

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

**APOYO GEOFISICO AL ESTABLECIMIENTO DE UNA RED DE CONTROL DE
CONTAMINACION DE ACUIFEROS POR INTRUSIONES MARINAS**

MEMORIA

INDICE

1.- INTRODUCCION

- 1.1.- Equipo técnico
- 1.2.- Equipos de Geofísica
- 1.3.- Principal documentación consultada

2.- METODOLOGIA

- 2.1.- Recogida y análisis de la documentación
- 2.2.- Mediciones geofísicas
- 2.3.- Correlación con otros datos
- 2.4.- Control de la intrusión
- 2.5.- Presentación de resultados

3.- CONCLUSIONES

- 3.1.- Método de calicatas eléctricas de resistividad
- 3.2.- Método de calicatas electromagnéticas de frecuencia Low Induction Number (LIN)
- 3.3.- Método de calicatas electromagnéticas Very Low Frequency (VLF)
- 3.4.- Método de calicatas de polarización inducida en el dominio de tiempos (CRPI)
- 3.5.- Método de sondeos eléctricos verticales (SEV)
- 3.6.- Método de sondeos electromagnéticos en el dominio de tiempos (SEDT)
- 3.7.- Método de sondeos de polarización inducida (SPI)
- 3.8.- Otras consideraciones sobre aplicabilidad de los métodos considerados

4.- ZONA Nº 1: FLUVIA-MUGA-BAJO TER (Gerona)

- 4.1.- Localización y características geográficas y socioeconómicas
- 4.2.- Características hidrogeológicas
- 4.3.- Campaña de prospección geofísica
- 4.4.- Resultados coordinados
- 4.5.- Control de la intrusión

5.- ZONA Nº 2: BAIX CAMP (Tarragona)

- 5.1.- Localización y características geográficas y socioeconómicas**
- 5.2.- Características hidrogeológicas**
- 5.3.- Campaña de prospección geofísica**
- 5.4.- Resultados coordinados**
- 5.5.- Control de la intrusión**

6.- ZONA Nº 3: VINAROS-PEÑISCOLA (Castellón)

- 6.1.- Localización y características geográficas y socioeconómicas**
- 6.2.- Características hidrogeológicas**
- 6.3.- Campaña de prospección geofísica**
- 6.4.- Resultados coordinados**
- 6.5.- Control de la intrusión**

7.- ZONA Nº 4: OROPESA-TORREBLANCA (Castellón)

- 7.1.- Localización y características geográficas y socioeconómicas**
- 7.2.- Características hidrogeológicas**
- 7.3.- Campaña de prospección geofísica**
- 7.4.- Resultados coordinados**
- 7.5.- Control de la intrusión**

8.- ZONA Nº 5: CASTELLON-SAGUNTO (Castellón-Valencia)

- 8.1.- Localización y características geográficas y socioeconómicas**
- 8.2.- Características hidrogeológicas**
- 8.3.- Campaña de prospección geofísica**
- 8.4.- Resultados coordinados**
- 8.5.- Control de la intrusión**

9.- ZONA Nº 6: GANDIA-DENIA (Valencia-Alicante)

- 9.1.- Localización y características geográficas y socioeconómicas**
- 9.2.- Características hidrogeológicas**
- 9.3.- Campaña de prospección geofísica**
- 9.4.- Resultados coordinados**
- 9.5.- Control de la intrusión**

10.- ZONA Nº 7: LLANO DE PALMA (Mallorca)

- 10.1.- Localización y características geográficas y socioeconómicas**
- 10.2.- Características hidrogeológicas**
- 10.3.- Campaña de prospección geofísica**
- 10.4.- Resultados coordinados**
- 10.5.- Control de la intrusión**

11.- ZONA Nº 8: CAMPO DE DALIAS (Almería)

- 11.1.- Localización y características geográficas y socioeconómicas**
- 11.2.- Características hidrogeológicas**
- 11.3.- Campaña de prospección geofísica**
- 11.4.- Resultados coordinados**
- 11.5.- Control de la intrusión**

12.- ZONA Nº 9: ALUVIAL DEL RIO GUADALHORCE (Málaga)

- 12.1.- Localización y características geográficas y socioeconómicas**
- 12.2.- Características hidrogeológicas**
- 12.3.- Campaña de prospección geofísica**
- 12.4.- Resultados coordinados**
- 12.5.- Control de la intrusión**

13.- ZONA Nº 10: ALMONTE-MARISMAS (Huelva-Sevilla)

- 13.1.- Localización y características geográficas y socioeconómicas**
- 13.2.- Características hidrogeológicas**
- 13.3.- Campaña de prospección geofísica**
- 13.4.- Resultados coordinados**
- 13.5.- Control de la intrusión**

DISTRIBUCION DE PLANOS PARA CADA ZONA

- 1.- Situación de Perfiles**
- 2.- Geología e isopiezas**
- 3.- Labores mecánicas e isocloruros**
- 4 a 8.- Perfiles geofísicos e hidrogeológicos**
- 9.- Perfiles de control**

ANEJOS

Se incluyen agrupados por zonas:

Curvas y datos de campo de SEV y de SPI

Curvas y datos de campo de SEDT

Datos de campo de CRPI

Datos de campo de LIN

Datos de campo de VLF

1.- INTRODUCCION

Este trabajo, realizado por INTECSA, **Internacional de Ingeniería y Estudios Técnicos S.A.** para el **INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA**, tiene por objeto estudiar la posibilidad de determinar la geometría de la interfase agua dulce-agua salada mediante la aplicación de los métodos geofísicos que se demuestren más adecuados en cada uno de los diez acuíferos diferentes seleccionados.

En consecuencia, este Proyecto tiene el carácter de estudio-piloto en el que, después de una selección de los métodos geofísicos a aplicar, se procedió a la toma de datos en campo, su interpretación y la calibración de la bondad de su poder resolutivo; así como la definición metodológica y geográfica de una posible red de control de la evolución de la intrusión marina.

El trabajo se desarrolló en las diez zonas previstas en el Pliego de Condiciones Técnicas y que son:

- 1.- Aluvial del Bajo Ter-Fluviá-Muga (Gerona)
- 2.- Baix Camp (Tarragona)
- 3.- Plana de Vinaroz-Peñíscola (Castellón)
- 4.- Plana de Oropesa-Torreblanca (Castellón)
- 5.- Plana de Castellón-Sagunto (Castellón-Valencia)
- 6.- Plana de Gandía-Denia (Valencia-Alicante)
- 7.- Llano de Palma (Mallorca)
- 8.- Campo de Dalías (Almería)
- 9.- Aluvial del Río Guadalhorce (Málaga)
- 10.- Almonte-Marismas (Huelva-Sevilla).

1.1.- Equipo técnico

Bajo la dirección del IGME en la persona del Dr. Ingeniero de Minas **D. Manuel Olmo**, el equipo técnico de INTECSA estuvo formado de la siguiente manera:

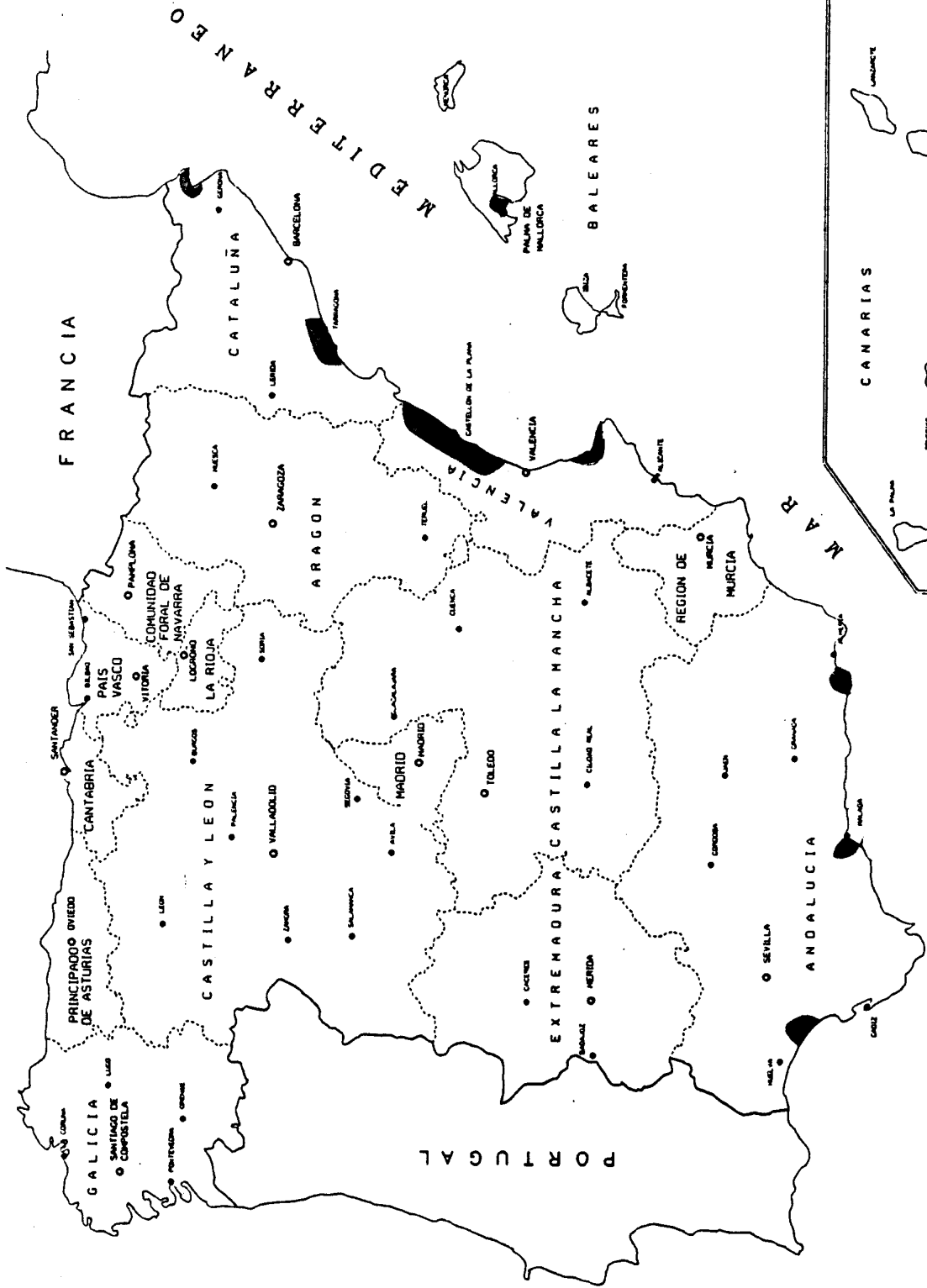
Jefe del Proyecto y Coordinador de resultados

Cecilio Olivier Díaz de Monasterio

Dr. Ing. de Minas

OCEANO ATLANTICO

MAR CANTABRICO



FRANCIA

MEDITERRANEO

CATALUÑA

ARAGON

VALENCIA

CASTILLA LA MANCHA

REGION DE MURCIA

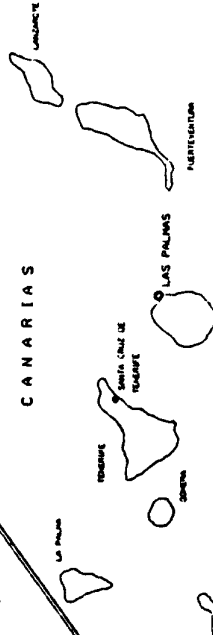
ANDALUCIA

PORTUGAL

BALEARES

CANARIAS

OCEANO ATLANTICO



Interpretación geofísica

Ernesto Orellana

Mariano Higuera

George A. Reynolds

Dr. en C. Físicas

Ldo. en C. Físicas

Master en Geofísica

Director de las campañas de campo

Mariano Higuera

Hidrogeología

Cecilio Olivier

Manuel Tena-Dávila

Manuel Mourelo

Ldo. en C. Geológicas

Ing. de Minas

Este equipo estuvo apoyado por técnicos en informática, delineantes y una secretaria con procesador de textos.

1.2.- Equipos de geofísica

Se han utilizado los siguientes equipos.

1.2.2.- SONDEOS Y CALICATAS ELECTRICAS

Las mediciones se han efectuado con un equipo "Geotrón" compuesto por un milivoltímetro de estado sólido provisto de dispositivo para la compensación del potencial de electrodos, unidad amperimétrica, fuente de alimentación por pilas secas, electrodos impolarizables, cables y otros accesorios.

1.2.3.- SONDEOS ELECTROMAGNETICOS

El equipo utilizado fué un "Geonics" modelo EM-37 en su versión más reciente.

Como circuito emisor se han utilizado cuadros de cable tendidos sobre el terreno de 40 x 40 m o de 70 x 70 m, según los casos, y alimentados por un generador de impulsos alternos, cada uno de los cuales vuelve a cero linealmente. La duración del tiempo de caída oscila de 20 a 300 microsegundos, en función de la intensidad de corriente y la raíz cuadrada de la superficie del cuadro emisor, siendo la corriente conseguida en éste del orden de 20 A.

Los impulsos se emiten periódicamente a una de tres frecuencias posibles: alta (25 Hz), media (6,25 Hz) o baja (2,5 Hz), para eliminar en lo posible las interferencias de la red eléctrica al principio, al medio o al final del ciclo de medición.

La energía del emisor se obtiene de un grupo motor-generator Honda con motor de gasolina de 5 HP, acoplado a un generador trifásico de 400 Hz.

La tensión de salida del emisor va de 20 voltios-cresta hasta 120 voltios-cresta, y el conjunto está provisto de protecciones frente a las sobretensiones y cortocircuitos en la salida.

En el equipo receptor se mide la derivada respecto del tiempo de la componente vertical de campo magnético, por medio de una bobina con núcleo de aire de 1 m de diámetro y 7 x 5 cm de sección transversal.

La medición se hace en una serie de 20 ventanas temporales cuyos tiempos centrales forman una serie geométrica de razón aproximada 1,25 y cuya duración crece también de cada ventana a la siguiente.

El número de ventanas es de 20 para cada frecuencia base, y las tres series se solapan parcialmente de modo que la primera ventana de la serie media coincide aproximadamente con la séptima de la serie alta, y la primera ventana de la serie baja con la ventana undécima de la serie alta. El lapso ocupado por la medición de las tres series superpuestas de un total de 30 canales es de 80 microsegundos a 80 milisegundos.

Las lecturas de los potenciales inducidos se hacen después de integrar 2^n ciclos, siendo $n = 4, 6, 8, 10, 12$ o 14 según la posición de un conmutador.

La diferencia de potencia, que se lee en un LED de cuatro cifras más signos, es la salida de la bobina receptora después de pasar por un preamplificador de 52,1 de ganancia y por un amplificador de ganancia binaria.

Las ventanas 6 a 10 y 16 a 20 tienen amplificación cuatro veces mayor que la normal. Esta puede regularse mediante conmutador desde $N = 2$ (ganancia 4) hasta $N = 8$ (ganancia 256).

Las lecturas se repiten después de invertir el sentido de la bobina receptora, lo que puede hacerse bien manualmente o por medio de un conmutador.

La sincronización entre emisor y receptor puede efectuarse por medio de cuatro procedimientos distintos: cable de referencia, cristal, terminación del impulso primario y por radio. En este Proyecto se ha empleado el primero.

El circuito receptor está alimentado por batería recargable.

1.2.4.- RESISTIVIDADES MEDIANTE V.L.F.

Se empleó un equipo "Geonics" modelo EM-16-R que consiste en un EM-16 habitual más una corta línea MN y un puente que permite comparar la diferencia de potencial recogida por éste con la producida por el campo magnético en el EM-16.

1.2.5.- CALICATA DE FRECUENCIA LIN

El equipo utilizado fué también un "Geonics", modelo EM-34-3.

1.2.6.- SONDEOS Y CALICATAS DE POLARIZACION INDUCIDA

Se empleó un equipo "Scintrex", efectuándose las calicatas en el dominio de tiempos. Se utilizó como emisor una fuente de 2,5 KW y un IPC-7-2,5 KW, y como receptor un IPR-8.

1.3.- Principal documentación consultada

La información que ha servido de base hidrogeológica para este Proyecto, agrupada por zonas, es la siguiente:

1.3.1.- ALUVIAL DEL BAJO TER-FLUVIA-MUGA (Gerona)

- (40296) Estudio geofísico de apoyo a la exploración hidrogeológica del Pirineo Oriental.
- (34576) Calidad y contaminación de las aguas subterráneas en las Comunidades Autónomas (Cataluña).

1.3.2.- BAIX CAMP (Tarragona)

- (40310) Reconocimiento geofísico mediante SEDT en Reus y Cambrils (Tarragona).

1.3.3.- CASTELLON-VALENCIA

- (31865) Investigación hidrogeológica local en la cuenca media y baja del río Júcar.
- (31872) Desarrollo del Plan de Gestión y Conservación de acuíferos en la cuenca media y baja del río Júcar.
- (40255) Investigación geoelectrica de los acuíferos de la cuenca baja y media del Júcar.
- (31900) Informe piezométrico anual, calidad e intrusión marina (1985-86) del área Oropesa-Torreblanca.
- (31891) Calidad y contaminación de las aguas subterráneas en las Comunidades Autónomas. Comunidad Valenciana.

- (31884) Desarrollo del Plan de Gestión y Conservación de acuíferos en las cuencas medio-baja del Júcar, Ebro y Pirineo Oriental.
- (31870) Informe actualizado de los recursos hidráulicos subterráneos existentes en la comarca de Sagunto.
- (37029) Estudios locales para protección de captaciones de agua.
- Investigación hidrogeológica para abastecimiento a poblaciones de la Comunidad Valenciana.

1.3.4.- LLANO DE PALMA (Mallorca)

- (30151) Gestión y Conservación de acuíferos en Baleares.
- (30152) Calidad y contaminación de las aguas subterráneas en las Comunidades Autónomas. Baleares.
- (30131) Mapa hidrogeológico de España. 1:50.000, Palma.
- (30132) Ubicación de un sondeo de producción en el acuífero inferior del Llano de Palma.
- (30140) Contacto hidrogeológico de las unidades de Na Burguesa y Llano de Palma.
- (30141) Gestión y Conservación de acuíferos en las Comunidades Autónomas. Baleares.
- (30144) Sondeos de investigación realizados por el IGME en Baleares (1984-85).

1.3.5.- CAMPO DE DALIAS (Almería)

- (30624) Sondeo de investigación hidrogeológica Balsa Nueva. Campo de Dalías.
- (30628) Sondeo de investigación hidrogeológica B-10 en Balanegra. Campo de Dalías.
- (35683) Calidad y contaminación de las aguas subterráneas en las Comunidades Autónomas. Andalucía.
- (30611) y (30615) Plan de Gestión y Conservación de acuíferos en la Cuenca Sur, sector oriental (Almería).
- (30621) Planteamiento de infraestructura de riego y tratamiento de aguas en el Campo de Dalías.
- (35650) Calidad de las aguas subterráneas en Andalucía. Situación actual y foco potencial de contaminación.1982.

1.3.6.- ALUVIAL DEL RÍO GUADALHORCE (Málaga)

- Investigación de aguas subterráneas en el bajo Guadalhorce (Málaga).
- (31017) Síntesis hidrogeológica del bajo Guadalhorce (Málaga (1976).
- (35683) Calidad y contaminación de las aguas subterráneas en las Comunidades Autónomas. Andalucía.
- (37029) Estudios locales para protección de captación de aguas subterráneas destinadas a abastecimientos (1984-85).
- (31131) Gestión, Conservación y Planificación en la cuenca Sur. Sector Occidental (1983).
- (31132) Planes de Gestión y Planificación de acuíferos. Vigilancia y estudios sobre la contaminación. Cuenca Sur, Sector Occidental.

1.3.7.- ALMONTE-MARISMAS (Huelva-Sevilla)

- (35655) Estudio geofísico de la interfase agua dulce-salada.
- (35656) Actualización de datos hidrogeológicos de los acuíferos Almonte-Marismas.

1.3.8.- DOCUMENTACION INFORMATIZADA

Además de los estudios y proyectos mencionados, se ha contado para este Proyecto con todos los datos hidrogeológicos informatizados existentes en el IGME sobre las zonas a estudiar, como son las salidas de ordenador de:

- Puntos de inventario
- Puntos de la red piezométrica
- Puntos de la red de control de calidad.
- Puntos de la red de control de intrusión.

y de las cuales se ha extraído, para su aplicación:

- Piezometría y su evolución.
- Salinización y su evolución.
- Columnas litológicas de sondeos.
- Profundidad de cada captación.

2.- METODOLOGIA

Se aplicó la metodología propuesta en la oferta técnica, con ligeras modificaciones necesarias para alcanzar los mejores resultados en el Proyecto, que se desarrolló en las siguientes fases.

2.1.- Recogida y análisis de la documentación

Se recogió toda la información geológica, hidrogeológica y geofísica existente sobre las zonas de estudio, la cual fué analizada para seleccionar la que aportaba datos de interés para el Proyecto.

Estos datos de interés se centraron bien en observaciones puntuales (columnas litológicas de sondeos) o generales (geología de superficie, cortes litológicos, etc) inalterables; bien en observaciones puntuales variables (niveles piezométricos, análisis de cloruros, etc) lo más próximas en el tiempo a este Proyecto para que sirvan de base adecuada a la contrastación de las mediciones geofísicas, y lo más alejadas para que permitan estudiar su evolución en el tiempo.

Un segundo paso consistió en correlacionar entre sí los datos aportados por diferentes estudios o alcanzados mediante diferentes tecnologías, con el fin de obtener un entramado coherente de conocimientos que sirva de base a la investigación geofísica.

Una vez analizada y evaluada esta documentación en cada zona, se estuvo en condiciones de programar la ubicación de los perfiles geofísicos.

2.2.- Mediciones geofísicas

De acuerdo con el Director del Proyecto se decidió investigar en cada zona, en principio, la resolución que proporcionaban los siguientes métodos geofísicos.

- Sondeo eléctrico vertical (SEV)
- Sondeo electromagnético de transitorios (SEDT)
- Calicata de frecuencia "Low Induction Numbers" (LIN)
- Sondeo de polarización inducida en el dominio de tiempos (SPI)

- Calicata de polarización inducida en el dominio de tiempos (CPI)

Y aunque no figura en el Pliego de Condiciones Técnicas, también se acordó investigar la aplicabilidad de mediciones de resistividad mediante VLF (Very Low Frequency).

El sistema operativo utilizado fué el mismo que el propuesto en la Oferta Técnica y que se incluye en la página siguiente, con los ajustes que se indican a continuación:

- a) La primera campaña consistió en mediciones de LIN y VLF, al agregarse este método a la investigación.
- b) A continuación se llevó a cabo la segunda campaña mediante SEV, apoyándose en la anterior y teniendo en cuenta los sondeos mecánicos, los análisis de agua y los SEV de campañas anteriores.
- c) Interpretados estos tres métodos, se programaron y llevaron a cabo las mediciones con SEDT y las calicatas y sondeos de polarización inducida.

En la descripción de cada zona se indican las mediciones efectuadas y sus características, exponiéndose a continuación la metodología general seguida en la aplicación de cada método geofísico.

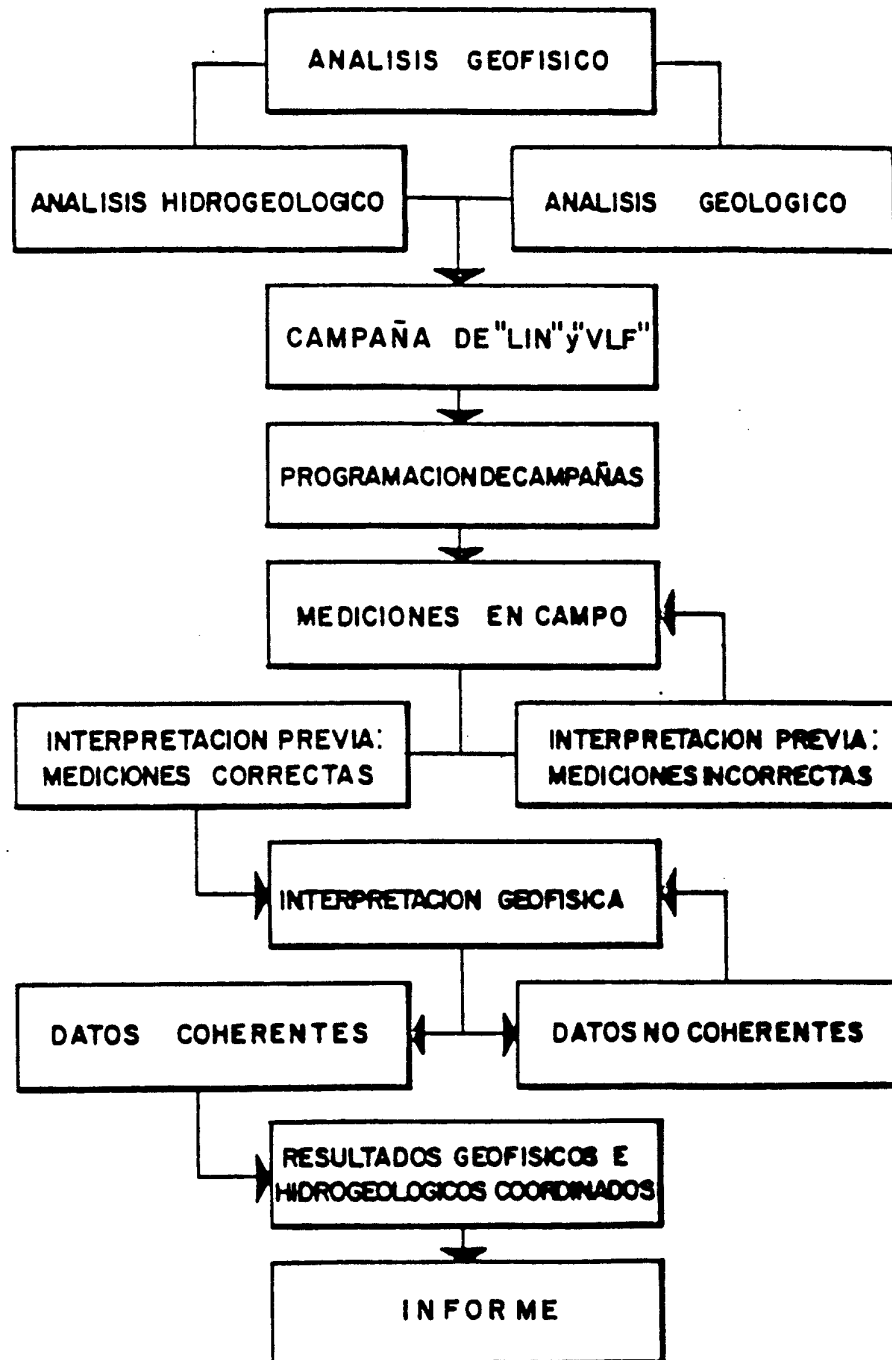
2.2.1.- SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES (SEV)

Este método es tan conocido que no es necesaria la descripción de su principio.

Las mediciones se efectuaron mediante el dispositivo Schlumberger, utilizando un equipo Geotrón.

Se han efectuado 10 lecturas por ciclo decimal, correspondientes a distancias $AB/2$ igualmente espaciadas logarítmicamente; y los empalmes han sido siempre de dos distancias.

ESQUEMA OPERATIVO



Las curvas de resistividad aparente se han trazado mediante ordenador y "plotter" en escala bilogarítmica de 62,5 mm de módulo, con corrección automática de los saltos de empalme.

La interpretación se ha efectuado para cada curva en, al menos, dos etapas: en la primera se obtiene una interpretación base por métodos manuales (punto auxiliar); y en la segunda esta interpretación es afinada por medio de un proceso automático iterativo de ordenador.

En algunos casos, si las interpretaciones obtenidas no coinciden adecuadamente con la información geológica o con la suministrada por otros métodos, se busca una nueva solución compatible con ellas y con la curva de campo.

En el Anejo a este Informe se incluyen las mediciones realizadas y la curva de campo, trazada en la escala bilogarítmica indicada, superpuesta a la curva correspondiente al corte solución adoptada. En estos dibujos los puntos de la curva de campo se representan por cruces, cuyos trazos verticales corresponden al límite de error comúnmente aceptado para estas mediciones, que es de un 5%.

2.2.2.- CALICATAS DE RESISTIVIDAD

Para este método se utilizó el mismo instrumental que para las CRPI. Se empleó un dispositivo fijo que se desplaza a lo largo de un perfil, obteniéndose de este modo resistividades que corresponden a bloques de terreno de profundidades aproximadamente constantes.

En el caso presente se ha utilizado el dispositivo simétrico con dos tipos de distancias interelectródicas: A 90 M 20 N 90 B y A 100 M 20 N 100 B. El emplear el dispositivo simétrico se debe a que, dadas las condiciones del problema, no resultaba ventajoso el empleo del dispositivo combinado, que es de aplicación más lenta y complicada, en especial por la necesidad de tender una línea "de infinito".

Las resistividades aparentes se han representado en escala semilogarítmica, y se han dibujado en los cortes correspondientes a los diferentes perfiles y a la misma escala horizontal de éstos.

2.2.3.- SONDEOS ELECTROMAGNETICOS (SEDT)

Estos sondeos se han efectuado mediante un equipo electromagnético de transitorio EM-37, fabricado por la casa "Geonics" de Mississagua (Ontario, Canadá) (Véase apartado 1.2.3.).

Para la elaboración de datos e interpretación se ha empleado un paquete de programas (PROTEM) de los que se han utilizado principalmente los subprogramas DATEM y RECTAN.

El primero se ha usado para crear una base de datos que contiene todas las observaciones efectuadas y transformadas en resistividades aparentes en función de la raíz cuadrada del tiempo transcurrido desde el final de cada impulso primario.

El segundo programa se ha empleado para calcular soluciones a las curvas obtenidas; y las curvas de los modelos aceptados como solución se han representado en escala bilogarítmica, junto con las medidas de campo, a las que se superponen. Estos dibujos han sido realizados por el propio programa.

Es frecuente que la parte final de cada ciclo no sea aprovechable por la presencia de ruidos, que perturban la marcha normal de la curva de caída.

Es muy importante dar cuenta del hecho de que las resistividades dadas por los SEDT son, en general, bastante más bajas de lo que cabía esperar y también inferiores a las determinadas por otros métodos.

Para comprobar estas diferencias se calcularon las curvas de SEDT correspondientes a la interpretación del SEV, y las curvas así obtenidas presentan, en general, un desplazamiento hacia arriba respecto de las curvas de campo de SEDT, lo cual supone multiplicar las resistividades de cada SEDT por un factor constante.

Ante esta discrepancia se planteó el problema de a qué valores dar la preferencia, inclinándonos, en general, a los datos deducidos del SEV, por las siguientes razones:

- 1) Los datos proporcionados por el SEV y por las calicatas eléctricas son coherentes entre sí, a pesar de que los instrumentos empleados en uno y otro caso son totalmente diferentes, e incluso con distinto fundamento; pero esta coherencia

no se mantiene con los SEDT.

- 2) Los datos de SEV son también coherentes con los de LIN y VLF; pero no así los de SEDT.
- 3) También existe correspondencia entre los SEV y la información proporcionada por los sondeos mecánicos y los datos de análisis químicos, resultando los valores de resistividad obtenidos en los SEDT demasiado bajos.

Ante estas discrepancias se ha tratado de encontrar una explicación; pero no se ha llegado a ninguna plenamente satisfactoria. A continuación se comentan las principales hipótesis consideradas.

- 1) Error de calibración del equipo. No parece probable que exista; y no se explicaría entonces la coincidencia entre SEDT y SEV en la zona de Almonte-Marismas ni que para SEDT prácticamente iguales el factor de corrección sea diferente.
- 2) Anisotropía. Cuando en un corte geoelectrico existe una capa anisótropa, pueden distinguirse en ella dos resistividades, una transversal (ρ_1) perpendicular a la estratificación y otra longitudinal (ρ_2). Pero teniendo en cuenta los valores de anisotropía que se dan en la práctica, los valores del coeficiente de desplazamiento más altos que podrían aplicarse serían de 1,2, valor que resulta inferior a algunos factores utilizados.
- 3) Época del año. En el verano la actividad de bombeo aumenta y, por lo tanto, también la intrusión, con el consiguiente descenso de la resistividad. Esta explicación parecía prometedora en principio, pero no justifica que aparezcan discrepancias en zonas sin intrusión marina.

En vista de estos hechos y puesto que las discrepancias de resistividad son proporcionales en cada SEDT y, en consecuencia, no afectan fundamentalmente a la interpretación, se ha utilizado el siguiente proceso interpretativo:

En primer lugar se calcula la curva de SEDT correspondiente al corte dado por el SEV efectuado en el mismo punto.

Luego se determina un coeficiente por el que hay de multiplicar la curva de campo del SEDT para superponerla a grandes rasgos con la calculada. Posteriormente se efectúan ajustes para mejorar la coincidencia.

Por último, se correlaciona con el SEV situado en el mismo punto, con los SEDT y SEV próximos y con los demás datos hidrogeológicos.

A este respecto hay que observar que en las curvas de campo del Anejo se indican las resistividades adoptadas para hacer coincidir la curva de campo con la calculada; pero en los perfiles geoelectricos estos valores de resistividades aparecen multiplicados en cada SEDT por el factor necesario para ajustarlos a los de los SEV y a los deducidos de la litología del perfil, factor que se indica en el Anejo en su correspondiente curva con la denominación FAC..

Otro aspecto a considerar es si despreciando los valores bajos de resistividades no se estará dando como zona no salinizada la que está bajo los efectos de la intrusión.

Pero esta circunstancia no parece preocupante toda vez que:

- a) En las zonas de intrusión o interfase los valores de resistividad de los SEDT son tan bajos que, aun multiplicados por el factor correspondiente, siguen siendo característicos de salinización.
- b) La información proporcionada por los análisis químicos del agua (contenido en cloruros) y, en muchos casos, por la calicata eléctrica, ponen de manifiesto hasta dónde alcanza la intrusión y evidencia que no se corre el riesgo de desvirtuar ésta al aplicar el factor correspondiente al SEDT.

2.2.4.- RESISTIVIDADES POR MEDIO DE VLF

El equipo utilizado en estas mediciones fué un EM-16 R de la casa "Geonics" (véase apartado 1.2.4).

Este método consiste, esencialmente, en una medición de la resistividad de tipo magnetotelúrico para una sola frecuencia, utilizándose como campo el de una emisora lejana de VLF.

Se compara el ΔV de la línea MN con el potencial creado por la componente magnética ortogonal a MN en una bobina del EM-16 y se obtiene directamente la resistividad del terreno, desde la superficie hasta una profundidad determinada.

Esta profundidad crece con la raíz cuadrada de la resistividad del terreno y, por lo tanto, es muy variable; pero no es tan pequeña como a veces se ha pensado, ya que no es igual al "skin depth" o "profundidad nominal", sino mayor, pues dicha profundidad no depende de ningún hecho físico, sino de una elección matemática basada en la sencillez.

En resumen, este método suministra una resistividad de tipo magnetoteléurico para cada punto investigado. Su principal ventaja es la rapidez y sencillez de la medición y su mayor inconveniente, la escasa penetración en muchos casos.

Los valores obtenidos han sido representados por medio de una curva bajo los perfiles correspondientes.

2.2.5.- METODO LIN (Low Induction Number)

Las mediciones por este método se han efectuado con un equipo electromagnético EM-34-3, también fabricado por la casa "Geonics".

La idea básica de este método es que para valores bajos del número de inducción o constante de propagación, el campo electromagnético de una bobina primaria permite obtener directamente la conductividad del subsuelo, ya que pueden despreciarse los términos siguientes al primero en el desarrollo en serie de dicha conductividad.

Las bobinas emisora y receptora, idénticas entre sí, se colocan sobre el terreno situadas simétricamente respecto del punto que desea investigarse, y de modo que su distancia sea de 10, 20 ó 40 m. Las bobinas deben ser coplanares y estar situadas bien horizontal, bien verticalmente. La distancia correcta se comprueba directamente mediante lectura en el receptor, que en este caso sólo indica el campo primario. Una vez hecho ésto, se lee directamente la conductividad del terreno, y si ésta pasa de cierto valor, la lectura debe ser corregida mediante un ábaco.

Cuando las bobinas se sitúan verticalmente (dipolos horizontales) la penetración teórica es doble que cuando se colocan horizontalmente (dipolos verticales), pero el sistema es mucho más sensible a los ruidos y las lecturas se hacen más difíciles. Por estas últimas razones y por la mayor dificultad de colocar en posición coplanar las bobinas cuando están verticales y hay vegetación, se ha preferido la posición horizontal. En este caso, a las distancias de 10, 20 y 40 m corresponden penetraciones "teóricas" de 7,5, 15 y 30 m respectivamente.

Aunque los fabricantes del instrumento dan métodos para transformar las conductividades leídas en un corte teórico aproximado de dos capas, no se han utilizado estos métodos, ya que siempre hay presente más de dos capas.

Las conductividades leídas han sido corregidas mediante el ábaco correspondiente siempre que fué necesario y, en todos los casos, transformadas en resistividades. Los valores así obtenidos han sido representados en curvas, una para cada distancia entre bobinas, que se han dibujado bajo los perfiles correspondientes, juntamente con los valores dados por el VLF. Ambos métodos se han aplicado conjuntamente sobre las mismas estaciones.

2.2.6.- CALICATAS DE POLARIZACION INDUCIDA (CRPI)

Se decidió la aplicación del método de la Polarización Inducida a título experimental, ya que aunque la utilidad del mismo está comprobada para la detección de menas metálicas de conductividad electrónica, su uso en problemas hidrogeológicos está bajo discusión y sin que se hayan obtenido resultados satisfactorios.

El fenómeno que da origen a la Polarización Inducida no está aún bien definido ni comprendido, pues aunque se sabe que las rocas impregnadas de agua salada tienen polarización muy baja, desgraciadamente ocurre lo mismo con las arcillas o arenas puras, por lo que este dato carece de valor diagnóstico unívoco.

Por esta causa, el método de PI carece de aplicabilidad directa a los problemas de intrusión marina, y su uso se limita a ayudar a la interpretación de los métodos de resistividad resolviendo algunas de sus posibles ambigüedades; aunque no está claro si ello basta para compensar el coste más elevado de la investigación.

En estas calicatas se han empleado los mismos dispositivos electródicos que en las calicatas de resistividad, obteniéndose la cargabilidad en milisegundos.

2.2.7.- SONDEOS DE POLARIZACION INDUCIDA (SPI)

Para este método vale lo dicho para las calicatas de PI, habiéndose empleado, además, la misma instrumentación que en el caso anterior (véase apartado 1.2.6).

En los sondeos de PI se ha utilizado la misma técnica que en los SEV en lo que respecta a distancias entre electrodos, curvas de cargabilidad aparente, etc.

La interpretación se ha efectuado por medio de un programa de ordenador que permite calcular modelos teóricos dados los espesores y las polarizabilidades de las diversas capas. Dicho programa se basa en la teoría de Seigel.

2.2.8.- LOCALIZACION DE LOS PERFILES

Dado que con este Proyecto se trataba de determinar el poder resolutivo de los distintos métodos geofísicos aplicados, los perfiles se situaron en zonas donde la información hidrogeológica suponía la existencia de intrusión marina; y dentro de ellas donde hubiese el mayor número de sondeos mecánicos con información litológica.

De ahí que las longitudes de LIN y VLF, elegidos como métodos rápidos y económicos, se centrasen en localizar la interfase, mientras que los SEV y SEDT cubrían una mayor longitud para tener mejor visión del perfil hidrogeológico.

Finalmente, tanto las calicatas como los sondeos de PI se situaron en zonas más restringidas donde se presumía que estaría la interfase.

2.3.- Correlación con otros datos

Obtenidos los resultados de cada método geofísico, se procedió a correlacionarlos entre sí y con los demás datos hidrogeológicos en tres fases:

- a) En la primera se procedió a un ajuste entre los SEV, SEDT y SPI, y simultáneamente entre las calicatas de PI (CRPI), LIN y VLF.

- b) En la segunda se correlacionó los datos de los sondeos geofísicos con la calicata de PI, LIN y VLF.
- c) En la tercera fase se ajustó la interpretación geofísica con los datos hidrogeológicos, fundamentalmente con los obtenidos mediante el contenido en cloruros como indicativo de la intrusión marina; pero también se tuvo en cuenta el nivel piezométrico y las columnas litológicas de los sondeos; así como los valores puntuales de análisis hidroquímicos.

Este ajuste requirió, en algunos casos, considerar y afinar la interpretación geofísica, volviendo sobre la inicialmente dada como válida.

Toda la correlación de datos y los ajustes se hicieron sobre perfiles geofísicos e hidrogeológicos, cuyas características generales se describen en el apartado 2.5.

2.4.- Control de la intrusión

Finalizado el trabajo y determinados los métodos a emplear, se seleccionaron las zonas donde podría ser aconsejable tomar medidas como posibles puntos de control de la intrusión, así como el método geofísico a utilizar en cada una de las áreas investigadas.

2.5.- Presentación de resultados

El trabajo realizado se ha presentado agrupado por zonas, describiéndose en cada una de ellas:

- a) Localización y características geográficas y socioeconómicas.
- b) Características hidrogeológicas.
- c) Campañas de prospección geofísica.
- d) Resultados coordinados.
- e) Control de la intrusión.

En el aspecto gráfico, los planos van agrupados por zonas y temas y tienen como numeración dos cifras.

La primera varfa del 1 al 10 y corresponde a cada zona investigada.

La segunda cifra corresponde al tipo de plano según se indica a continuación:

- 1.- Situación de perfiles geofísicos.
- 2.- Geología e isopiezas.
- 3.- Labores mecánicas e isocloruros.
- 4 al 8.- Perfiles geofísicos e hidrogeológicos.
- 9.- Perfiles propuestos para controlar la evolución de la intrusión.

Así, por ejemplo, el plano 2.5 corresponde a la zona Baix Camp (2) y representa el perfil geofísico e hidrogeológico nº 2.

Los planos 1 a 3 están realizados a escala 1:50.000 sobre la base topográfica nacional a igual escala.

Los datos geológicos tratan de delimitar y caracterizar el borde de la formación acuífera estudiada, por lo que, en algunos casos, se han sintetizado para mejorar su lectura sin perder información hidrogeológica.

Respecto a los planos de isopiezas e isocloruros se ha procurado trabajar sobre los más recientes y, en algunos casos, cuando se dispuso de datos, han sido elaborados por el equipo de INTECSA.

Pero hay que hacer notar que cuando se contó con planos de anteriores informes y de datos puntuales de salidas de ordenador, sorprendentemente no siempre coinciden unos con otros, por lo que, ante la necesidad de tomar una decisión, se aceptan como válidos los planos ya elaborados, al considerar que están más estudiados y depurados, máxime cuando en las salidas de ordenador se ha encontrado con demasiada frecuencia errores, unos subsanables (definición del nivel piezométrico cuando en realidad es profundidad del agua y sin que el criterio sea siempre el mismo) y otros no subsanables (cotas y coordenadas incorrectas; pozo con agua y análisis, pero con el fondo por encima del nivel piezométrico; profundidad del agua mayor que la profundidad del pozo, etc).

En el plano de situación de labores mecánicas solo se han incluido las que por su información y situación aportan datos al Proyecto, las cuales aparecen reflejadas en los perfiles hidrogeológicos.

Por último, los planos de perfiles geofísicos e hidrogeológicos (números 4 al 8) constan, como máximo, de cuatro partes.

- 1) La superior y más compleja es, propiamente, el perfil hidrogeológico con la interpretación de SEV, SEDT y SPI.

El primer dato a resaltar es que para obtener una buena representación ha sido necesario tomar una escala vertical diez veces mayor que la horizontal, con lo que las variaciones verticales aparecen mucho más acusadas de lo que son en realidad.

También hay que tener en cuenta que la mayoría de los sondeos mecánicos no están sobre el perfil, por lo que los datos litológicos solo deben ser utilizados a título orientativo.

En los perfiles se dan tres tipos de líneas:

- a) De trazo continuo, correspondientes a contactos de tramos eléctricos.
- b) De trazo discontinuo, que reflejan contactos litológicos no definidos con los métodos geofísicos y que, generalmente, corresponden a datos proporcionados por sondeos mecánicos proyectados sobre el perfil.
- c) De puntos, que corresponden a la interpretación de polarización inducida.

Y los perfiles presentan también, como máximo, tres tipos de tramas:

- a) Sombreado fino correspondiente a la interfase o zona poco salinizada.
- b) Sombreado más fuerte correspondiente al acuífero con clara intrusión marina.

- c) Trama rectangular indicativa de la presencia del sustrato, constituido generalmente por formaciones carbonatadas mesozoicas.

Por último hay que aclarar que cuando en un mismo punto concurre la toma de diversos tipos de datos (uno o dos SEV, más SEDT y SPI) se representan cada uno de ellos sobre una vertical, desplazada lógicamente de la posición teórica y diferenciando los distintos valores de la siguiente forma:

- Los SEV con numeración vertical seguidos de la letra distintiva, si procede.
 - Los SEDT con numeración inclinada.
 - Los SPI con numeración vertical subrayada.
- 2) Inmediatamente debajo del perfil se incluye la distribución a través del mismo del contenido en cloruros, tanto en base al plano de isocloruros, como a los datos obtenidos de los puntos de agua seleccionados a lo largo del perfil.

En este mismo gráfico se incluyen, también, las resistividades de las muestras de agua tomadas en dichos puntos.

A efectos de intrusión, consultados los especialistas del IGME en las distintas áreas, se ha definido como zona salinizada la que presenta un contenido en cloruros por encima de 800-1.000 ppm, con lo cual nosotros hemos definido la interfase en esta gama de valores.

- 3) Debajo se representan, en un mismo gráfico, los valores de LIN correspondientes a tres distancias entre bobinas (10, 20 y 40 m) y los de VLF; así como los valores de fase de éste.
- 4) Por último, en la parte inferior del plano se representa la calicata de polarización inducida con dos valores: la resistividad y la cargabilidad.

Como criterio general se puede adelantar que la fase de VLF no presenta variaciones de interés, y que la cargabilidad de la calicata de PI no da valores característicos e, incluso cuando presenta alguna anomalía, es contraria a los valores teóricos que debería ofrecer.

Finalmente, la correlación entre todos los datos obtenidos permite, en base a la calicata, LIN y VLF, definir el límite de la intrusión marina, que se presenta en el perfil mediante tres líneas verticales.

Las dos exteriores definen los extremos de la anomalía detectada, generalmente, en la calicata y, menos corrientemente, en el LIN y VLF.

Estas líneas, prolongadas verticalmente hasta el perfil, coinciden con el área donde los SEV y SEDT pasan de altas a bajas resistividades.

Pero en función de la interpretación de la calicata, la anomalía debe situarse en la parte central, por cuyo motivo se ha levantado la línea intermedia, la cual corta en el perfil hidrogeológico a la supuesta línea de separación agua dulce-agua salada en un punto de profundidad que debe corresponder a la teórica de interpretación de la calicata.

Finalmente, los planos nº 9 corresponden a los perfiles propuestos para el control futuro de la evolución de la intrusión marina.

El informe se acompaña de un Anejo en el que se incluyen, agrupados por zonas, los diagramas de SEV, SEDT y PI, así como los datos de campo. Estos últimos son fotocopia de una transcripción fiel y exacta de las hojas de campo, en las que se han incluido todos los gráficos, anotaciones, etc realizadas en campo; pero cuyas hojas originales no ofrecían, por su mala conservación, unas condiciones mínimas de presentación.

3.- CONCLUSIONES

En este estudio se han alcanzado las conclusiones que se exponen a continuación respecto a la viabilidad de aplicación de métodos geofísicos al control de la intrusión marina.

3.1.- Método de calicatas eléctricas de resistividad

Es el método que se considera **más adecuado**, toda vez que:

- Su poder resolutivo no se ve afectado, o lo es muy poco, por las condiciones superficiales de cambios litológicos.
- Define con mucha precisión la interfase y la zona claramente salinizada.
- Permite, simultánea o sucesivamente, localizar la intrusión a varias profundidades sin más que modificar la distancia entre electrodos AB.
- No se ve afectada su capacidad de respuesta por la profundidad a que se encuentre la intrusión.
- Necesita relativamente poco espacio para extender el dispositivo electródico, y tiene la ventaja de hacerse en la dirección del perfil.
- Es de fácil interpretación.
- Es más económico que los SEV y SEDT.
- La localización previa de la zona de interfase permitirá realizar las calicatas con dispositivo trielectródico combinado, que aporta las ventajas que se indican en el apartado 3.8.

Pero en contrapartida presenta, frente a los otros métodos, los siguientes inconvenientes:

- Necesita espacio libre a todo lo largo del perfil para el dispositivo electródico y para la ubicación de los puntos de observación, cosa que no ocurre con LIN y VLF.
- Las mediciones se ven dificultadas ante las vías de comunicación (autovías, FC, etc).
- Cuando todas las resistividades del corte geoelectrico son muy bajas debido a salinidad del terreno, el contraste entre medidas es pequeño y disminuye su capacidad resolutiva.

Estos dos últimos inconvenientes quedarían paliados con la utilización de calicatas trielectódicas combinadas.

3.2.- Método de calicatas electromagnéticas de frecuencia Low Induction Number (LIN)

Es un método muy recomendable por las siguientes cuestiones:

- Tiene alto poder resolutivo, aunque condicionado por las limitaciones que se indican más adelante.
- La posibilidad de obtener valores de resistividad simultáneamente para dos o tres profundidades mejora su capacidad de respuesta, aunque la experiencia obtenida en este Proyecto indica que, generalmente, las resistividades correspondientes a las mayores profundidades son las que proporcionan mejor resolución.
- El equipo es muy ligero, manejable y de fácil medición.
- Su interpretación cualitativa es sencilla y similar a la de las calicatas eléctricas.
- Es muy rápido y económico.

En algunos casos se podría mejorar la capacidad resolutiva haciendo medidas con las bobinas horizontales y verticales (seis medidas) y llegando a una interpretación cuantitativa; pero otro encarecería sensiblemente el trabajo.

Pero en contrapartida presenta las siguientes limitaciones:

- La capacidad de investigación queda limitada, como máximo, a 50-60 m de profundidad, por lo que requiere que la intrusión no esté demasiado profunda.
- Debido a esta limitación las mediciones están muy afectadas por los tramos más someros del terreno, hasta el punto de que deja de ser resolutivo cuando éstos presentan cambios acusados en la horizontal, tanto por resistividad como por espesor.
- Cuando existe una baja resistividad en superficie debida a niveles sedimentarios salinos o a un acuífero somero salinizado, las medidas quedan enmascaradas y resulta impropio su aplicación.

3.3.- Método de calicatas electromagnéticas Very Low Frequency de resistividad (VLF)

Es muy similar al LIN, pudiendo aplicar al VLF todo lo dicho para aquél con las siguientes variantes:

- Es de manejo más agil.
- Es más rápido y económico.
- Su profundidad de investigación es menor que la del LIN cuando los valores de resistividad superficiales son bajos.
- Por ello se ve más afectado aún que el LIN por las resistividades someras.
- No se obtiene más que un valor de resistividad en cada estación.
- La determinación de la fase no aporta ningún dato al estudio de la intrusión.

3.4.- Método de calicatas de polarización inducida en el dominio de tiempos (CRPI)

Este método no ha dado ningún resultado con la determinación de la cargabilidad para el estudio de la intrusión, pues se ha presentado siempre errática a causa de la complejidad de la respuesta debido a la litología de los sedimentos estudiados.

3.5.- Método de sondeos eléctricos verticales (SEV)

Es el método con mayor poder resolutivo toda vez que:

- Permite obtener un corte vertical del terreno con datos hidrogeológicos muy definitorios.
- Responde rápidamente a la salinización diferenciándola, en general, de los cambios laterales de facies.
- Puede localizar zonas salinizadas a profundidades que se carece de información.
- Precisa la línea o zona de interfase en el perfil.
- La resolución del SEV no se ve afectada por la topografía ni por la profundidad a que se encuentre el nivel piezométrico o la zona intruída; ni tampoco por las resistividades superficiales.

Pero en su aplicación hay que tener en cuenta los siguientes factores negativos:

- Necesita amplios espacios lineales libres para extender los electrodos, tanto más cuanto mayor profundidad de investigación se requiera, lo cual es un grave inconveniente en zonas de topografía abrupta o densamente pobladas o industrializadas.
- Para obtener con precisión la línea de interfase es necesario disponer los SEV suficientemente próximos, lo cual supone mayor número de medidas, encareciendo el trabajo y, a veces, con imposibilidad física de conseguir la ubicación deseada.
- Es de interpretación más laboriosa que las calicatas, pero se obtiene mayor información.
- Es más lento que todos los otros métodos seleccionados.

3.6.- Método de sondeos electromagnéticos en el dominio de tiempos (SEDT)

Tiene un poder resolutivo prácticamente igual al de los SEV, con las siguientes ventajas sobre éstos:

- No necesita grandes espacios lineales abiertos.
- En zonas con topografía o geología accidentada se ve mucho menos afectado que los SEV por estas circunstancias.
- En zonas de baja resistividad tiene mayor poder resolutivo y alcanza mayor penetración que los SEV.

Y por el contrario, presenta las siguientes desventajas:

- Si la salinización es muy somera, la falta de resolución de los SEDT en los niveles superficiales puede hacer inoperante este método.
- La interpretación se ve muy afectada por los valores de resistividad más someros.
- En profundidad ofrece una interpretación más dudosa que los SEV.
- Es más caro que los SEV.

3.7.- Método de sondeos de polarización inducida en el dominio de tiempos (SPI)

El trabajo realizado en este Proyecto, así como los datos proporcionados por otros estudios, dan suficiente base para manifestar que la polarización inducida carece de poder resolutivo (al menos al nivel de conocimientos de hoy) en el tratamiento del control de la intrusión marina.

En concreto los SPI realizados han evidenciado que las diferencias de cargabilidad no guardan ninguna relación con la mayor o menor salinización de los acuíferos, hecho coherente con los planteamientos teóricos del método ya que otras circunstancias producen los mismos efectos.

3.8.- Otras consideraciones sobre aplicabilidad de los métodos considerados

- Una vez definida la zona de intrusión se pueden hacer las calicatas con menor longitud y entonces es aconsejable efectuarlas con dispositivo trielectrónico, y mejor combinado que simple, pues:
 - a) No resulta necesario cambiar el electrodo de infinito.
 - b) Mejora la calidad de la respuesta al permitir un contraste de resistividades que puede ser el doble del obtenido con dispositivo normal.
 - c) Disminuye los vacíos de mediciones al atravesar las vías de comunicación a la mitad de lo que sería con dispositivo normal.
 - d) Se dispone de información independiente de la zona intruída y no intruída, mejorando el poder resolutivo.

- En el caso de que los condicionantes operativos imposibiliten la utilización de calicatas eléctricas de resistividad, se pueden sustituir por calicatas electromagnéticas en el dominio de tiempos; o bien por LIN teniendo en cuenta sus limitaciones, o por VLF con las mismas consideraciones.

- Con resistividades y espesores superficiales sin grandes cambios a lo largo del perfil y una intrusión poco profunda, se pueden utilizar con ventaja LIN o VLF, siendo preferible el primero al segundo.
- En zonas de geología complicada, topografía movida o gran desarrollo urbanístico o industrial, resulta ventajoso emplear SEDT en vez de SEV.
- En cualquier caso, cuando en un perfil de control no se disponga de SEV o SEDT, aunque sea de campañas geofísicas anteriores, deben hacerse siempre algunos para ubicar correctamente las calicatas y definir sus características.
- La mayor profundidad de investigación que se puede alcanzar con un perfil geofísico respecto a las observaciones en pozos o sondeos cortos puede permitir controlar mejor la intrusión, e incluso poner de relieve su presencia allí donde la hidroquímica no ha llegado a detectarla.
- Hay que hacer notar que la elección del método a utilizar debe hacerse cuidadosamente en cada caso, y sirva como experiencia que en el perfil 1 de la zona Castellón-Sagunto la calicata de resistividad resultó muy poco resolutive a causa de los fuertes y progresivos cambios de resistividad superficiales unidos a lo que parece ser una amplia zona de lenta y progresiva salinización en la interfase agua dulce-agua salada.

4.- ZONA Nº 1: BAJO TER-MUGA-FLUVIA (Gerona)

4.1.- Localización y características geográficas y socioeconómicas

Se extiende la zona desde la urbanización Ampuriabrava en el Norte, hasta la desembocadura del río Ter en el Sur, con una profundidad que alcanza los seis kilómetros.

La topografía del Cuaternario es plana, algo accidentada la del Terciario y bastante movida la del Mesozóico.

La zona costera ofrece un gran desarrollo urbano y dentro del área de estudio se encuentran algunos núcleos urbanos importantes como Torroella de Montgrí y Armentera.

4.2.- Características hidrogeológicas

La zona corresponde al Sistema Acuífero 71, que se divide en los subsistemas 71.1 Fluvial-Muga, y 71.2 Bajo Ter.

4.2.1.- LITOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA

A continuación se describen someramente las formaciones que pueden presentar alguna incidencia en los aspectos hidrogeológicos que contempla este Proyecto.

a) Macizo alóctono mesozoico del Montgrí

Si bien esta formación no es objeto de estudio en este trabajo, hay que tener en cuenta que en su base presenta asomos de Keuper arcilloso y yesífero, el cual podría dar lugar a un proceso de salinización de los acuíferos cuaternarios colindantes, con independencia del fenómeno de la intrusión marina.

b) Eoceno

De todo el Terciario solo tienen interés como formación acuífera las **calizas nummulíticas** del Eoceno Medio, que dan lugar a un acuífero confinado entre margas y arcillas con un espesor menor de 100 m que disminuye progresivamente hacia el Este.

Encima se encuentran arcillas y margas azules fosilíferas cuyo espesor también disminuye hacia el Este; areniscas gris-amarillentas de grano medio a grueso con algunos niveles de conglomerados y sin interés hidrogeológico; y por último un tramo de solo 2-3 m de espesor, forma lenticular y escasa continuidad lateral, compuesto por calizas coralíferas y calcoarenitas rojas de nulo interés hidrogeológico.

Todo el conjunto eoceno termina coronado por un Eoceno Superior constituido por arcillas rojas con algunos niveles de conglomerados y areniscas grises de grano grueso.

c) Mioceno

Solo aparece en la zona el Mioceno Superior formado por arcillas, arenas, conglomerados y margas con algunos niveles calcáreos; todo ello de muy escaso interés hidrogeológico.

d) Cuaternario

Corresponden a este periodo las formaciones más interesantes para aguas subterráneas, destacando las aluviales y deltaicas del conjunto de las que se muestran en la zona (dunas, terrazas, playas, marismas, glaciares, etc).

d-1) Aluviales.- Son, en general, tanto más arcillosos y margosos cuanto más próximos están de la costa, presentando buenas características hidrogeológicas los paleocauces.

Puede ocurrir que, como en el río Llobregat, el aluvial esté formado por un conjunto detrítico en el que se sitúen dos acuíferos principales separados por depósitos fangosos.

d-2) Deltas.- Están formados por limos y fangos arenosos con intercalaciones lenticulares de arenas y gravas de gran interés hidrogeológico.

Aparecen por debajo de la cota 18; pero aguas arriba de los ríos pueden llegar hasta la cota 25.

Su potencia es variable, pudiendo alcanzar los 70 m de espesor (rfo Fluviá).

4.2.2.- PUNTOS ACUIFEROS

Se han consultado los archivos del IGME de puntos acuíferos en general, así como los puntos de control piezométrico y de control de calidad, habiéndose utilizado en este estudio todos aquellos que podrían arrojar alguna luz, bien para apoyo de las interpretaciones geofísicas, bien para contrastar su poder resolutivo.

En concreto se ha contado con ocho puntos en el Perfil 1, ocho a lo largo del Perfil 2 y cuatro en el Perfil 3.

Estos puntos están reflejados en el plano 1.3 y en sus respectivos perfiles geofísicos (planos 1.4, 1.5 y 1.6).

4.2.3.- NIVELES PIEZOMETRICOS

Se ha dispuesto del plano de isopiezas de 1984 como dato más completo y reciente (plano 1.2) y en los perfiles geofísicos se ha señalado, además del nivel piezométrico correspondiente a este plano, las mediciones puntuales más recientes obtenidas en los sondeos observados, siendo digno de destacar que no existe diferencia sustancial entre ambos.

La piezometría presenta una distribución muy uniforme a lo largo de toda la costa, con la isopieza correspondiente a 1 m variable en 2 y 4 km tierra adentro, lo cual no hace posible, con solo la piezometría, definir las zonas de mayor intrusión marina.

4.2.4.- HIDROQUIMICA

Para definir la intrusión marina se ha contado con el plano de isocloruros correspondiente a junio de 1984 (plano 1.3).

En él se observan tres zonas de alta salinidad de diferentes características.

La primera, situada al Sur de Ampuriabrava y donde se ha ubicado el Perfil 1, corresponde claramente a intrusión marina.

La segunda está ubicada entre Vilademat y Albóns, y parece deberse a contaminación marina forzada por la explotación del acuífero y posiblemente condicionada por la presencia del Mesozoico carbonatado situado al Este. Aunque también podría deberse, al menos parcialmente, al Keuper existente en la base del macizo alóctono de Montgrí.

La tercera zona se sitúa a lo largo del río Ter y ofrece dos áreas muy diferenciadas. Una en la costa y que se atribuye a intrusión marina; y otra a la altura de Gualta, que se estima procedente de contaminación de las formaciones salinas del Keuper por efecto de los bombeos.

4.2.5.- DATOS INICIALES DE INTRUSION MARINA

Como documentación de partida para el estudio geofísico en esta zona se ha contado con:

- Hojas geológicas 1:50.000 del Plan MAGNA nº 296 y 297.
- Mapa de isopiezas de 1984.
- Mapa de isocloruros de 1984.
- Cloruros y conductividad medidos en Septiembre de 1985 en los puntos de agua seleccionados.
- Seis columnas litológicas obtenidas en puntos seleccionados del perfil 2.
- Nueve SEV de campañas anteriores.

4.3.- Campaña de prospección geofísica

Se han realizado los tres perfiles de geofísica que se indican en el plano 1.1, empleando VLF, LIN, SEV, SPI y calicatas, según las mediciones que se indican a continuación.

PERFIL	VLF	LIN	SEV	SPI	CRPI
1	2.800	2.800	4	-	2.350
2	3.200	3.200	6	2	2.400
3	7.300	7.300	9	-	2.450
TOTAL	13.300	13.300	19	2	7.200

El perfil nº 1 está situado a unos 700 m de la urbanización Ampuriabrava y es atravesado en su centro por la carretera que lleva a Sant Pere Pescador.

El perfil nº 2 se localiza 300 m al Sur de Blademar, llegando con dirección E-O hasta las proximidades de la urbanización Ampurias Geitsa, y atravesando la carretera C-252 en el kilómetro 20,0.

El perfil nº 3, situado en el extremo Sur de la zona, empieza en las proximidades de la costa y con dirección E-O llega hasta el km 2,5 de la carretera que lleva de Guala a Serra de Daró.

4.4.- Resultados coordinados

Perfil 1

Tiene una topografía llana con un nivel piezométrico somero y baja resistividad en superficie, coincidiendo sensiblemente los primeros contactos eléctricos en cada SEV con la posición del nivel piezométrico (plano 1.4).

Hasta los 30-60 m de profundidad se detecta una formación resistiva que bajo el SEV 102 aumenta su conductividad para llegar en el SEV 101 a solo 2,4 ohm.m.

El límite de la intrusión aparece claramente reflejado en los SEV, LIN, VLF y calicata, ya que se dan las condiciones idóneas para que cualquiera de ellos responda a la salinización, es decir, baja resistividad superficial y nivel piezométrico somero.

Incluso en el LIN se detecta una zona clara de interfase entre los 40 y 110 m de su final; y el SEV 102 se situaría también en esta zona.

Sin embargo, la calicata aquí no parece tan resolutiva como en otros perfiles, quizás por el efecto negativo del sustrato del acuífero, que con 18 ohm.m enmascara los datos superficiales al penetrar la calicata más que el LIN y VLF. Aquí, como en todo el resto del estudio, los valores de cargabilidad no proporcionan ninguna información.

Bajo los SEV 102, 101 y 14 se observan en profundidad bajas resistividades que se interpretan como motivadas por la intrusión marina en otra zona permeable más profunda y que pasa desapercibida con los datos obtenidos en los puntos de control de agua.

La formación resistiva superior se atribuye al acuífero cuaternario; mientras que el acuífero inferior podría corresponder al Mioceno o al Eoceno.

En el gráfico de distribución de cloruros en muestras de agua se observa que la intrusión se sitúa en la línea de 1.000 ppm y que los valores puntuales se ajustan a los demás datos a pesar de la superficialidad de algunos pozos, resultado puramente casual. Esta última circunstancia motiva que la distribución de resistividades en muestras de agua no tome valores característicos y solo adopte valores menores de dos ohm.m para las aguas salinizadas.

Perfil 2

Los valores de las resistividades superficiales varían fuertemente desde 350 a 11 ohm.m (plano 1.5), y debido a ello LIN y VLF muestran un suave y progresivo descenso de resistividad, aunque con una clara subida a la izquierda del perfil que denota el final de la intrusión, a la profundidad investigada, aunque no con suficiente claridad.

Los SEV definen claramente una intrusión marina o una formación arcillo-salina al detectar resistividades muy bajas (3-7 ohm.m) a lo largo de todo el perfil, hasta el SEV 204.

Los pocos datos disponibles de cloruros y resistividades no son significativos una vez observado que el pozo 17 (4) es muy somero, razón por la cual su contenido en cloruros es bajo a pesar de estar en una zona claramente intruída.

Bajo los SEV 201, 202 y 204 se detecta un sustrato resistente atribuido a calizas y que, en cierta manera, puede actuar como umbral de la intrusión.

Los sondeos de polarización inducida coinciden en la diferenciación de tramos con los SEV y no proporcionan más información que éstos; pues la baja cargabilidad del tramo

superior podría ser debida tanto a arcillas como a arenas bastante puras (por los valores de SEV son más bien arenas y gravas que arcillas), y el tramo inferior presupone una formación mixta de arcillas o margas con arenas.

Debido al espesor y resistividad de la formación intruida, se considera que el tramo más resistivo y superficial corresponde al acuífero cuaternario y el más profundo y potente probablemente al Mioceno.

La calicata no proporciona información por no haber alcanzado la zona no salinizada.

Perfil 3

Es un perfil largo y complejo; pero muy significativo en cuanto a la problemática hidrogeológica de la explotación del acuífero y a las respuestas dadas por los métodos geofísicos (plano 1.6).

La topografía es muy llana y el nivel piezométrico aparece muy somero en la mitad oriental del perfil, razón por la cual también aquí los primeros contactos eléctricos coinciden con él, con ligeros errores debido a la imprecisión topográfica.

Hasta el SEV 34 aparecen, bajo un primer nivel algo más resistivo, valores de resistividad que no superan los 6 ohm.m; y hasta el SEV 304 las resistividades de 11-17 ohm.m se interpretan como definidoras de la zona de interfase.

Aunque los contenidos en cloruros de que se dispone son bajos, observando la profundidad de los puntos donde se toman las muestras se detecta que son muy someros, por lo que se interpreta que las bajas resistividades corresponden a intrusión marina, aunque probablemente en una formación de arcillas y arenas de baja transmisividad y que, incluso en zonas no intruídas, no supera los 30 ohm.m. Así pues, se estaría en otro caso en que la intrusión no está suficientemente controlada mediante la toma de muestras.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es la baja resistividad detectada en el SEV 31 de una campaña anterior y que parecía no corresponderse con la de los SEV próximos 306 y 307.

Analizado este punto se observó que corresponde a una zona con mayor contenido en cloruros, probablemente debido a la explotación y a una intrusión lateral; y curiosamente las mediciones de LIN cuanto más profundas más acusan este fenómeno, lo que indica una clara respuesta a efectos de salinización aunque sean puntuales.

Desgraciadamente la calicata no proporciona medidas en este punto por atravesar una carretera.

Por otra parte, la calicata presenta resistividades relativamente altas y decrecientes hasta el SEV 33, produciéndose aquí un fuerte descenso que se relaciona con el límite de la intrusión.

En lo que respecta al LIN, su comportamiento es diferente según la profundidad investigada. Así, las resistividades correspondientes a tramos más superficiales se mantienen prácticamente constantes hasta el SEV 36, iniciándose aquí un aumento de la conductividad que se acusa fuertemente en las inmediaciones del SEV 301.

Pero las resistividades de las zonas más profundas acusan una disminución constante a partir del SEV 33, indicando una zona progresivamente más salinizada y que en las inmediaciones del SEV 301 se hace altamente conductora.

Este comportamiento es coherente con los valores de cloruros obtenidos en las muestras, con la intrusión detectada y, en consecuencia, con el modelo de corte hidrogeológico obtenido.

Respecto al VLF, sigue un comportamiento intermedio entre las dos posiciones extremas de LIN y a partir del SEV 36 muestra gran indefinición.

Las resistividades de las muestras de agua, al igual que el contenido en cloruros, no aportan valores concluyentes al ser captaciones muy someras.

Como en el perfil 2, la formación resistiva superficial se atribuye al Cuaternario y la inferior a margas, arcillas y arenas terciarias.

4.4.1.- CONCLUSIONES LOCALES

En el perfil 1 SEV y LIN han dado muy buenos resultados, como también la calicata de resistividad y VLF. Los SEV ponen de manifiesto una probable intrusión profunda que quizás sea de carácter natural.

En el perfil 2 LIN y VLF son menos resolutivos debido a las variaciones superficiales de resistividad; pero los SEV dan buenos resultados y ponen de manifiesto, como en el perfil anterior, una probable intrusión profunda con un posible umbral formado a favor de las calizas mesozoicas.

Los SPI no aportan mayor información y la calicata tampoco aporta nada por haberse quedado corta.

En el perfil 3 los SEV y la calicata proporcionan buenos resultados, así como el LIN más profundo; pero no se obtiene información del VLF.

4.5.- Control de la intrusión

A la vista de los resultados obtenidos, una posible localización de los perfiles de control de la evolución de la intrusión marina sería la indicada en el plano 1.9.

El método más recomendable por su rapidez, economía y poder resolutivo es el LIN profundo para los perfiles 1, 2 y 4; así como la calicata eléctrica para el perfil 3.

El LIN puede ser sustituido por la calicata eléctrica, y en el perfil 1 podría utilizarse incluso VLF.

En todo caso, cuando los perfiles de control elegidos no dispongan de SEV o SEDT de campañas anteriores, es aconsejable realizar algunos SEV para mejor localizar y apoyar el LIN o la calicata; o sustituir los SEV por SEDT si hay problemas geológicos, topográficos o humanos para extender las alas adecuadamente.

5.- ZONA Nº 2: BAIX CAMP (Tarragona)

5.1.- Localización y características geográficas y socioeconómicas

Esta zona se extiende desde Tarragona capital al Norte, hasta Hospitalet al Sur; y aunque inicialmente estaba previsto, como en el resto de las zonas, el estudio en una franja costera de 2 km de ancho, las características de la intrusión obligó a ampliar la zona de estudio en el área Norte hasta siete km tierra adentro.

La zona ofrece en conjunto una topografía relativamente suave; pero en detalle presenta fuertes abarrancamientos que dificultan la apertura de líneas geofísicas.

Existen playas levantadas formadas durante los diversos periodos interglaciares y, en general, la línea de costa está formada por extensas playas de arena fina, excepto en tres zonas: Tarragona, Salou y Sur de Hospitalet, donde la costa es rocosa debido a la presencia de materiales carbonatados mesozoicos, siendo en estas áreas donde progresa más la intrusión marina.

La zona presenta un fuerte desequilibrio de la población, con tendencia a despoblar las áreas rurales en favor de las urbanas e intermedias, y sobre todo de las áreas costeras al amparo del desarrollo turístico.

A pesar de ello la agricultura sigue teniendo gran importancia, llevándose a cabo los regadíos fundamentalmente con aguas subterráneas.

También la industria desempeña un importante papel, sobre todo la química en la zona de Tarragona.

Todas estas circunstancias dificultan, y en muchos casos impiden, el extendimiento de las líneas geofísicas, hecho que debe ser tenido en cuenta a la hora de tomar decisiones de cara al futuro control de la intrusión.

5.2.- Características hidrogeológicas

El área objeto de estudio corresponde al sistema acuífero 74, subsistema 74-2 Alt Camp-Baix Camp en su zona costera, que comprende la unidad de Montroig-Reus y la del Baix Francolí.

5.2.1.- LITOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA

a) Unidad Montroig-Reus

A continuación de la etapa de compresión que da lugar al levantamiento de la Cordillera Prelitoral, se inicia un periodo de distensión en el que se originan las fosas de Reus y Valls, rellenadas primeramente con sedimentos marinos miocenos en episodios de comunicación con el mar, y con sedimentos terrígenos en las etapas de emersión. Luego, durante el Plioceno, la regresión generalizada da lugar a una sedimentación en medio fluvio-torrencial que da paso, durante el Cuaternario, a piedemontes en los bordes de la cordillera.

Son estos piedemontes, junto con las formaciones fluvio-torrenciales, los materiales que constituyen el acuífero más conocido y explotado. Pero además existe otro acuífero profundo, formado por los sedimentos marinos miocenos, de funcionamiento prácticamente desconocido y cuya piezometría solo está determinada en la franja costera.

b) Unidad Baix Francolí

El río Francolí es su nivel de base, drenando al acuífero somero según se observa en la distribución de las isopiezas (plano 2.2).

El acuífero superficial está formado aquí por areniscas y gravas terciarias con una potencia de 50-70 m.

El balance hídrico de este acuífero presenta un déficit que es equilibrado con la intrusión marina, razón por la cual sus reservas se encuentran salinizadas e inutilizadas.

El acuífero profundo está constituido por las formaciones carbonatadas mesozoicas y las conglomeráticas del Mioceno basal. Se ha explotado intensamente, sobre para abastecer a la ciudad de Tarragona, y su sobreexplotación ha dado origen a la intrusión marina y a que sus reservas sean inutilizables.

5.2.2.- PUNTOS ACUIFEROS

Consultado el archivo del IGME de inventario de puntos de agua, de puntos de control piezométrico y de calidad de agua, se han utilizado aquéllos que aportaban alguna información de interés para este proyecto y que, en concreto, son: once sondeos a lo largo del Perfil 1, catorce en el Perfil 2, diez en el Perfil 3 y ocho en el Perfil 4. Estos puntos aparecen reflejados en el plano 2.3 y en los correspondientes perfiles geofísicos.

5.2.3.- NIVELES PIEZOMETRICOS

Para la definición de las posibles zonas de intrusión y la situación del nivel piezométrico se ha utilizado el plano de isopiezas de 1984 preparado por el IGME, como documento más completo y actualizado.

En él aparecen diferenciados los niveles del acuífero somero y del profundo (plano 2.2), y de su estudio no se deduce necesariamente la existencia de contaminación marina, aunque las anomalías observadas en el área de Tarragona y al Este del Cabo de Salou sí parecen indicarlo.

Sin embargo, define muy claramente al río Francolí como nivel de base y drenante del acuífero somero.

5.2.4.- HIDROQUIMICA

Para este proyecto se han utilizado las líneas de isocloruros de 1984, por ser la información más completa y actualizada de que se dispuso (plano 2.3).

En este plano se observa que el acuífero superficial, fuertemente explotado, presenta intrusión marina acusada en algunas zonas costeras; pero además la calidad del agua

está muy deteriorada por los vertidos que recibe, en especial los de origen químico de las áreas industriales y los de origen humano de las aguas residuales de los centros urbanos.

El acuífero profundo presenta intrusión marina prácticamente a lo largo de toda la costa, desde Salou hacia el Norte.

5.2.5.- DATOS INICIALES DE INTRUSION MARINA

Los datos de partida para definir la intrusión marina, preparar los perfiles geofísicos y calibrar su respuesta al objetivo de este Proyecto han sido:

- Geología de la zona a escala 1:50.000.
- Mapa de isopiezas de 1984 del acuífero somero y del profundo.
- Piezometría correspondiente a 1985 observada en los sondeos mecánicos situados sobre los perfiles geofísicos, y que no ofrecen variaciones respecto al plano de isopiezas.
- Plano de isocloruros de 1984 del acuífero somero y del profundo.
- 35 columnas litológicas obtenidas en los sondeos seleccionados.

5.3.- Campaña de prospección geofísica

En función de la intrusión definida en el plano nº 2.3 se han realizado cuatro perfiles geofísicos consistentes en VLF, LIN, SEV y SEDT, cuyas mediciones se representan en los planos nº 2.4, 2.5, 2.6 y 2.7 y cuya situación se indica en el plano 2.1.

El perfil nº 1 tiene dirección N-S y se extiende a lo largo de la Carretera C-240, desde el km 6 hasta la autopista.

Los perfiles nº 2 y 3 se extienden al Norte de Salou, desde las proximidades de Vilaseca de Soleina, uno en dirección N-S y otro con rumbo NO-SE.

Por último, el cuarto perfil queda situado a la altura de Hospitalet.

La distribución de las distintas mediciones en cada perfil son:

PERFIL	VLF	LIN	SEV	SEDT
1	3.200	3.200	6	5
2	2.800	2.800	5	4
3	2.700	2.700	5	4
4	1.100	1.100	3	4
TOTAL	9.800	9.800	19	17

5.4.- Resultados coordinados

Perfil 1

La zona donde se han realizado las mediciones geofísicas presenta una topografía bastante llana y con una ligera pendiente (plano 2.4).

El nivel piezométrico se encuentra a unos 30 m de profundidad el correspondiente al acuífero profundo, y a menos de 5 m el del acuífero superficial.

El perfil se caracteriza por unos valores de resistividad medios que no son indicativos de contaminación salina, salvo en los niveles más profundos, que llegan a estar a unos 45 m de profundidad bajo el SEDT y SEV 101 y casi aflorantes en el río Francolí; pero que se atribuye a una formación de margas y arcillas.

En los SEV 101 y 211 bajo este tramo conductor aparece otro con resistividad de 85 ohm.m atribuido a calizas y areniscas probablemente mesozoicas, y como para esta litología la resistividad es baja, hay que aceptar un cierto grado de salinización que, a la vista de los análisis, es alto.

El SEV F-2 de una campaña anterior presenta en profundidad resistividades bajas que podrían deberse a una intrusión a favor de la explotación, como parece indicar el contenido en cloruros.

En consecuencia, la intrusión debe alcanzar al acuífero mesozoico hasta el SEV 101 y

extenderse hasta el SEV F-2 en la parte inferior del acuífero terciario.

Sin embargo, ni LIN ni VLF detectan anomalía alguna, debido sin duda a la profundidad de la intrusión, lo que pone en evidencia la conveniencia de utilizar SEV o SEDT para el control de intrusión profunda, toda vez que puede pasar desapercibida incluso con toma de muestras que resulten superficiales.

Los SEV y SEDT presentan discrepancias en cuanto a la profundidad del muro del tramo resistivo en los puntos 103, 104 y 105, con la circunstancia de que son coherentes los valores obtenidos en dos campañas diferentes de SEV. A pesar de ello, dadas las dificultades que hubo que superar en esta zona para extender las líneas, se ha preferido elegir los valores dados por los SEDT, que resultan ventajosos sobre los SEV en estos casos.

Este tramo resistivo se atribuye al acuífero profundo constituido por formaciones carbonáticas miocenas.

El gráfico de cloruros muestra una falta total de intrusión en el acuífero superficial que drena al río Francolí; y una salinización fuerte bajo los SEV 102 y 103 debida a la explotación.

Perfil 2

Es bastante diferente del anterior, pues a un nivel piezométrico más somero se une una mayor uniformidad de las formaciones (plano 2.5).

Los niveles superiores son de resistividad alta (gravas, arcillas y conglomerados) y debajo aparece un paquete más conductor con 9-15 ohm.m formado por margas y arcillas que aumenta sensiblemente de espesor hacia el mar.

Debajo de esta formación y casi aflorante bajo el SEV 206 aparecen tres tramos eléctricos claramente diferenciados. El primero, con 40-50 ohm.m, alcanza hasta 100 m de profundidad y se acuña entre los SEV 204 y 205.

El segundo tiene 20-30 ohm.m y se acuña entre los SEV 203 y 204. Y el terreno

aparece entre los SEV 202 y 205 con 3-6 ohm.m.

Dada la disposición de los tres tramos, podrían corresponder respectivamente a una zona salinizada, de interfase y no contaminada (40-50 ohm.m) de un paquete de arenas y arcillas. Pero puesto que en los datos de que se dispone no aparecen arenas y sí arcillas y yesos, se estima que deben corresponder, más bien, a cambios de facies hacia estos materiales.

Sin embargo, bajo los SEDT 202 y 203, a unos 200 m de profundidad aparecen resistividades del orden de la unidad que podrían corresponder a intrusión marina o a una formación salina.

Volviendo a las resistividades más someras, entre los SEV 203 y 201 se observa una progresiva disminución de resistividad que se interpreta como el paso a una zona de interfase y, posteriormente, de clara salinización.

Pero en la formación infrayacente más conductora no se detectan estas variaciones, sin duda por su carácter confinante y la prácticamente ausencia de permeabilidad.

Los valores de SEV y SEDT son coincidentes, perdiéndose en este caso una valiosa información en los SEDT al no aportar datos someros; pero profundizando en la investigación más que los SEV.

El LIN y VLF presentan aquí una clara anomalía en la resistividad, con un descenso entre los SEV 202 y 203 que define el paso a la interfase.

Por otra parte, las muestras no presentan un contenido alto en cloruros hasta la zona comprendida entre los SEV 202 y 203, siendo así coherentes con la interfase del acuífero superficial y con la posible contaminación profunda observada bajo estos mismos SEV.

Perfil 3

En este perfil, excepto el sondeo 51 (1) los demás son proyectados, por lo que las columnas litológicas son orientativas, aunque suficientemente definitorias de la litología y estructura (plano 2.6).

El nivel piezométrico se encuentra entre los 10 y 25 m de profundidad y la litología predominante son calcarenitas, margas y arcillas intercaladas, con resistividades variables entre 25 y 60 ohm.m.

Bajo todos los SEV y SEDT se detectan en profundidad unos tramos conductores con 4-10 ohm.m que se atribuyen al efecto de la intrusión marina, intrusión que aparecería forzada por la explotación en el área donde se ubican los sondeos 303 (1) y 304 (1).

En el perfil geoelectrico la mitad Norte está dominada por calcarenitas; mientras que en la mitad Sur aumenta el contenido de margas.

Las características litológicas definen este acuífero como multicapa, lo cual motiva que excepto en el SEV 304, en el resto todo el acuífero se presente como un único tramo eléctrico y ni siquiera mediante SEDT se consiga mayor definición.

Las resistividades de los SEV y SEDT son muy iguales, con solo una pequeña diferencia en la profundidad bajo el SEV 303.

Los valores de LIN y VLF se ven condicionados por las resistividades superficiales y aunque aparece una clara caída de resistividad hacia el centro del perfil, el valor final de 30-40 ohm.m no corresponde a la intrusión; pero sí a una formación superficial más conductora debida al paso de calcarenitas a margas.

Los datos de cloruros ponen de manifiesto la salinización en el SEV 305; pero no proporcionan información sobre lo que pasa en el área de los dos sondeos mecánicos mencionados y que debe estar claramente salinizada.

Perfil 4

Tiene pendientes acusadas, resistividades altas (gravas y conglomerados) y un nivel piezométrico que varía de cero a 55 m (plano 2.7).

Las resistividades someras y más altas se deben a su bajo contenido arcilloso, mientras que debajo aumentan las intercalaciones arcillosas y disminuye la resistividad.

Dentro de la misma formación de gravas, arcillas y conglomerados se produce un fuerte descenso de la resistividad en todos los SEV, desde el nivel piezométrico en el SEDT 401 hasta los 195 m de profundidad en el SEV 405.

Esta caída de resistividad se interpreta debida a la presencia de la intrusión marina, hecho que se corrobora con los datos de cloruros.

El acuífero se encuadra en los de tipo de multicapa y queda definido por un único tramo resistivo.

Los SEV y SEDT son totalmente coincidentes, permitiendo en las capas superficiales una mayor definición el método SEV.

Las líneas de VLF y LIN presentan una clara caída de resistividad a partir de la zona comprendida entre los SEV 402 y 403, manteniéndose después sensiblemente constante. Interpretadas con criterios de calicata, definiría el límite de la intrusión coincidente con el determinado mediante los SEV.

Los últimos valores medidos en el perfil, aunque no son significativos, podrían corresponder a una disminución de la resistividad por variación de la formación superficial conglomerática.

La distribución de cloruros muestra un aumento progresivo de la salinidad hacia la costa, con valores que se mantienen entre 600 y 1.000 ppm, lo cual es coherente con la definición que se ha hecho de la delimitación de la intrusión.

5.4.1.- CONCLUSIONES LOCALES

En el perfil 1 SEV y SEDT dan buenos resultados, con alguna imprecisión en los contactos profundos; pero LIN y VLF no son resolutivos debido a la profundidad de la intrusión.

En el perfil 2 los SEDT y SEV vuelven a dar buenos resultados, igual que el LIN y VLF debido a la poca profundidad a que aparece la intrusión en el acuífero somero.

El perfil 3 vuelve a ofrecer buenos resultados de SEV y SEDT, que definen como un único tramo eléctrico el acuífero multicapa y no dan mayor información los SEDT que los SEV.

Sin embargo LIN y VLF vuelven a ser irresolutivos debido a la profundidad de la intrusión y aparecen fuertemente condicionados por las capas resistivas más someras, con riesgo de equivocar la interpretación.

Los resultados del perfil 4 son iguales a los del perfil 3, con mejor resolución de VLF y LIN.

5.5.- Control de la intrusión

En el plano 2.9 se representa la situación de los siete perfiles geofísicos que se consideran adecuados para controlar la intrusión marina en la zona.

El método que se considera más resolutivo, rápido y económico para cada perfil es el de calcatas eléctricas, pudiendo ser sustituidas con ventaja solo en los perfiles 1, 3 y, probablemente, en el 7 por LIN profundo.

En los perfiles 2, 3, 5 y 7 donde no se han efectuado medidas en este Proyecto, si no existen mediciones geofísicas previas a las de control se deben llevar a cabo algunos SEV O SEDT para mejor ubicar y apoyar los perfiles; siendo más ventajoso hacer SEDT por la dificultad de extender las líneas.

6.- ZONA Nº 3: VINAROSZ-PEÑISCOLA (Castellón)

6.1.- Localización y características geográficas y socioeconómicas

Se extiende la zona desde Vinaroz hasta Peñíscola, con una topografía muy suave y un área urbanística muy desarrollada a lo largo de toda la costa y apoyada en tres núcleos urbanos: Vinaroz, Peñíscola y Benicarló, con un total de unos 38.000 habitantes de hecho y 50.000 estacionales.

Presenta una gran actividad agrícola y no ofrece cursos permanentes de agua, siendo los ríos más importantes Cenia, Servol y Seco.

6.2.- Características hidrogeológicas

La Plana Vinaroz-Peñíscola se encuadra en el Sistema Acuífero 55, Subsistema 55.01 Vinaroz-Peñíscola.

El agua subterránea se dedica a los regadíos en un 85% y el resto para atender a pequeñas industrias y al abastecimiento humano de Benicarló, estando el acuífero detrítico sobreexplotado.

6.2.1.- LITOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA

La Plana Vinaroz-Peñíscola está formada por una superficie de derrame fluvio-torrencial de tipo árido, consistente en un relleno continental en dos fases de una depresión tectónica.

En la primera fase, de edad miocena, se hundió la costa y se sedimentan materiales margosos y arcillosos con algunas arenas y gravas. El espesor medio de esta formación es de 150-200 m, alcanzando en Vinaroz los 250 m.

A continuación, después de un proceso erosivo, un nuevo hundimiento da lugar a rellenos fluvio-torrenciales que configuran el acuífero detrítico miocuaternario, formado por arenas, gravas y conglomerados con poca arcilla. Su espesor alcanza los 125 m en Vinaroz y en el sector nororiental.



En las proximidades de los bordes del acuífero el espesor saturado puede ser nulo, bien por evolución del depósito, bien porque éste se sitúe por encima del nivel piezométrico.

Entre Benicarló y Vinaroz se localiza una zona alargada, paralela a la costa, donde el muro del acuífero aparece más profundo y alcanza cotas de 75 mbnm.

El sustrato está formado por el acuífero calizo mesozoico, que se encuentra entre 25-50 m de profundidad en los bordes y 350-400 m en Vinaroz.

6.2.2.- PUNTOS ACUIFEROS

El acuífero se encuentra sobreexplotado y con gran cantidad de captaciones que se dedican, fundamentalmente, al regadío.

A pesar de ello, en el Perfil 2, seleccionado en la zona de intrusión de Benicarló, no se pudo contar más que con dos sondeos de control; pero sin embargo, para el Perfil 1 se dispuso de ocho puntos.

Estos puntos seleccionados aparecen en el plano 3.3 y en los respectivos perfiles (planos 3.4 y 3.5).

6.2.3.- NIVELES PIEZOMETRICOS

La red piezométrica de la zona se establece en 1972 con 35 puntos que se miden mensualmente hasta 1976.

Desde esta fecha hasta 1980 el control es bimensual y en 1982 la red se reestructura en "subredes".

Para este trabajo se contó con el mapa de isopiezas correspondiente a la campaña de medidas de junio de 1986 (plano 3.2), así como con las mediciones puntuales obtenidas en los sondeos seleccionados.

La distribución de isopiezas pone de manifiesto la presencia de tres zonas deprimidas por efecto de las explotaciones; una al Noroeste de Benicarló y las otras dos al Noroeste de Vinaroz.

Hasta dos kilómetros de la costa la profundidad del agua del acuífero detrítico es inferior a diez metros, estando condicionada por la topografía; mientras que en la mayor parte de la Plana se sitúa entre 10 y 50 m.

Las variaciones estacionales del nivel piezométrico oscilan entre 0,25 y 0,50 m, mientras que a escala hiperanual se observa un descenso gradual que alcanza un valor acumulado de un metro en la zona costera.

6.2.4.- HIDROQUIMICA

Para el estudio de la localización de la intrusión marina se ha dispuesto de un mapa de isocloruros referente a la campaña realizada en octubre de 1985 (plano 3.3), en base a los 80 puntos de control seleccionados en 1976 y reestructurados según la profundidad de los pozos en una red de control de periodicidad mensual.

Con base en este plano se determinan dos zonas de fuerte intrusión debidas a la sobreexplotación. Una en Benicarló y otra en Vinaroz, ambas con más de 1.000 ppm de cloruros y con una zona entre ellas, a la altura de Roca Plana, sin indicios de intrusión.

Ambas áreas intrufdas presentan una progresión constante en la penetración del agua del mar.

Superficialmente se detecta un aumento de salinidad muy local al Oeste de Benicarló.

6.2.5.- DATOS INICIALES DE INTRUSION MARINA

Los datos que han servido de partida para estudiar esta zona han sido:

- Cartografía geológica a escala 1:50.000.
- Plano de isopiezas de junio de 1986.

- Piezometría medida en 1987 en los sondeos seleccionados.
- Plano de isocloruros de la campaña de octubre de 1985.
- Cloruros y conductividades medidos en junio y octubre de 1987 en los puntos de agua seleccionados.

6.3.- Campaña de prospección geofísica

La distribución de las líneas de isocloruros (plano nº 3.3) aconsejó llevar a cabo dos perfiles de investigación geofísica: uno inmediatamente al Sur de Vinaroz desde el Km 3 de la C-232 y que llega hasta la Colonia Europa; y otro inmediatamente al Norte de Benicarló, desde Vallosa hasta Punta del Riu.

En los dos perfiles se han tomado las siguientes mediciones:

PERFIL	VLF	LIN	SEV	SEDT	CRPI
1	2.200	2.200	5	-	2.000
2	2.500	2.500	6	4	1.800
TOTAL	4.700	4.700	11	4	3.800

6.4.- Resultados coordinados

Perfil 1

Tiene resistividades altas en superficie y un nivel piezométrico relativamente profundo, entre 20 y 40 m (plano 3.4).

Los SEV 103, 104 y 105 son muy parecidos, con un tramo superficial resistivo y otro infrayacente con 27-40 ohm.m. Pero en los SEV 102 y 101 las resistividades disminuyen fuertemente y, dada su distribución en vertical, se interpreta este hecho como debido a la intrusión, definiendo así una zona de interfase o escasa salinización y otra de clara intrusión.

En el SEV 102 se detecta en profundidad un aumento de resistividad que podría

deberse a una formación margo-arcillosa poco contaminada.

El VLF define una fuerte bajada de resistividad entre C y F, que se atribuye a haber alcanzado la interfase aproximadamente bajo el SEV 102.

El LIN parece responder también bastante bien a la contaminación, alcanzando para los valores profundos la interfase aproximadamente en D y estabilizándose la resistividad al alcanzar la intrusión en F.

La calicata, al penetrar a mayor profundidad, detecta claramente un cambio de resistividad, que en este caso resulta impreciso por coincidir con una zona sin mediciones debido a la presencia de la autopista. En cualquier caso, la anomalía se sitúa entre las líneas verticales dibujadas, con dos posibles saltos que se localizarían en B y E y que, llevados al perfil, definirían la interfase y la intrusión.

Por último, los datos de cloruros sitúan la intrusión sobre la línea intermedia dibujada, que coincidiría en posición y profundidad con los datos de la calicata.

Así pues, todos los datos resultan coherentes y tanto los SEV como la calicata son muy resolutivos.

Perfil 2

Presenta acusados cambios de facies en superficie, donde las resistividades pasan de 780 a 9 ohm.m (plano 3.5).

Debajo se detecta un tramo resistivo en los SEV 205 y 206, que en el resto del perfil baja a resistividades de 3 a 20 ohm.m.

Y por último, el sustrato está formado por un paquete de 24-40 ohm.m que se interpreta como una formación confinante de margas y arcillas de muy baja permeabilidad, razón por la cual no presenta clara salinización.

La variación de resistividad entre los SEV 204 y 205 del tramo intermedio se interpreta como el límite de la intrusión de la formación acuífera, que presenta

resistividad de 100-150 ohm.m.

Los SEV y SEDT coinciden en valores de resistividad y contactos.

Los valores de LIN y VLF no aportan ninguna información, pues los descensos de resistividad, que se presentan continuados y uniformes, se deben a las variaciones litológicas superficiales y enmascaran la presencia de la intrusión.

Por el contrario la calicata, que tiene un tramo sin medición a causa de la autopista, presenta una clara zona de descenso de resistividad cuyo extremo izquierdo parece coincidir con el inicio de las mediciones. En ese caso el límite de la intrusión coincidiría con la línea media vertical dibujada, es decir, con la zona definida mediante los SEV.

Por último, los contenidos en cloruros ponen en evidencia que durante junio-octubre de 1987 la salinización progresó entre los SEV 204 y 205, coincidiendo así con el límite fijado mediante los SEV, SEDT y calicata eléctrica.

6.4.1.- CONCLUSIONES LOCALES

En el perfil 1 los SEV, SEDT y la calicata presentan alto valor resolutivo, así como el LIN con mediciones más profundas y el VLF.

En el perfil 2 los SEV, SEDT y la calicata son también muy resolutivos; pero LIN y VLF aparecen condicionados por las variaciones superficiales de facies y sin capacidad resolutiva.

6.5.- Contro de la intrusión

Una posible ubicación de los perfiles para controlar la intrusión marina se indica en el plano 3.9.

El método más recomendable por efectividad y rapidez es el de calicatas eléctricas, mejor asimétricas que simétricas, aunque aquéllas son más lentas de ejecución y más caras.

Las calicatas se pueden sustituir o apoyar en el Norte de la zona mediante VLF o LIN profundo; y en el caso de que los perfiles elegidos para el control no dispongan de SEV o SEDT de campañas anteriores es aconsejable realizar algunos para mejor localizar y apoyar los perfiles de resistividad.

7.- ZONA Nº 4: OROPESA-TORREBLANCA (Castellón)

7.1.- Localización y características geográficas y socioeconómicas

Se extiende la zona desde Punta del Cargador al Norte hasta Oropesa al Sur, con Torreblanca situada en el centro de la mitad septentrional y con una anchura de 5 km al Norte y 2 km en Oropesa.

La Plana de Oropesa-Torreblanca es una extensa llanura costera de topografía suave y con no demasiado desarrollo urbanístico, presentando una intensa actividad agrícola de cítricos, huerta y almendros, fundamentalmente.

No tiene cursos de agua permanente, siendo dignos de mención solo el río San Miguel, en el extremo Norte de la zona, y las ramblas de Ameler y Chinchilla; pero ninguno de ellos ofrece una relación biunívoca río-acuífero ya que los cauces se sitúan muy por encima del nivel piezométrico.

Solo existen dos poblaciones importantes: Oropesa y Torreblanca, con unos 6.500 habitantes y una población estival de unas 4.000 personas.

7.2.- Características hidrogeológicas

El área objeto de estudio corresponde al Sistema Acuífero 55: Javalambre-Maestrazgo, y define el Subsistema 55.02 Oropesa-Torreblanca.

El agua subterránea se utiliza fundamentalmente para regadíos (95%) y para atender a pequeñas industrias y abastecimientos urbanos (5%), encontrándose el acuífero sobreexplotado.

7.2.1.- LITOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA

La Plana de Oropesa-Torreblanca, similar a la de Vinaroz-Peñíscola, forma una extensión de derrame de tipo árido, diferenciada en una rampa de erosión que se apoya en el borde montañoso y en una llanura costera horizontal.

Está constituida por una depresión tectónica que en una primera fase miocena de hundimiento se rellena de materiales margo-arcillosos con ocasionales intercalaciones de conglomerados y arcillas, todo ello formando el sustrato impermeable con un espesor máximo que alcanza 100 m en un área al Norte de Oropesa.

A continuación, después de un periodo erosivo, la depresión se sigue rellenando con conglomerados y depósitos fluvioaluviales, componentes del acuífero detrítico. Estos depósitos están formados por conglomerados brechoides en la base, alternando con lentejones de arenas gruesas, arcillas y limos, y presentan encima depósitos recientes tales como conos de deyección, coluviones, aluviones, dunas, etc.

Su espesor crece hacia la costa alcanzando un valor máximo de 85 m en la desembocadura del río San Miguel y barranco de Chinchilla, y aumentando también hacia la costa el espesor saturado.

7.2.2.- PUNTOS ACUIFEROS

El acuífero se encuentra sobreexplotado y con una gran densidad de captaciones, lo cual ha permitido disponer en cada perfil geofísico de suficiente número de sondeos mecánicos de contraste.

Así, en el Perfil 1 se dispuso de siete puntos de agua y en el Perfil 2 de seis.

Estos puntos están indicados en el plano 4.3 y en sus respectivos perfiles geofísicos (planos 4.4 y 4.5).

7.2.3.- NIVELES PIEZOMETRICOS

Para este estudio se dispuso de los niveles piezométricos obtenidos en la campaña de 1986 (plano 4.2).

La red piezométrica se instala en 1972 con 45 puntos y se reestructura en 1982 en "subredes" con mediciones bimensuales de control.

La piezometría es bastante uniforme a lo largo de toda la costa, con dos claras depresiones situadas en el barranco de Chinchilla y en la desembocadura del río San Miguel, y otras tres de menor incidencia en Oropesa, Torrenostra y playa Romana.

Las depresiones se encuentran claramente separadas al Norte y Sur de la zona por la marjalera de Torrenosta, que es la principal área de recarga.

El nivel de agua se encuentra a profundidades variables entre 1 y 5 m; y las oscilaciones estacionales de la piezometría son de unos 0,5 m, excepto en las zonas sobreexplotadas, que llega a alcanzar los 2,5 m.

Desde 1974 se está produciendo un descenso del nivel piezométrico, que en la zona de costa llega a 0,5 m.

7.2.4.- HIDROQUIMICA

La red de control de intrusión se instala en 1976 con 45 puntos y se reestructura en 1980 en función de la profundidad de los pozos. La periodicidad del control es semestral.

Para la definición de la intrusión marina se ha contado con el mapa de isocloruros de la campaña de octubre de 1985 (plano 4.3). En él se observa cómo toda la zona litoral se encuentra contaminada por intrusión marina con más de 1.000 ppm de contenido en cloruros; a excepción de la zona superficial de la marjalera.

Las áreas de mayor intrusión corresponden a Torreblanca-rfo San Miguel y a la zona entre la marjalera y Oropesa, llegándose a alcanzar en ambas más de 1.500 ppm de cloruros y siendo la segunda donde la intrusión se muestra más activa.

7.2.5.- DATOS INICIALES DE INTRUSION MARINA

La documentación de partida para el estudio en esta zona ha sido:

- Cartografía geológica a escala 1:50.000.
- Plano de isopiezas de 1986.
- Plano de isocloruros de la campaña de octubre de 1985.
- Cloruros medidos en 1972 y 1987 en los puntos de agua seleccionados.
- 3 columnas litológicas obtenidas en los sondeos seleccionados.

7.3.- Campaña de prospección geofísica

La distribución de isocloruros y las condiciones topográficas llevaron a realizar dos perfiles de geofísica formados por VLF, LIN, SEV, SEDT y CRPI (plano 4.1).

El primero empieza en San Antonio, al lado de la autopista y al Suroeste de Torreblanca, y llega hasta la costa al Norte de Torrenosta.

El segundo empieza en el Km 2,5 de la carretera de Sal a Cabanes y termina en la playa del Mojón, después de atravesar la autopista, la carretera C-340 y el ferrocarril.

La distribución de mediciones en cada perfil es:

PERFIL	VLF	LIN	SEV	SEDT	CRPI
1	3.800	3.800	9	-	4.000
2	2.800	2.800	7	5	2.600
TOTAL	6.600	6.600	16	5	6.600

7.4.- Resultados coordinados

Perfil 1

Presenta una topografía que se eleva suavemente hacia el extremo ONO, con un nivel piezométrico somero excepto en este extremo, donde las resistividades altas corresponden a un sustrato calizo y un relleno conglomerático (plano 4.4).

Dentro de la formación caliza aparece a techo un tramo de 10-25 m con alta resistividad que se atribuye a una zona probablemente carstificada.

El relleno Terciario-Cuaternario aparece formado por cuatro niveles eléctricos.

El primero y más somero, con resistividades entre 20 y 60 ohm.m, se atribuye a

gravas y arenas con distinto componente arcilloso, aumentando los elementos finos hacia la costa donde este nivel alcanza espesores de 30 m, prácticamente saturados de agua procedente de intrusión marina a partir del SEV 103.

El segundo nivel aparece entre el SEV 105 y al costa, con resistividades entre 3 y 7 ohm.m que se atribuyen a arenas y arcillas saturadas de agua salada.

El tercer nivel, formado por gravas y arenas con contenido variable en arcillas, se extiende desde el SEV 107 hasta las profundidades del SEV 101. Esta formación presenta dos resistividades bajo el SEV 107: una de 155 ohm.m que se atribuye a gravas y arenas secas o con agua dulce, indiferenciadamente; y otra de 45 ohm.m que se interpreta saturada de agua parcialmente salada (interfase) por intrusión marina. A partir del SEV 106 las resistividades son bajas y se interpretan como debidas a clara intrusión de agua del mar en este acuífero.

El cuarto y último nivel detectado presenta resistividades de 60-90 ohm.m y se considera un sustrato impermeable formado por margas de muy baja permeabilidad y poco contenido salino.

Bajo el SEV 101 aparece una resistividad de 29 ohm.m que podría corresponder a este último tramo.

En consecuencia, entre los SEV 106 y 107 se observa un acusado descenso de las resistividades de las capas superiores debido a la transición agua dulce-agua salada, que sigue haciendo bajar la resistividad hasta llegar a 3 ohm.m cerca de la costa.

Esta disminución de la resistividad se observa en el LIN y VLF, más en aquél que en éste, localizándose para el LIN entre A y C y para el VLF hacia D, aunque el incremento de resistividad es motivado, también, por la presencia de las formaciones conglomeráticas secas y con agua dulce, y de las calizas.

Bastante más clara es la respuesta de la calicata que, debido a esas mismas condiciones litológicas, presenta una resistividad ligeramente decreciente pero suficientemente alta como para detectar un fuerte cambio entre los SEV 106 y 107, y seguir después disminuyendo progresivamente hasta alcanzar 6 ohm.m en la costa.

La calicata delimita con precisión el final de la intrusión en B, punto medio de A y C, que resulta coincidente con la distribución de ppm de cloruros.

El punto C coincide con el paso del LIN de los conglomerados a la zona saturada de agua salada; mientras que el punto D fija en el VLF el final de las formaciones resistivas superficiales.

Perfil 2

Es un perfil complejo, con un sustrato resistivo que parece estar escalonado y que podría corresponder al Mesozoico; y un nivel superficial también resistivo formado por gravas y arenas y que se atribuye al acuífero de materiales fluvioaluviales; el cual se apoya sobre otro más conductor de margas y gravas terciarias (plano 4.5).

En este último la diferenciación eléctrica entre los tramos de gravas y margas no es posible debido a que toda la formación se encuentra salinizada, con resistividades muy bajas y sin contraste entre los diferentes tramos litológicos. Así, los tres diferentes valores resistivos que se aprecian en este tramo en cada SEV y SEDT se atribuyen a la formación no intruída, a la zona de interfase y a la zona salinizada.

La coincidencia entre SEDT y SEV es buena, con solo algunas diferencias en la determinación de las profundidades y mayor poder resolutivo de los SEV, tanto para definir la interfase como el sustrato.

En el gráfico de distribución de cloruros se observa la diferencia existente entre una toma de muestra antes o después del máximo estiaje y del mayor periodo de extracciones, así como de la importancia de la profundidad a que se toma la muestra; pues muestras recogidas a poca profundidad pueden dar un no muy alto contenido en sales y enmascarar la verdadera distribución de la intrusión.

En este gráfico, la distribución de las resistividades en muestras no ofrece datos significativos y es congruente con el contenido en cloruros.

Los valores de VLF se mantienen prácticamente constantes hasta el punto 202, donde sufren un descenso. Ello demuestra la escasa profundidad de la interpretación, que se queda en la capa más superficial y solo muestra el paso de ésta a la más conductora inferior.

El LIN presenta tres ramas muy definidas. La primera llega hasta el punto 206 y corresponde a la formación conglomerática y caliza. La segunda rama, más conductora, se mantiene prácticamente con valores constantes hasta el punto 203 y refleja el tramo superior resistivo. Por último, la tercera rama presenta una disminución progresiva de resistividad e indica el paso a la formación infrayacente más conductora, y luego a la zona de interfase. Así pues, se puede estimar que la profundidad de interpretación se sitúa hacia los 40 m para el dispositivo más largo y hacia los 20 m para el más corto.

En consecuencia, ni VLF ni LIN responden aquí a la intrusión por no alcanzar la profundidad necesaria.

Por el contrario la calicata, con mayor penetración en el terreno, presenta también tres tramos, pero mejor definidos.

El primero, con resistividades altas, corresponde a las formaciones resistivas de calizas y gravas ya mencionadas; mientras que el segundo, consistente en un descenso brusco y muy acusado (aunque coincidente con falta de mediciones por atravesar la autopista), define el posible límite de la intrusión marina, que hacia el mar va haciendo disminuir aun más las resistividades.

En cualquier caso el acuífero, de tipo multicapa formado por gravas y margas, debe tener baja transmisividad y resistividad normal no demasiado alta, lo cual motiva que a pesar de los bajos valores de resistividad el contenido en cloruros no sea demasiado alto; pero sí por encima de los límites considerados como intrusivos.

7.4.1.- CONCLUSIONES LOCALES

En el Perfil 1 los SEV dan muy buena información, fijando en profundidad el límite de la intrusión marina, cosa que no se consigue con el análisis químico de las muestras recogidas por ser muy superficiales.

La calicata eléctrica define con precisión, a la profundidad de investigación, el límite de la zona intruída, hecho que también detecta el LIN, aunque condicionado parcialmente por la variación resistiva de los niveles someros.

Por el contrario, el VLF está totalmente condicionado por estos valores y no define con claridad la intrusión.

En los SEV 101, 102, 104, 105 y 106 aparecen unos contactos con diferencias de unos 2 m respecto al nivel piezométrico que se interpretan como debidos a dicho nivel, justificándose la falta de precisión por el error en cota de los SEV (tomada del plano 1:50.000) o por variaciones en el nivel piezométrico.

En el perfil 2 los SEV y SEDT dan muy buena información, controlando adecuadamente la intrusión y la interfase.

La calicata eléctrica, con la reserva debida a la falta de mediciones en la zona de autopista, parece responder bien (como en otros casos) a la intrusión; mientras que LIN y VLF responden claramente a las variaciones litológicas superficiales y ofrecen escasa penetración.

7.5.- Control de la intrusión

Para el control de la evolución futura de la intrusión en la zona se han seleccionado, entre los varios perfiles posibles, los tres que se indican en el plano 4.9.

El método más adecuado por su poder definitorio, rapidez y economía es el de calicatas eléctricas; no siendo aconsejable utilizar aquí LIN ni VLF.

Y como se ha indicado en zonas anteriores, si no hubiese SEV o SEDT en los perfiles de control seleccionados deberían realizarse algunos de apoyo, con preferencia SEV.

8.- ZONA Nº 5: CASTELLON-SAGUNTO (Castellón-Valencia)

8.1.- Localización y características topográficas y socioeconómicas

La zona se extiende desde Benicassim al Norte hasta Sagunto al Sur, con una anchura que llega a alcanzar los once kilómetros a la altura de Burriana.

Está situada en la Plana de Castellón, con una topografía horizontal y suave, gran desarrollo agrícola (citrícola y frutícola) que es la principal fuente de riqueza, y centros urbanos tan importantes como Castellón de la Plana, Villarreal de los Infantes, Bechí, Burriana, Nules y Sagunto, entre otros; registrándose la mayor densidad de población en la zona de influencia del río Mijares.

La principal industria es la cerámica, con los centros más importantes en Onda, Villarreal y Castellón. Le sigue la industria petroquímica y a continuación la alimentaria, la de curtidos y la textil.

8.2.- Características hidrogeológicas

La zona objeto de investigación se enmarca dentro del Sistema Acuífero 56, que se divide en dos Subsistemas (56.01 y 56.02) separados por los afloramientos mesozoicos de Almenara, cerca del límite meridional del área estudiada. Estos dos subsistemas, de características hidrogeológicas muy parecidas, son la Plana de Castellón y la Plana de Sagunto.

Dado que en este estudio se trata de determinar la intrusión marina y que ésta se produce, a la profundidad de investigación alcanzada, en las formaciones terciarias y cuaternarias, se ha prescindido de la descripción de las formaciones mesozoicas.

8.2.1.- LITOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA

La Plana de Castellón-Sagunto tiene su origen en un relieve jurásico, posteriormente rejuvenecido y colmatado por sedimentos continentales pliocuaternarios que se apoyan sobre formaciones mesozoicas y, en algunos casos, quizás sobre formaciones terciarias de tipo arcillo-arenosas.

En el Pliocuatnario se diferencian dos tramos: Uno superior compuesto por arenas, gravas y conglomerados, a veces encostrados, susceptibles de karstificaci3n (Sagunto) y con un bajo contenido arcilloso.

Y un segundo tramo inferior, arcilloso, con espesor creciente hacia la costa y algunos niveles de formaciones detr3ticas gruesas.

Ambos tramos descansan sobre el Mesozoico en general, y en particular sobre la formaci3n arcillo-yesifera del Keuper o sobre posibles sedimentos arcillo-arenosos terciarios que, en general, suelen engrosarse hacia el mar.

El tramo superior es un acuífero de tipo multicapa con potencial creciente en profundidad, formado por distintos niveles intercalados con arcillas y limos. Los paquetes acuíferos no son continuos y aparecen a profundidades variables y con diferentes espesores, que no suelen ser inferiores a 10-15 m.

El espesor normal del Pliocuatnario varía entre 50 y 200 m; con valores máximos de 150 m en el río Mijares y Suroeste de Nules, y de 270 m al Sur de Villarreal; y presentando valores mínimos en Almenara.

8.2.2.- PUNTOS ACUIFEROS

Existen numerosas captaciones en la zona, con una buena red de observaciones piezométricas y de calidad de agua, por lo que los tres perfiles geofísicos realizados han podido contar con apoyo adecuado, salvo el Perfil 3 que, por quedar en el extremo Norte de la zona, cerca de Benicassim, el número de puntos de agua es menor.

En concreto se contó con ocho puntos para el Perfil 1, seis para el Perfil 2 y dos para el Perfil 3, los cuales aparecen indicados en sus respectivos perfiles (planos 5.4, 5.5 y 5.6) así como en el plano 5.3.

8.2.3.- NIVELES PIEZOMETRICOS

La red piezométrica de la zona se define en 1972 con 45 puntos en la Plana de Castellón y 29 en la de Sagunto, reestructurándose en 1980 y dividiéndose en 1982 en cuatro subredes con 29 puntos de control y distinta periodicidad de medidas.

En este Proyecto se ha trabajado en base al plano de isopiezas de junio de 1986 como dato más completo y reciente (plano 5.2) y en los perfiles geofísicos se han señalado también los niveles piezométricos medidos en cada uno de los puntos de agua considerados.

En el plano de isopiezas se observa una clara zona de depresión piezométrica entre Burriana, Villarreal, Bechí y Chilches, y otra más localizada al Norte de Sagunto.

A lo largo del río Mijares se detecta una recarga del acuífero debida al retorno de regadíos.

La variación anual del nivel piezométrico es de 2-3 m y funciona con poca inercia, lo que lleva a suponer un sistema rápido de drenaje (tipo kárstico) en los conglomerados y otro drenaje lento en los niveles de gravas y arenas.

8.2.4.- HIDROQUIMICA

La red de intrusión se instala en 1976 con 90 puntos de control en La Plana de Castellón y 46 en la de Sagunto, reestructurándose en 1980 en función de la profundidad de los pozos y con control semestral.

Para determinar "a priori" las zonas de intrusión marina se ha contado con el plano de isocloruros de la campaña de 1985 (plano 5.3), que define la salinidad a tres niveles distintos de profundidad.

Se localizan áreas de intrusión en la desembocadura del río Palancia (en el extremo meridional de la zona de estudio) (Perfil 1), y más acusadamente entre Nules, Moncófar y Chilches, coincidiendo con la depresión indicada en el apartado 8.2.3. (Perfil 2) y donde se llegan a alcanzar las 3.000 ppm.

También se observa una zona importante de salinización entre Castellón y Benicassim con más de 1.000 ppm, donde se ha ubicado el Perfil 3. Esta salinización da lugar a una disminución de los caudales explotados, lo cual motiva que se recuperen los niveles.

Por el contrario, la recarga del río Mijares hace que en esta zona la salinidad sea mínima.

Hidroquímicamente se diferencian dos fases: una sulfatada cálcica en la mayor parte de la Plana y otra clorurada sódica en la zona litoral.

Bajo las áreas fuertemente explotadas aparecen domos de aguas salinizadas que se generan a favor de las extracciones.

Las aguas también presentan contaminación por nitratos, sulfuros y cloruros de origen antrópico.

8.2.5.- DATOS INICIALES DE INTRUSION MARINA

Los datos de partida para este estudio han sido:

- Geología de la zona a escala 1:50.000.
- Plano de isopiezas de la campaña de junio de 1986.
- Piezometría medida en 1987 en los dieciseis sondeos seleccionados.
- Plano de isocloruros de 1985, definiendo la salinidad a tres profundidades.
- Isocloruros y conductividades medidas en junio y octubre de 1987 en los sondeos mecánicos seleccionados.
- 8 columnas litológicas obtenidas en los sondeos seleccionados.
- 5 SEV de campañas anteriores realizados a lo largo del Perfil 2.

8.3.- Campaña de prospección geofísica

La distribución de las líneas de isocloruros indica una clara intrusión entre Benicassim y Castellón, así como en el área de Moncófar y al Norte de Sagunto, zonas donde se han ubicado los tres perfiles de geofísica (plano 5.1) formados por VLF, LIN, SEV, SEDT y CRPI, según la siguiente distribución de mediciones.

PERFIL	VLF	LIN	SEV	SEDT	CRPI
1	2.900	2.900	11	2	2.750
2	3.800	3.800	6	3+2	3.150
3	1.500	1.500	7	-	1.350
TOTAL	8.200	8.200	24	7	7.250

El perfil nº 1 se desarrolla con dirección Este-Oeste desde Sonambula, al Norte de Sagunto, hasta la costa.

El perfil nº 2 se inicia en el km 25,5 de la carretera C-225 y con dirección NO-SE llega hasta la autopista, en el punto de cruce del término municipal de Moncófar.

Por último, el perfil nº 3 lleva dirección NO-SE desde Mas Blanco hasta Prados del Cuadro, atravesando la autopista, la carretera C-340 a la altura del km 74,8 y el ferrocarril.

8.4.- Resultados coordinados

Perfil 1

La profundidad del nivel piezométrico varía desde cero metros al nivel del mar hasta 30 m en el punto medio del perfil, manteniéndose después prácticamente a esta profundidad (plano 5.4).

En superficie aparece una formación resistiva bajo la que yace otra más conductora formada por arcillas, gravas y conglomerados, atribuida al acuífero multicapa del Pliocuaternario continental y cuyo muro estimado se ha dibujado a trazos cuando no está controlado por la prospección geofísica.

Esta falta de control aparece bajo los SEV 105 y 106 a causa de la intrusión marina, que hace que los valores de resistividad característicos de la formación acuífera aparezcan enmascarados por las bajas resistividades motivadas por las aguas saladas, y no se diferencie la formación resistiva de gravas de la más conductora infrayacente.

Debajo se detecta una potente formación con 30-60 ohm.m que se atribuye a margas terciarias con algún contenido arenoso y que se encuentra, en gran parte, influenciada por la intrusión.

Bajo el SEV 106 aparece una baja resistividad que se atribuye a un incremento de la intrusión debido a la explotación, hecho que concuerda con las isopiezas y las líneas de isocloruros de los planos 5.2 y 5.3 y que causa la indefinición eléctrica del muro del acuífero en esta zona.

Finalmente, bajo los SEV 109, 110 y 111 se detecta un sustrato resistivo correspondiente a calizas, y en los SEV 105, 107 y 108 aparecen en profundidad resistividades atribuidas a la presencia del sustrato calizo mesozoico.

La identidad entre los dos SEDT y SEV es total, tanto en resistividad como en posición de contactos, proporcionando ambos la misma información.

Los valores de LIN y VLF se ven influenciados por las capas resistivas superficiales con valores muy uniformes, y solo a partir del SEV 104 se inicia un descenso de la resistividad (punto D) atribuido al cambio lateral de facies, descenso que resulta progresivo a causa de las variaciones resistivas de las capas superiores.

La calicata no ofrece tampoco una interpretación clara. Hasta el punto A presenta resistividades altas y en aumento debido al progresivo incremento del paquete superficial resistivo. Desde el punto A, la presencia de la interfase compensa este aumento y la resistividad empieza a disminuir hasta el punto B, donde se iniciaría un descenso de resistividad más fuerte debido a la intrusión marina si el aumento de espesor del paquete resistivo superficial no enmascarase este resultado (punto C). Finalmente, la disminución de este paquete y el progresivo aumento de salinidad del acuífero hacen disminuir los valores de resistividad.

En consecuencia, la calicata no es resolutiva.

Perfil 2

Este perfil es muy homogéneo en cuanto a topografía y niveles resistivos, con la única salvedad de las variaciones de resistividad decreciente hacia la costa, y el punto anómalo detectado en los SEV y SEDT 205 (plano 5.5).

Este punto anómalo, de baja resistividad, se interpreta como el límite de la intrusión marina, forzada en este caso por una explotación muy localizada; mientras que a partir del punto 206 todo el acuífero aparece intruído.

El conjunto del perfil presenta cuatro tramos resistivos atribuidos a otros tantos litológicos.

El tramo superior alcanza como máximo hasta los 30 m de profundidad y está formado por resistividades variables correspondientes a gravas, arenas y arcillas en distinta proporción, apareciendo valores muy bajos en los SEV 1, 2 y 3 debido a la intrusión.

El segundo tramo, con resistividades entre 27 y 40 ohm.m se atribuye a margas con variable contenido en gravas y arenas.

Los descensos de resistividad en el SEV 205 y SEV 3 se atribuyen a la interfase y al paso a la zona intruída.

El tramo tercero se localiza en la parte central del perfil (del SEV 203 al 2) y debido a su resistividad se atribuye a gravas más o menos cementadas (conglomerados) con posibles tramos margosos y sometido a la intrusión a partir del SEV 205.

El conjunto de estos tramos se atribuye al acuífero multicapa del Pliocuaternario continental.

Por último, el sustrato está formado por un tramo de resistividad comprendida entre 18 y 48 ohm.m, que se atribuye a margas y arcillas con algún contenido arenoso y cuyo espesor rebasa los límites de la profundidad de investigación. Se considera una formación confinante del Terciario y en consecuencia la intrusión no se manifiesta, al menos claramente.

En los puntos 201, 202 y 204 aparece en profundidad una formación resistiva atribuida al mesozoico.

Los valores de SEV y SEDT son coincidentes en las profundidades y muy similares en las resistividades, ofreciendo igual respuesta unos y otros.

Respecto al gráfico de distribución de cloruros, es conveniente hacer tres observaciones.

En primer lugar, dado que no hay indicios de un acuífero somero salinizado, no encaja que disminuya el contenido en cloruros con la profundidad.

En segundo lugar, también aquí se observa un aumento de la salinización después del estiaje.

Por último, los valores de resistividades en las muestras de agua son coherentes con el resto de datos, pero no aportan información clara.

Considerando que la intrusión se define con un contenido en cloruros entre 800 y 1.000 ppm, el límite de intrusión fijado mediante geofísica coincide con el de datos hidroquímicos para octubre de 1987.

Ni el LIN ni VLF ofrecen anomalías claras, presentando unas resistividades muy uniformes y con ligeras variaciones debidas a los espesores de los niveles resistivos superficiales.

La calicata, que tampoco en este caso ha podido medir resistividades en la zona anómala por atravesar la autopista, presenta un claro cambio entre el punto de interrupción y al de continuación.

En la primera parte ofrece resistividades altas con tendencia a aumentar, como respuesta a las características resistivas de los niveles atravesados. Pero el segundo tramo aparece con resistividades sensiblemente más bajas y tendentes a disminuir. Así pues, en la zona no medida tiene que producirse una anomalía que, en el caso de abarcar toda la zona no medida, situaría el límite de la intrusión donde la delimitan los SEV y donde la confirma el contenido en cloruros.

Perfil 3

Presenta topografía inclinada, con nivel piezométrico variable entre cero y 45 m.

Los SEV ofrecen un tramo resistivo superficial formado por gravas y arenas que hacia el SEV 302 pasa a formación menos detrítica (plano 5.6).

Debajo se detecta un tramo de 20-30 ohm.m atribuido a gravas y arenas con diverso contenido en arcillas y saturado de agua.

Como base de todo aparece un potente tramo de 3-4 ohm.m que se interpreta como de intrusión marina dentro de la formación de conglomerados, arenas y arcillas, la cual alcanzaría a todo el perfil.

Esta intrusión parece progresar fuertemente bajo el SEV 304, debido probablemente a una explotación puntual.

Bajo los SEV 301, 303, 304 y 305 aparece un sustrato resistivo que se atribuye a las calizas y margas aflorantes al final del perfil, en el SEV 306.

En este perfil no se observa claramente una interfase.

Los datos de hidroquímica son escasos; pero en todo caso permiten fijar la zona de contaminación en el entorno del SEV 303.

Los valores obtenidos mediante LIN y VLF se ven condicionados por la simultánea disminución del espesor y resistividad de las capas superficiales, presentando una fuerte y mantenida disminución de resistividad que no guarda ninguna relación con la intrusión que, por otra parte, se encuentra aquí demasiado profunda para ser detectada, excepto en el extremo del perfil geofísico.

Por las mismas condiciones litológicas, la calicata presenta un descenso uniforme de la resistividad; y también en este caso hubo que dejar un espacio sin medir a causa de la autopista y en él se produce una clara disminución de resistividad que, interpretada como en los casos anteriores, situaría la interfase a la altura del SEV 303 y a una profundidad de unos 55 m.

Este límite de la intrusión coincide con el paso de contenido en cloruros a más de 800 ppm, con lo cual la correlación de datos resulta correcta.

8.4.1.- CONCLUSIONES LOCALES

En el Perfil 1 la resolución de SEV y SEDT es buena, detectando en profundidad efectos no observables en superficie; pero no así LIN y VLF, que penetran poco y se ven muy influenciados por la variación de las resistividades superficiales.

En este perfil tampoco la calicata resulta suficientemente resolutive, quizás debido a la presencia de una interfase muy acusada o, lo que es lo mismo, a lo que parece un paso muy gradual de agua dulce a salada, juntamente con importantes cambios de espesor en los paquetes resistivos superficiales, aunque esta circunstancia no influyó de modo acusado en otros perfiles.

En el Perfil 2 los SEV y SEDT vuelven a proporcionar buenos resultados y la calicata muestra un claro salto en la zona no medida definiendo el paso a la interfase. Pero LIN y VLF tampoco dan resultados claros, aunque se insinúa una bajada de resistividad al alcanzar la interfase.

Los resultados en el Perfil 3 son similares a los anteriores, con muy buen poder resolutive de SEV, SEDT y calicata y nulo de LIN y VLF por estar la intrusión profunda.

8.5.- Control de la intrusión

En el plano 5.9 se han dibujado los cuatro posibles perfiles geofísicos que permitirían controlar la evolución de la intrusión marina en la zona.

El método más adecuado es el de calicatas eléctricas, no siendo aplicable en esta zona LIN ni VLF.

En el perfil 1 la respuesta de la calicata realizada en este Proyecto no ha sido lo suficientemente clara; pero si se realiza asimétrica los resultados mejorarán sin duda.

Son aplicables aquí las observaciones hechas en otras zonas sobre SEV y SEDT como apoyo a la calicata.

9.- ZONA Nº 6: GANDIA-DENIA (Valencia-Alicante)

9.1.- Localización y características geográficas y socioeconómicas

La zona de Gandía-Denia se extiende desde Tabernes de Valldigna al Norte hasta Denia al Sur, con una anchura variable entre dos y cinco kilómetros.

La topografía es llana, con gran desarrollo de agricultura frutícola y hortícola y dos núcleos urbanos importantes: Gandía y Denia, así como otros más pequeños (Tabernes, Oliva, Ondara, etc.) y un importante desarrollo urbanístico en la costa.

9.2.- Características hidrogeológicas

La zona se enmarca en el Sistema Acuífero 50.

La intrusión marina que se pretende localizar en esta zona corresponde a la salinización de las formaciones permeables cuaternarias, ya que los materiales terciarios se localizan generalmente a gran profundidad y los mesozoicos solo se detectan en el perfil 2.

Por ello, este capítulo se centrará en los sedimentos cuaternarios haciendo abstracción de los terciarios y mesozoicos que aparecen bordeando la llanura litoral.

9.2.1.- LITOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA

a) Mioceno Superior

Cuando no es sustituido por las formaciones carbonatadas mesozoicas forma el muro del Cuaternario.

Está constituido por 150 m de margas lacustres de color gris claro con algunas pasadas centimétricas de calizas lacustres.

b) Cuaternario

Los depósitos más antiguos son de tipo glacis y se extienden el pie de los relieves calcáreos, pasando hacia la costa a materiales de albufera y de los cordones litorales que las cierran.

A continuación se describen las formaciones con mayor incidencia en este trabajo.

- b-1) Glacis.- Se apoyan en los bordes de las formaciones mesozoicas y con una pendiente de 5-6° casi alcanzan las zonas de albufera. Están formados por arcillas rojas limosas con intercalaciones de niveles de cantos calizos heterométricos.
- b-2) Derrames de glacis.- Cubren el desnivel entre los glacis y las albuferas y están formados por limos pardos con cantos calizos redondeados.
- b-3) Aluviales.- Depósitos de cantos, arenas y limos.
- b-4) Limos eólicos.- Forman un cordón que cierra las albuferas y están constituidos por limos de color gris o pardo.
- b-5) Dunas.- Se presentan como un cordón doble que cierra las albuferas.

Todos estos depósitos son de carácter continental, siendo los de tipo mixto y marino:

- b-6) Albuferas.- Presentan una sedimentación de tipo mixto complicada y variable; pero una estratigrafía tipo podría ser, de techo a muro: turbas, limos grises y limos pardos.
- b-7) Cordones litorales.- Tienen carácter marino y están formados por arenas alternando de forma discontinua con niveles de cantos.

9.2.2.- PUNTOS ACUIFEROS

La fuerte demanda de agua para riego que soporta la zona hace que sean numerosos los pozos y sondeos existentes y que tiene inventariados el IGME.

Para este trabajo se han seleccionado los que aportan datos de interés y que en concreto son (plano 6.3): diez en el Perfil 1, cuatro en el Perfil 2 y cinco en el Perfil 3.

9.2.3.- NIVELES PIEZOMETRICOS

Se ha contado para este Proyecto con el mapa de isopiezas de junio de 1986 elaborado por el IGME (plano 6.2).

En él se observa cómo existe a lo largo de toda la costa, excepto en el tramo entre el Grao de Gandía y Piles, una clara situación de intrusión marina, con áreas más acusadas en Jaraco y Ondara (donde se han situado los perfiles geofísicos 3 y 1 respectivamente), así como en la zona central a la altura de Oliva.

9.2.4.- HIDROQUIMICA

Se ha dispuesto del mapa de isocloruros de junio de 1986 realizado por el IGME (plano 6.3) en el que se diferencian las situaciones de salinidad a tres profundidades.

En él se observa la fuerte salinización en el área de Ondara, que se extiende por el Norte hasta Oliva.

La otra zona de fuerte intrusión corresponde a Jaraco, como indican las isopiezas; y se confirma la ausencia de este problema entre el Grao de Gandía y Oliva.

9.2.5.- DATOS INICIALES DE INTRUSION MARINA

Para contrastar el poder resolutivo de los métodos geofísicos ensayados se ha dispuesto de la siguiente documentación.

- Geología 1:50.000 del Plan MAGNA.
- Plano de isopiezas de junio de 1986.
- Plano de isocloruros de junio de 1986.
- 9 columnas litológicas obtenidas en los puntos de agua seleccionados.
- Piezometría medida en 1987 en los puntos de agua seleccionados.
- Contenido en cloruros y conductividades medidos en junio y octubre de 1987 en los mencionados puntos.

9.3.- Campaña de prospección geofísica

Se han realizado tres perfiles mediante VLF, LIN, SEV, SEDT y CRPI (plano 6.1).

El primer perfil empieza en las proximidades de la costa al Norte de Ondarra y finaliza a la altura del km 8 de la carretera que va desde esta población hacia Benidoleig.

El segundo perfil se inicia en la playa del Grao de Gandfa y con dirección NE-SO finaliza en el km 198,5 de la carretera C-332.

Por último, el perfil 3 arranca del Caserfo de la Marina y con dirección NO-SE llega a finalizar unos 600 m al Oeste de Jaraco.

Las mediciones realizadas son:

PERFIL	VLF	LIN	SEV	SEDT	CRPI
1	2.800	2.800	5	5	-
2	2.000	2.000	5	4+1	1.800
3	2.300	2.300	6	3	2.000
TOTAL	7.100	7.100	16	13	3.800

9.4.- Resultados coordinados

Perfil 1

Tiene resistividades relativamente altas en superficie y un nivel piezométrico que en la mayoría del perfil se encuentra entre 20 y 30 m de profundidad (plano 6.4).

Bajo los niveles superficiales se detecta un tramo eléctrico con 40-70 ohm.m que adquiere gran desarrollo en la mitad oriental del perfil. Este tramo se interpreta como un paquete de gravas o arenas con arcilla, que hacia el mar se va haciendo más arcilloso e intercala un tramo de arcillas.

El perfil adolece de demasiada distancia entre SEV para la complejidad que presenta; pero parece claro que la caída de resistividad en el punto 102 se debe a un principio de salinización del acuífero (interfase) que, por otra parte, imposibilita la diferenciación del tramo intermedio arcilloso.

En el SEDT 101 la resistividad es mucho menor y se interpreta como una zona claramente intruída.

Debajo de esta formación y alcanzando el nivel piezométrico en la mitad occidental del perfil se localiza un paquete con 15-50 ohm.m que se atribuye a las margas miocenas que forman el muro del acuífero.

Así pues, el perfil se presenta formado por materiales recientes resistivos (gravas) situados por encima del nivel piezométrico, y por un acuífero multicapa constituido por gravas, arenas y arcillas que aumenta fuertemente de espesor hacia la costa y permite diferenciar un tramo medio esencialmente arcilloso.

Los valores de SEV y SEDT son muy iguales, presentando prácticamente el mismo poder resolutivo.

Las mediciones de LIN y VLF no presentan diferencias y se mueven a lo largo de todo el perfil en el mismo rango de resistividades, siendo digno de notar únicamente que al principio del perfil hay un ligero aumento de resistividad seguido de un descenso de la misma, ambos hechos atribuidos a cambios de resistividad superficiales.

Por otra parte, si el perfil se hubiese prolongado algo más, probablemente se habría detectado el paso a la zona claramente intruída, según se ha visto en otros perfiles semejantes a éste.

Las medidas de cloruros en 1987 ponen de manifiesto el incremento de salinidad del acuífero con el tiempo, así como la diferencia de salinización existente entre junio y octubre, siendo ésta mayor debido a las extracciones durante la época de bombeo intensivo.

En cualquier caso, y siempre tomando como valor de salinización 800-1.000 ppm, la afección marina hay que situarla entre los puntos 102 y 103, hecho que coincide con lo detectado mediante SEV y SEDT.

Perfil 2

Este perfil es más complejo, pero de resolución más clara (plano 6.5).

Todo el sustrato hasta el SEDT 201 parece estar constituido por una formación de alta resistividad que se atribuye a calizas mesozoicas.

Las resistividades en superficie son bajas y en el punto 202 se aprecia un fuerte descenso de la resistividad de la capa intermedia que se interpreta como presencia de la intrusión marina, que aparece mucho más acusada, como es lógico, en el punto 201.

Los SEV y SEDT son ambos muy resolutivos y dan valores muy iguales, detectando mejor el sustrato los SEDT, pues los SEV parece que se han quedado cortos.

Dadas las bajas resistividades superficiales y la poca profundidad del nivel piezométrico, la respuesta de VLF y LIN es clara, más en el LIN que en el VLF y tanto más cuanto mayor es la profundidad de investigación, detectándose el paso a la zona salinizada a la altura de los puntos B, C y D.

En la calicata el contraste no es tan claro debido a los bajos valores resistivos; pero se insinúa una bajada de la resistividad entre las dos líneas verticales trazadas, con paso a la zona intruída a la altura del punto A.

Por último, los análisis químicos no detectan una clara intrusión, probablemente debido a que explotan el agua de la zona no salinizada y de las formaciones mesozoicas infrayacentes.

Perfil 3

Tiene resistividades superficiales relativamente altas y un nivel piezométrico somero.

Los primeros niveles resistivos se atribuyen a glaciais, debajo del cual se detecta un delgado paquete más conductor (más arcilloso) (plano 6.6).

Infrayacente se sitúa un paquete con 100-140 ohm.m atribuido a gravas, arenas y arcillas y constituyente del acuífero multicapa, y bajo él se localiza un sustrato con 25-40 ohm.m que se interpreta formado por las margas miocenas.

En la formación acuífera se detecta una fuerte bajada de resistividad entre los puntos 303 y 304 que se mantiene en los puntos 302 y 301. Esta baja resistividad se interpreta causada por la intrusión marina, razón por la que no se manifiesta en la formación inferior margosa impermeable.

Los SEDT 303 y 304 coinciden con los respectivos SEV; pero el SEDT 305 difiere, presentando unos valores de resistividad excesivamente bajos y que se consideran incorrectos, razón por la cual se han tomado como válidos los valores de resistividad proporcionados por el SEV 305.

El LIN y VLF dan valores análogos y una respuesta muy clara a la intrusión marina, al darse en este perfil las condiciones idóneas para su aplicabilidad. La zona de intrusión se sitúa aproximadamente en el punto B.

La calicata eléctrica es en este perfil absolutamente coincidente con LIN y VLF y presenta también un paso neto a la zona intruída en el punto A, sensiblemente coincidente con el B.

Respecto al contenido en cloruros de las muestras analizadas hay que hacer observar que la salinización es mayor a poca profundidad, hecho que no concuerda con la circunstancia de que no hay un acuífero somero salinizado. Por ello hay que pensar que las mediciones no tienen la suficiente precisión o bien que al ser un acuífero multicapa los niveles más superficiales tengan mayor transmisibilidad y estén más contaminados.

En cualquier caso el acuífero presenta intrusión a partir del punto 304, en clara coincidencia con las medidas geofísicas.

9.4.1.- CONCLUSIONES LOCALES

En el perfil 1 los SEV y SEDT son resolutivos y sin diferencias entre ellos, mientras que LIN y VLF se han quedado cortos y no alcanzan la zona de intrusión; pero tampoco detectan la interfase, por lo que se consideran poco resolutivos.

En el perfil 2 los SEV y SEDT son también muy resolutivos y aportan información en profundidad no detectable mediante los análisis de muestras de agua.

VLF y LIN son bastante claros en su resolución y la calicata eléctrica no es tan definitiva debido a las bajas resistividades existentes.

Por último, en el perfil 3 los SEV, SEDT, VLF, LIN y calicata eléctrica presentan todos alto poder resolutivo.

9.5.- Control de la intrusión

En el plano 6.9 se han representado los seis posibles perfiles que permitan controlar en el futuro la evolución de la intrusión marina.

Dadas las características de la zona los métodos recomendados por su capacidad resolutiva, rapidez y economía son el LIN para los perfiles 1, 2, 3 y 4; VLF para los perfiles 1 y 2, y calicatas para los perfiles 2, 3, 4, 5 y 6.

La calicata no es recomendable para el perfil 2; y LIN y VLF no lo son para los perfiles 5 y 6.

En esta zona, como en todas las demás, antes de llevar a cabo un perfil de control se deben realizar SEV o SEDT (preferentemente estos últimos por la dificultad de extender líneas) para situarlo correctamente y apoyar las medidas de resistividad.

10.- ZONA Nº 7: LLANO DE PALMA (Mallorca)

10.1.- Localización y características geográficas y socioeconómicas

Comprende la zona el área entre Palma y la playa del Arenal, profundizando hacia el interior hasta 9 km.

La mitad occidental de la zona, donde se ubica Palma (con 304.422 habitantes de hecho según el censo de 1981), está densamente poblada y urbanizada, circunstancia que se prolonga a lo largo de toda la costa; pero que disminuye hacia el interior en la mitad oriental.

La topografía es llana, con algunas elevaciones en la mitad oriental.

En el Llano de Palma se riegan unas 3.500 Ha, lo que supone el uno por mil de toda la superficie.

Y en cuanto a la actividad ganadera, el municipio de Palma cuenta con unas 9.000 cabezas de ganado vacuno.

El turismo sigue en aumento, con un porcentaje grande de incidencia en Palma y su zona costera.

10.2.- Características hidrogeológicas

La zona corresponde al Sistema Acuífero 77, Depresión Central de la isla de Mallorca, y se encuadra en el subsistema 77-A, Llano de Palma.

10.2.2.- LITOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA

El Llano de Palma está formado por dos acuíferos. Uno superior, libre y constituido por calcarenitas bioclásticas muy porosas y carstificadas, así como por dunas, limos y conglomerados de edades pliocena y cuaternaria; y otro inferior, formado por un tramo superior de calizas y otro infrayacente de calizas y calcarenitas del Mioceno Terminal, independizado del anterior por un tramo margoso.

El acuífero superior está independizado del inferior en la parte central y oriental por un paquete de margas grises de edad Plioceno.

10.2.2.- PUNTOS ACUIFEROS

Existen unos 2.800 puntos de agua inventariados por el IGME, de los cuales unos 1.200 son sondeos, 1.600 pozos y 2 manantiales.

La profundidad media de los sondeos de explotación es de 90 m; mientras que la de los pozos varía entre 3 m en las proximidades de la costa y 35 m en las zonas más al interior.

De todos los puntos acuíferos se han utilizado en este informe solo los que podían aportar datos concretos a los perfiles, y que fueron tres para el Perfil 1, doce para el Perfil 2 y once para el Perfil 3.

La situación de estos puntos de agua se indica en el plano 7.3 y en los correspondientes perfiles geofísicos (planos 7.4, 7.5 y 7.6).

10.2.3.- NIVELES PIEZOMETRICOS

El control piezométrico del acuífero superior se realiza mediante la observación de 41 puntos, y en 33 puntos más se estudia la variación de nivel de los dos acuíferos indiferenciadamente.

Para este estudio se ha contado con el plano de isopiezas de agosto de 1985 realizado por el IGME, y que es el más reciente que se pudo obtener (plano 7.2). En él se observa una sobrepresión en la ciudad de Palma, una depresión en Inca y otra fuerte depresión al Norte de Sant Jordi que se extiende hacia el Sur hasta la costa.

En el acuífero superior se detectan niveles máximos en abril y mínimos en septiembre, con un flujo general NNO hacia el mar, con la salvedad de un flujo hacia el interior del llano a favor de la mencionada sobrepresión en la ciudad de Palma y de la depresión en Pont d'Inca, así como de la otra depresión al Norte de Sant Jordi.

Al Sur de la playa de El Arenal la fuerte depresión detectada es claro indicio de intrusión marina, fenómeno que se debe producir, a la vista de la distribución de las isopiezas, a lo largo de toda la costa hasta Coll d'en Rebassa.

Respecto al acuífero inferior, en épocas de niveles máximos no presenta diferencias significativas respecto al acuífero superior; mientras que con niveles mínimos sus niveles piezométricos son más altos que los del acuífero superior y producen una sobrepresión.

Las características hidráulicas del acuífero inferior no son bien conocidas, debido a que no existen sondeos que lo exploten con independencia del acuífero superior.

10.2.4.- HIDROQUIMICA

El acuífero superior tiene, en general, buena calidad de agua, con contenidos en ión Cl^- inferiores a 300 mg/l, a excepción de la zona costera intruida.

Por el contrario, el acuífero inferior presenta agua de mala calidad, con más de 10.000 mg/l en ión Cl^- en el tramo superior; mientras que el tramo inferior vuelve a ser de buena calidad. La mala calidad del tramo superior se debe a la intrusión marina, fundamentalmente por las zonas de Porto Pi y suroriental del Llano, en este último caso a través del acuífero superior.

La distribución de las diferentes zonas de isocloruros se representan en el plano 7.3, donde se observa la fuerte contaminación en el área de Inca y a todo lo largo de la costa, llegando a progresar hasta Sant Jordi.

10.2.5.- DATOS INICIALES DE INTRUSION MARINA

Para la definición de la intrusión marina aplicable a este Proyecto se ha contado con:

- Cartografía geológica a escala 1:50.000.
- Mapa de isopiezas de agosto de 1985.
- Mapa de isocloruros obtenido con la campaña de 1985.
- 17 columnas litológicas obtenidas en los sondeos seleccionados.

Todo ello ha permitido definir el poder resolutivo proporcionado por los distintos métodos geofísicos aplicados.

10.3.- Campaña de prospección geofísica

Se han llevado a cabo tres perfiles (plano 7.1) con solo VLF, LIN y SEDT, ya que las características socioeconómicas hacen muy difícil, cuando no imposible, la apertura de líneas para SEV y calicatas.

El perfil 1 está situado al NO de Palma, desde esta ciudad hasta Son Anglada.

El segundo perfil se extiende desde el Sur de Son Alegre hasta cruzar la carretera C-715 y queda dividido en dos tramos de 1.000 y 1.900 m.

Por último, el tercer perfil va desde el Corralot hasta 200 m al Sur de la carretera C-715.

Las mediciones realizadas en cada perfil son:

PERFIL	VLF	LIN	SEDT
1	1.800	1.800	3+3
2	2.900	2.900	7+7
3	2.000	2.000	5+5
TOTAL	6.700	6.700	30

10.4.- Resultados coordinados

Perfil 1

Es un perfil complejo en el que bajo los SEDT 103 y 104 aparece un sustrato resistivo atribuido a calizas, que parece apoyarse sobre un tramo conductor, no muy fiable geofísicamente, pero que de ser cierto podría corresponder a una formación margosa o de tipo Keuper (plano 7.4).

Bajo un primer tramo de 30-60 ohm.m atribuido a gravas, conglomerados y molasas del acuífero superior, se detectan resistividades de 10-15 ohm.m que se hacen corresponder con una formación margosa impermeable.

No se observan variaciones resistivas que indiquen intrusión, y como los contenidos en cloruros no rebasan los 1.000 ppm se ha considerado que en esta zona no existe intrusión, o al menos no existe una salinización importante.

En estas mismas circunstancias ni VLF ni LIN dan repuesta alguna, aparte de que el nivel piezométrico se encuentra muy profundo para que estos métodos sean resolutivos.

Perfil 2

En los SEDT se pierde información sobre las resistividades de los primeros metros; pero aún así el primer tramo presenta altas resistividades, apareciendo luego un nivel intermedio más conductor y un sustrato caracterizado por alta resistividad en los SEDT 202 y 207, o por valores muy bajos y dudosos en el resto de los SEDT (plano 7.5).

En el tramo superficial más resistivo se observa un progresivo aumento de la resistividad hacia la costa, debido probablemente a la variación de facies de la formación de arcillas y calizas a la de gravas y conglomerados.

El SEDT 208 no es suficientemente claro, pues la única resistividad de 40 ohm.m podría corresponder al tramo superior muy engrosado y arcilloso, o bien al tramo medio no salinizado, interpretación ésta que parece más probable.

Bajo los SEDT 201 y 202 se detecta una fuerte caída de resistividad que se atribuye a la intrusión marina y que, progresando en profundidad, produce el mismo efecto en el tramo intermedio bajo el SEDT 203.

Así pues, la zona de intrusión llegaría hasta alcanzar la altura del sondeo 512 (7), coincidiendo con la zona de alto contenido en cloruros.

En este tramo intermedio, bajo los SEDT 205, 206 y 207 se observan resistividades de 16-18 ohm.m que se estiman demasiado bajas para una litología de margas, arcillas y calizas, y puesto que se encuentra en una posición intermedia entre la zona intruida y la otra con 40 ohm.m, se interpreta como una zona de baja salinización (interfase), hecho que no es detectado por las captaciones existentes por no alcanzar esa profundidad.

El último tramo es de dudosa interpretación, tanto por las bajas resistividades como por las altas; pero una interpretación podría ser que todo el perfil correspondiese al acuífero superior libre pliocuaternario y este último tramo lo formasen las margas pliocenas que yacen bajo él.

Por otra parte, las medidas de LIN y VLF son muy iguales y los máximos y mínimos que presentan en su última mitad se atribuyen más a la variación en espesor y resistividad de la capa superficial que a efectos de intrusión que, de ser así, deberían reflejarse más acusadamente en el tramo final, hecho que parece que se da en las últimas medidas de VLF.

Así pues, en este perfil no se encuentra respuesta de estos métodos.

Perfil 3

El nivel piezométrico aparece poco profundo y el perfil presenta un corte muy uniforme, con altas resistividades en superficie (aunque se pierden los primeros metros), un nivel intermedio de 40 ohm.m y un sustrato con 20 ohm.m (plano 7.6).

Esta distribución de resistividades se da en los SEDT 303, 304 y 305; pero cambia en los SEDT 301 y 302 presentando valores de resistividad mucho más bajos, lo cual se interpreta como que se ha alcanzado la zona salinizada.

El último tramo podría corresponder aquí, como en el perfil 2, a la formación margosa infrayacente al acuífero, con lo cual este corte sería en todo similar a aquél.

Tanto LIN como VLF ofrecen un fuerte contraste de resistividades entre los SEDT 302 y 303, lo que apoya la presencia en esta zona del límite de la intrusión, máxime cuando a partir de aquí los cloruros también aumentan fuertemente.

10.4.1.- CONCLUSIONES LOCALES

Al no presentarse una clara salinización en el perfil 1, no se puede dictaminar sobre la bondad de los métodos utilizados.

En el perfil 2 los SEDT dejan algunas lagunas a la interpretación, cosa que probablemente no habría ocurrido con los SEV, como es el caso del SEDT 208 y de las resistividades más profundas.

Debido a las variaciones resistivas superficiales VLF y LIN no dan respuestas claras, como ocurre en otros perfiles.

En el perfil 3 los SEDT parecen presentar, de nuevo, una interpretación demasiado generalizada en cuanto a los tramos litológicos intermedios; pero con alto poder resolutivo en cuanto a la intrusión.

En cuanto a LIN y VLF, al ser uniformes las resistividades superficiales y el nivel piezométrico somero, responden muy bien a la intrusión.

10.5.- Control de la intrusión

En el plano 7.9 se han representado los posibles tres perfiles que permitirían controlar la intrusión marina.

A este respecto conviene observar que se ha elegido el perfil 1, a pesar de que el realizado en este Proyecto con la misma denominación no indica intrusión, por la importancia que tiene este área de recarga próxima a la capital.

En esta zona es difícil definir "a priori" el método más adecuado al no coincidir los perfiles propuestos con los realizados y variar mucho las condiciones a lo largo de los perfiles.

Por ello sería aconsejable realizar primero SEDT en los perfiles propuestos 2 y 3, y luego definir si es aplicable el método LIN o VLF para, en caso negativo, aplicar calicatas eléctricas.

En el perfil 1 el único control posible es mediante SEDT o calicatas eléctricas.

11.- ZONA Nº 8: CAMPO DE DALIAS (Almería)

11.1.- Localización y características geográficas y socioeconómicas

La zona se extiende desde Aguadulce hasta la Punta Culo de Perros, y alcanza en la zona central 13 km de anchura.

Morfológicamente está constituida por una gran extensión suavemente ondulada que tiene su origen en una plataforma de abrasión marina durante el Cuaternario, moldeada por sucesivas transgresiones y regresiones y por fracturas recientes, cubiertas por grandes abanicos aluviales.

No existen núcleos urbanos grandes y los cultivos, aunque importantes, no cubren el suelo de forma intensiva.

11.2.- Características hidrogeológicas

Las peculiares características geológicas de la zona dan lugar a la presencia de varios conjuntos acuíferos relativamente independizados hidráulicamente entre sí, hecho que pone en evidencia la piezometría.

Las causas de esta división de acuíferos se deben a la tectónica de bloques del zócalo, con reactivaciones sucesivas, y a la deposición de las margas grises pliocenas que actúan como potente impermeable infrayacente, pudiendo alcanzar más de 700 m de potencia al Sur mientras que desaparecen hacia el Norte.

Debido a todo ello, en el Campo de Dalias se diferencian los tres sistemas acuíferos siguientes (plano 8.2):

- Acuífero inferior occidental
- Acuífero superior central
- Acuífero superior oriental.

Sus potencias son variables, pero oscilan alrededor de los 100 m, con un espesor saturado que puede alcanzar los 70 m.

Además de estos tres acuíferos mencionados puedan existir otros acuíferos profundos y no bien conocidos, a favor de la tectónica de bloques del zócalo.

11.2.1.- LITOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA

El acuífero inferior occidental está constituido por las dolomías de la Unidad de Gador y las calcarenitas miocenas de la Formación Vicar; extendiéndose por la parte occidental del Campo de Dalfas y la Sierra de Gador que linda con ella. Pero debido a las fallas de zócalo, este acuífero se prolonga en profundidad por gran parte del Campo de Dalfas, debiendo alcanzar hacia el SE hasta la falla que forma el borde septentrional del "Horst de Guardas Viejas".

El acuífero superior central está formado, fundamentalmente, por calcarenitas pliocenas, ocupando la mayor parte del Campo de Dalfas y constituyendo el acuífero más somero y de cotas piezométricas más altas.

Aunque este acuífero llega hasta el mar, los afloramientos y subafloramientos del sustrato margoso entre las zonas de Balerna y Las Marinas independizan relativamente un sector septentrional (el más interesante hidrogeológicamente) de otro meridional de escaso espesor de acuífero e inadecuado para ser explotado.

El acuífero superior oriental es heterogéneo y mal conocido. Comprende la casi totalidad de las facies existentes en el resto del Campo de Dalfas, así como las formaciones del manto de cabalgamiento de Felix y formaciones volcánicas.

El conjunto se comporta como un acuífero multicapa en el que, como mínimo, se diferencian dos capas:

- a) El acuífero superior, constituido por las formaciones cuaternarias, terciarias y los restos dolomíticos del manto de Felix.

Es probable que este acuífero se divida, a su vez, en otros dos: uno general y otro costero, local, de poca potencia y con una carga piezométrica ligeramente superior.

- b) El acuífero inferior, formado por las dolomías de Gador, que se presentan en afloramiento; debajo del manto de Felix a profundidad y extensión desconocidas; subaflorantes entre 50 y 200 m de profundidad; o a gran profundidad en la zona NE.

En la Sierra y su piedemonte solo existe el acuífero inferior; mientras que en el sector NE del Campo de Dalfas solo se explota el acuífero superior, por estar el inferior muy profundo. Pero entre ambas zonas coexisten ambos acuíferos, alimentando el inferior lateralmente al superior.

11.2.2.- PUNTOS ACUIFEROS

El Campo de Dalfas se encuentra atravesado por numerosos sondeos mecánicos, habiéndose utilizado para este Proyecto los que arrojan alguna luz en el calibrado de las respuestas que proporcionan los distintos métodos geofísicos utilizados.

En concreto se ha hecho uso de los sondeos que se indican en el plano 8.3 y que se reflejan en los distintos perfiles geofísicos.

Estos sondeos son ocho en el Perfil 1, siete en el Perfil 2 y seis en el Perfil 3.

11.2.3.- NIVELES PIEZOMETRICOS

Está establecida una red de 257 puntos con control semestral.

Se han tomado como referencia para este estudio los niveles piezométricos que se indican en el plano 8.2, y que corresponden a los tres acuíferos descritos en el apartado 11.2.1 en 1972. Además, en los sondeos seleccionados se han consultado los listados de ordenador del IGME hasta 1983.

Dignas de destacar son las fuertes depresiones debidas a la explotación que se observan en el Acuífero Superior Central en la zona al Norte de Matagorda, donde se ha situado el Perfil 1; en el Acuífero Inferior Occidental en toda su extensión; y en el Acuífero Superior Oriental excepto en su parte central.

11.2.4.- HIDROQUIMICA

Se han tomado como líneas de referencia para este estudio los isocloruros correspondientes a 1972 y que se indican en el plano 8.3.

Para el control de la intrusión marina se dispone de una red de diez puntos.

La intrusión marina afecta a las zonas más explotadas, es decir, fundamentalmente al acuífero superior central en el triángulo Roquetas del Mar, Las Norias y Punta Eutinas; así como al Norte de Matagorda. En menor medida al acuífero superior oriental, y no llega a afectar todavía al acuífero inferior occidental.

Actualmente el acuífero superior central se comporta como acuífero excedentario.

11.2.5.- DATOS INICIALES DE INTRUSION MARINA

A este efecto se han considerado:

- Plano geológico a escala 1:50.000 del trabajo de ENADIMSA.
- Plano de isopiezas de 1972.
- Plano de isocloruros de 1972.
- 17 columnas litológicas obtenidas de los sondeos mecánicos seleccionados.
- Piezometría en 1983 de dichos puntos de agua.
- Campaña geofísica realizada con anterioridad (1972).

11.3.- Campaña de prospección geofísica

Toda la zona presentaba en principio un importante grado de salinización, por lo que para obtener contraste había que situar los perfiles muy hacia el interior.

El perfil nº 1 empieza en Matagorda, en el cruce de carreteras, y siguiendo dirección Norte termina en el km 77,5 de la carretera C-340.

El perfil nº 2 empieza en el Cortijo de Noria de Villalobos y también con dirección Norte llega hasta el km 85,4 de la carretera C-340.

Por último, el tercer perfil empieza a unos 1.300 m al SO de Roquetas de Mar y termina a unos 1.000 m del Cortijo La Canal.

Debido a la profundidad a que se encuentra el nivel piezométrico, solo se han realizado SEV, SEDT y SPI, con la siguiente distribución por perfiles:

PERFIL	SEV	SEDT	SPI
1	3	5	4
2	5	8	-
3	6	5	-
TOTAL	14	18	4

11.4.- Resultados coordinados

Perfil 1

En superficie aparece una formación muy resistiva formada por conglomerados y calcarenitas conglomeráticas indiferenciadas eléctricamente (plano 8.4).

Debajo se detecta un potente tramo con 15-45 ohm.m atribuido a margas grises y limos.

En el sustrato del SEDT 104 aparece una resistividad de 3,2 ohm.m que bajo los SEV 103, 102 y 101 se muestra cada vez a menor profundidad y que intercala un tramo más resistivo que podría corresponder a calizas con intrusión marina. Así pues, se interpreta que toda esta zona bajo los SEV 101, 102 y 103 presenta intrusión marina.

El muro de la formación de conglomerados y calcarenitas se encuentra en el perfil a menos profundidad que en los sondeos proyectados.

En el SEDT 105 aparece en profundidad una alta resistividad de interpretación dudosa y que no se incluye en el perfil; mientras que el SEDT 103, igual que el 105, tiene discrepancias con el correspondiente SEV en las profundidades y detecta un último tramo intercalado resistivo que no aparece en el SEV.

Por último, el SEDT 101 presenta una secuencia resistiva que no se corresponde con la del 102 ni con la distribución de la intrusión marina.

Todo ello pone en evidencia que los SEV definen mejor la zona salizada y los SEDT la zona no intruída.

Los SPI definen una zona de baja cargabilidad correspondiente al nivel de conglomerados y calcarenitas, salinizados o no, en los puntos 101 y 102; mientras que en los puntos 103 y 105 correspondería a la misma formación no salinizada y a la parte superior del tramo de limos y margas grises. Por ello no parece que tengan ningún poder resolutivo respecto a la intrusión.

La distribución de cloruros en las muestras de agua no llegan a alcanzar los 1.000 ppm, lo que parece eliminar la presencia de intrusión; pero habida cuenta de la fecha en que fueron tomadas hay que admitir que las bajas resistividades detectadas en los puntos 101, 102 y 103 deben corresponder a la salinización del acuífero.

Perfil 2

Presenta en superficie resistividades altas que descansan sobre un tramo de 25-30 ohm.m de resistividad, atribuido todo ello al paquete plioceno de limos, conglomerados y calcarenitas (plano 8.5).

Debajo las resistividades se mantienen entre 7-15 ohm.m, lo que se interpreta como perteneciente al paquete de margas y arenas, que a su vez descansa sobre una potente formación de margas azules y grises con resistividades del orden de 4 ohm.m, lo cual parece indicar la presencia de un cierto contenido salino en estos sedimentos.

El sustrato más resistivo que aparece bajo los SEDT 204 a 208 se interpreta formado por calizas con intrusión marina y con una formación subyacente conductora, dudosa desde el punto de vista geofísico.

Estas calizas corresponderían al juego de bloques que motivan las fallas representadas en el plano 9.2 y que aquí quedan reflejadas en las cuatro dibujadas: una que parece inversa entre los puntos 202 y 203; otra directa entre 204 y 205; una tercera también directa entre los puntos 206 y 208; y por último una cuarta entre los sondeos 216 (IX) y 212 (IX).

Los datos hidrogeológicos evidencian que el acuífero es excedentario en la actualidad, lo cual supone la ausencia de intrusión, como queda manifiesto en el perfil geofísico.

En cualquier caso, a la vista de los datos de cloruros de 1972, en esta fecha tampoco se detectaba una clara intrusión; aunque sí una salinización que podría ser de diversa procedencia.

Perfil 3

En superficie se manifiestan altas resistividades atribuidas a gravas y conglomerados, que pasan rápidamente en profundidad a un tramo de margas y gravas con valores de 20-26 ohm.m en la mitad noroeste del perfil y de 5 ohm.m y menos en la mitad suroriental, indicando claramente intrusión marina (plano 8.6).

En el punto 304 esta intrusión parece estar forzada por posibles explotaciones en la zona; o bien condicionada por el posible efecto de umbral que origina el bloque resistivo que aparece bajo el SEDT 303 y que se atribuye a calizas o margas, igual que las altas resistividades detectadas bajo los puntos 301, 302, 305 y 306.

Estas resistividades ponen de manifiesto un juego de bloques del sustrato similar al detectado en el perfil 2.

La coincidencia de SEDT y SEV es grande, presentando solo algunas divergencias en la profundidad final en el SEDT 301 y mayores diferenciaciones en los SEDT 301 y 304 entre la formación salinizada y la no intruída; pero en contrapartida los valores resistivos profundos no quedan bien definidos en los SEDT.

El contenido en cloruros de las muestras analizadas no indica intrusión hasta las proximidades de la costa, bien porque las medidas son antiguas (1972), bien porque las

captaciones son poco profundas.

11.4.1.- CONCLUSIONES LOCALES

En el perfil 1 los SEDT tienen mayor poder resolutivo que los SEV en la zona no intruída; mientras que la respuesta de los SEV es mejor en la zona salinizada. Y respecto a los SPI, su respuesta no parece guardar ninguna relación con la intrusión.

La ausencia de intrusión en el perfil 2 no permite calibrar la bondad de las respuestas en las mediciones llevadas a cabo en este perfil.

Por último, en el perfil 3 los SEDT son ligeramente más resolutivos que los SEV, excepto en los niveles resistivos más profundos.

11.5.- Control de la intrusión

En el plano 8.9 se han dibujado tres posibles perfiles para el control futuro de la intrusión.

Dado que el acuífero superior central no presenta intrusión salvo en la zona de Matagorda, no se considera necesario llevar a cabo, por ahora, mediciones entre Roquetas y El Ejido.

Por las características superficiales y la profundidad del nivel piezométrico, en esta zona no son aplicables LIN ni VLF. En consecuencia, el control deberá realizarse mediante calicatas eléctricas o, en su defecto, SEV, que resultan ser algo más definitorios que los SEDT y no se deben presentar problemas en la apertura de alas.

12.- ZONA Nº 9: ALUVIAL DEL RIO GUADALHORCE (Málaga)

12.1.- Localización y características geográficas y socioeconómicas

El área es muy reducida, comprendiendo la zona de costa entre la playa de San Andrés y las proximidades de Torremolinos, e internándose hasta Churriana y cortijo de Trébedes.

Su topografía es muy llana, encontrándose el aeropuerto de Málaga en la margen derecha del río y presentándose el resto del área como predominantemente agrícola, sobre todo en la parte más interior; pero sin olvidar el desarrollo industrial (entre la carretera y el mar) y el auge urbanístico al amparo del pujante turismo.

Por todo ello, la zona está densamente poblada y urbanizada, presentando serias dificultades para la toma de medidas, sobre todo si hay que extender líneas.

12.2.- Características hidrogeológicas

La zona está encuadrada en el Sistema Acuífero 37 conocido como **Detrítico de Málaga**

12.2.1.- LITOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA

El principal acuífero se localiza en la formación aluvial, sin que tengan interés otras manifestaciones cuaternarias como las dunas costeras y los piedemontes.

El aluvial está formado por gravas, arenas y arcillas, con un amplio desarrollo lateral y un espesor medio estimado en 10 m, pudiendo proporcionar un caudal máximo de 75 l/seg.

Otro acuífero de interés lo forman los niveles de gravas, arenas y conglomerados del Plioceno, con un espesor de 10-15 m y que se podrían encontrar bajo el aluvial.

Esta formación puede llegar a dar 50 l/seg de media anual.

12.2.2.- PUNTOS ACUIFEROS

Aunque la zona es de reducida extensión existen numerosas captaciones, habiéndose utilizado para contrastar los resultados de geofísica los sondeos que se indican en el plano 9.3 y que aparecen reflejados en los correspondientes perfiles hidrogeológicos, siendo cuatro sondeos en el perfil 1 y otros cuatro en el perfil 2.

12.2.3.- NIVELES PIEZOMETRICOS

La red de control se estableció en 1974, consta de 50 puntos y se hacen dos o tres medidas anuales.

No se pudo disponer más que del plano de isopiezas de Octubre de 1976, en el que se observa una depresión en la zona costera a la altura del campo de golf y otra a la altura del aeropuerto. Esta última podría extenderse hacia el Guadalhorce y llegar a alcanzar su margen izquierda.

Para el análisis de los perfiles geofísicos se han tenido en cuenta, también, las observaciones puntuales obtenidas hasta 1987 en los sondeos seleccionados.

12.2.4.- HIDROQUIMICA

Se estableció una red de control de calidad en 1976, con 33 puntos que se muestrean dos veces al año; y para determinar la intrusión marina se fijó una red de 14 puntos.

Se ha podido disponer de dos situaciones diferentes: una del año 1975 y otra de 1985, observándose el fuerte avance de la intrusión, sobre todo por la margen izquierda del río.

En cualquier caso, la salinidad es alta y se debe, además de a la intrusión marina, a la salinidad propia de los sedimentos, a la de las aguas del río Guadalhorce (salinidad de la Fuente de Meliones, etc.) y a la de las aguas utilizadas en los regadíos.

12.2.5.- DATOS INICIALES DE INTRUSION MARINA

Para determinar la intrusión marina en la zona se ha contado con los siguientes datos de partida:

- Cartografía geológica 1:50.000 del Plan MAGNA, hojas nºs 1.053 y 1.067.
- Mapa de isopiezas de Octubre de 1976.
- Niveles piezométricos observados en los sondeos seleccionados hasta 1987.
- Mapa de isocloruros correspondiente al año 1985, elaborado por INTECSA para este informe; y mapa de 1975.
- Medidas de cloruros y conductividades en los sondeos seleccionados, en 1985.
- 8 columnas litológicas obtenidas en los sondeos seleccionados.

12.3.- Campaña de prospección geofísica

Se han realizado dos perfiles con toma de medidas de VLF, LIN, SEV, SEDT y SPI, con lo que en esta zona aparecen ensayos todos los métodos, excepto la calicata de PI.

El perfil 1 empieza a la altura del km 240 de la carretera C-340 y finaliza en el km 2,5 de la carretera que lleva a Intelhorce.

El perfil 2 empieza en la costa, a 500 m al Sur del vértice Montañés y acaba en la carretera C-340, en el cruce con el ferrocarril.

Las mediciones efectuadas han sido:

PERFIL	VLF	LIN	SEV	SEDT	SPI
1	2.000	2.000	3	5	5
2	1.900	1.900	3	4	4
TOTAL	3.900	3.900	6	9	9

12.4.- Resultados coordinados

Perfil 1

La topografía es sensiblemente horizontal, con un nivel piezométrico alto y gran uniformidad en los tramos eléctricos, en general de resistividades bajas, sobre todo el segundo tramo (plano 9.4).

El nivel inferior con 15-20 ohm.m se atribuye a la formación impermeable de margas azules; mientras que el nivel superior, con resistividades de 5 y 10 ohm.m y litología de gravas, tiene que estar salinizado. Ahora bien, la salinización puede estar motivada por aguas salobres continentales y/o por un alto contenido salino en los sedimentos, hechos que parece que se dan conjuntamente en esta zona.

Así pues, en función de las resistividades parece que todo el perfil se encuentra salinizado, bien por intrusión directa; bien por intrusión lateral a través del aluvial del río Guadalhorce; bien por las causas apuntadas anteriormente. Aunque es muy probable que en la salinización influyan, en mayor o menor grado, todos estos factores.

En el caso de este perfil, dada la ambigüedad de la causa de la salinización y para no enmascarar su dibujo, se ha prescindido de trazar todo el perfil como intruído.

La respuesta que proporcionan los SEDT es análoga a la de los SEV, con mayor precisión en unos puntos que en otros. Y respecto a los SPI, el correspondiente al punto 107 no es interpretable y en los demás se obtienen valores que, como en perfiles de otras zonas ya comentadas, no guardan relación ni con la litología ni con una posible salinización o intrusión. Así, aquí se observa que para una litología de margas salinizadas se obtienen valores de cargabilidad del orden de 80-90 con resistividades del orden de 5-10; mientras que para una formación de margas salinizadas con algún contenido en gravas o arenas y resistividades del orden de 15-20, se obtienen cargabilidades que oscilan de 2 a 80.

Respecto al VLF, se mantiene con valores de resistividad en un entorno de 10 ohm.m y las oscilaciones que presenta se deben a los cambios superficiales de la resistividad,

cosa que le ocurre también al LIN.

Respecto al contenido en cloruros proporcionado por los análisis de las muestras de agua, indican una clara salinización de los niveles profundos a partir del punto 105, así como una alta salinización superficial a lo largo de todo el perfil, hecho que concuerda con las mediciones geofísicas.

Perfil 2

Es un perfil muy uniforme, con topografía sensiblemente horizontal y nivel piezométrico alto (plano 9.5).

En el punto 205 aparece en superficie una baja resistividad que podría corresponder a una intrusión lateral a favor del aluvial del río Guadalhorce, o a una salinización del suelo, bien singénica bien por causas antrópicas (regadíos).

Debajo del primer tramo superficial aparece hasta el punto 201 un paquete con 10-20 ohm.m que se atribuye al nivel acuífero formado por gravas y arcillas; y que a partir del punto 204 ofrece una caída de resistividad atribuida a salinización provocada por intrusión marina, que se hace más acusada hacia la costa.

Dentro de este tramo se observa un paquete, mejor definido con SEDT que con SEV, que parece corresponder a una formación de gravas y donde la salinización parece ser más fuerte.

Por último, el sustrato está formado por un paquete con 8-11 ohm.m atribuido a las margas azules impermeables y que cerca de la costa presentan también resistividad más baja.

En el punto 205 la alta cargabilidad podría corresponder al paquete de gravas sueltas, que podría prolongarse hasta el punto 202. Pero la cargabilidad que aparece en profundidad en el punto 201 no se correspondería con la de los puntos 202 y 203.

En general todo el perfil se encuentra algo salinizado, sobre todo a partir del punto 205 y en el mencionado 201.

Los valores de LIN y VLF presentan anomalías debidas a los efectos de los niveles superiores (siendo de destacar la baja resistividad medida en el entorno del punto 205), y sólo en la costa podría ser motivada la conductividad por una intrusión muy localizada.

12.4.1.- CONCLUSIONES LOCALES

En el perfil 1 los SEDT, SEV, LIN y VLF definen claramente la alta salinidad reinante en la zona, pero sin fijar una posible intrusión; mientras que los SPI no se muestran resolutivos.

En el perfil 2 tanto los SEDT como los SEV definen la salinidad del terreno y la zona que se considera intruída, presentando mejor poder resolutivo los SEDT.

Los SPI no informan sobre la salinización y VLF y LIN dan valores muy condicionados por las características superficiales.

12.5.- Control de la intrusión

En el plano 9.9 se han seleccionado tres perfiles que permitirían controlar la evolución de la salinización en la zona, y puesto que ésta no tiene una causa bien definida y posiblemente sea de origen múltiple, será muy conveniente estudiar las variaciones de resistividad tanto en valor absoluto como en relación con medidas obtenidas en campañas anteriores en los mismos perfiles.

Por ello, ante la dificultad de extender líneas en la zona, se debería llevar a cabo una primera campaña de SEDT en los perfiles elegidos y proceder a continuación a mediciones sistemáticas y periódicas de LIN profundo, o de calicatas eléctricas si el LIN presentase escasa resolución por las variaciones resistivas superficiales.

13.- ZONA Nº 10: ALMONTE MARISMAS (Huelva-Sevilla)

13.1.- Localización y características geográficas y socioeconómicas

La zona se extiende desde la playa de Mazagón hasta las marismas del Guadalquivir y El Rocío, sin ningún núcleo urbano y con solo las urbanizaciones de Matalascañas y Mazagón, por lo que el área se considera prácticamente despoblada.

La topografía es llana, excepto en la costa, donde se presenta una barra de dunas de hasta 100 m de altura.

Las vías de comunicación son caminos sin firme, a excepción de la carretera comarcal HU-445 Almonte-El Rocío-Matalascañas.

La explotación agrícola es muy reducida y de carácter agrícola-ganadero, localizándose en los alrededores de El Rocío (cítricos) y en la zona de marismas (arroz).

El 80% de la superficie son terrenos improductivos o no agrícolas y los prados y pastizales ocupan el 35%.

El turismo se centra en las playas de Matalascañas y Mazagón, en la Romería del Rocío y en los visitantes al Parque Nacional de Doñana.

13.2.- Características hidrogeológicas

La zona está situada en la Depresión del Guadalquivir, en la unidad Almonte-Marismas del Sistema Acuífero 27, y está formada por los sedimentos marinos del Neógeno y fluvio-lacustres del Cuaternario, que se describen a continuación.

13.2.1.- LITOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA

a) Mioceno Superior-Plioceno Inferior

Lo componen margas azules de facies marina, masivas, fosilíferas y con intercalaciones de limos y arenas hacia el techo, que es de topografía irregular y

llega a situarse a 250 m bajo el nivel del mar. El conjunto alcanza un espesor de 1.200 m y es la base impermeable del Acuífero Almonte-Marismas.

b) Plioceno Medio

Está formado por limos arenosos con una relación arena/arcilla muy variable.

En la parte más alta del paquete presenta alternancia de niveles arenosos y areniscosos, así como lumaquelas de ostras negras.

c) Pliocuaternario

Lo componen arenas amarillentas o rojizas, bien clasificadas, discordantes sobre el Plioceno y con potencias que varían desde 30 m en la costa hasta 100 m en las marismas.

Es el **acuífero más importante** por su extensión y permeabilidad.

d) Cuaternario

La formación más importante es la de las marismas, existiendo otras de mucha menor entidad y desarrollo.

d-1) Marismas.- Superpuesto al Pliocuaternario aparece un conjunto de gravas, arenas y arcillas, con dos niveles de gravas con arenas intercalados con arcillas que forman un **acuífero**.

El primer nivel descansa directamente sobre el Pliocuaternario, se sitúa entre 90 y 150 m de profundidad y tiene una potencia variable entre 10 y 30 m.

El segundo nivel aparece separado del primero por un tramo de arcillas, se localiza entre 50-80 m de profundidad y presenta un espesor de 5 a 30 m.

Sobre este segundo nivel se suceden varios paquetes arcillosos que aparecen coronados por un tramo de limos, arcillas, arenas y evaporitas, que representan la fase más reciente de colmatación de la cuenca. La potencia de este conjunto varía entre 60 y 120 m.

El tramo acuífero es homogéneo en toda la zona del estudio, pero los niveles superiores arcillosos tienen cambios laterales y ofrecen paquetes lenticulares de **arenas salinizadas**.

d-2) Otras formaciones.- Con mucha menor entidad y, por supuesto, interés hidrogeológico, aparece en la zona una formación de edad cuaternaria conocida como "Formación Roja".

Está constituida por gravas, arenas y conglomerados, con fuertes cambios laterales de facies y de espesor, el cual alcanza los 30 m como máximo.

Otras formaciones son las Barras Costeras y Dunas Actuales, con espesor máximo de 60 m; así como el Manto Eólico y las Dunas Antiguas, que se encuentran al Oeste del Parque Nacional de Doñana con potencia máxima de ocho metros.

El muro de todo el conjunto acuífero, que sigue la morfología del techo de las margas azules, desciende progresivamente de Norte a Sur desde los 100 m.b.n.m. hasta los 220 m.b.n.m. Y el tramo permeable tiene 100 m de espesor en el extremo Noroeste de la zona; mientras que en las marismas alcanza los 200 m.

13.2.2.- PUNTOS ACUIFEROS

El IGME tiene inventariados y archivados algo más de mil puntos de agua de la unidad Almonte-Marismas, de los cuales una mitad corresponden a sondeos localizados al Norte del Parque Nacional, y la otra a pozos y pequeños manantiales.

Para este trabajo se han seleccionado los que aportan alguna información de interés y que han sido solo siete para el perfil 3-A (planos 10.3 y 10.7).

13.2.3.- NIVELES PIEZOMETRICOS

Con las medidas tomadas en 120 pozos y sondeos en junio-julio de 1982 el IGME ha elaborado el mapa de isopiezas que se incluye en el plano 10.2.

En él se observa que la piezometría se adapta mucho a la topografía y que la profundidad media del agua es de unos seis metros, con numerosas zonas de surgencias.

Los gradientes hidráulicos medios son del orden del 0,5%, excepto en las marismas que alcanzan el 0,025%, y en la costa que llegan al 1,2%. Este alto gradiente costero pone de manifiesto que entre Mazagón y Matalascañas no existe intrusión marina.

El acuífero se comporta como libre donde afloran las arenas (cordón litoral) y como confinado debajo de la zona de marismas.

13.2.4.- HIDROQUIMICA

Se ha dispuesto del mapa de isocloruros de julio de 1982, elaborado por el IGME, que indica una alta concentración del ión Cl^- en la zona de marismas (plano 10.3), pero sin que defina claramente la zona de interfase, que se desplaza hacia el Sureste o Noroeste a tenor de las recargas o de las extracciones, respectivamente.

También se detectan en el plano dos zonas anómalas con contenido en cloruros de más de 350 ppm: una al Norte del Parque Nacional de Doñana y otra en la costa, inmediatamente al Noroeste de Matalascañas. La primera podría ser indicativo de principio de salinización por efecto de extracciones, y la segunda un inicio de intrusión.

El acuífero libre tiene aguas de muy buena calidad, con pequeñas zonas aisladas que pueden presentar un contenido en cloruros mayor de lo normal, como las dos que se acaban de citar.

El acuífero en carga ofrece una calidad de agua diferente según que la zona que se considere esté a un lado u otro de la interfase agua dulce - agua salada, presentando

en el área de agua dulce una calidad muy similar a la del acuífero libre. Pero los lentejones de arenas que se intercalan entre los niveles arcillosos superiores de la Formación Marismas se encuentran generalmente salinizados y con un contenido en cloruros muy alto.

13.2.5.- DATOS INICIALES DE INTRUSION MARINA

Los datos de partida para este estudio han sido:

- Geología a escala 1:50.000 del Plan MAGNA.
- Mapa de isopiezas de julio de 1982.
- Mapa de isocloruros de julio de 1982.
- Campañas anteriores de SEV.

13.3.- Campaña de prospección geofísica

En esta zona se realizaron seis perfiles con distinta metodología y finalidad, cuya situación se indica en el plano 10.1 y cuyos cortes se representan en los planos 10.4 a 10.8.

En los tres perfiles próximos a la costa (1-A y B, 2A y 3A) no se utilizó VLF ni LIN debido a la profundidad a que debería estar la interfase, por lo que solo se realizaron SEV; y una vez que se comprobó que no había intrusión, no se efectuaron SEDT.

En los otros tres perfiles (1, 2 y 3) realizados en las marismas solo se utilizaron SEDT, ya que se contaba con campañas anteriores de SEV, y se ubicaron teniendo en cuenta la información existente sobre la situación de la interfase.

El primer perfil arranca de la Playa de Castilla y llega hasta la carretera que une Acebuche con la C-445, debiendo interrumpirse aquí por no poder tomarse medidas dentro del Coto. A este primer tramo se le designa 1-B.

El segundo tramo empieza en los límites del Coto y llega hasta las Casas del Hato Villa, designándose por 1-A.

El perfil 2-A empieza en la playa, al pie de Asperillo, y termina en el cortafuegos a la altura de Porquera Cayo.

El tercer perfil costero (3-A) se inicia en las proximidades del Camping de Mazagón, en la playa, y llega hasta el Vivero Los Aguallules.

De los tres perfiles situados en las marismas, el nº 1 está ubicado a la altura de Casa de Marf López y lleva dirección ONO-ESE; el nº 2 sigue con dirección E-O el límite del Parque Nacional Tejada, a la altura de Choza de Huerta Tejada; y el nº 3 lleva dirección NO-SE, empezando unos 500 m al NO de Marijuela.

La distribución de medidas en cada perfil es:

PERFIL	1-A	1-B	2-A	3-A	1	2	3	TOTAL
SEV	11	5	7	4	-	-	-	27
SEDT	-	-	-	-	5	6+1	5	17

13.4.- Resultados coordinados

Perfil 1-A

Tiene una topografía muy llana y presenta un corte eléctrico muy uniforme; y como en el resto de los perfiles costeros se observa la no presencia de intrusión (plano 10.4).

En los niveles más superficiales las resistividades son altas y se atribuyen a arenas, mientras que en profundidad aparecen formaciones arcillosas y margosas; pero en ningún caso se detectan caídas de resistividad que indiquen una posible salinización.

Los SEV 112 y 113 se han quedado muy cortos por problemas en las aperturas de alas.

Las altas resistividades detectadas en profundidad en los SEV 106, 108, 110 y 116 no son muy fiables; pero podrían corresponder al muro de la formación acuífera.

Perfil 1-B

Es análogo al 1-A, aunque con las formaciones resistivas más profundas y con más de 100 m de potencia (plano 10.5). Cabe la posibilidad de que justo al borde del mar (SEV 101) aparezca en profundidad la interfase, con resistividad de 10 ohm.m.

Perfil 2-A

Tiene las mismas características de los anteriores, con los niveles resistivos que llegan aún a mayor profundidad (más de 200 m) y sin que se detecte intrusión (plano 10.6).

Bajo los SEV 201 y 202 se observan en profundidad altas resistividades de las mismas características que en el perfil 1-A.

Perfil 3-A

Es análogo a los anteriores, con los niveles arenosos no tan potentes y con la formación profunda más conductora y atribuida a margas o arcillas con algún contenido salino intraformacional.

Este perfil se ha podido calibrar con siete sondeos próximos (plano 10.7).

Perfil 1

Es el primero de los tres perfiles realizados en las marismas mediante SEDT y representados en el plano 10.8.

Tienen los tres características muy similares, con el nivel piezométrico prácticamente en superficie y muy bajas resistividades.

En ellos se diferencian tres tramos eléctricos a los que se les ha atribuido las siguientes características hidrogeológicas:

- Tramo conductor (A) con menos de 5 ohm.m: Gravas con arenas cuaternarias

con 10-70 m de potencia.

- Tramo medio menos conductor (B) con resistividades entre 6 y 18 ohm.m: Formación acuífera de arenas pliocuaternarias con 100-250 m de potencia.
- Tramo inferior conductor (C) con menos de 2 ohm.m: Limos arenosos pliocenos.

En los tres perfiles el encaje de los SEDT con los SEV realizados en campañas anteriores es muy bueno.

En este perfil hay un primer nivel de 5-8 m de espesor claramente salino que se apoya sobre otro de 50-60 m de potencia y muy baja resistividad (A), lo que indica también un alto contenido salino.

El sustrato lo forma un tramo (B) con resistividades de 7 a 18 ohm.m.

Perfil 2

Es similar al perfil 1, aunque en profundidad se detecta un tercer nivel (C) también de muy baja resistividad y dando al nivel intermedio una potencia entre 110 y 230 m.

El nivel superior (A) aquí no tiene más de 20 m.

Todo el perfil presenta intrusión marina o salinización de los niveles sedimentarios, sin que se pueda diferenciar la causa (plano 10.8).

Perfil 3

Es similar al perfil 2, con sus mismas características (plano 10.8).

El tramo superior (A) presenta un espesor de 20-35 m; mientras que el intermedio (B) se mueve entre 140 y 270 m.

13.4.1.- CONCLUSIONES LOCALES

En los perfiles 1-A, 1-B, 2-A y 3-A no se han podido contrastar adecuadamente los SEV, pero su poder resolutivo parece alto, aunque no presentan ningún indicio de intrusión.

Las resistividades obtenidas en los perfiles 1, 2 y 3 indican que los tres cortes presentan un alto grado de salinización, sin que se observe variabilidad a lo largo de ellos, por lo que no se puede definir el poder resolutivo de los SEDT ya que nos inclinamos a creer que la interfase se encuentra desplazada respecto a los perfiles, tanto por los valores que proporcionan los SEDT como por los aportados por los SEV de la campaña anterior.

13.5.- Control de la intrusión

En esta zona no se han seleccionado perfiles para el control de la intrusión marina por las dos razones siguientes:

- a) En la zona costera donde se han llevado a cabo los perfiles 1-A, 1-B, 2-A y 3-A no hay intrusión ni previsiones de que se produzca a corto o mediano plazo.
- b) En la zona de marismas se estima que los perfiles 1, 2 y 3 están totalmente situados en zona salinizada, tanto superficialmente como en profundidad. En consecuencia, sería necesario realizar nuevos perfiles o extender éstos hacia el Noroeste hasta alcanzar la interfase.

En cualquier caso, como el nivel piezométrico se encuentra prácticamente en la superficie, se considera que el control de la intrusión se podría llevar a cabo tanto con LIN y calicatas eléctricas como con VLF.