

METODO DE POLARIZACION INDUCIDA COMO TECNICA DE APOYO AL ESTUDIO DE LAS INTRUSIONES MARINAS. APLICACION A LOS ACUIFEROS DE ALMUÑECAR Y CASTELL DE FERRO (GRANADA)

Resumen

Introducción

Reducción de ambigüedades interpretativas. Una necesidad

Metodología de la adquisición y elaboración de los datos

a) Instrumentación y toma de datos

b) Análisis de la curva de descarga

Interpretación

Aplicación al estudio de la intrusión marina en los acuíferos de Almuñécar y Castell de Ferro (Almuñécar)

a) Acuífero de Río Verde (Almuñécar)

b) Acuífero de Castell de Ferro

Conclusiones

Agradecimiento

Bibliografía

**EL METODO DE POLARIZACION INDUCIDA COMO TECNICA DE APOYO
AL ESTUDIO DE LAS INTRUSIONES MARINAS. APLICACION A LOS
ACUIFEROS DE ALMUÑECAR Y CASTELL DE FERRO (GRANADA)**

**DOMINGUEZ DE LA RASILLA, S.; DIAZ CUIEL, J.; ROZYCKI, A; MALDONA
DO ZAMORA, A.**

**Departamento de Ingeniería Geológica. Cátedra de Geofísica Aplicada. E.T.S.I.
de Minas. Universidad Politécnica de Madrid.**

RESUMEN

El método de Polarización Inducida constituye una herramienta de apoyo básica a la medición de resistividades en el estudio de acuíferos salinizados por intrusión marina.

Se propone la homogeneización de las medidas de P.I., utilizando el concepto de polarizabilidad a través del análisis de la curva de descarga, tanto por determinar una propiedad intrínseca de la roca, como por la mejora de resultados.

Se aplica la metodología propuesta a los acuíferos cuaternarios de Almuñécar y Castell de Ferro en la Costa del Sol de Granada.

INTRODUCCION

La utilización de varios métodos geofísicos que complementen las medidas de resistividad en acuíferos con hidroquímica y litología variable, como es el caso de los acuíferos detríticos costeros salinizados por intrusión marina, resulta indispensable si se pretende reducir las ambigüedades interpretativas.

El método de polarización inducida puede ser una herramienta importante en este sentido, tanto por las indeterminaciones que evita como por sus posibilidades de utilización simultánea con la medición de resistividades.

Este estudio pretende resaltar la necesidad de su utilización con la finalidad propuesta, planteando una metodología de la toma de datos y ulterior tratamiento.

La presente comunicación forma parte de la línea de investigación de la intrusión marina mediante técnicas geofísicas que el Departamento de Ingeniería Geológica desarrolla en la actualidad en colaboración con ENADIMSA e IGME.

REDUCCION DE AMBIGUEDADES INTERPRETATIVAS. UNA NECESIDAD

La asignación de parámetros físicos tipo resistividad a las características geológicas de una formación, resulta parcialmente subjetiva en virtud de los

conocimientos previos de la zona y de la experiencia del interpretador. En la necesidad de homogeneizar este proceso y con la finalidad de reducir -- las ambigüedades, cada día se tiende más a solucionar un problema geofísico mediante distintas técnicas tratadas conjuntamente.

Un determinado valor de resistividad es función de una gran cantidad de - variables geológicas. Algo parecido le ocurre a la polarizabilidad de una roca. Pero el peso de dichas variables actúa de distinta forma (WORTHINGTON y COLLAR, 1984), lo cual permite la exclusión de algunas al comparar ambos parámetros entre sí. A esto se añade el distinto comportamiento de los -- dos ante el principio de equivalencia y el de supresión, determinándonos - mejor, por comparación, el número y situación de las capas.

Así, al estudiar zonas con acuíferos total o parcialmente salinizados, susceptibles de ser confundidos con niveles arcillosos a través del método de resistividades, (tanto en corriente alterna como continua) es inevitable - la aplicación de la polarización inducida como técnica de apoyo. Este es - el caso del seguimiento de procesos de intrusión marina en acuíferos detri-- ticos costeros. Con la finalidad de poner en evidencia lo expuesto, se es-- tudiaron los acuíferos de Almuñecar y Castell de Ferro, en la Costa del -- Sol de Granada.

METODOLOGIA DE LA ADQUISICION Y ELABORACION DE LOS DATOS

a) Instrumentación y toma de datos

Se realizaron un total de 13 sondeos eléctricos verticales y de polariza-- ción inducida (SEV-PI) con dispositivo Schlumberger y distancia inter-- electrodica final (AB) de 500 m. La instrumentación consistió en un -- transmisor de onda cuadrada Scintrex TSQ-3 (3 kW) con pulsos de carga - 4 seg y cambios de polaridad alternativa conectado a dos electrodos de - acero. El receptor Scintrex IPR-10A, obtuvo medidas en seis ventanas de tiempo espaciadas 520 ms desde 260 ms a 3120 ms, con el fin de estu-- diar la curva de descarga. Las lecturas de resistividad se realizaron si-- multáneamente con las de cargabilidad.

Se define cargabilidad (m) como:

$$m = \frac{V_{st}}{V_p} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} V_s dt + V_r}{t_r \cdot V_p} \quad (mv/v)$$

donde:

V_s = Potencial secundario

V_p = Potencial primario

t_r = Período de integración ($t_2 - t_1$)

V_r = Potencial residual

b) Análisis de la curva de descarga

El estudio de la curva de descarga del medio al ser sometido a una diferencia de potencial V_p durante un pulso de carga T , presenta muchas ventajas respecto a la medición del V_s en una sola ventana, entre las cuales destacan:

- Disminuye los errores instrumentales y de ruidos

Se observa al estudiar la curva total que el ajuste de los puntos a -- una función exponencial o suma de ellas no coincide perfectamente en algunos casos, sobre todo en medidas realizadas con bajo valor de V_p . Sin embargo, utilizando la totalidad de la curva de descarga medida P se puede disminuir dicho efecto.

- Pérdida de información

Se puede comprobar como dos curvas de descarga distintas pueden tener la misma cargabilidad. Analizando la curva entera comprobaríamos que -- tanto el punto de corte en $t = 0+$ como el tipo de decaimiento son diferentes.

- Medida intrínseca de la roca

La elección de la ventana de lectura o tiempo de integración se realiza en base a evitar efectos de acoplamiento electromagnético y ruidos en general. Al ser V_s función de la ventana elegida, el valor de m -- obtenido no será un parámetro intrínseco. Sin embargo, analizando la -- curva de descarga se puede evitar esta relatividad de la medida -- expresando la descarga del medio en función del valor de V_s en $t = 0+$ (V_0) y la constante de tiempo de la curva de caída de potencial (τ).

- Duración del acoplamiento EM

El efecto de inducción electromagnética aumenta con el cuadrado de la distancia de los electrodos y las conductividades de los niveles prospectados. Es por lo que no podemos estar seguros de que la ventana no quedará afectada por el efecto de acoplamiento en toda la campaña. Sin embargo, mediante la curva de descarga seremos capaces de determinar -- en cada posición de los electrodos hasta cuando interviene dicho efecto, para eliminarlo o tenerlo en cuenta.

En general, se puede expresar la descarga del medio al ser sometido a una diferencia de potencial V_p , como una función de tiempo:

$$V_s(t) = a_1 \cdot e^{-t/\tau_1} + a_2 \cdot e^{-t/\tau_2} + \dots + a_n \cdot e^{-t/\tau_n}$$

En la práctica, con el ajuste a una suma de las dos primeras funciones exponenciales más un valor residual hacia el cual la curva de descarga es asintótica, queda perfectamente expresado el fenómeno en la mayo-

ría de los casos:

$$V_s(t) = V_{oA} \cdot e^{-t/\tau_1} + V_o \cdot e^{-t/\tau_2} + V_r$$

donde el primer término es debido, fundamentalmente, a la respuesta inductiva del medio y el segundo a la despolarización del mismo. Con el fin de encontrar el momento en que deja de actuar un efecto y comienza el otro y dados los escasos puntos de lectura de que se dispone, ya que resulta de un compromiso entre rentabilidad y precisión del estudio, se propone la expresión de ajuste:

$$V_s(t) = (V_{oA} + V_o) \cdot e^{-(t/\tau_T)^n}$$

Como herramienta para el estudio previo de la curva, donde el valor de τ_T nos indica dicho instante y n el signo del acoplamiento.

El valor de τ_T alrededor del cual deja de predominar el efecto de acoplamiento se obtiene de la intersección de las funciones $(t/\tau_T)^n$ y t/τ_T . Con este valor se puede hallar el valor de τ de la despolarización neta por el proceso de optimización.

Dado que V_s es función del pulso de carga (T) y bajo la premisa de que el proceso de carga es igual al de descarga (ZONGE et al, 1971):

$$V_o = V_M (1 - e^{-T/\tau_2})$$

donde V_M sería el valor de V_s en $t = 0+$ si $T = \infty$.

Al ser también función del potencial primario (V_p), se deberá expresar respecto a éste, apareciendo la polarización como:

$$P(t) = P_A \cdot e^{-t/\tau_1} + P_M \cdot e^{-t/\tau_2} + P_r$$

donde P_M será la polarizabilidad intrínseca del medio independiente ya de los factores de medida.

Se estudió la curva de descarga en cada posición electródica, tratándose los datos de forma automática, tal y como aparece en la Fig. 1 y 2, para obtener los valores de P_M , τ_2 y P_A . En la primera de ellas el campo eléctrico está aún por encima de la interfase agua dulce-agua salada, presentándose un acoplamiento positivo. Sin embargo, en la segunda figura, P_M y P_A disminuyen, igualmente que τ , perdiendo el medio capacidad de polarizarse y apareciendo una inducción opuesta al campo creado. Este efecto ocurre al penetrar el campo eléctrico por debajo de la interfase.

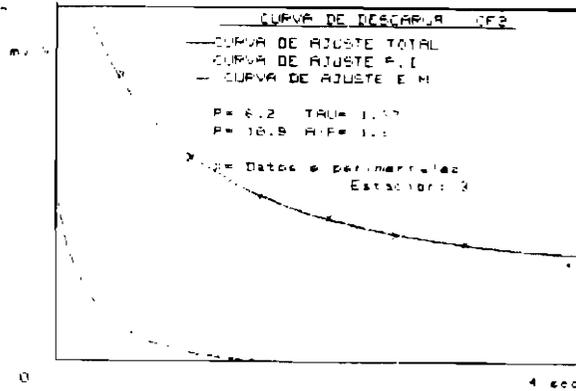


Fig. 1

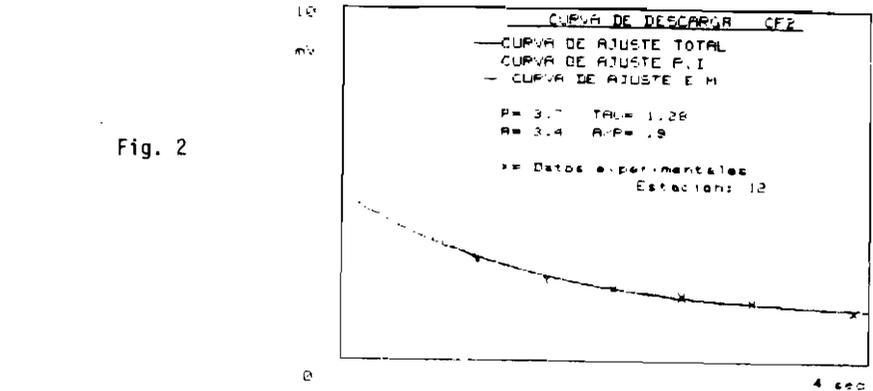


Fig. 2

Del estudio realizado se observa que el valor medio de τ por encima de la interfase es 1.4 seg, mientras que por debajo es 1.2 seg.

INTERPRETACION

Los datos de resistividad aparente de cada SEV-PI fueron interpretados mediante el ajuste semi-automático de una curva generada a partir de un modelo inicial. El método utilizado para generar dicha curva se basa en la convolución de espesores y resistividades con el filtro de Ghosh.

De otro lado, los datos de polarizabilidad (P_M) fueron interpretados con la misma metodología, variando el aparato matemático que genera las curvas. Para ello nos basamos en la expresión propuesta por Seigel (1959), modificada por ROY y PODDAR (1981), para n capas:

$$P_a(r) = \frac{\rho_a(r)(\rho_i + P_i \cdot \rho_i) - \rho_a(r)(\rho_i)}{\rho_a(r)(\rho_i)} \quad (i = 1, n)$$

donde:

$\rho_a(r)$ = Resistividad aparente en un semiespaciado de electrodos r

ρ_i = Resistividad de la capa i

P_i = Polarizabilidad de la capa i

APLICACION AL ESTUDIO DE LA INTRUSION MARINA EN LOS ACUIFEROS DE ALMUÑECAR Y CASTELL DE FERRO (GRANADA)

a) Acuífero de Río Verde (Almuñecar)

Está constituido por materiales aluviales sueltos conglomeráticos y arenosos, con intercalaciones arcillo-limosas más abundantes hacia la costa.

Durante el período estival, la sobreexplotación de sus recursos genera una inversión del gradiente hidráulico subterráneo, apareciendo el proceso de intrusión marina. Este hecho se presenta favorecido por la existencia de un paleocanal muy permeable, a lo largo del cual se han realizado las medidas, aunque por la misma razón permite la existencia de un proceso de desalinización en período de recarga (FERNANDEZ-RUBIO, 1986).

En la Fig. 3 aparece la situación de los SEV-PI realizados. La interpretación correspondiente al más cercano a la costa aparece en la Fig. 4. - La columna de un sondeo muy próximo señala la presencia de un conglomerado hasta 55 m, a partir del cual comienza el sustrato esquistoso. Según la resistividad existiría un potente nivel limo-arcilloso o un agua saturante salobre. La polarizabilidad elimina la ambigüedad, inclinándose por la última posibilidad.

La Fig. 5 muestra otro ejemplo algo más alejado de la costa. Obsérvese como señala la curva de ρ_a la posición del sustrato esquistoso, eliminando la ambigüedad que presenta la resistividad.

b) Acuífero de Castell de Ferro

Está formado por depósitos detríticos, más groseros hacia los bordes, -- con un sustrato alpujarride impermeable en la base. La sobreexplotación resulta patente en virtud de los datos hidroquímicos publicados (BENAVENTE y TERRON, 1983).

En la Fig. 6 aparece la situación de los puntos de medida. Entre todas -- ellas hemos seleccionado tres ejemplos. Para el primero, los dos parámetros marcan perfectamente la situación de la interfase (Fig. 7), sólo -- que la polarizabilidad señala la profundidad del sustrato y la resistividad no.

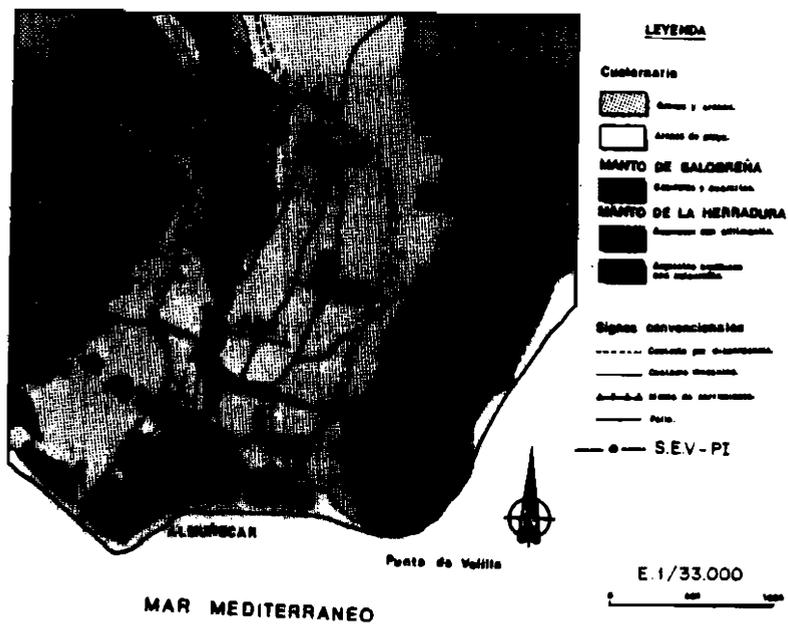


Fig. 3 . Situación geológica (según FERNANDEZ-RUBIO et al.)

CURVA DE RESISTIVIDAD Y POLARIZABILIDAD APARENTE

S.E.V. y P.I. número A1E Dirección E-W

Error de aproximación .041

Capa	Resistividad (ohm/m)	Espesor (m)	Polarizabilidad (mV/V)
1	123.48	2.6	6
2	282.15	5.3	10
3	32.20	120.0	5
4	86.33		11

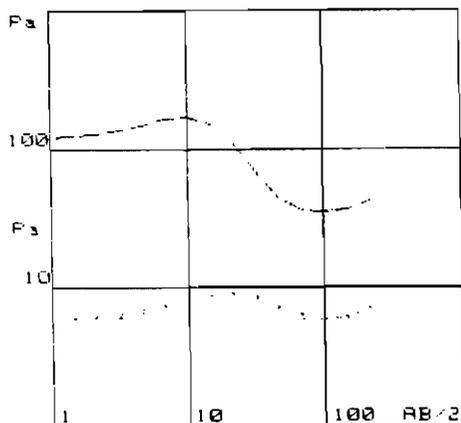


Fig. 4

CURVA DE RESISTIVIDAD Y POLARIZABILIDAD APARENTE

S.E.V. y P.I. número A3E Dirección E-W

Error de aproximación .053

Capa	Resistividad (ohm/m)	Espesor (m)	Polarizabilidad (mV/V)
1	58.60	1.5	5
2	127.41	5.7	2
3	142.44	28.3	5
4	98.23		20

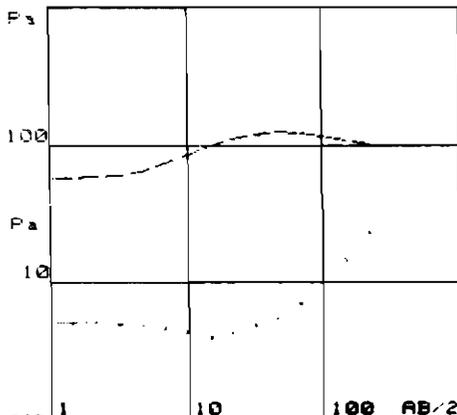


Fig. 5

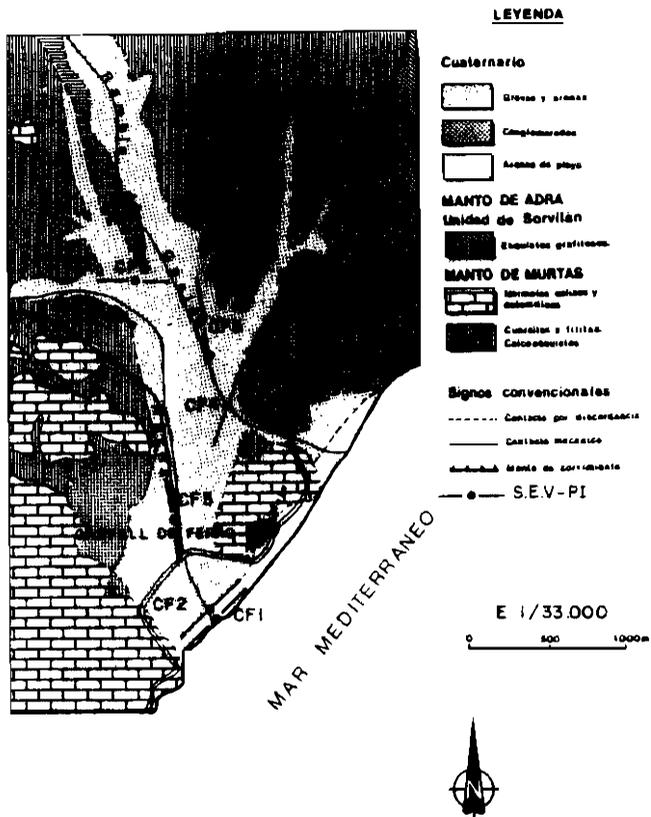


Fig. 6. Situación geológica (según FERNANDEZ-RUBIO et al.)

CURVA DE RESISTIVIDAD Y POLARIZABILIDAD APARENTE

S.E.V. Y P.I. numero CF2 ; Direccion NE-SW

Error de aproximacion .042

Capa	Resistividad (ohm/m)	Esesor (m)	Polarizabilidad (mV/V)
1	66.52	2.7	5
2	76.10	3.1	8
3	1.68	155.3	1
4	66.93		350

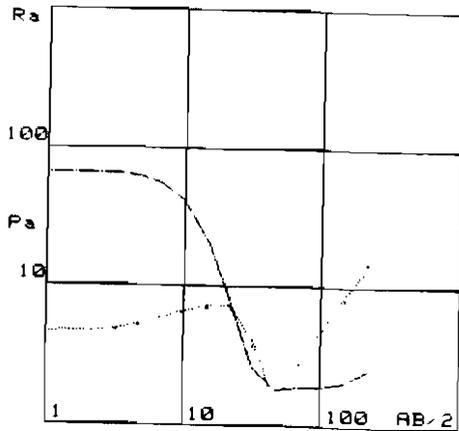


Fig. 7

En la Fig. 8 aparece un ejemplo de localización de la posible interfase según la P_a . La polarizabilidad demuestra que más bien es una zona con importantes niveles limo-arcillosos hasta llegar al sustrato.

CURVA DE RESISTIVIDAD Y POLARIZABILIDAD AFARENTE

S.E. 5. Y P.L. número CFA - Dirección N54E

Error de aproximación 1055

Capa	Resistividad (ohm/m)	Espesor (m)	Polarizabilidad (mV/V)
1	295.95	1.5	5
2	121.98	3.0	8
3	155.70	5.0	3
4	186.85	45.3	14
5	32.96		40

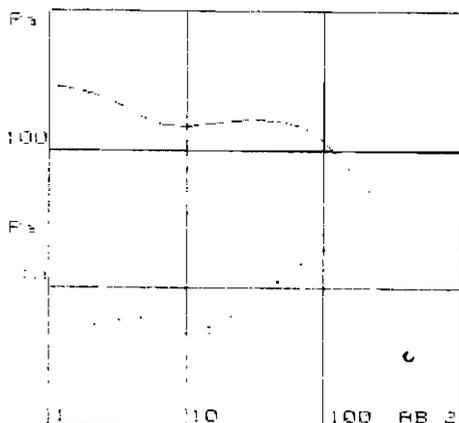


Fig. 8

En la Fig. 9, la más alejada de la costa, el mínimo de resistividad parece corresponder con un acuífero de excelente calidad. La polarizabilidad demuestra que es un horizonte limo-arcilloso.

CURVA DE RESISTIVIDAD Y POLARIZABILIDAD AFARENTE			
S.E. 7.2. F.I. número CFE		Dirección N104E	
Error de aproximación (MVA) 100			
Capa	RESISTIVIDAD (ohm.m)	Espesor (m)	POLARIZABILIDAD (mV/V)
1	263.82	2.9	7.0
2	272.19	1.1	10.0
3	190.24	50.7	42.0
4	132.08		17.6

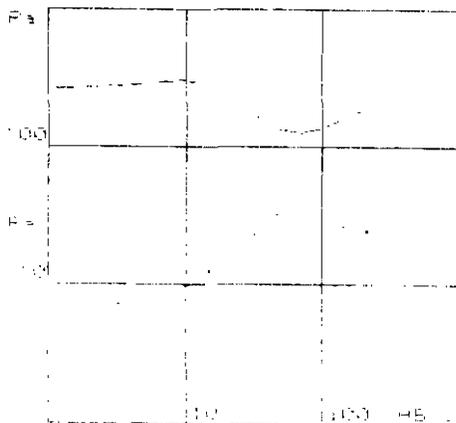


Fig. 9

CONCLUSIONES

La necesidad de utilizar técnicas conjuntas en Geofísica para evitar indeterminaciones en la interpretación, resulta un hecho patente, apareciendo perfectamente conjugados la resistividad y la polarizabilidad.

El tratamiento de la curva de despolarización del medio resulta, a nuestro juicio, más apropiado y más resolutivo que el de una sola ventana de lectura de la cargabilidad, perdiéndose información sobre la forma de despolarizarse y el efecto que determinadas litologías realizan sobre el acoplamiento EM.

Se confirma el importante apoyo que realiza el método de PI al de resistividades, sobre todo durante la asignación de parámetros físicos a geológicos. Esta coordinación resulta aún más necesaria en el estudio de salinización de acuíferos en general, tanto para realizar un seguimiento de los mismos, como para prospectar niveles no contaminados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento a la Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras (ENADIMSA) y al Instituto Geológico y Minero de España (IGME), tanto en sus delegaciones centrales, como provinciales (Granada y Málaga) por su colaboración y ayuda para la consecución de esta investigación.

BIBLIOGRAFIA

IGME (1985)

"Estudio hidrogeológico de la Cuenca del Guadalfeo 1ª y 2ª fase". Málaga.

ROY, A. y PODDAR, M. (1981)

"A simple derivation of Seigel's time domain induced polarization formula". Geoph. Prosp. 29. 432-437.

SEIGEL, H.O. (1959)

"Mathematical formulation and type curves for induced polarization". -- Geophysics, 24, 3; 547-565.

BENAVENTE, J. y TERRON, E. (1983)

"Características hidroquímicas del acuífero aluvial litoral de Castell de Ferro (Granada)". III Simp. de Hidrogeología. Madrid.

FERNANDEZ-RUBIO, R. et al. (1986)

"Proceso de salinización-desalinización en el acuífero costero del Río Verde (Almuñécar-Granada)". El Agua en Andalucía. Granada.

WORTHINGTON, P.F. y COLLAR, F.A. (1984)

"Relevance of induced polarization to quantitative formation evaluation". - Marine and Petr. Geol. 1.

ZONGE, K.L. et al (1971)

"Comparison of time, frequency and phase measurements in induced polarization". Geoph. Prosp. 20, 3. 628-648.