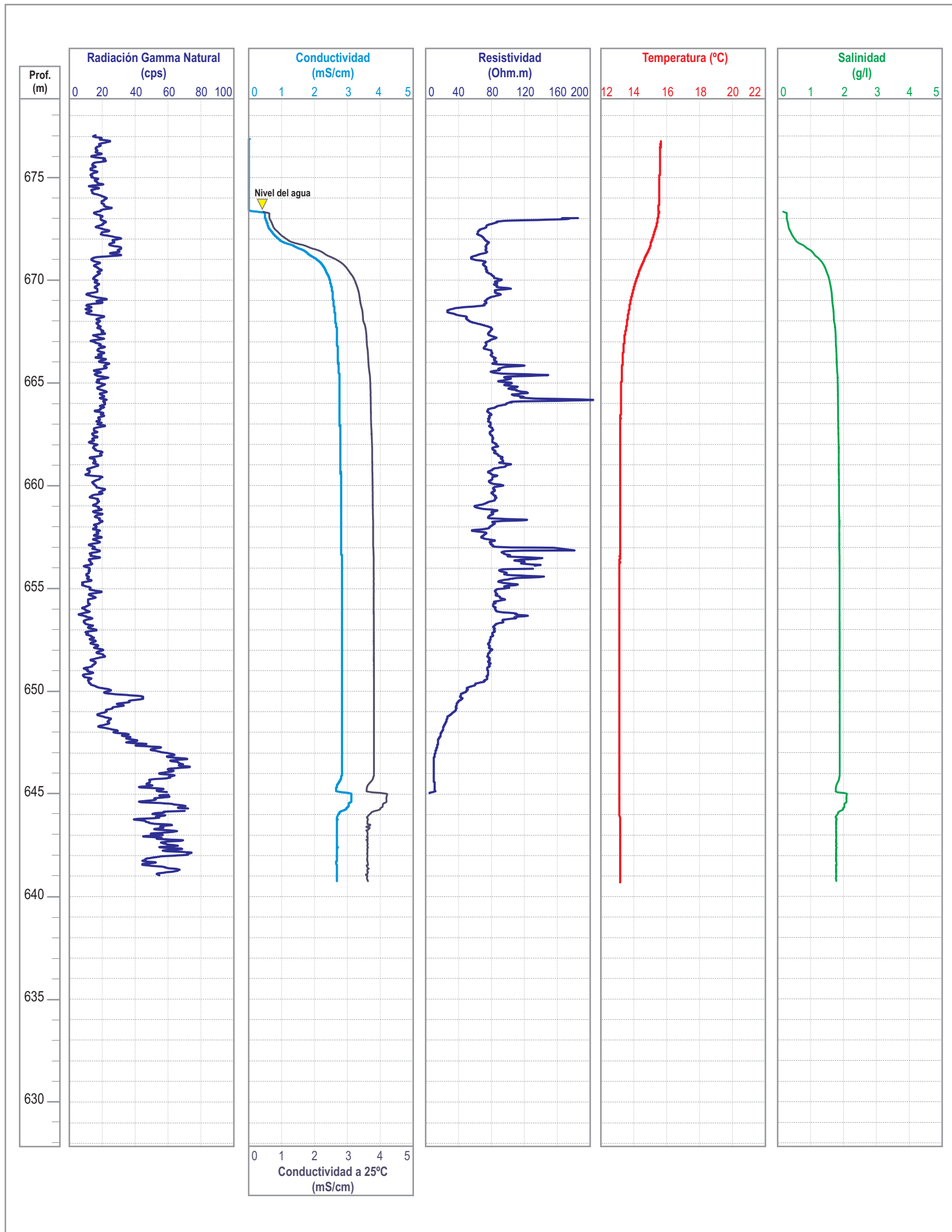
- Temperatura (°C)
- Radiación Gamma Natural (c.p.s.)
- Conductividad del fluido (mS/cm)
- Conductividad a 25°C (mS/cm)
- Resistividad de la formación o terreno (Ohm.m)
- Salinidad (g/l)

Instrumentación

- RG Micrologger II (SN 4082)
- GCT probe (SN 1497)
- Induction probe (SN 2052)

Escala

1/200



Registros

- Temperatura (°C)
- Radiación Gamma Natural (c.p.s.)
- Conductividad del fluido (mS/cm)
- Conductividad a 25°C (mS/cm)
- Resistividad de la formación o terreno (Ohm.m)
- Salinidad (g/l)

Instrumentación

- RG Micrologger II (SN 4082)
- GCT probe (SN 1497)
- Induction probe (SN 2052)

Escala

1/200

