

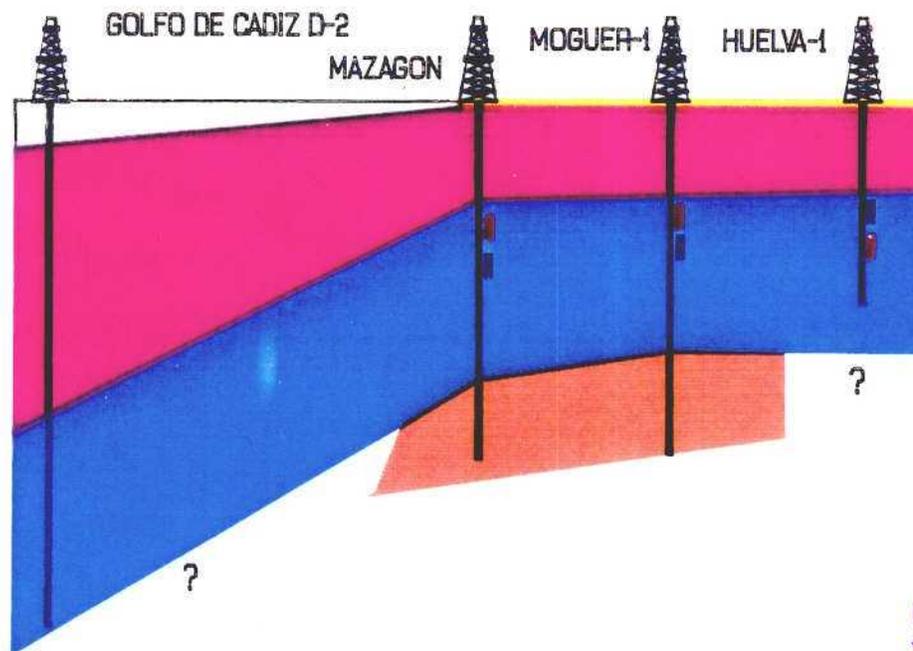
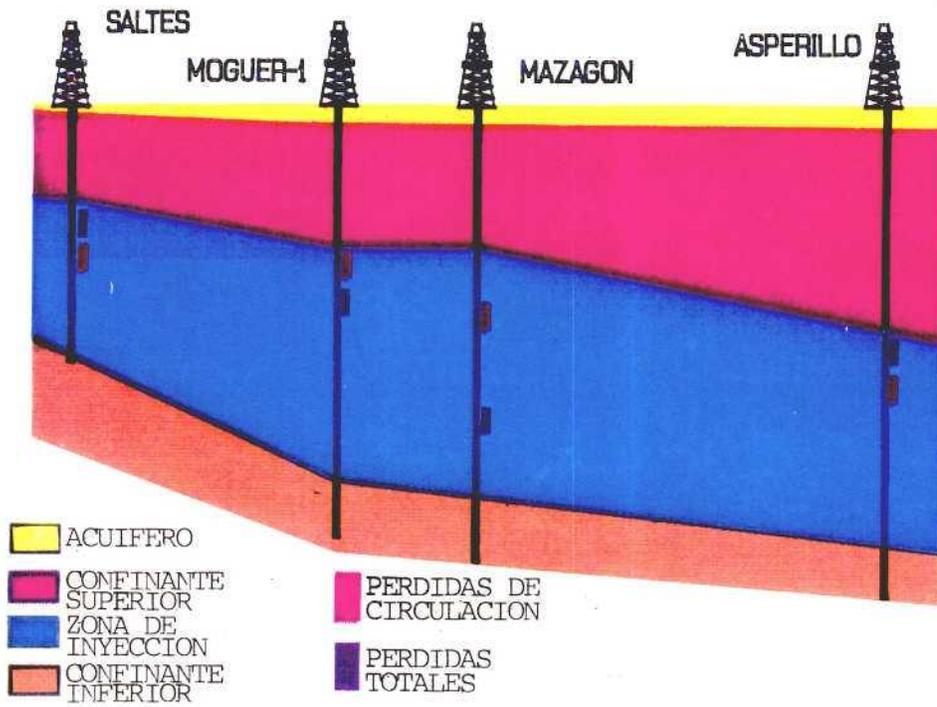
**ESTUDIO DE LAS POSIBILIDADES DE  
UTILIZACION DE FORMACIONES GEOLOGICAS  
PROFUNDAS PARA ELIMINACION DE  
RESIDUOS. 2º FASE. Provincia de Huelva.**

---

**INFORME FINAL**

<b>SUPER PROYECTO</b>	AGUAS SUBTERRANEAS		<b>Nº</b>	9005
<b>PROYECTO AGREGADO</b>	ESTUDIOS DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS POR ACTIVIDADES AGRICOLAS, INDUSTRIALES Y URBANAS.		<b>Nº</b>	320
<b>TITULO PROYECTO:</b>				
ESTUDIO DE LAS POSIBILIDADES DE UTILIZACION DE FORMACIONES GEOLOGICAS PROFUNDAS PARA LA ELIMINACION DE RESIDUOS INDUSTRIALES Y URBANOS. 2ª FASE. PROVINCIA DE HUELVA.				
<b>Nº PLANIFICACION</b>	94/90	<b>Nº DIVISION AGUAS, G.A.</b>	6/89	
<b>FECHA EJECUCION</b>	<b>INICIO</b>	25/09/89	<b>FINALIZACION</b>	25/09/90

<b>INFORME (Título):</b>	
INFORME FINAL	
<b>CUENCA(S) HIDROGRAFICA(S)</b>	GUALQUIVIR Y GUADIANA
<b>COMUNIDAD(ES) AUTONOMA(S)</b>	ANDALUCIA
<b>PROVINCIA(S)</b>	HUELVA



GR

# INYECCION EN SONDEOS PROFUNDOS-I.S.P.- PROVINCIA DE HUELVA

**RESUMEN Y CONCLUSIONES**

---

## PRESENTACIÓN

El Instituto Tecnológico GeoMinero de España inició en 1987 el estudio de las posibilidades de utilización de formaciones geológicas profundas para la eliminación de residuos líquidos. Tras un análisis metodológico de la tecnología se procedió a una evaluación general del subsuelo Español. En esta evaluación se puso de manifiesto como área de interés la zona costera de la Depresión del Guadalquivir (provincia de Huelva) ya que las condiciones geológicas del subsuelo parecían cumplir las condiciones necesarias para este tipo de solución.

Esta zona es además ámbito de grandes problemas medioambientales como consecuencia de la eliminación de residuos tanto industriales como urbanos en el mar.

Por ello el ITGE consideró del máximo interés un estudio detallado de las posibilidades reales de utilizar esta tecnología en la zona mencionada, por lo que inició en 1989 el presente proyecto.

Los objetivos concretos planteados fueron los siguientes:

- Estudio detallado de las formaciones calcáreas jurásicas como almacén.
- Selección de las zonas más propicias.
- Definición y caracterización de la formación confinante.

- Caracterización de los residuos generados, con vistas a su inyección.
- Análisis de previabilidad de un sistema de inyección.

El proyecto ha sido realizado bajo la supervisión de la Dirección de Aguas Subterráneas del ITGE, por la empresa Tecnología y Recursos de la Tierra, S.A.L., que ha contado en su desarrollo con la colaboración de CH2M Hill consultores especializados en inyección de residuos en EEUU, así como con ENADIMSA que cuenta con una amplia base de datos de subsuelo.

El presente documento constituye el informe final del proyecto y en él se presentan sucesivamente: el estudio de las condiciones geológicas que permiten la selección del almacén y modelo de inyección; el análisis detallado de datos de subsuelo para caracterización del citado modelo de inyección (principalmente datos de sondeos profundos y prospección sísmica), una síntesis de la producción de residuos en Huelva, especialmente en los polígonos industriales de la "Punta del Sebo" y "Nuevo Puerto", y finalmente la evaluación aproximada de los datos económicos inherentes a una operación de inyección.

#### **SELECCIÓN DE ALMACÉN**

La propuesta de utilización de las formaciones calcáreas jurásicas (calizas y dolomías) como almacén para la inyección de residuos líquidos industriales y urbanos, se basa en el análisis detallado de las condiciones geológicas de la zona costera de la Depresión del Guadalquivir.

Los grandes paquetes de calizas dolomíticas y dolomías muy vacuolares y fracturadas, pertenecientes al Liasico se

encuentran intercalados entre una potente formación de arcillas y margas azules del Mioceno Medio-Superior y los materiales evaporíticos del Triásico, constituyendo un modelo muy prometedor para inyección de residuos.

El valle del Guadalquivir constituye una zona deprimida a modo de fosa tectónica, formada hacia el final de la orogénesis alpina. El límite norte de la depresión está constituido por una flexura de más de 400 Km de longitud, mediante la cual el zócalo paleozoico y su cobertura mesozoica, se hunden suavemente hacia el Sur. El límite Sur tiene una constitución más heterogénea desde el punto de vista geológico-morfológico, complicado por la existencia de fenómenos olistostrómicos que dieron lugar al emplazamiento de materiales de diversa procedencia especialmente durante el Tortonense Superior.

En el área que constituye el objeto de estudio, es decir, la provincia de Huelva, y bajo el punto de vista de la inyección, se pueden distinguir las siguientes unidades geológicas más importantes:

1. Formaciones neógenas postorogénicas.
2. Manto Olistostrómico.
3. Cobertura mesozóica de la Meseta.

#### **1.- Formaciones neógenas postorogénicas**

Estratigráficamente en este relleno hay que distinguir materiales miocenos y pliocuaternarios, que presentan la siguiente litología de techo a muro:

Pliocuaternario: Conjunto de limos y arcillas alternantes con gravas, arenas y conglomerados con una potencia total de 50-250 metros.

Mioceno: Hay que distinguir tres unidades diferentes: la

superior constituida por un paquete detrítico de arenas, areniscas y calcarenitas de 20-30 metros de potencia; la intermedia es un potente (500-700 metros) paquete de arcillas y margas azules compactas y finalmente la inferior constituida por un detrítico de base, fundamentalmente arenas y conglomerados con una potencia total de 20-50 metros.

## 2.- Mantos Olistostrómicos

Es difícil diferenciar una sucesión estratigráfica y litológica, pero de manera general se puede asegurar que las zonas frontales del manto predominan materiales plásticos (margas y arcillas). El espesor llega a superar en algunos puntos los 1.700 metros.

## 3.- Cobertura mesozóica de la meseta

Existente sobre todo en el área costera, formada por materiales jurásicos y triásicos, se apoya en el zócalo paleozóico. Litológicamente está constituida por los carbonatos predominantes en el Jurásico y la serie arcilloso-detrítica-evaporítica del Triásico. Su potencia es muy variable, superando los 1000 metros en el Golfo de Cádiz.

Desde el punto de vista de la inyección de residuos, el esquema anterior permite seleccionar como zona de inyección los tramos fracturados y cavernosos de las dolomías jurásicas. El análisis de los datos de sondeos profundos existentes permite asignar a estos tramos una muy elevada permeabilidad y transmisividad, así como identificar el fluido contenido en ellos como agua salada con un contenido en sales superior a 10.000 ppm.

Como capas confinantes de este almacén se tiene en su parte superior el importante paquete de arcillas y margas

azules tortoniense de 500-700 metros de potencia; que hacia el este se ve incrementado con la presencia de los materiales plásticos del Olistostroma, llegando a alcanzar los 2.000 metros de potencia. En la parte inferior los carbonatos jurásicos están limitados por la potente formación arcilloso-evaporítica del Trias.

### ESTUDIO DETALLADO DEL MODELO DE INYECCIÓN

Definido ya el modelo de inyección, se procedió a estudiar en detalle el almacén seleccionado mediante el análisis de toda la documentación existente y que fundamentalmente consta de sondeos profundos y prospección sísmica.

La documentación de sondeos existentes es muy heterogénea debido especialmente a la antigüedad de los sondeos. No obstante, ha sido posible estudiar para la mayoría de ellos la columna litológica detallada, informe de perforación, diagrfías (caliper, gamma ray, eléctricos, neutrón, etc.) y pruebas de producción, de manera que se ha podido definir los siguientes parámetros:

- Potencia de la formación confinante
- Profundidad del techo del Jurásico
- Zonas de pérdidas en el almacén
- Salinidad del agua del almacén
- Ocasionalmente datos de porosidad, permeabilidad, presión de formación, etc.

Con estos datos es posible caracterizar el almacén y proponer las recomendaciones adecuadas para el planteamiento de las propuestas concretas que se analizarán más adelante.

De la veintena de sondeos analizados, se han seleccionado los más representativos para el estudio del área de interés. cuyos datos más significantes se presentan en forma de fichas resumidas.

Se han llevado a cabo correlaciones entre los sondeos más próximos a la costa donde puede apreciarse la continuidad de las zonas de inyección así como de la formación confinante.

Gran parte de la prospección sísmica realizada en la zona no ha podido ser consultada debido a que los permisos de hidrocarburos se encuentran en plena vigencia. No obstante algunas líneas antiguas y sobre todo los mapas de interpretación han podido ser estudiados con lo que se han elaborado algunos perfiles interpretativos así como mapas de isobatas e isopacas.

Todos los datos analizados permiten reafirmar las buenas perspectivas geológicas que permitieron seleccionar el área como de interés preferente.

#### PROPUESTA DE SOLUCIONES

En base a los datos analizados y mapas preparados es posible realizar un prediseño de lo que sería el sistema de inyección profunda aplicado a cada uno de los tres casos contemplados en el estudio: Ciudad de Huelva (residuos urbanos e industriales), Urbanización de Mazagón (residuos urbanos) y Urbanización de Matalascañas (residuos urbanos). Para cada uno de los casos se presenta a continuación muy resumidamente el corte geológico previsto, el diseño del sondeo: profundidad-diámetros y finalmente el presupuesto estimado de construcción.

### Ciudad de Huelva

Las áreas más favorables son las próximas al Polígono Industrial de Palos de la Frontera, es decir, las más orientales. El corte geológico previsto podría concretarse en:

<u>Prof. (m)</u>	<u>Geología Prevista</u>
0-50	Pliocuaternario (arenas, gravas y limos)
50-500	Mioceno (arcillas y margas azules)
500-1400	Jurásico (calizas y dolomías)

El diseño de sondeo sería:

<u>Prof. (m)</u>	<u>Diámetro Perforación (mm)</u>	<u>Diámetro Entubación (mm)</u>
0-5	1.500	1.000
5-70	850	650
70-550	600	400 (Acero)
550-1000	350	Sin tubería

En el caso de residuo industrial habría que instalar una tubería de epoxi hasta 600 m.

El presupuesto estimado, al nivel de previabilidad planteado en este trabajo, para todo el sistema de inyección (incluyendo 3 sondeos de inyección más instalaciones de superficie, ensayos, etc.) sería de 605 M.P., siendo el coste de operación y mantenimiento de 37 M.P./año.

Se recomienda la realización previa de un sondeo de investigación de pequeño diámetro hasta 800-900 metros, que bien equipado, podría servir posteriormente de monitoring. Asimismo se recomienda recuperar el sondeo Saltés y llevar a cabo en él, ensayos de bombeo-inyección y acondicionado para control de la operación.

## Mazagón

Teniendo como objetivo la inyección de aguas residuales del núcleo urbano de Mazagón, el sondeo debería situarse junto a la recientemente construida planta de tratamiento. El corte geológico del sondeo sería el siguiente:

<u>Prof. (m)</u>	<u>Geología Prevista</u>
0-100	Pliocuaternario (arenas, gravas, limos y arcillas)
100-750	Mioceno (arcillas y margas azules)
750-1300	Jurásico (calizas y dolomías)

El diseño adecuado a este corte geológico y al residuo a inyectar sería:

<u>Prof. (m)</u>	<u>Diámetro Perforación (mm)</u>	<u>Diámetro Entubación (mm)</u>
0-5	1.500	1.000
5-120	850	650
120-800	600	400
800-1300	350	Sin tubería

El presupuesto estimado para todo el sistema (incluyendo instalación de superficie, ensayos, etc.) sería de 230 M.P. estimándose unos costes de operación del orden de 14 M.P./año.

En este caso no parece necesaria ninguna investigación complementaria.

## Matalascañas

Como en el caso de Mazagón, en Matalascañas el objetivo es inyectar aguas residuales de las urbanizaciones existentes en la zona. El corte geológico previsto aproximado sería:

<u>Prof. (m)</u>	<u>Geología Prevista</u>
0-220	Pliocuaternario (arenas, gravas, limos y arcillas)
220-1100	Mioceno (arcillas y margas azules)
1100-1450	Olistostroma (arcillas y margas)
1450-1550	Mioceno de base (arenas y conglomerados)
1550-2000	Jurásico (calizas y dolomías)

El diseño de sondeo sería:

<u>Prof. (m)</u>	<u>Diámetro Perforación (mm)</u>	<u>Diámetro Entubación (mm)</u>
0-5	1.500	1.000
5-250	850	650
250-1600	600	400
1600-2000	350	

El presupuesto estimado para este sistema de inyección (considerando 1 sólo sondeo más instalación de superficie) sería de 350 M.P. con una estimación de costes de explotación de 21 M.P./año.

Dada la ausencia de datos en las proximidades de las urbanizaciones de Matalascañas sería muy recomendable conseguir algunas líneas sísmicas de las realizadas en la zona para su interpretación. En caso contrario habría que realizarlas lo que llevaría consigo una importante inversión en investigación.

#### Comparación económica

La comparación económica de las inversiones y costes operacionales sólo se ha realizado para casos de eliminación de aguas residuales urbanas, ya que para residuos industriales es difícil encontrar datos homogéneos y

comparables (no obstante se presentan en el informe algunos datos de diferentes fuentes sobre plantas de tratamiento físico-químico).

Para un caso típico como es la ciudad de Huelva con 130.000 habitantes y una producción estimada de 30.000 m<sup>3</sup>/día de aguas residuales, se estima que un sistema de inyección con tres pozos sería suficiente, dadas las características hidrogeológicas del almacén en esta zona.

Según los datos disponibles las inversiones en una depuradora que incluyera tratamiento secundario con eliminación de lodos alcanzaría los 1.300 M.P. frente a los 605 millones de pesetas que supone el sistema de inyección. Los costes operativos son asimismo superiores en el caso de la depuradora considerada: 197 Millones de pesetas al año frente a los 37 Millones de pesetas al año de un sistema de inyección.

### CONCLUSIONES

A la vista de todos los datos presentados en el informe parece no existir dudas sobre el interés de considerar la inyección de los residuos urbanos o industriales como una solución válida en la zona costera de Huelva.

La decisión final, requerirá la realización de un proyecto pormenorizado de instalaciones así como la confirmación en detalle de los datos económicos estimados. Pero con estos datos ya estimados la viabilidad económica no ofrece dudas.

En cuanto a la viabilidad técnica, la realización del citado proyecto de instalaciones habrá de poner de manifiesto

los aspectos que aún no se han cuantificado suficientemente:  
dimensionado de instalaciones de bombeo, presiones en  
almacén, análisis detallados necesarios, evolución con el  
tiempo de los parámetros de explotación, instalaciones de  
control y monitoring, condiciones de construcción de los  
pozos de inyección, etc., etc.



	<u>Pág.</u>
3.3.- SISTEMA 25. UNIDAD AYAMONTE-HUELVA.....	26
3.3.1.- <u>Estratigrafía y litologías</u> .....	27
3.3.2.- <u>Acuíferos</u> .....	27
3.3.3.- <u>Características hidrodinámicas</u> .....	28
3.3.4.- <u>Calidad química</u> .....	29
3.4.- SISTEMA 26. UNIDAD DE NIEBLA-GERERNA.....	30
3.4.1.- <u>Estratigrafía y litologías</u> .....	30
3.4.2.- <u>Acuíferos</u> .....	31
3.4.3.- <u>Características hidrodinámicas</u> .....	31
3.4.4.- <u>Calidad química</u> .....	32
3.5.- SISTEMA 27. UNIDAD DE ALMONTE-MARISMAS.....	33
3.5.1.- <u>Estratigrafía y litologías</u> .....	33
3.5.2.- <u>Acuíferos</u> .....	34
3.5.3.- <u>Características hidrodinámicas</u> .....	35
3.5.4.- <u>Calidad química</u> .....	36
3.6.- RESUMEN.....	37
4.- <u>SELECCION DE ALMACENES. MODELO DE INYECCIÓN</u> .....	39
4.1.- SELECCIÓN DE ALMACENES.....	40
4.1.1.- <u>Resumen</u> .....	44
4.2.- MODELO DE INYECCION.....	45
5.- <u>ESTUDIO DETALLADO DE LA FORMACION ALMACÉN</u> .....	47
5.1.- INTRODUCCIÓN.....	48
5.2.- REVISIÓN DE LOS SONDEOS PROFUNDOS.....	48
5.2.1.- <u>Asperillo-1</u> .....	52
5.2.2.- <u>Moguer</u> .....	54
5.2.3.- <u>Almonte-1</u> .....	56
5.2.4.- <u>Huelva-1</u> .....	58
5.2.5.- <u>Mazagón</u> .....	60
5.2.6.- <u>Saltés</u> .....	62
5.3.- PROSPECCIÓN SÍSMICA.....	64
5.4.- CORRELACIÓN ENTRE SONDEOS.....	73

	<u>Pág.</u>
6.- <u>CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS</u> .....	77
6.1.- INTRODUCCIÓN.....	78
6.2.- POLO DE DESARROLLO DE HUELVA. MARCO GENERAL..	79
6.3.- CARACTERIZACION DE LOS RESIDUOS INDUSTRIALES.	87
6.3.1.- <u>Residuos sólidos</u> .....	88
6.3.2.- <u>Residuos líquidos</u> .....	90
6.4.- BREVE DESCRIPCION DEL PLAN DE CORRECCION DE LOS VERTIDOS CONTAMINANTES EN EL LITORAL DE HUELVA.....	97
6.4.1.- <u>Características generales</u> .....	97
6.4.2.- <u>Grado de aplicación</u> .....	102
7.- <u>EVALUACIÓN DE LA COMPATIBILIDAD EN OPERACIONES DE   INYECCIÓN</u> .....	104
7.1.- GENERALIDADES.....	105
7.2.- PROCESOS QUE INVOLUCRAN RESIDUOS INORGANICOS.	105
7.2.1.- <u>Introducción</u> .....	105
7.2.2.- <u>Procesos de precipitación</u> .....	106
7.2.3.- <u>Efectos de los complejos metálicos       sobre la movilidad de los metales</u> ....	110
7.2.4.- <u>Procesos de sorción de los RTP       inorgánicos</u> .....	112
7.3.- PROCESOS QUE INVOLUCRAN RESIDUOS PELIGROSOS ORGANICOS.....	117
7.3.1.- <u>Introducción</u> .....	117
7.3.2.- <u>Degradación térmica</u> .....	118
7.3.3.- <u>Procesos de adsorción</u> .....	119
7.3.4.- <u>Oxidación</u> .....	122
7.3.5.- <u>Hidrólisis</u> .....	123
7.3.6.- <u>Degradación microbiológica</u> .....	124
7.4.- EJEMPLOS.....	128
7.4.1.- <u>Belle Glade (Florida)</u> .....	128
7.4.2.- <u>Willmington (North Carolina)</u> .....	129

	<u>Pág.</u>
7.4.3.- <u>Pensacola, Florida (American Cyanamid)</u>	131
7.4.4.- <u>Pensacola, Florida (Monsanto)</u> .....	132
7.5.- CONCLUSIONES.....	132
8.- <u>AREAS DE INTERÉS. PROPUESTA DE SOLUCIONES</u> .....	135
8.1.- INTRODUCCIÓN.....	136
8.2.- PROPUESTAS.....	137
8.2.1.- <u>Ciudad de Huelva</u> .....	138
8.2.2.- <u>Polígono Industrial Nuevo Puerto</u> .....	140
8.2.3.- <u>Urbanizaciones de Mazagón</u> .....	142
8.2.4.- <u>Urbanizaciones de Matalascañas</u> .....	143
8.3.- DATOS ECONÓMICOS.....	147

ANEXO 1.- FICHA GEOLÓGICA RESUMIDA DE TODOS LOS SONDEOS  
EXISTENTES EN LA ZONA ESTUDIADA.

ANEXO 2.- DATOS RESUMEN DE LOS VERTIDOS DE LAS INDUSTRIAS  
DE HUELVA.

## INDICE DE FIGURAS

- FIGURA 1.- GEOLOGIA DE LA PROVINCIA DE HUELVA.
- FIGURA 2.- COLUMNA LITOSTRATIGRAFICA REPRESENTATIVA DE LA DEPRESION DEL GUADALQUIVIR EN LA ZONA COSTERA DE HUELVA.
- FIGURA 3.- FICHA DEL SONDEO ASPERILLO-1
- FIGURA 4.- FICHA DEL SONDEO MOGUER
- FIGURA 5.- FICHA DEL SONDEO ALMONTE-1
- FIGURA 6.- FICHA DEL SONDEO HUELVA-1
- FIGURA 7.- FICHA DEL SONDEO MAZAGON
- FIGURA 8.- FICHA DEL SONDEO SALTES
- FIGURA 9.- INTERPRETACION PERFIL SISMICO No 1
- FIGURA 10.- INTERPRETACION PERFIL SISMICO No 2
- FIGURA 11.- INTERPRETACION PERFIL SISMICO No 3
- FIGURA 12.- INTERPRETACION PERFIL SISMICO No 4
- FIGURA 13.- CORRELACION ENTRE SONDEOS No 1
- FIGURA 14.- CORRELACION ENTRE SONDEOS No 2
- FIGURA 15.- CORRELACION ENTRE SONDEOS No 3
- FIGURA 16.- SECCION ESQUEMATICA EN PROFUNDIDAD
- FIGURA 17.- ESQUEMA SONDEO DE HUELVA
- FIGURA 18.- ESQUEMA SONDEO DE MAZAGON
- FIGURA 19.- ESQUEMA SONDEO DE MATALASCANAS

## INDICE DE TABLAS

- TABLA 1.- RESUMEN DE LOS SONDEOS ESTUDIADOS.
- TABLA 2.- CIFRAS RELATIVAS A LAS EMPRESAS DE LA ASOCIACION DE INDUSTRIAS QUIMICAS Y BASICAS DE HUELVA.
- TABLA 3.- GENERACION DE RESIDUOS TOXICOS Y PELIGROSOS POR COMUNIDADES AUTONOMAS.
- TABLA 4.- GENERACION DE RESIDUOS TOXICOS Y PELIGROSOS EN ANDALUCIA.
- TABLA 5.- TRATAMIENTO PREVISTO DE LOS RESIDUOS INDUSTRIALES.
- TABLA 6.- RESIDUOS SOLIDOS Y ESPECIALES GENERADOS POR LAS INDUSTRIAS.
- TABLA 7.- VERTIDOS DE LAS INDUSTRIAS DEL POLIGONO "PUNTA DEL SEBO".
- TABLA 8.- VERTIDOS DE LAS INDUSTRIAS DEL POLIGONO "NUEVO PUERTO".
- TABLA 9.- PRINCIPALES MEDIDAS INTERNAS PREVISTAS.
- TABLA 10.- MEDIDAS PREVISTAS EN EL PLAN DE CORRECCION DE VERTIDOS INDUSTRIALES DE HUELVA, SEGUN ESTADO DE EJECUCION.

## INDICE DE PLANOS

- PLANO Nº 1.- SITUACIÓN DE SONDEOS ESTUDIADOS.
- PLANO Nº 2.- MAPA DE PERFILES SISMICOS Y CORRELACIONES ENTRE SONDEOS INTERPRETADOS.
- PLANO Nº 3.- MAPA DE ESPESOR DE LA FORMACIÓN CONFINANTE. arcillas y margas azules del Mioceno.
- PLANO Nº 4.- MAPA DE PROFUNDIDAD DEL TECHO DEL ALMACÉN. Calizas y dolomías del Jurásico.
- PLANO Nº 5.- SONDEOS PROPUESTOS. SITUACIÓN Y COLUMNA LITOLÓGICA PREVISTA.

1.- PRESENTACION

### 1.1.- ANTECEDENTES

La degradación de la calidad de las aguas continentales (superficiales y subterráneas) y marinas por procesos y agentes contaminantes es uno de los problemas más acuciantes, y en manifiesta progresión, que afectan a este recurso natural. Son numerosas y variadas las causas que originan dichos procesos, si bien, a grandes rasgos, pueden establecerse dos tipos: causas naturales (litología, intrusión marina, etc.) y antrópicas (vertidos, prácticas agrícolas, etc.).

Es notorio y evidente, el nivel de contaminación que ha supuesto para la superficie de la Tierra el desarrollo industrial. Como dato de referencia, baste decir que los niveles de emisión de contaminantes a las aguas, se han multiplicado por 10 en los últimos 20 años.

La búsqueda de soluciones para minimizar el impacto ambiental producido por la sociedad actual ha dado lugar a un gran desarrollo de procesos de reciclado y tratamiento de residuos. No obstante, siempre queda un último residuo o subproducto que ya no puede ser tratado y que es preciso eliminar. El sistema ideal para ello, sería aquél que aceptara un volumen ilimitado de residuo y lo contuviera siempre fuera de la biosfera.

Las estructuras geológicas profundas pueden llegar a ser una aceptable solución a estos problemas, pero para ello es necesario realizar trabajos de investigación, que pongan en evidencia la posibilidad de uso de tales estructuras, al tiempo que demuestren el aislamiento o confinamiento del almacén de manera que no se comprometa el uso presente o futuro de otros recursos existentes en el subsuelo.

En los años 1987 y 1988 el ITGE llevó a cabo, con la colaboración de Tecnología y Recursos de la Tierra, un estudio metodológico y análisis global de las posibilidades del subsuelo español. Una de las zonas delimitadas como de interés en dicho estudio es el área costera de la depresión del Guadalquivir, en donde formaciones carbonatadas del Jurásico pueden constituir un buen almacén, reuniendo los requisitos necesarios de estanqueidad.

Precisamente esta zona es ámbito de una importante concentración industrial (Refino, Petroquímica, Minería, Industrias Químicas, etc.) que ha originado importantes problemas por el volumen de residuos producidos. Esta concentración tiene lugar en los polígonos industriales de Huelva. En ellos se ubican entre cuarenta y cincuenta plantas, fundamentalmente de producción química cuyos datos globales ofrecidos por la Agencia de Medio Ambiente de Andalucía (AMA) son los siguientes:

INDICADORES SOCIOECONÓMICOS DE LOS POLÍGONOS  
INDUSTRIALES ONUBENSES

. Consumo de energía eléctrica (Mw-hora/año)	1.729.371
. Capacidad (Toneladas/año)	
Materias Primas	
Pirita.....	1.410.000
Concentrado de cobre.....	550.000
Roca fosfórica.....	1.875.000
Madera.....	830.000
Petróleo crudo.....	4.000.000
Productos	
Acido sulfúrico.....	2.484.000
Acido fosfórico.....	618.000
Pasta de papel.....	263.000
. Valor de productos (Millones de pesetas)	225.112
. Número de empleados	
Propios.....	4.976
Contratados.....	792

(Fuente: Asociación de Industrias Químicas de Huelva)

La importancia económica expresada por estas cifras hay que contrastarla con el nivel de contaminación ambiental producido. También, según datos de A.M.A., este nivel se puede evaluar con las siguientes cifras:

#### CONTAMINACIÓN HÍDRICA

Acidez.....	30 Tn equivalentes de $\text{SO}_4\text{H}_2$ /día
Metales pesados.....	25 Tn/día

(Fuente: Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo)

#### CONTAMINACIÓN POR RESIDUOS SÓLIDOS

Yesos.....	3.000.000 Tn/año
Cenizas.....	750.000 Tn/año
Fangos.....	40.000 Tn/año

(Fuente: Agencia de Medio Ambiente)

La Agencia del Medio Ambiente ha tomado medidas a partir de 1986, elaborando el "Plan Corrector de los Vertidos Industriales Contaminantes en el litoral de Huelva".

Como complemento a dicho Plan, el ITGE consideró del máximo interés la realización de un estudio profundo que analizara las posibilidades de utilización de estructuras geológicas como un método más en la lucha contra la contaminación de las aguas y el medio ambiente. Este posible uso ha de hacerse mediante un sistema que asegure completamente el aislamiento de los residuos en una zona confinada.

El interés de este estudio se ve acrecentado por la problemática, de todos conocida, que plantea la gestión de los residuos líquidos urbanos, en toda la costa onubense. Esta problemática es debida a muchos factores, entre los que cabe citar:

- Aumento extraordinario de la población en los meses de verano, con lo que las plantas deben ser proyectadas para

una capacidad grande, estando el 60-70% del año a un nivel de uso del orden del 20-30%. Ello plantea grandes problemas de mantenimiento.

- Dinámica geológica actual de las costas en esta zona, lo que origina problemas de estabilidad y mantenimiento en los emisarios submarinos, que a su vez da lugar a un elevado coste de operación de tales emisarios. Las periódicas roturas, causan una elevada contaminación en las playas en época estival, lo que, ocasionalmente, llegando a situaciones extremas, ha obligado a que se cerraran al baño tales zonas.

La sociedad actual es cada vez más restrictiva en el vertido marino de las aguas residuales urbanas. Recuérdese a este respecto la llamada de atención de Organismos Comunitarios al excesivo uso de esta solución por parte de España.

En este mismo sentido es conveniente poner de manifiesto que en el Estado de Florida (E.E.U.U.) con una de las legislaciones medio-ambientales más restrictivas de aquél país, se gestionan los residuos líquidos urbanos de más de 50 ciudades, mediante su inyección en formaciones permeables profundas, muy similares a las existentes en el subsuelo de Huelva. Cabe destacar el sistema de inyección del Condado de Dade que incluye la ciudad de Miami, donde en nueve pozos de inyección se elimina más de 3 m<sup>3</sup>/segundo de residuos líquidos urbanos.

En el presente documento se exponen y analizan los datos y conclusiones más importantes alcanzados durante la realización del estudio.

### 1.2.- OBJETIVOS

El objetivo final del proyecto era analizar la viabilidad de la utilización de estructuras geológicas profundas para la eliminación de residuos líquidos industriales y de aguas residuales urbanas en la provincia de Huelva.

Para alcanzar este objetivo ha sido necesario llevar a cabo los siguientes puntos:

- Estudio detallado de las formaciones calcáreas del Jurásico en la zona de interés, de manera que se ponga en evidencia su capacidad para recibir el residuo durante un largo plazo (20 años).
- Selección de las zonas más propicias desde el punto de vista geológico (potencia de formación, permeabilidad, estructura, confinamiento, agua de formación, etc.).
- Caracterización de los residuos generados en el área desde el punto de vista de su inyección en el subsuelo.
- Análisis de su compatibilidad con el tipo de fluido de formación y con la formación misma.
- Elaboración a nivel de propuesta preliminar de un documento que contemple un diseño de las instalaciones de inyección y control con una evaluación económica de las mismas.

### 1.3.- REALIZACIÓN DEL TRABAJO

El proyecto ha sido realizado, bajo la dirección del Instituto Tecnológico GeoMinero de España, por la empresa

Tecnología y Recursos de la Tierra, que en su ejecución ha contado con la colaboración de la empresa CH2M Hill, consultores de E.E.U.U. especialistas en el desarrollo de operaciones de inyección, así como de la Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S.A., que cuenta con una amplia base de datos de subsuelo.

En su desarrollo ha participado el siguiente equipo técnico:

- Gerardo Ramos González:      Ingeniero de Minas. Director del Proyecto. I.T.G.E.
- José Sánchez Guzmán:      Ingeniero de Minas. Tecnología y Recursos de la Tierra. Responsable del Proyecto.
- Luis Ocaña Robles:      Licenciado en Ciencias Químicas. Tecnología y Recursos de la Tierra.
- Rafael Martínez Alvarez-Amandi:      Ingeniero de Minas. Tecnología y Recursos de la Tierra.
- Fernando Pendás Fernández:      Dr. Ingeniero de Minas. E.T.S. de Ingenieros de Minas de Oviedo.
- J. Ignacio García-Bengochea:      Ingeniero Civil. CH2M Hill.
- Philip Waller:      Ingeniero Civil. CH2M Hill.
- Javier Sigüenza Amichis:      Ingeniero de Minas. ENADIMSA.

2.- GEOLOGIA REGIONAL

En la provincia de Huelva hay que distinguir (Fig. 1), desde el punto de vista geológico, la existencia de dos grandes unidades: el zócalo hercínico de la meseta constituido por materiales paleozóicos y mesozóicos y la depresión del Guadalquivir constituida fundamentalmente por materiales neógeno-cuaternarios. Desde la perspectiva que constituye el objetivo de este proyecto, es decir la inyección, solamente la depresión del Guadalquivir puede considerarse objeto de estudio detallado. El zócalo hercínico representado por pizarras arcillosas, cuarcitas conglomeradas y grauwackas no reúne en general condiciones geológicas para la inyección.

## 2.1.- INTRODUCCION. RASGOS GEOLÓGICOS GENERALES

La Depresión del Guadalquivir constituye a grandes rasgos una extensa unidad geográfica que se encuentra limitada al Norte por la Meseta y al Sur por el borde externo de las unidades subbéticas. De igual forma, hacia su extremo más oriental se pone en contacto con la zona Prebética, mientras que hacia el occidental desaparece bajo el mar, en el Golfo de Cádiz.

Actualmente, dicha Depresión está caracterizada por la presencia de una sedimentación neógena-cuaternaria de naturaleza margo-arenosa, delimitada por las secuencias de edad paleozóica del macizo Ibérico al Norte, y por una potente serie carbonatada y detrítica post-paleozóica de carácter alóctona, al Sur.



Este esquema se encuentra algo modificado y bastante complicado hacia su mitad meridional, a consecuencia del desarrollo antes y durante la sedimentación miocena, de grandes masas de naturaleza alóctona denominadas "mantos olistostrómicos". Dichos mantos se encuentran encuadrados dentro del marco de las unidades alóctonas del Guadalquivir, extensible a toda la Depresión.

## 2.2.- ESTRATIGRAFÍA DE LAS DIFERENTES UNIDADES

Dentro del esquema litoestratigráfico de la Depresión y sus límites, aparecen representados las siguientes unidades de muro a techo:

### 2.2.1.- PALBOZOICO

El paleozóico se encuentra en su mayor parte representado por litologías pertenecientes al Devónico y al Carbonífero.

A grandes rasgos, el Devónico está constituido por secuencias de conglomerados, calizas, pizarras arcillosas, cuarcitas y grauwackas. En determinados niveles calcáreos son abundantes la fauna de Conodoritos y Crinoideos.

A menudo dicha secuencia, y en especial las pizarras arcillosas y grauwackas, se encuentran atravesadas por intercalaciones volcánicas de material piroclástico de escasa potencia.

En este sentido, es importante señalar la existencia de un conjunto o formación de naturaleza volcánica de cierta consideración constituido por rocas volcánicas acidas

-Riolitas-, intermedias -Andesitas- y básicas -Doloritas-, en general de poca continuidad y carácter lenticular que se intercalan entre los últimos niveles de Devónico.

Por su parte, el Carbonífero está esencialmente compuesto por un conjunto de pizarras y grauwackas con frecuentes intercalaciones y alteraciones de niveles arcillosos y arenosos. La potencia de este conjunto suele ser variable aunque en general se admite entre 200-400 m.

### 2.2.2.- TRIASICO

El Triásico en este sector se encuentra identificado con la aparición de facies del tipo germánico-andaluz. Dicha formación aparece situada de forma discordante sobre el Paleozóico y se encuentra representada por limolitas, areniscas y conglomerados rojizos en la base (Bundsandstein), que hacia techo pasan a arcillas abigarradas, de tonalidades grisáceas, rojizas y verdosas, y evaporitas (Keuper). A menudo existen intercalaciones entre estas litologías de masas de ofitas de escasa representación.

En relación con este último tramo evaporítico existen depósitos de naturaleza salina.

La potencia de este conjunto resulta difícil de cuantificar, debido a su alto grado de tectonización y fenómenos de halocinesis que contribuyen a la acumulación de grandes espesores en determinados sectores a diferencia de otros.

### 2.2.3.- JURASICO

Tomando como referencia datos obtenidos a partir de

columnas estratigráficas de sondeos, el Jurásico en este sector se encuentra constituido por:

#### 2.2.3.1.- Lías

Está representado por un Lías inferior y un Lías superior.

Dentro del Lías inferior se diferencian tres tramos:

- Un tramo superior de:
  - Calizas recristalizadas de grano fino.
  - Dolomías gruesas con fósiles e intraclastos.
- Un tramo inferior de:
  - Calizas-dolomíticas de dolomitización gruesa a muy gruesa. Parece ser que este tramo se identifica con el horizonte característico de carniolas del infralías.

Se admite que la potencia de esta serie es en general inferior a 850 m.

De igual forma, dentro del Lías superior diferenciamos dos tramos principales:

- Un tramo superior de calizas rosadas y amarillentas con abundante microfauna.
- Un tramo inferior de calizas con microfilamentos (pelmicritas) con abundantes microfósiles.

La potencia de este conjunto oscila en torno a los 30 m.

#### 2.2.3.2.- Malm

Si sitúa de forma discordante sobre la unidad anterior.

Está principalmente constituida por un paquete de calizas oolíticas con abundante microfauna cuya potencia aumenta progresivamente hacia el sur. Su existencia se apoya en base a datos de sondeos (Asperillo y Moguer).

#### 2.2.4.- CRETACICO

El Cretácico se encuentra principalmente representado en el ámbito de la plataforma continental, acuffándose hacia el Norte. En general, presenta las características propias del cretácico de la zona subbética distinguiéndose por una parte, un Cretácico inferior que abarca desde el Neocomiense hasta el Aptense-Albense representado por margocalizas y margas claras con intercalaciones de calizas, y un Cretácico superior de margas y margocalizas pelágicas, de tonalidad salmonada y blanca, del tipo capas rojas.

#### 2.2.5.- TERCIARIO

Está consituido básicamente por materiales con edades comprendidas entre el Mioceno de base y el Cuaternario.

Aparece situado de forma discordante y transgresiva sobre un sustrato heterogéneo formado de Sur a Norte sucesivamente por materiales jurásicos, triásicos y paleozóicos.

En conjunto, corresponde a una serie marina, con formaciones detríticas en la parte inferior (Mioceno transgresivo de base), y margosas, en la superior (margas azules del Tortoniense). Sobre dichas formaciones, se sitúan otras de carácter eminentemente detrítico y que representan la regresión de la cuenca.

Desde el punto de vista cronoestratigráfico se puede diferenciar:

#### 2.2.5.1.- Mioceno transgresivo de base

Constituye la primera serie que pertenece a la base del Mioceno autóctono, encontrándose a menudo sometido a cambios laterales de facies. Dicha formación se sitúa discordante sobre el Paleozóico, hundiéndose progresivamente hacia el Sur bajo el resto de las series sedimentarias que rellenan la Depresión del Guadalquivir.

Los afloramientos de dicha serie se encuentran situados principalmente al norte de la Depresión y a lo largo del contacto con la meseta hercínica, a modo de franja continua en la zona del bajo Guadalquivir y discontinua desde Córdoba a Villacarrillo.

A grosso modo, está representado por una formación de potencia variable de conglomerado de base, arenas, areniscas, calcarenitas y calizas. Por lo general es abundante en macrofauna y presenta un predominio de facies de tipo detrítico.

La sucesión más frecuente en este conjunto es de techo a muro:

- Margas azules tortonienses superiores.
- Arenas amarillas o gris azuladas más o menos consolidadas con espesor medio de 10 m.
- Moladas compactas muy fosilíferas de tonalidad amarilla con espesor entre 10-20 m.
- Conglomerados de base con abundantes cantos paleozoicos y macrofauna con espesor medio en torno a 1-2 m.

#### 2.2.5.2.- Margas azules tortonienses

Constituyen potentes y extensos afloramientos que conforman el relleno base de la Depresión del Guadalquivir.

Se encuentran situados a lo largo de la franja que une Huelva con Villacarrillo dispuestos de forma concordante sobre el detrítico de base, constituyendo una serie monoclinial.

Dichas margas presentan por lo general tonalidades grises-azuladas (amarillas en superficie) con tránsito gradual a arenosas hacia techo y muro, presentando a menudo interestratificaciones de arenas y areniscas.

En la descripción litológica de algunos sondeos están identificados como arcillas calcáreas grises.

En determinados sectores y como ocurre en las marismas del Guadalquivir dicha formación alcanza potencias del orden de los 1000 m, aunque en general oscila entre 400-600 m.

La edad de este conjunto está perfectamente definida de acuerdo con la microfauna presente, en un Tortoniense medio.

#### 2.2.5.3.- Saheliense

Aflora de forma continua desde Ayamonte a Sevilla. Se encuentra situado sobre la formación de marga azules tortonienses y está normalmente recubierto por depósitos del Plioceno continental o Cuaternario antiguo.

Litológicamente está representado por un conjunto de arenas finas, areniscas y calcarenitas con abundancia tanto en macrofauna como microfauna, cuya determinación le asigna

una edad comprendida entre el Tortoniense y el Astiense, admitiéndose en general como Saheliense.

La potencia media de estas capas detríticas suele ser muy variable, del orden de 30 m. pero depende en cierta medida de su posición en la Depresión.

#### 2.2.5.4.- Plioceno

Se encuentra representado por depósitos tanto de naturaleza marina como continental, dispuesto por lo general sobre la formación de arenas sahelenses.

El Plioceno marino aflora a lo largo del litoral de Cádiz, constituido por capas transgresivas de areniscas con abundantes fósiles y pequeños cantos rodados.

Por su parte, el Plioceno continental se encuentra recubriendo gran parte de la región de Huelva y conforma un inmenso "glacis" que desciende suavemente desde la meseta hercínica hasta el Océano Atlántico. Existe en todo este conjunto un predominio de los depósitos de tipo arenoso, gravas o conglomerático con alternancias arcillosas.

El espesor del Plioceno continental suele ser pequeño, oscilando entre 10-30 m. aunque excepcionalmente y hacia el Sur alcanza los 100-200 m.

Se le atribuye una edad Plio-Villafranquiense.

#### 2.2.6.- UNIDAD ALÓCTONA DEL GUADALQUIVIR - MANTO OLISTOSTRÓMICO

Dentro de esta unidad, se incluye un gran conjunto de

naturaleza alóctona ciertamente difícil de diferenciar con respecto a los autóctonos, a consecuencia de las interestratificaciones que caracterizan a estos episodios. Estas masas olistostrómicas se sitúan a lo largo del borde meridional de la Depresión y colmatan gran parte de la misma.

Dicho complejo olistostrómico reconocido en multitud de sondeos está constituido por materiales pertenecientes al Aquitano-Burdigaliense (formación de Moronitas o Albarizas de tipo arcilloso) y del Cretácico superior-Oligoceno (margas verdes y rojizas).

La potencia de este importante manto aumenta en general hacia el S y SW, reconocida puntualmente en más de 1.700 m.

#### **2.2.7.- CUATERNARIO**

Está representado por un conjunto muy heterogéneo de carácter detrítico que abarca desde terrazas fluviales y marinas a dunas, marismas, etc...

En determinados casos como en las dunas la altura sobre el nivel del mar puede alcanzar los 100 m.

#### **2.2.8.- RESUMEN**

Como resumen de la descripción de los materiales de las diferentes unidades geológicas, se presenta en la Fig. 2 una columna litoestratigráfica representativa en la que sintéticamente se correlacionan niveles, potencias y litologías de dichos materiales.



**COLUMNA LITO-ESTRATIGRAFICA REPRESENTATIVA DE LA  
DEPRESION DEL GUADALQUIVIR EN LA ZONA COSTERA DE HUELVA**

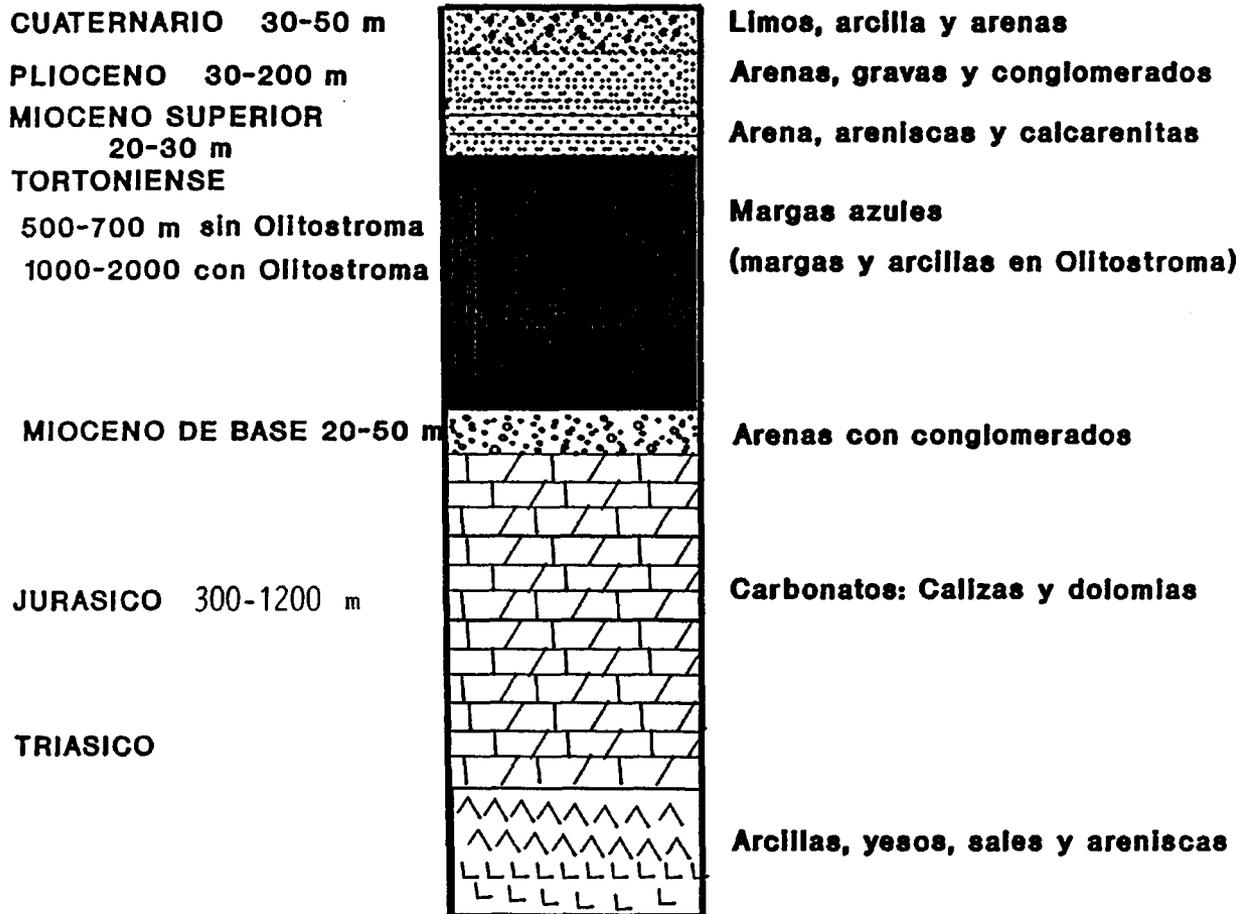


FIGURA 2

### 2.3.- TECTÓNICA. ESTRUCTURA.

Dentro del ámbito geográfico de la zona de estudio, se pueden diferenciar, claramente, dos estilos tectónicos netamente diferentes, separados por la línea estructural que marca el contacto entre el zócalo paleozóico de la meseta y los terrenos miocenos, que se encuentran al Sur y que forman la conocida Depresión del Guadalquivir.

En el zócalo, la orogenia hercínica dió lugar a estructuras de plegamiento con eje sensiblemente Este-Oeste y dos sistemas de fracturación, una subparalela a los ejes de los macropliegues y otra transversal.

Posteriormente a estas etapas, se producen grandes fallas de dirección, en ocasiones inversas, y fracturas con rumbo NNE-SSO y NNO-SSE.

En cuanto a la línea estructural que marca el cambio del zócalo de la Meseta con los depósitos miocenos del sur, se originan localmente un sistema de "horst" y "graben" como se puede observar en el sector de Cartaya y Palma del Río.

Este sistema de fracturas orientado de acuerdo con la dirección OSO-ENE, es el resultado de una tectónica de zócalo originada por los movimientos béticos de edad Miocena.

A consecuencia de estos fenómenos, el zócalo paleozóico está afectado por un sistema de fracturas de doble dirección, la hercínica y la bética, siendo estos últimos los que originan su progresivo hundimiento hacia el Sur.

Por otra parte, la estructura interna de la Depresión del Guadalquivir comienza a configurarse hacia el Mioceno superior y con posterioridad a la actual estructuración de las Cordilleras Béticas.

Entre el frente paleozóico y el subbético se delimita una depresión topográfica ocupada por el mar mioceno superior a la que contribuye además de la propia sedimentación marina autóctona, la llegada de una masa de gran envergadura de materiales alóctonos, procedentes del Subbético o de zonas más internas del dominio Bético, a la vez que continuaba el ciclo sedimentario marino hasta el final del Mioceno superior.

A partir del Plioceno se produce una fase distensiva que origina el hundimiento y formación del actual Mediterráneo, al mismo tiempo que la elevación de las zonas actualmente emergidas, retirándose el mar hacia el actual Golfo de Cádiz.

A consecuencia de estos fenómenos y en ausencia de fases compresivas desde el Mioceno superior, los materiales postorogénicos se sitúan transgresivamente sobre terrenos de edad anterior presentando ligeros basculamientos, hundimientos o elevaciones en relación con dichas fases distensivas.

#### **2.4.- HISTORIA GEOLÓGICA**

La ausencia de afloramientos de varios niveles litoestratigráficos se cubre a partir de datos de sondeos profundos en vistas al establecimiento de la evolución geológica en el sector Oeste de la Depresión del Guadalquivir.

En el Carbonífero superior, incluso durante la orogenia Hercínica, la región quedó emergida y sometida con posterioridad a erosión.

Durante el Triás la orla meridional de esta plataforma entra en subsidencia y en la cuenca neoformada se depositan sedimentos terrigenos en un medio fluvio-continental (Bundsandstein), que evoluciona hacia un medio de transición con depósitos locales de carbonatos (Muschelkalk), para proseguir con episodios evaporíticos (yeso, anhidrita, sal) y arcillas limolíticas (Keuper).

Al finalizar el Keuper se inicia una transgresión marina que comienza con "carniolas" durante el Infralías y alcanza su mayor desarrollo durante el Liásico, con máxima subsidencia, depositándose potentes formaciones de naturaleza calcárea, margosa y dolomítica.

Al finalizar dicho período el mar se retira, la zona emerge de nuevo y se produce un hiato sedimentario que coincide con el Dogger.

En el Jurásico superior se produce una nueva subsidencia y los sedimentos del Malm son transgresivos sobre el Lías.

La Orogenia Alpina afectó a todos estos materiales, el mar se retira y se instala un sistema erosivo que perdura hasta el Mioceno Medio.

Durante el Helveciense se produce una gran transgresión marina que invade la Depresión del Guadalquivir y que forma un surco marino desde el Océano Atlántico hasta el Mar Mediterráneo pasando por Sevilla, Jaén y Murcia aislando en consecuencia la zona Bética de la meseta Hercinica, pero recubriendo la mayor parte de la zona subbética.

Durante el Tortonense el régimen marino continua y se produce un potente relleno margoso de la Depresión.

Al final del Tortonense y durante el Saheliense, comienza una regresión general, caracterizada por el desarrollo de facies reníticas de tipo arenoso, retrocediendo el mar hasta los límites actuales de las marismas del Guadalquivir.

Durante el Plioceno, el régimen marino continúa en las zonas de las marismas, mientras que se desarrolla un inmenso "Glacis" continental en las regiones de Huelva y Almonte.

Durante el cuaternario, se forman las terrazas continentales a lo largo de los cursos fluviales.

**3.- RECURSOS HIDRICOS, HIDROGEOLOGIA**  
**-----**  
**DE LOS ACUIFEROS SUPERFICIALES**  
**-----**

### 3.1.- INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de los estudios preliminares que se realizan para la selección de puntos de inyección de residuo así como en la elaboración del anteproyecto y diseño del sistema de inyección, la primera norma o especificación que se tiene en cuenta es el conocimiento de la hidrogeología de la zona, y más concretamente la localización, calidad de agua, usos y características de los acuíferos superiores y vecinos al almacén seleccionado para la inyección.

El objetivo fundamental de esta norma es concretar las medidas de protección que hay que adoptar en el desarrollo de labores posteriores, incluido el desarrollo de la inyección y el plan de control.

En la elaboración o diseño de un sondeo, especialmente la entubación y cementación de los primeros tramos, se tiene siempre como objetivo principal evitar la migración de fluidos extraños a los niveles acuíferos atravesados.

Por todo ello, en el presente proyecto, una vez conocida la geología general, el siguiente paso es conocer las características de los sistemas acuíferos existentes con vistas a poder seleccionar el modelo de inyección más adecuado. Los datos más importantes a conocer son:

- Extensión y límites.
- Profundidad máxima.
- Constitución geológica.
- Características hidrogeológicas.
- Explotación y usos actuales.

- Calidad química de las aguas.
- Relación con otros sistemas.

### 3.2.- SISTEMAS ACUÍFEROS EXISTENTES

El análisis de la estratigrafía presentada en el capítulo correspondiente de geología regional y su distribución geográfica permite seleccionar, como materiales susceptibles de contener acuíferos con agua dulce, simplifícadamente los siguientes:

- Pliocuaternalio y Cuaternario: Conjunto de arenas, gravas y conglomerados, de espesor muy variable, aumentando hacia la costa.
- Mioceno: Formaciones basales que en el Suroeste están constituidas fundamentalmente por facies arenosas mientras que al Norte y Nordeste predominan las calcarenitas y areniscas.

La distribución geográfica y el cambio de facies asociado ha permitido diferenciar, según los sectores, los siguientes sistemas acuíferos:

- Sistema 25. Ayamonte-Huelva.
- Sistema 26. Niebla-Gerena.
- Sistema 27. Almonte-Marismas.

### 3.3.- SISTEMA 25. UNIDAD AYAMONTE-HUELVA

Ocupa una superficie total del orden de los 600 Km<sup>2</sup> y desde el punto de vista de la explotación de acuíferos se

pueden diferenciar dos sectores: Occidental o sector de Ayamonte y sector Oriental.

Mientras en este último existen dos niveles separados que constituyen acuífero, en el primero ambos niveles se integran en uno sólo.

### 3.3.1.- ESTRATIGRAFÍA Y LITOLOGÍAS

La descripción estratigráfica del conjunto de materiales presente en esta unidad es la siguiente:

- Cuaternario: Serie de formaciones eólicas, glacis, terrazas fluviales y medios de transición.
- Plioceno: Formación roja, constituida por conglomerados, arenas y gravas, con intercalaciones arcillosas que le dan el color característico. Esta formación, que tiene una potencia máxima de 40 metros, se acuña hacia el Oeste llegando a desaparecer en la zona de Ayamonte.
- Mioceno de Base: Formación de arenas que puntualmente pueden presentar materiales calcáreos. Constituye un importante nivel acuífero en esta zona.

### 3.3.2.- ACUÍFEROS

En la serie descrita hay que señalar la existencia de dos formaciones acuíferas: las arenas basales de la Formación Roja del Plioceno y el Mioceno de base, especialmente en su facies arenosa.

Estas dos formaciones que están separadas en el sector Oriental por la formación de limos basales, constituyen un

sólo acuífero en la zona de Ayamonte al desaparecer los limos.

El primero de ellos tiene carácter de libre en toda la unidad, mientras que el segundo es confinado en algunas áreas (especialmente Sureste).

La base impermeable de este sistema acuífero está constituida en general por los materiales del paleozoico de la Sierra de Huelva. Puntualmente (área Sureste, próxima a Huelva) podría tener como subyacente los materiales mesozóicos (Jurásico).

### 3.3.3.- CARACTERÍSTICAS HIDRODINAMICAS

Las características hidráulicas de este sistema acuífero son muy variables según la zona considerada y la formación permeable de que se trata.

A continuación se expone un resumen de los datos analizados:

- Transmisividad:

Formación superior: 5-300 m<sup>2</sup>/día.

Formación profunda: 260 m<sup>2</sup>/día.

- Coefficiente de almacenamiento:

Formación superior: 10<sup>-3</sup>

Formación profunda: 10<sup>-4</sup>

En el acuífero superior se tienen datos de porosidad eficaz del orden de 1%.

- Gradiente hidráulico:

Zona interior: 8%

Zona costera: 2%

- Recursos potenciales: Las estimaciones realizadas asignan a este sistema una recarga por infiltración de 97 Hm<sup>3</sup>/año.

- Balance hídrico:

Entradas (Hm<sup>3</sup>/año)

. Recarga de lluvia.....	97
. Infiltración de riego (15%).	6
. Intrusión marina.....	<u>2</u>
TOTAL.....	105

Salidas (Hm<sup>3</sup>/año)

. Explotaciones	
Regadío.....	40
Abastecimiento.....	4
Industrias.....	1
. Salidas naturales	
Ríos y marismas .....	60
Mar	<u>        </u>
TOTAL.....	105

Hay que destacar que el 75% de la explotación (es decir, 35 Hm<sup>3</sup>/año) es soportada por el área de Lepe-Redondela lo que provoca en esta zona una intrusión de agua de mar.

- Caudales de explotación: Son muy variables según los sectores y profundidad de los sondeos. Se puede considerar comprendido entre 10 y 75 l/seg. para sondeos de profundidad máxima 150 metros.

#### 3.3.4.- CALIDAD QUÍMICA

En general, las aguas de este sistema acuífero presentan una facies bicarbonatada-clorurada sódico-cálcica, son de mineralización media, aptas para consumo humano y de

riego. No obstante en algunos sectores, en los que se ha iniciado el proceso de intrusión marina, la mineralización y dureza de las aguas alcanzan valores elevados con una clara degradación de la calidad química.

Localmente el contenido en cloruros de las aguas pueden superar los 500 mg/litro, alcanzando los 700 mg/l al este de Gibraleón, los 1.000 mg/l en la zona de Ayamonte-Isla Cristina y sobrepasando los 600 mg/l al Sur de Lepe y Cartaya.

#### **3.4.- SISTEMA 26. UNIDAD DE NIEBLA-GERENA**

Ocupando una superficie del orden de 65 Km<sup>2</sup> esta unidad explota el Mioceno de base en la zona más próxima a los afloramientos paleozóicos y río Tinto. Al alejarse de estas zonas en dirección Sureste, la formación adquiere profundidad dejando de constituir acuífero explotable por aumento de salinidad. En el área de Las Marismas, en que se encuentra a profundidades próximas y superiores a 1.000 metros contiene agua salada, mientras que en la zona de Mazagón y Moguer, aunque se encuentra a 500-700 metros tiene baja permeabilidad.

##### **3.4.1.- ESTRATIGRAFÍA Y LITOLOGÍAS**

La descripción estratigráfica y litológica del conjunto de materiales presentes en esta unidad es la siguiente:

- Cuaternario: Formado por arenas, gravas, limos y arcilla, con una potencia de unos 20 metros.
- Mioceno medio-superior: Formado por un paquete de arcillas

y margas azules impermeables de espesor variable aumentando hacia el Sur, constituyen el techo del acuífero.

- Mioceno inferior o de base: Está formado por tres niveles de diferente constitución litológica y comportamiento hidrogeológico. Uno superior de calcarenitas, permeable con una potencia de 20 a 30 metros. Uno intermedio de limos, impermeable, cuya potencia varía, según la posición, de 5 a 20 metros. Y finalmente, uno inferior de tipo detrítico constituido por arenas, areniscas y conglomerados con una potencia siempre inferior a los 15 metros.

#### 3.4.2.- ACUÍFEROS

Con independencia de los niveles cuaternarios, en la serie descrita los acuíferos están contenidos en las formaciones permeables del Mioceno de base. Es decir: las calcarenitas superiores y los niveles detríticos inferiores.

La potencia útil del conjunto es de 20-40 metros en el límite con la provincia de Sevilla y de 10-20 metros en la zona de Gibralfón y Niebla.

El acuífero tiene carácter de libre en las proximidades del paleozóico, donde aflora, para pasar progresivamente al estado de cautivo hacia el Sur.

#### 3.4.3.- CARACTERÍSTICAS HIDRODINÁMICAS

Dada la heterogeneidad del acuífero sus características son variables, dependiendo de la constitución y profundidad del mismo.

- Transmisividad: Variable entre 10 y 5.000 m<sup>2</sup>/día con

valores medios de 500 m<sup>3</sup>/día.

- Coefficiente de almacenamiento: En la zona libre, próxima a los afloramientos el valor medio es de  $10^{-3}$  mientras que en zonas de cautividad toma valores de  $10^{-4}$ .
- Recursos potenciales: La infiltración estimada para este sistema es de 9 Hm<sup>3</sup>/año.
- Caudales de explotación: El acuífero es explotado especialmente en la zona confinada, mediante sondeos, cuya profundidad media es de unos 80 metros, alcanzando algunos los 150-170 metros. Los caudales medios extraídos por sondeo son del orden de 30 l/seg con oscilaciones entre 15 y 40 l/seg.

La zona de mayores extracciones abarca los términos de La Palma del Condado y Paterna del Campo. Cuando aumenta su profundidad deja de ser explotable, bien por la baja permeabilidad o bien por el alto contenido en sales del agua.

#### 3.4.4. - CALIDAD QUÍMICA

Las aguas de este sistema presentan en general facies bicarbonatada-cálcica. No obstante en algunos puntos cambia a magnésica y sódica y en otros a clorurada sódica. De mineralización ligera a notable y dureza media, es apta para riego.

Su conductividad aumenta con la distancia al Tinto, variando entre 300  $\mu$ S/cm hasta 2.000  $\mu$ S/cm.

Los cloruros tienen valores relativamente bajos (del orden de 100 mg/l) llegando sólo ocasionalmente a los 300 mg/l. El contenido de sulfatos es asimismo del orden de

100 mg/l, aunque ocasionalmente puede alcanzar los 500 mg/l.

A pesar de la proximidad y relación con el río Tinto, no se aprecian en general influencias de la calidad de agua de éste en el acuífero.

### 3.5.- SISTEMA ACUÍFERO 27. UNIDAD DE ALMONTE-MARISMAS

Este sistema acuífero contenido en materiales arenosos pliocuaternarios, es el más importante de los existentes en la provincia de Huelva, especialmente por su relación e incidencia en el régimen hídrico del Parque Nacional de Doñana. Su extensión total es del orden de los 2.300 Km<sup>2</sup> de los que 1.700 Km<sup>2</sup> corresponden a la provincia de Huelva.

#### 3.5.1.- ESTRATIGRAFÍA Y LITOLOGÍAS

En este sistema acuífero se puede dar la siguiente sucesión de materiales, todos ellos pertenecientes al Plioceno y Pliocuaternario.

- Cuaternario reciente: Mantos eólicos, dunas antiguas y terrazas fluviales.
- Cuaternario de Las Marismas: Sucesión de niveles en los que se pueden distinguir los siguientes:
  - . Arenas y gravas superiores de 5 a 30 m de espesor y 50-80 m de profundidad.
  - . Gravas y cantos rodados inferiores con espesores de 10-30 metros y profundidad de 90-150 metros.
  - . Hacia los bordes, estos dos niveles se confunden en uno sólo de 10 metros de potencia. Esporádicamente entre

ambos suele aparecer unos niveles arcillosos y de limos de coloración gris azulada, de carácter impermeable y que puede alcanzar los 100 metros de potencia.

- Formación Roja Cuaternario antiguo - Plioceno superior: Constituido por gravas, arenas y conglomerados rojizos, tienen una potencia que puede llegar a los 15-20 metros.
- Pliocuaternalio: Formación de arenas blanco-amarillentas de gran extensión y permeabilidad. Su espesor es muy variable desde los 20 metros en la zona de Almonte, a 80 metros en el borde de las Marismas, hasta los 200 m bajo la barra costera de dunas actuales.
- Plioceno: Formación de limos basales que alternan con limos arenosos y capas de areniscas con lumaquelas. Es una formación de transición.
- Mioceno: Potente formación de arcillas y margas azules u gris-azuladas plásticas muy impermeable constituye el basamento del acuífero y alcanza en la zona próxima a la costa potencia de 500-700 metros.

### 3.5.2.- ACUÍFEROS

Por encima de la formación de transición todos los niveles descritos son permeables y constituyen acuífero, con la excepción de los niveles de arcillas y limos de Las Marismas.

Existe una zona (al Norte de Las Marismas) en la que tiene carácter libre, con una potencia progresivamente mayor de Norte a Sur, desde los 15-20 metros en Almonte a 80-100 metros en El Rocío. Bajo Las Marismas el acuífero es cautivo, y alcanza potencia del orden de 200 metros.

### 3.5.3.- CARACTERÍSTICAS HIDRODINAMICAS

Como resumen de los datos conocidos de este acuífero se pueden dar los siguientes valores de características hidrogeológicas:

- Transmisividad: Muy variable según los sectores:
  - Sector norte: 10 m<sup>2</sup>/día
  - Almonte-Rocio: 100 m<sup>2</sup>/día
  - Marismas: 1000-4000 m<sup>2</sup>/día
- Coefficiente de almacenamiento: Donde el acuífero está confinado es del orden de 10<sup>-3</sup> a 10<sup>-4</sup> mientras que en la zona libre es del orden de 10<sup>-2</sup>. En algunos puntos parece ser semiconfinado con S = 2.10<sup>-3</sup>.
- Recursos potenciales: Se estima para todo el acuífero una recarga por infiltración de lluvias del orden de 200 Hm<sup>3</sup>/año de los que 150 Hm<sup>3</sup>/año corresponden a la provincia de Huelva.
- Balance hídrico: A continuación se presenta un resumen sintetizado del balance hídrico presentado para este sistema por diferentes informes:

Entradas (Hm <sup>3</sup> /año)	
Recarga por infiltración de lluvias.....	200
Infiltración de riego (18%).....	13
TOTAL.....	213
Salidas (Hm <sup>3</sup> /año)	
Explotación	
Regadios.....	71
Abastecimientos.....	6
Salidas naturales	
Al mar.....	38
Evapotranspiración del acuí- fero y drenajes a ríos.....	83
Drenaje vertical ascendente.....	25
TOTAL.....	213

- Gradiente hidráulico: Muy variable según las zonas como orden de magnitud se puede dar:

. Zona menos permeables (Arroyo de Alcaryón).....	25%
. Sector Bollullos, Moguer y zona costera.....	12-14%
. Zona de Marismas.....	0,25%

- Piezometría: La superficie piezométrica está adaptada a la topografía, estando el nivel piezométrico en más del 90% de los puntos inventariados, a menos de 10 metros de profundidad con una media de 6 metros.

Las mayores variaciones se dan en la zona de Hinojos y Almonte donde se alcanzan los 15-20 metros de profundidad y las menores en el sector del Parque Nacional de Doñana y El Rocio donde habitualmente no sobrepasa los 5 metros.

- Caudales de explotación: Los caudales extraídos por los sondeos son muy variables, entre 20 l/s y 150 l/s, en valores medios del orden de 70-80 l/s para profundidades de sondeos también muy variables pero que raramente alcanzan los 200 metros.

Los sondeos de explotación se concentran sobretodo en la franja Norte del Parque Nacional de Doñana, en el entorno de Matalascañas y en la zona de Moguer-Palos.

#### 3.5.4.- CALIDAD QUÍMICA

Las aguas del acuífero Almonte-Marismas, tanto en su sector libre como confinado, son de facies predominantemente bicarbonatada-clorurada sódico-cálcica, de mineralización media se puede considerar apta para riego y, salvo excepciones, potable.

El valor de la conductividad varía entre 200 y 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en la zona de Almonte, llegando en el sector Occidental a alcanzar los 2.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

La concentración en cloruros se encuentra en general por debajo de los 100 mg/l.

### 3.6.- RESUMEN

En la zona baja de la Depresión del Guadalquivir, correspondiente a la provincia de Huelva, existen tres sistemas acuíferos explotados actualmente: Sistema 25 Ayamonte-Huelva, Sistema 26 Niebla-Gerena y Sistema 27 Almonte-Marisma.

De éstos los más importantes tanto por el valor económico de su explotación como por el volumen de agua extraída son el Sistema 25 y el Sistema 27. Son asimismo los más directamente relacionados con el objetivo del presente proyecto ya que las zonas de ubicación de los sondeos propuestos se localizan en las proximidades de ambos sistemas.

El Sistema 25, Ayamonte-Huelva, está constituido por las formaciones permeables del Plioceno y Mioceno de base, ambas en facies arenosa, separadas por la formación de limos basales en el sector Sureste.

Este grupo de acuíferos tiene como base impermeable los materiales paleozóicos del complejo hercínico de la meseta, aunque existe la posibilidad de que en las áreas próximas a Huelva se apoye sobre los materiales jurásicos que subyacen al relleno neógeno de la Depresión.

La profundidad del conjunto es variable entre 10 y 100 metros, por lo que cualquier sondeo de inyección que se realizara en el ámbito de este sistema acuífero, debería proteger especialmente (doble entubación cementada) hasta la profundidad de 150 metros.

El Sistema 27, Almonte-Marismas, está constituido por las formaciones arenosas cuaternarias y pliocuaternarias, existentes hasta una profundidad de 200 metros en el área comprendida entre el río Tinto y el Guadalquivir. Tiene una extensión total de 2.300 Km<sup>2</sup>, y su base impermeable está constituida por la formación de transición y las margas azules del Mioceno.

Tiene un carácter confinado bajo Las Marismas, donde llega a alcanzar una potencia de 200 metros. Fuera de Las Marismas el acuífero es libre y puede alcanzar los 100 metros de potencia en la zona de El Rocío.

A su importancia económica (explotación de 77 Hm<sup>3</sup>/año) hay que unir su relación con el régimen hídrico del Parque Nacional de Doñana.

En la zona más occidental Mazagón-Huelva, alcanza una profundidad de 80-100 metros, mientras que más al Este Matalascañas-Asperillo alcanza los 200 metros de profundidad. Por ello, cualquier sondeo de inyección que se proyecte habrá de proteger con doble entubación y cementación una profundidad de al menos 150 metros en el área occidental y 250 metros en el área oriental.

4.- SELECCION DE ALMACENES, MODELO DE INYECCION.

#### 4.1.- SELECCION DE ALMACENES

Desde el punto de vista de su comportamiento hidrogeológico, y por lo tanto de su capacidad para actuar como almacén, los materiales descritos en capítulos anteriores presentan diferentes características.

En principio todos los materiales pueden ser clasificados desde este aspecto, en dos tipos:

- permeables
- impermeables

Los primeros tienen capacidad para albergar y transmitir los fluidos, y son los que se seleccionan como posibles almacenes. A su vez dentro de ellos pueden diferenciarse otros dos tipos, según que su permeabilidad sea debida a la porosidad intergranular o bien sea debida a fracturación y fisuración.

Los materiales impermeables no tienen capacidad para albergar y transmitir fluidos, por lo que en la investigación se buscan como constituyente de los niveles confinantes.

A continuación se analizan los materiales presentes en la zona de estudio.

#### Paleozóico

Son materiales impermeables en general, sometidos a

procesos metamórficos más o menos internos. No obstante en áreas de gran fracturación asociadas a accidentes tectónicos regionales pueden tener permeabilidad y contener fluidos. Sin embargo no se contempla la posibilidad de utilizarlos como almacén para residuos, porque dichas áreas permeables son muy limitadas en dimensiones lo que da lugar a presiones de inyección muy altas y volúmenes muy limitados.

### Triásico

Dentro de toda la secuencia litológica característica de este nivel, predominan los materiales impermeables, por lo que en términos generales se le asigna un papel confinante. No obstante en los niveles de areniscas del Bunt, que ha podido ser cortado por algunos de los sondeos más profundos, existe permeabilidad por porosidad intergranular, aunque es muy baja.

La existencia dentro de las mismas capas areniscosas de lechos de arcillas, constituye una dificultad muy seria para su utilización como almacén. Este tipo de almacén suele requerir condiciones muy estrictas de filtrado en el fluido a inyectar.

El resto de formaciones triásicas, anhidritas, arcillas, sales, etc., son prácticamente impermeables y actúan como confinante.

### Jurásico

En general todas las formaciones jurásicas presentes en la zona están constituidas por potentes series de materiales carbonatados en los que habitualmente se presentan buenas características de permeabilidad por fracturación. Las

descripciones que de los mismos se hacen en los sondeos petrolíferos, corrobora esta afirmación. Asimismo la incidencia de pérdidas de circulación de lodo en casi todos los sondeos que atraviesan el Jurásico, confirma el carácter permeable y de excelente almacén de estas formaciones.

Hay que destacar que en la parte central de los paquetes calcáreos, es habitual encontrar (sondeos Asperillo, Moguer y Huelva) unas capas de calizas y dolomías que tienen intercalados lechos de arcillas verdes con espesores variables, pero que pueden alcanzar según datos de testigos los 80-90 cm. En total la potencia de estas capas de calizas y dolomías con intercalaciones de arcilla puede variar entre 200 y 400 metros.

Teóricamente esta zona de las formaciones jurásicas no sería apta para su selección como almacén de inyección.

### Cretácico

Aunque no está presente en la zona o área de interés, las formaciones cretácicas (margas y margocalizas) se clasifican como impermeables y por lo tanto no aptas para constituir almacén.

### Mioceno

Siguiendo la descripción litológica presentada de los materiales miocenos existente en la Depresión del Guadalquivir hay que señalar lo siguiente:

- Formaciones detríticas de base. Permeables por porosidad intergranular constituye un buen acuífero. En las zonas de afloramiento en contacto con el Paleozóico es explotado por

pozos y sondeos, al contener agua dulce. Hacia la costa (SE) se hunde rápidamente alcanzando los 700-1000 metros. En esta zona contiene agua salada.

Aunque sus características hidrogeológicas son francamente mejores que los niveles detríticos del Bunt, sin embargo no se seleccionan como almacén para inyección por las mismas razones aludidas anteriormente. Por otra parte al tener muy próximas las formaciones permeables jurásicas, es siempre preferible elegir estas últimas.

- Formación de arcillas y margas tortoniense. En su conjunto forma un importante paquete impermeable. Tanto la potencia como la plasticidad de los materiales lo configuran como un excelente nivel confinante para los almacenes inferiores.
- Formación detrítica terminal. Por su constitución litológica se trata de un conjunto permeable, explotado como acuífero en amplios sectores, especialmente al Oeste de Huelva. Por lo tanto debe ser rechazado como potencial almacén.
- Mantos clastrostrómicos. Las unidades alóctonas en el área estudiada están constituidas por materiales de carácter impermeable. Puesto que van asociadas o intercaladas entre el detrítico de base y la formación tortoniense, colaboran en su ámbito de existencia (por ejemplo zona de Matalascañas) al carácter de nivel confinante de la capa superior.

### Pliocuaternario

Los materiales que constituyen esta formación tienen en general un carácter permeable y constituyen un importantísimo acuífero superficial (Almonte-Marismas) explotado por numerosos sondeos. Dentro del conjunto permeable existen

materiales impermeables que inciden sólo localmente en el comportamiento global de la formación. Se descarta, por razones obvias, su posible utilización como almacén.

#### 4.1.1.- RESUMEN

A la vista de los datos expuestos, las formaciones geológicas permeables existentes en la zona estudiada son:

- 1.- Arenas, gravas, calcarenitas y conglomerados del PLIOCUATERNARIO.
- 2.- Arenas, areniscas y calcarenitas del MIOCENO TERMINAL.
- 3.- Areniscas y calcarenitas del MIOCENO DE BASE.
- 4.- Calizas y dolomías, oquerosas y fracturadas del JURÁSICO.
- 5.- Areniscas y conglomerados arcillosos del BUNT.

Las dos primeras formaciones constituyen acuíferos superficiales y contienen agua dulce, por lo que son automáticamente eliminados como posibles almacenes. Cualquier sistema de inyección que se proyecte en el área, deberá plantearse como primera medida la protección y vigilancia de estos acuíferos superficiales.

La tercera formación, Mioceno de base, en las áreas concretas que se estudian contiene agua salada. La constitución litológica de esta formación no favorecería una operación de inyección por lo que también se ha desestimado como posible almacén.

Las areniscas triásicas del Bunt, no tienen características hidrogeológicas apropiadas para una operación

de inyección, por lo que también ha sido descartada como posible almacén.

Queda finalmente, como formación geológica profunda, con muy buenas características hidrogeológicas para constituir almacén, las capas de calizas y dolomías del Jurásico, en sus tramos más fracturados y cavernosos.

Los datos estudiados en el presente proyecto y que se analizarán más adelante, confirman que este almacén reúne las condiciones necesarias para poder ser utilizado como objetivo en operaciones de inyección.

#### 4.2.- MODELO DE INYECCIÓN

El modelo de inyección propuesto queda pues resumido en los siguientes puntos:

- Almacén:

Paquetes de calizas dolomíticas y dolomías, con dolomitización gruesa a muy gruesa, fracturadas y muy vacuolares. En la zona costera su techo se encuentra a profundidades de 500 a 1500 metros.

Aunque la potencia total supera a veces los 1.200 metros, el tramo más permeable alcanza por término medio los 400-500 metros.

- Nivel confinante:

Formación de arcillas y margas azules del Tortonense, plásticas con algunas pequeñas intercalaciones de areniscas. En el área de interés su potencia supera siempre los 400 metros alcanzando los 1200 metros en algunos puntos. Ocasionalmente, al SE del frente de los mantos

olistostrómicos el espesor del nivel confinante se ve incrementado por la presencia de arcillas y margas del citado manto, por lo que puede llegar a superar los 1500 metros.

**5.- ESTUDIO DETALLADO DE LA FORMACIÓN ALMACÉN**

---

### 5.1.- INTRODUCCIÓN

Definido ya el modelo de inyección, se ha procedido a estudiar en detalle el almacén seleccionado mediante el análisis de toda la documentación existente y que fundamentalmente consta de sondeos profundos y prospección sísmica.

La documentación de sondeos existentes es muy heterogénea debido especialmente a la antigüedad de los sondeos. No obstante, ha sido posible estudiar en la zona de mayor interés, la columna litológica detallada, informe de perforación, testigos, diagrfías (caliper, gamma ray, eléctricos, neutrón, etc.) y pruebas de producción, de manera que se han podido definir los siguientes parámetros:

- Potencia de la formación confinante.
- Profundidad del techo del Jurásico.
- Zonas de pérdidas en el almacén.
- Salinidad del agua del almacén.
- Ocasionalmente datos cualitativos de porosidad, permeabilidad, presión de formación, etc.

Con estos datos es posible caracterizar el almacén estudiado y proponer las recomendaciones adecuadas para el planteamiento de las propuestas concretas que se analizarán más adelante.

### 5.2.- REVISIÓN DE LOS SONDEOS PROFUNDOS

De la veintena de sondeos analizados, cuya situación se

presenta en el Plano nº 1, se han seleccionado los más representativos para el estudio del área de interés, cuya identificación se presenta en la Tabla 1. Bastantes datos significativos faltan en algunos sondeos ya que el objetivo de los sondeos de hidrocarburos, en algunas áreas, son las arenas basales del Mioceno, con lo que los sondeos no estudian en detalle las formaciones jurásicas.

A la vista del Plano nº 1, y teniendo presente el área geográfica que centra el interés del presente estudio han sido estudiados con el mayor detalle los siguientes sondeos:

- Asperillo-1
- Moguer-1
- Huelva-1
- Almonte
- Mazagón
- Saltés

Estos sondeos tienen por otra parte mayor disponibilidad de datos (dentro de las deficiencias de su antigüedad) al ser realizados por empresas que actualmente no tienen permisos de hidrocarburos vigentes.

De los restantes sondeos (muchos de ellos muy recientes y con buena documentación) sólo se ha podido disponer (y no siempre) de una columna estratigráfica, debido a que al cortar las arenas basales del Mioceno han tenido indicios de gas por lo que han sido considerados productivos. Al permanecer actualmente vigente la concesión de hidrocarburos, toda la información se mantiene confidencial y no puede ser consultada.

Para cada uno de los sondeos estudiados en detalle se ha preparado una ficha resumen (Figs. 3 a 8) de datos en la que se incluye la parte más importante de la información



TABLA 1  
RESUMEN DE LOS SONDEOS ESTUDIADOS

NOMBRE	T/M	FECHA DE REALIZACIÓN (FINALIZACIÓN)	H/S	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FINAL	RESULTADO
Villalta de Alcor	T	Sep. 1956	H	220	Paleozóico	Negativo
Asperillo	T	Jun. 1957	H	3.309	Keuper	Negativo
Isla Mayor	T	Ago. 1957	H	2.373	Paleozóico	Negativo
Moguer	T	Nov. 1957	H	2.473	Paleozóico	Negativo
Alaonte	T	Dic. 1957	H	1.345	Paleozóico	Negativo
Huelva	T	Sep. 1965	H	1.431	Jurásico	Negativo
Villamanrique	T	Mar. 1967	H	1.341	Paleozóico	Negativo
Casa Nieves	T	Abr. 1967	H	1.630	Paleozóico	Negativo
Golfo de Cádiz D-1	M	Oct. 1968	H	4.130	Jurásico	Indicios
Sapo	T	Jul. 1968	H	971	Olistostroma	Negativo
Golfo de Cádiz D-2	M	Ene. 1974	H	2.737	Jurásico	Indicios
Marismas A-1	T	Dic. 1981	H	1.378	Jurásico	Indicios
Marismas C-1	T	Nov. 1981	H	1.136	Paleozóico	Indicios
Melo	T	Sep. 1983	H	1.114	Paleozóico	Gas
Rincón	T	Nov. 1983	H	1.207	Paleozóico	Gas
Marismas-3	T	Mar. 1985	H	1.135	Triásico	Gas
Marismas-4	T	Abr. 1985	H	1.351	Triásico	Gas
Marismas-2	T	Feb. 1986	H	1.253	Paleozóico	Gas
Marismas-5	T	May. 1986	H	1.300	Triásico	Gas
Béticas 14-1	T	Feb. 1986	H	3.500	Jurásico	Negativo
Mazagón	T	1978	S	2.700	Triásico	Sal
Saltés	T	May. 1983	S	1.351	Triásico	Sal

T : Terrestre  
M : Marítimo  
H : Hidrocarburos  
S : Sal

disponible y cuyo análisis evita cualquier descripción pormenorizada. A continuación se presentan algunos comentarios sobre los aspectos más importantes de cada uno.

#### 5.2.1.- Asperillo-1

A pesar de ser uno de los sondeos más antiguos de la zona su documentación es de las más completas e ilustrativas para el objetivo perseguido.

Terminado a una profundidad final de 3.307 metros en anhidritas con sal del Keuper, su columna litoestratigráfica resumida es la siguiente:

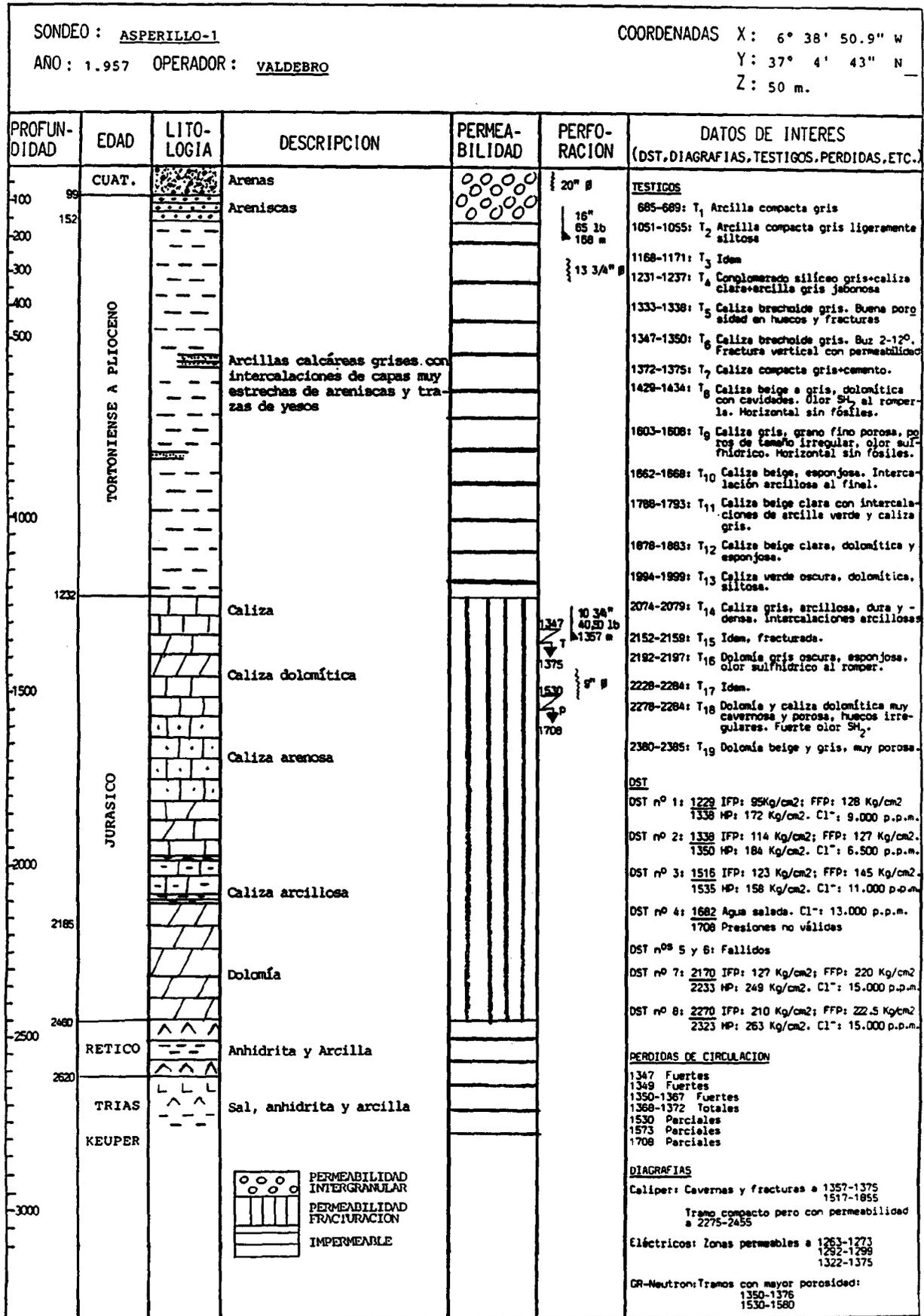
- 0-99 m. Arenas y gravas. CUATERNARIO.
- 99-152 m. Areniscas. PLIOCENO.
- 152-1232 m. Arcillas grises, calcáreas. MIOCENO.
- 1232-2460 m. Calizas dolomíticas y dolomías. JURASICO.
- 2460-2620 m. Anhidritas y arcillas. RÉTICO.
- 2620-3307 m. Sal, anhidritas y arcillas. KEUPER.

Se encuentra entubado en 10 1/2" hasta 1357 metros.

Tiene hasta 15 testigos extraídos en la formación almacén, en los que se repiten constantemente las características fundamentales de la misma: fracturación, vacuolas y porosidad. Lechos arcillosos entre 1704 y 2000 metros.

De los diferentes DST's realizados se puede deducir los siguientes puntos más importantes: la presión de formación estabilizada es aproximadamente la correspondiente al nivel del mar y el contenido en ClNa del agua de formación aumenta en profundidad de 9.000 a 15.000 p.p.m.

FIGURA 3



Durante la perforación se produjeron importantes pérdidas de circulación en los tramos más permeables: 1347-1375 y 1530-1700.

Las diagramas analizadas ponen en evidencia estos tramos permeables resaltándose la existencia de cavernas y fracturación en los tramos 1357-1375 y 1517-1855.

### 5.2.2.- Moguer

Dispone también de datos muy interesantes. Terminado a la profundidad de 2.473 metros en pizarras arcillosas del Paleozóico su columna litoestratigráfica resumida es la siguiente:

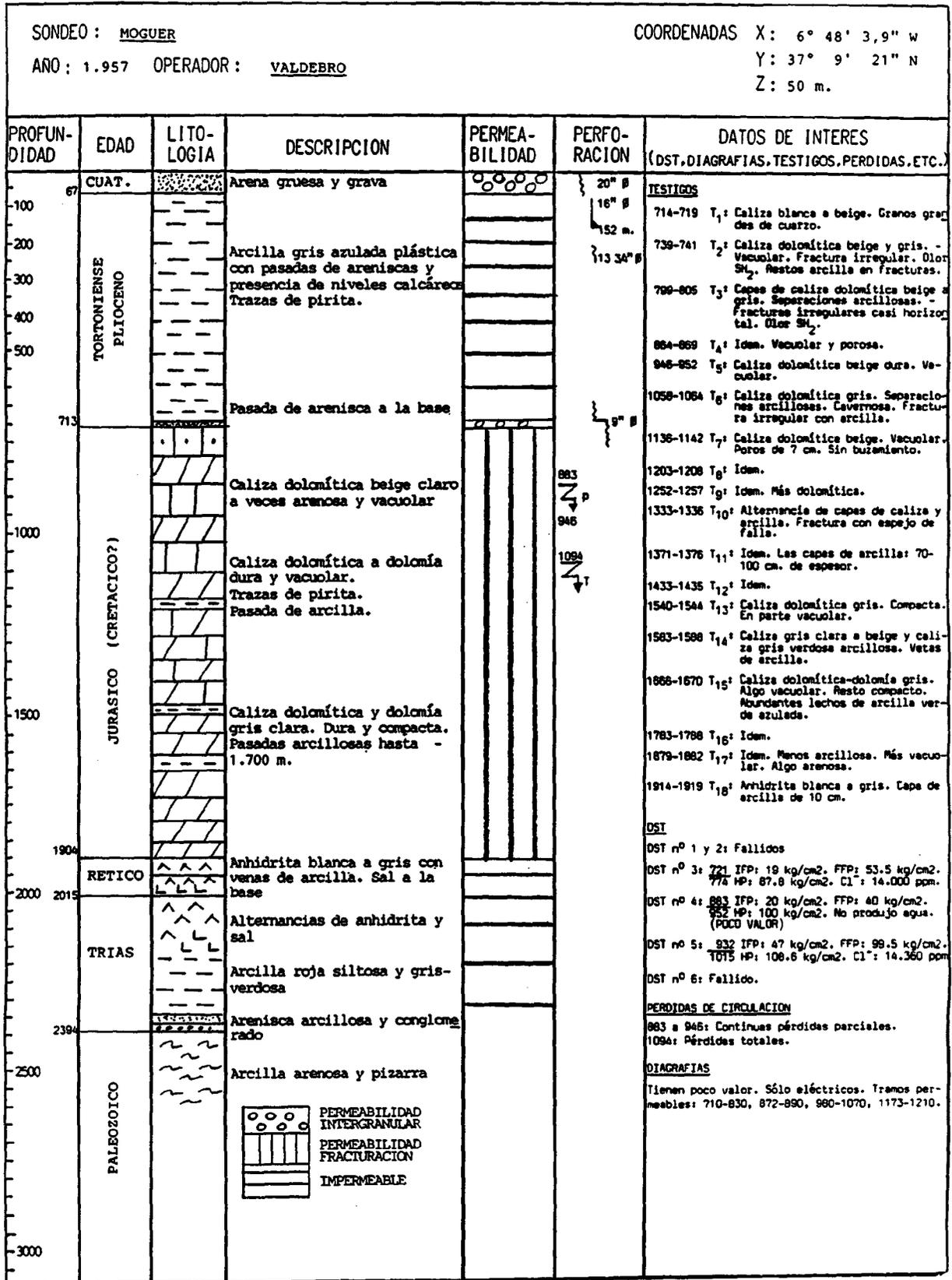
- 0-67 m. Arenas y gravas. CUATERNARIO.
- 67-713 m. Arcillas y margas azuladas. PLIOCENO-MIOCENO.
- 713-1904 m. Calizas dolomíticas y dolomías. JURASICO.
- 1904-2015 m. Anhidrita y arcilla. RETICO.
- 2015-2394 m. Anhidrita y sal. En la base areniscas. KEUPER  
y BUNT.
- 2394-2473 m. Arcillas y pizarras. PALEOZOICO.

Se encuentra entubado con 16" hasta 152 m. (Este sondeo fué recuperado posteriormente para investigación de sal, pero se desconoce el acabado final del mismo. Probablemente tenga una tubería hasta 2.000 metros).

Tiene 16 testigos de la formación almacén cuyas descripciones coinciden con los testigos del sondeo Asperillo, pudiendo correlacionar muy bien los 1200 metros del Jurásico cortados.

Los datos DST's disponibles no son tan homogéneos en cuanto a presiones ya que para 720-770 metros la presión es

FIGURA 4



la correspondiente a un nivel aproximado de -150 metros respecto del nivel del mar, mientras que para 1000 metros la presión es aproximadamente equivalente al nivel del suelo, es decir, +50 metros respecto al nivel del mar.

Las diagráfias disponibles no son muy buenas, pudiendose detectar tramos permeables a 710-830 m, 870-890 m, 980-1079 m y 1173-1210 m. Se registran pérdidas parciales de circulación entre 883 y 946 m. y pérdidas totales a 1094 metros.

### 5.2.3.- Almonte-1

Este es un sondeo con escasez de documentación pero de evidente interés para conocer el ámbito de existencia del almacén. Terminado a la profundidad de 1345 m en pizarras arcillosas del Paleozóico, tiene la siguiente columna litoestratigráfica resumida:

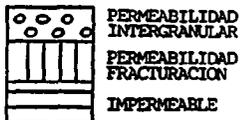
- 0-18 m. Arenisca. CUATERNARIO.
- 18-701 m. Arcillas grises con pasadas de arenisca. PLIOCENO-MIOCENO.
- 701-813 m. Calizas dolomíticas, arcillosas y arenosas. LIASICO.
- 813-850 m. Anhidritas y dolomías. RETICO.
- 850-1284 m. Arcillas, anhidritas y dolomías arcillosas. Pasadas de arenisca. KEUPER.
- 1284-1345 m. Pizarras. PALEOZOICO.

Se encuentra entubado con 16" hasta 156 m. Existen tres testigos de la formación almacén en los que se identifican las dolomías calcáreas vacuolares y fracturadas.

El único DST realizado en las dolomías no ofrece datos fidedignos, ni de presión ni de salinidad. Uno realizado a

FIGURA 5

SONDEO : <u>ALMONTE-1</u>		COORDENADAS X : 6° 28' 20" W				
AÑO : 1.957 OPERADOR : <u>VALDEBRO</u>		Y : 37° 15' 50" N				
		Z : 80 m.				
PROFUNDIDAD	EDAD	LITOLOGIA	DESCRIPCION	PERMEABILIDAD	PERFORACION	DATOS DE INTERES (DST, DIAGRAFIAS, TESTIGOS, PERDIDAS, ETC.)
18	CUAT.		Arenisca de cemento calizo.		20" Ø	<b>TESTIGOS</b> 703-708 T <sub>1</sub> : Dolomía calcárea beige a gris. Vacuolar. Granular. Fractura irregular. 777-783 T <sub>2</sub> : Dolomía calcárea. Dura y compacta. 786-791 T <sub>3</sub> : Idem. 836-844 T <sub>4</sub> : Arcilla roja y verde con anhidrita blanca. buzamiento 30°. 844-850 T <sub>5</sub> : Anhidrita blanca + Dolomía calcárea gris. 850-851 T <sub>6</sub> : Arcilla roja con algo de anhidrita. T <sub>7</sub> , T <sub>8</sub> , T <sub>9</sub> , T <sub>10</sub> : Arcillas rojas y pizarras. - Trias y paleozoico.
100	TORTONIENSE PLIOCENO		Arcilla gris azulada algo calcárea.		16" 156m. 13 3/4"	
200			Arcilla arenisosa.			
300			Arcilla arenisosa.			
400			Arcilla arenisosa.			
500			Arcilla arenisosa.			
701	LIAS		Caliza dolomítica, algo arenosa. Intercalaciones de arcilla verde.			
813	RETICO		Alternancia de caliza dolomítica con anhidritas y arcilla.			
850	TRIAS		Areniscas alternando con arcilla y algunas calizas dolomíticas.			
1000			Arcilla roja con yesos.			
1284			Pizarra.			
1345	PALEOZ.		Pizarra.			
1500						DST n° 1: 703 IFP: 32.7 kg/cm <sup>2</sup> ; FFP: 34.5 kg/cm <sup>2</sup> 791 HP: 95 kg/cm <sup>2</sup> . Sólido Aire. (POCD VALOR). DST n° 2: 847 IFP: 73.5 kg/cm <sup>2</sup> ; FFP: 76.6 kg/cm <sup>2</sup> 925 HP: 114.5 kg/cm <sup>2</sup> . Agua muy salada. No hay datos de pérdidas. No se han encontrado las diagrfias.



850-925 metros relaciona la obtención de agua muy salada y una presión de formación de -50 m. aproximadamente bajo el nivel del mar.

No se disponen de diagrfías ni se registran pérdidas de circulación sensibles durante la perforación.

#### 5.2.4.- Huelva-1

Sondeo más moderno que los anteriores, perforado en 1965 hasta una profundidad de 1435 metros en que cortaba calizas y dolomías jurásicas.

La columna litoestratigráfica cortada es resumidamente la siguiente:

- 0-45 m. Arenas y grava. CUATERNARIO.
- 45-662 m. Arcillas grises muy plasticas con intercalaciones arenosas. Arenisca en la base. MIOCENO-PLIOCENO.
- 662-1435 m. Calizas dolomíticas y dolomías. JURASICO.

Tiene una tubería de 9" hasta 643 metros.

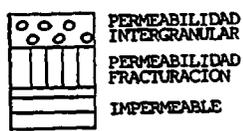
El único testigo descrito indica la existencia de las calizas dolomíticas con lechos de arcilla a 1075 m.

Sólo se dispone asimismo de un DST, realizado de 645 a 657 metros, que recuperó agua salada (17.500 p.p.m.) y registró una presión de formación (no estabilizada) de 56 kg/cm<sup>2</sup> lo que puede indicar un nivel de aproximadamente -40 metros respecto del nivel del mar.

Las diagrfías que se conservan no tienen buena calidad. Se registran tramos permeables a 675-705 m.,

FIGURA 6

SONDEO : HUELVA-1		COORDENADAS X : 6° 46' 59" W				
AÑO : 1.965 OPERADOR : INI-COPAREX		Y : 37° 10' 42" N				
		Z : 59 m.				
PROFUNDIDAD	EDAD	LITOLOGIA	DESCRIPCION	PERMEABILIDAD	PERFORACION	DATOS DE INTERES (DST, DIAGRAFIAS, TESTIGOS, PERDIDAS, ETC.)
45	CUAT.		Arenas y gravas con arcilla		17 1/2" # 13 3/8" # 108	<b>TESTIGOS</b> 1073-1079 T <sub>1</sub> : Brecha dolomítica poligénica. Caliza dolomítica gris-beige microcristalina, lechos finos de arcilla verde.  <b>DST</b> DST n° 1: 645 75 min. Agua 17.500 p.p.m. 657 FFP: 56 kg/cm2. Sin estabilizar flujo.  <b>PERDIDAS</b> Desde entrada en Mesozoico, continuas, parciales y totales. 662 23 m3/h 666 Perdida total 700 12 m3/h 710 6 m3/h 742 12 m3/h 804 10 m3/h 827 6 m3/h 870-1000 Continua 1 m3/h 1172 5 m3/h 1254 5 m3/h 1360 5 m3/h  Para colmatar continuos tapones de cemento, bentonita, etc. 45 Tn Bentonita. 18 Tn Colmanta. 24 Tn Cemento. 22.000 litros gasóleo.  <b>DIAGRAFIAS</b> Tienen poco valor. Sólo electricos. Tramos permeables por porosidad primaria: 675-705; 730-795; 810-825; 970-990; 1140-1175; 1350-1385. Salinidad calculada de fluido de formación: 775: 17.000 ppm ClNa. 1000: 15.000 ppm ClNa. 1150: 17.000 ppm ClNa. 1355: 17.000 ppm ClNa.
100-500	TORTONIENSE PLIOCENO		Arcilla calcárea gris plastica  Arcilla finamente arenosa, calcarea y gris.		12 1/4" #  9 5/8" # 643	
662			Arenisca fina arcillosa. Caliza arenosa.		8 1/2" #	
700-1000	JURASICO		Dolomías beige, gris. Vacuolares y muy fisurada.  Caliza dolomítica y arcillosa. Techos de arcilla verde. 1100-1150 zona de falla.  Alternancia de caliza dolomítica microcristalina y caliza arcillosa. Intercalaciones arcillosa gris verde. (Repetida la serie superior)		700 700 940 1150 1250 1360	
1435			1360. Cavidades y zona muy fracturada			
2000-3000						



730-795 m., 810-825 m., 970-990 m., 1140-1175 m. y 1350-1385 m. La salinidad del fluido de formación se estima del orden de 17.000 p.p.m. de ClNa.

Los datos más interesantes de este sondeo son los provenientes de los partes de perforación. Inmediatamente después de entrar en el Mesozóico registra pérdidas de fluido de perforación que son totales a 686 metros.

Con la intención de taponarlo se llega a introducir en el sondeo 45 Tn de bentonita, 18 Tn de colmatante, 24 Tn de cemento y 22 m<sup>3</sup> de gasóleo. A pesar de todo las pérdidas continúan hasta el final del sondeo.

#### 5.2.5.- Mazagón

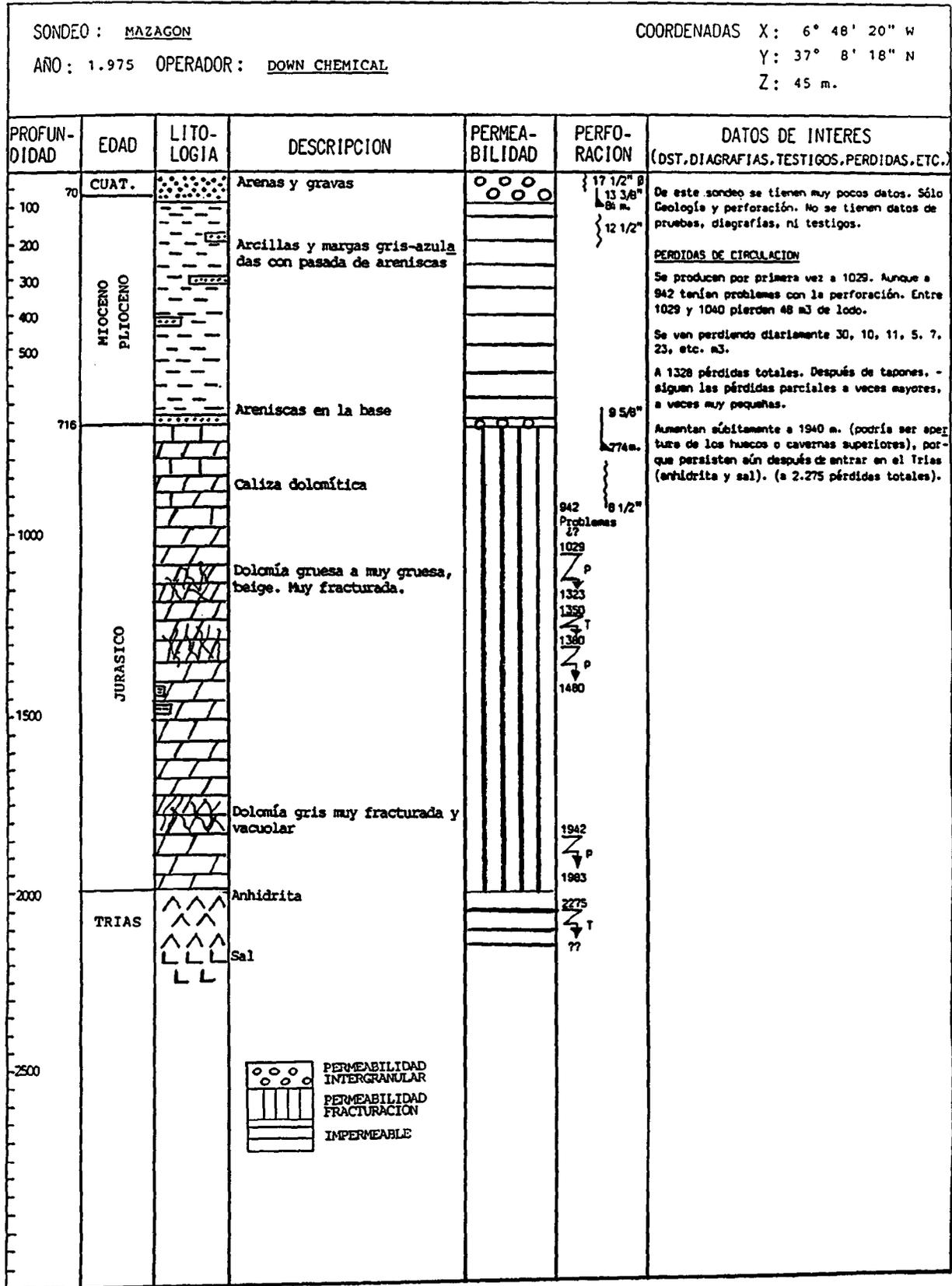
Sondeo perforado en 1975 para investigación de sal se dió por finalizado a 2.300 metros en las masas salinas del KEUPER. Su columna litoestratigráfica resumida es la siguiente:

- 0-70 m. Arenas y gravas. CUATERNARIO.
- 70-716 m. Arcillas y margas gris azuladas. MIOCENO-PLIOCENO.
- 716-2000 m. Calizas dolomíticas y dolomías vacuolares y fracturadas. JURASICO.
- 2000-2300 m. Anhidritas y sal. KEUPER.

Está entubado hasta 774 m. con tubería de 9". No se disponen de datos de testigos, DST o digrafías.

Su mayor interés es el registro de perforación, ya que permite evaluar una muy elevada permeabilidad en las calizas y dolomías jurásicas a partir de los datos de pérdidas de circulación.

FIGURA 7



Comienzan las pérdidas de circulación a 1029, siendo continuas en mayor o menor cantidad hasta 1350 (20-40 m<sup>3</sup>/día de lodo). En 1350 se hacen totales, debiéndose inyectar cemento y colmatantes para recuperar circulación (sólo parcialmente). A 1942 aumentan súbitamente, persistiendo hasta el final. A 2275 perforando ya en Trias la pérdida de circulación es total, debido sin duda a no haber taponado las cavernas superiores.

#### 5.2.6.- Saltés

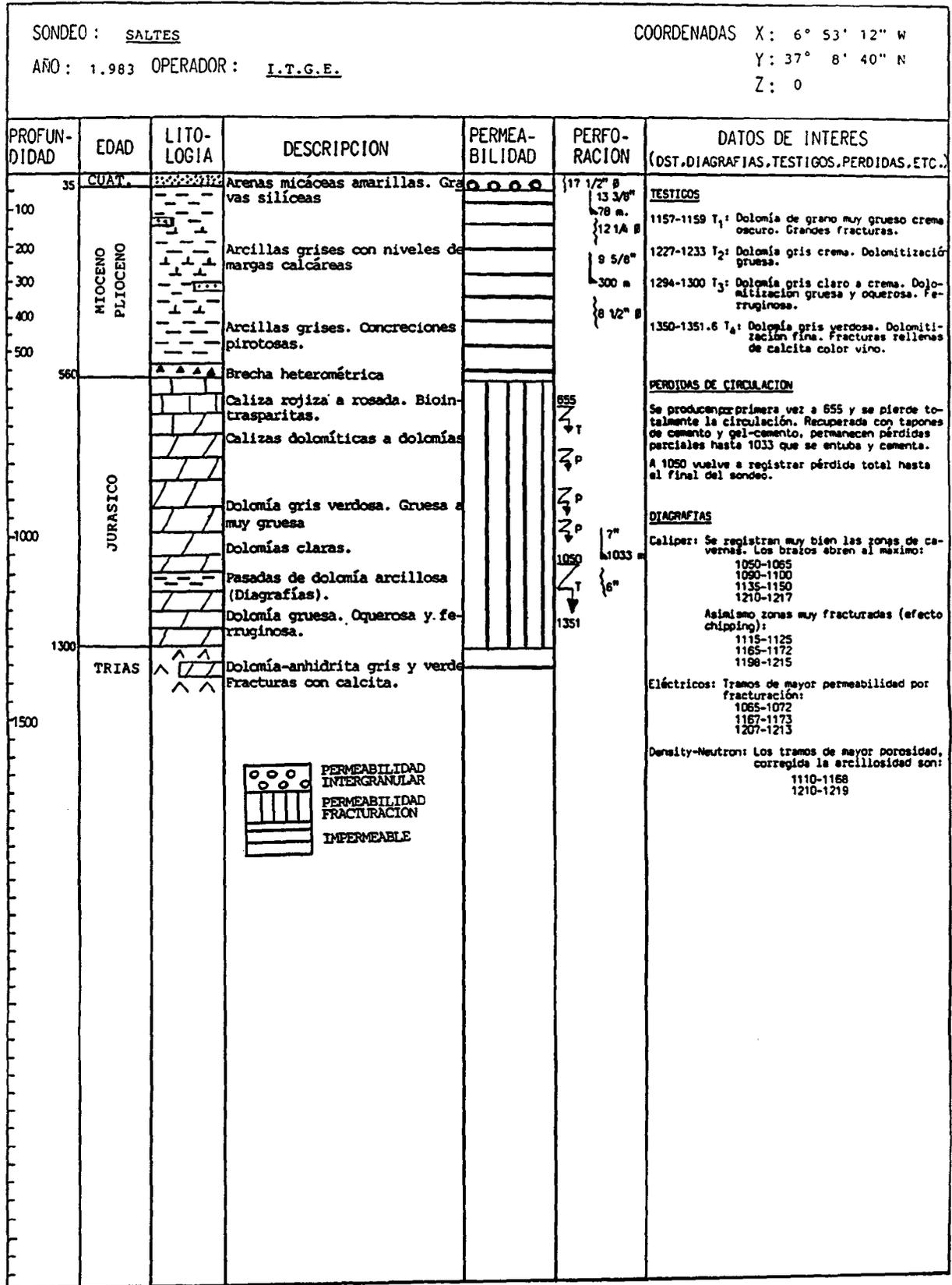
Sondeo perforado en 1983 por el ITGE para estudiar las masas salinas triásicas, sus datos son de extraordinario valor para el estudio del almacén JURÁSICO. El único defecto de documentación es la falta de un ensayo que diese valores fidedignos de presión y salinidad. Resumidamente la columna cortada es la siguiente:

- 0-35 m. Arenas micaceas. CUATERNARIO.
- 35-560 m. Arcillas grises y margas calcáreas. En la base brecha heterométrica. MIOCENO-PLIOCENO.
- 560-1300 m. Caliza dolomítica y dolomía cavernosa y fracturada. JURÁSICO.
- 1300-1350 m. Anhidritas y dolomías con sal. TRIÁSICO.

Los testigos cortados para seguir el sondeo, por la pérdida total de circulación revelan la extraordinaria fracturación y permeabilidad de las dolomías.

De las diagrfías hay que resaltar los registros de Caliper que indican cavernas y fracturación en los tramos 1050-1065, 1090-1100, 1115-1125, 1135-1150, 1165-1172, 1198-1217. Las diagrfías eléctricas indican las mejores permeabilidades en los tramos 1065-1075, 1167-1172 y 1207-1213. Los registros de porosidad (Density y Neutrón)

FIGURA 8



registran como tramos de mayor porosidad 1110-1168 y 1210-1219.

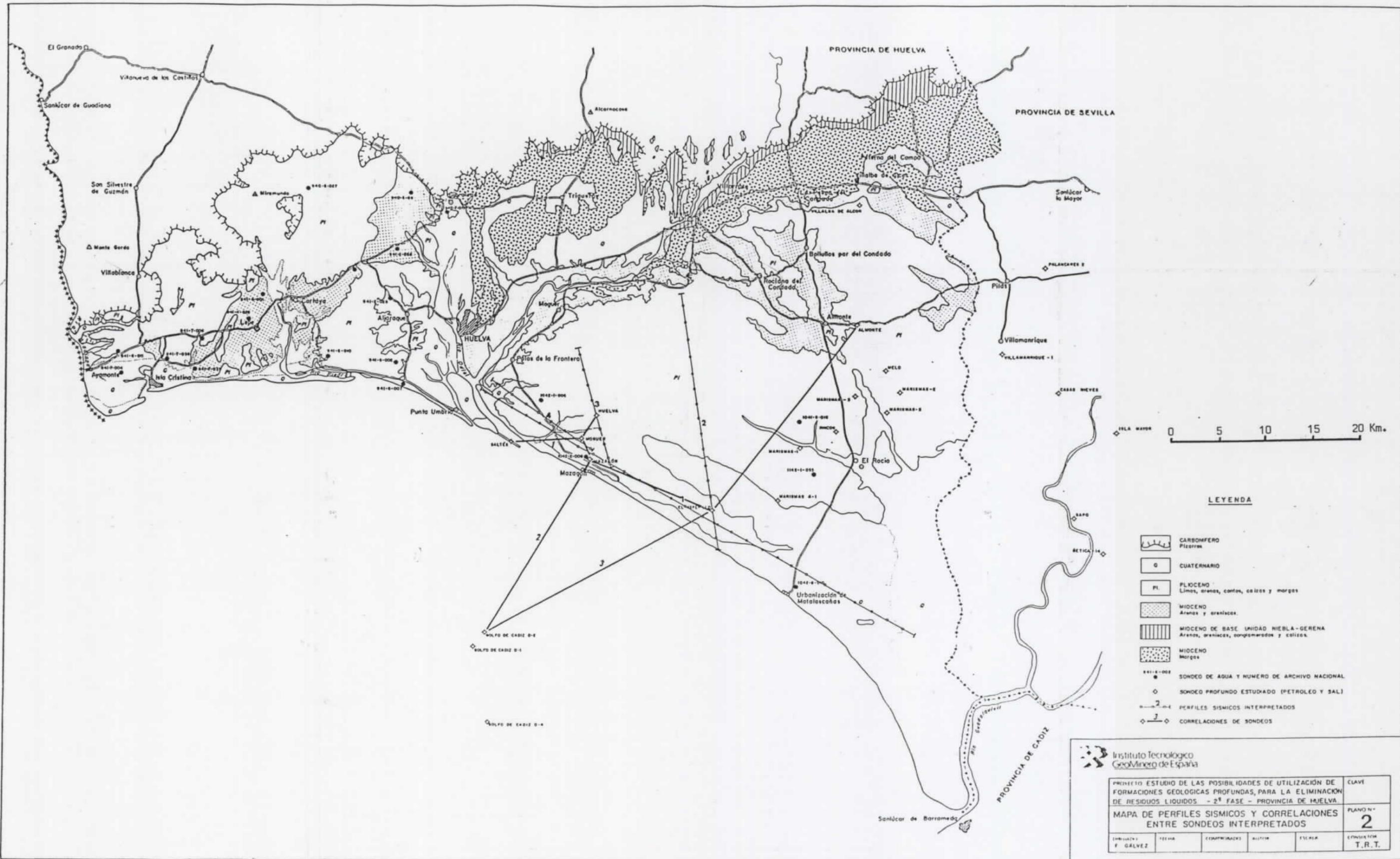
### 5.3.- PROSPECCIÓN SÍSMICA

Gran parte de la prospección sísmica realizada en la zona no ha podido ser consultada debido a que los permisos de hidrocarburos se encuentran en plena vigencia. No obstante algunas líneas antiguas y sobre todo los mapas de interpretación han podido ser estudiados con lo que se han elaborado algunos perfiles interpretativos así como mapas de isobatas e isopacas.

En el Plano 2 se han situado las cuatro líneas sísmicas interpretadas. La interpretación de estas líneas se presentan en las Figuras 9, 10, 11 y 12 respectivamente. En estas interpretaciones se han tenido en cuenta los datos disponibles de los sondeos profundos, y se han trazado en base a estudios de las compañías petroleras. No se ha dispuesto de los documentos de base (perfiles o líneas sísmicas).

El perfil sísmico nº 1, es posiblemente el más completo e interesante para los objetivos del estudio ya que va sensiblemente paralelo a la costa desde la ría del Odiel hasta la urbanización de Matalascañas. En él se refleja el progresivo hundimiento del Mesozóico bajo el Terciario de NW a SE, por efecto de una serie de fallas normales de dirección aproximada NE-SW.

El perfil sísmico nº 2 de dirección aproximada N-S refleja el progresivo levantamiento que hacia el Norte tiene lugar en el basamento paleozóico y por lo tanto también en su cobertera mesozóica, recogiendo los límites de los



**LEYENDA**

- CARBONIFERO  
Pizarra
- CUATERNARIO
- PLIOCENO  
Limos, arenas, conchas, calizas y margas
- MIOCENO  
Arenas y areniscas
- MIOCENO DE BASE UNIDAD NIEBLA-GERENA  
Arenas, areniscas, conglomerados y calizas
- MIOCENO  
Margas
- SONDEO DE AGUA Y NUMERO DE ARCHIVO NACIONAL
- SONDEO PROFUNDO ESTUDIADO (PETROLEO Y SAL)
- PERFILES SISMICOS INTERPRETADOS
- CORRELACIONES DE SONDEOS

Instituto Tecnológico  
Geológico de España

PROYECTO ESTUDIO DE LAS POSIBILIDADES DE UTILIZACION DE FORMACIONES GEOLOGICAS PROFUNDAS, PARA LA ELIMINACION DE RESIDUOS LIQUIDOS - 2ª FASE - PROVINCIA DE HUELVA					CLAVE
MAPA DE PERFILES SISMICOS Y CORRELACIONES ENTRE SONDEOS INTERPRETADOS					PLANO N° <b>2</b>
ELABORADO F. GÁLVEZ	FECHA	COMPROBADO	AUTORIZADO	ESCALA	PROYECTISTA T. R. T.

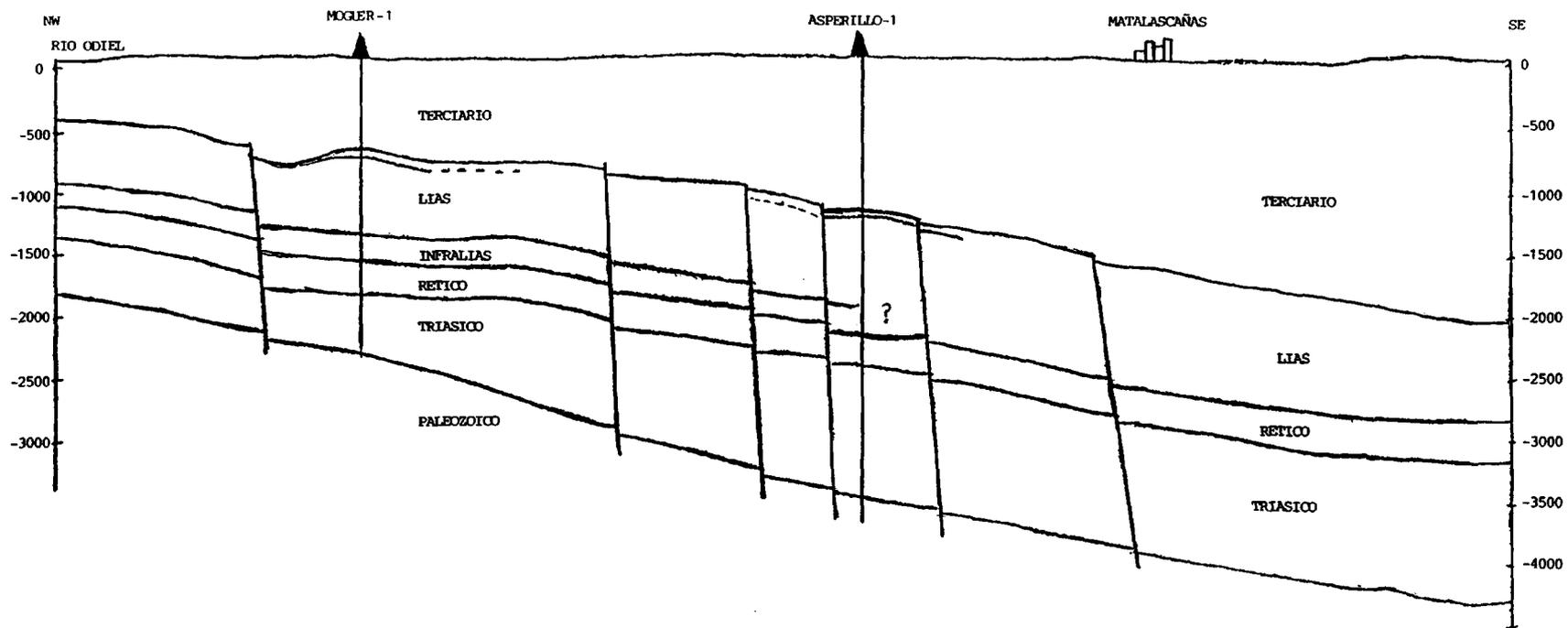


FIGURA 9  
 INTERPRETACION PERFIL SISMICO Nº 1

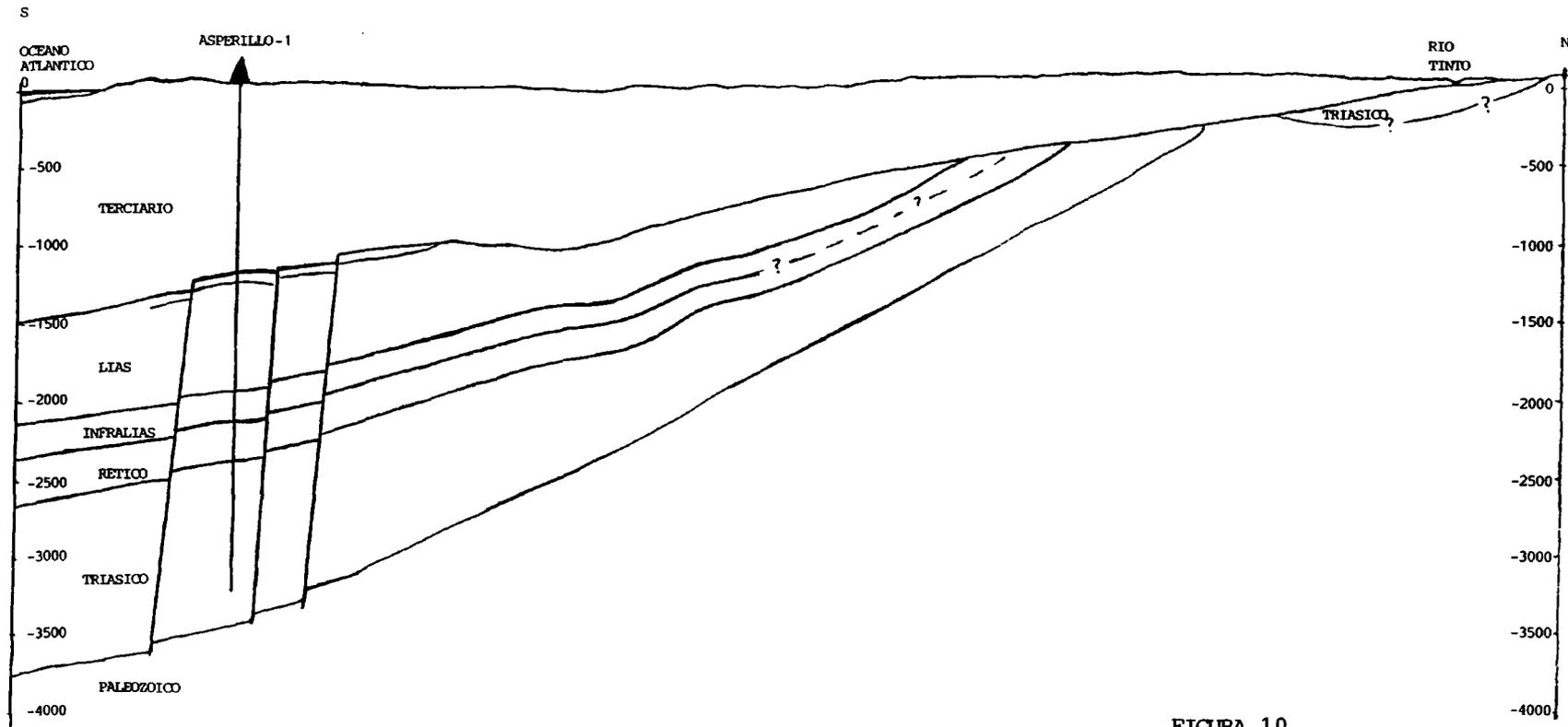


FIGURA 10  
 INTERPRETACION PERFIL SISMICO Nº 2

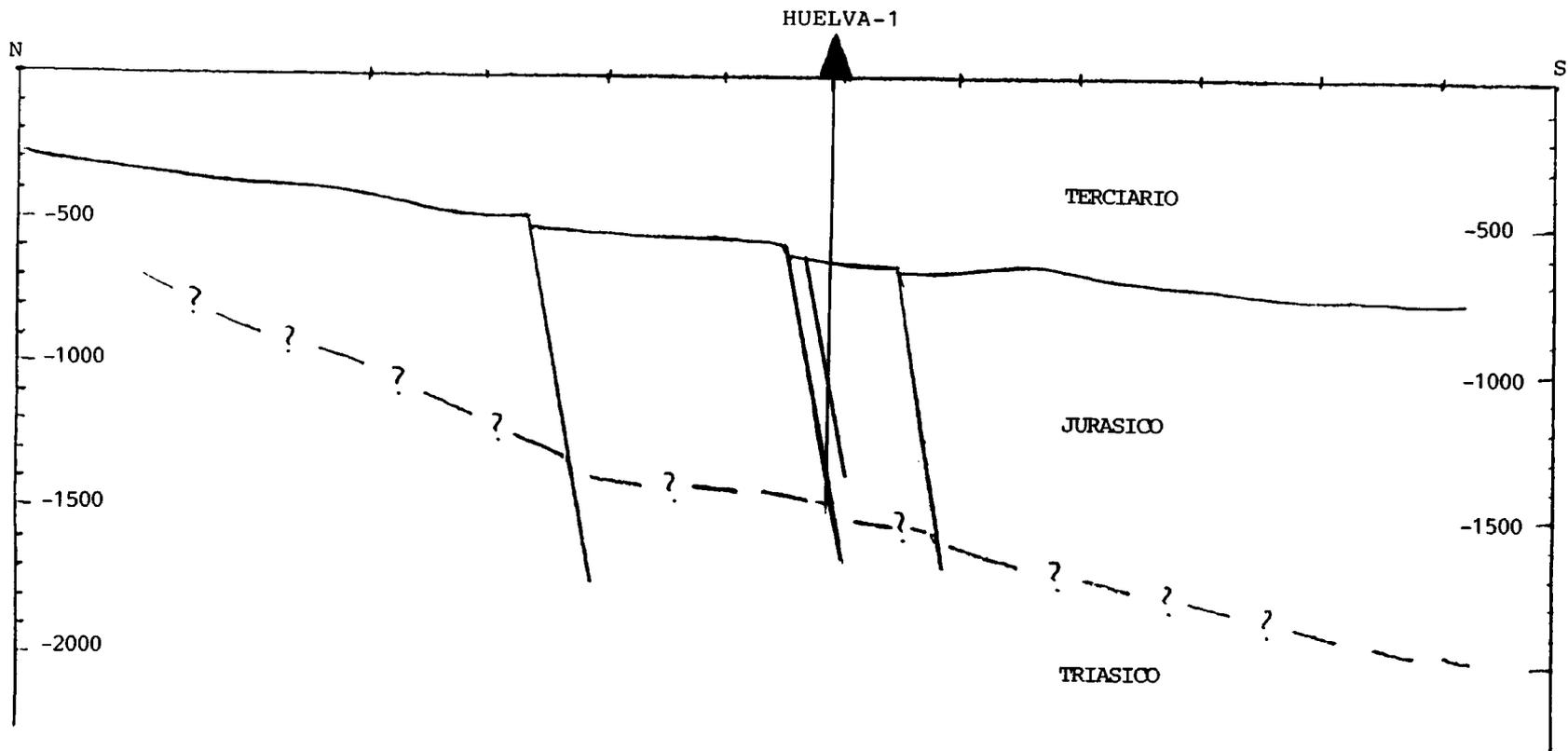


FIGURA 11  
INTERPRETACION PERFIL SISMICO Nº 3

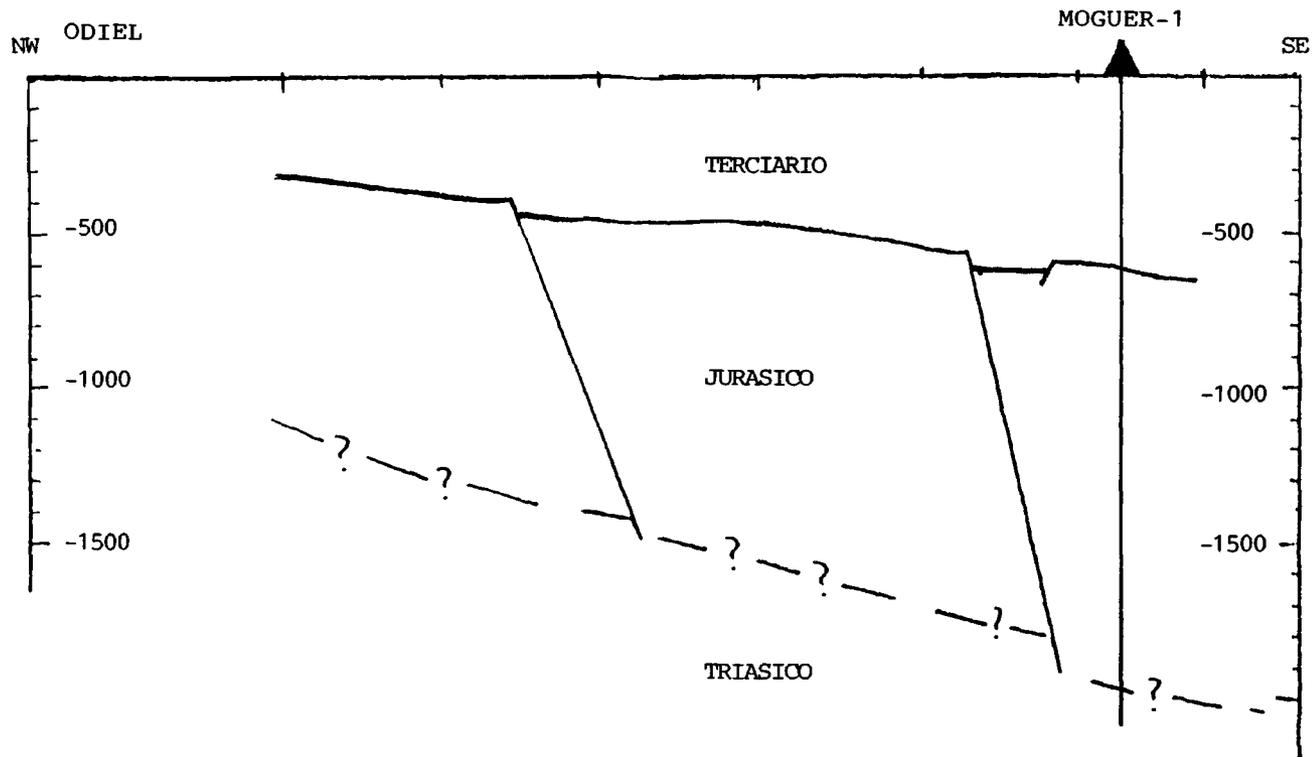


FIGURA 12  
INTERPRETACION PERFIL SISMICO Nº 4

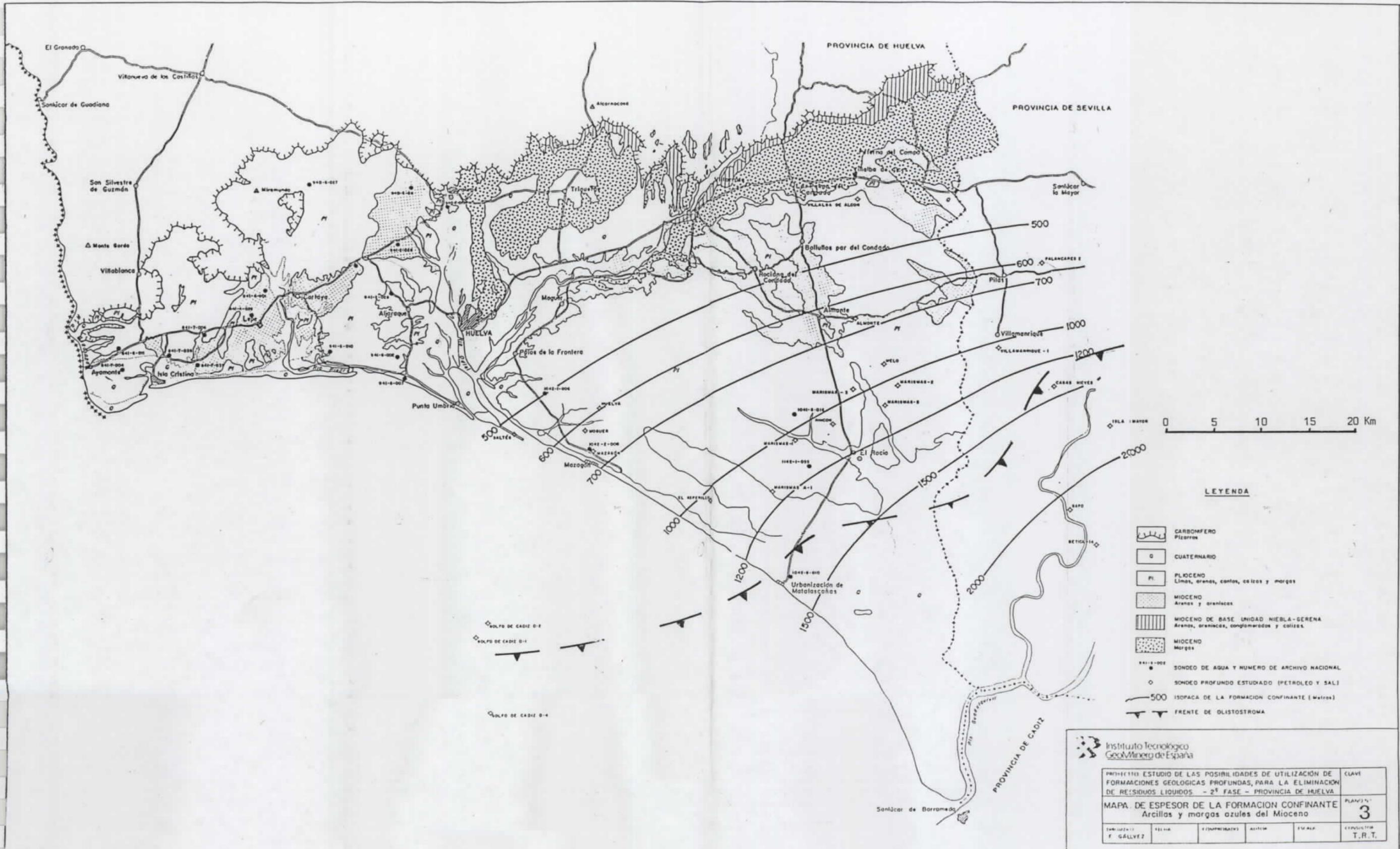
subafloramientos de los distintos niveles jurásicos y triásicos bajo el relleno neógeno.

Los perfiles nº 3 y 4 son más locales, refiriéndose a la zona más próxima a Huelva. Seguramente por problemas de procesado de datos, sólo recogen con seguridad la base del Terciario, no reflejándose ninguno de los niveles intrajurásicos o triásicos. En ambos se confirman las tendencias regionales de los perfiles 1 y 2. A pesar de los defectos anteriormente citados, en los perfiles 3 y 4, la exactitud de la profundidad del techo del Jurásico es mayor (el calado con los sondeos Huelva y Moguer a este nivel es muy bueno).

En base a los datos recogidos en estos perfiles así como a la documentación consultada en los archivos de hidrocarburos se han elaborado los Planos 3 y 4. El primero de ellos refleja el espesor de la formación confinante, es decir, las arcillas y margas azules tortonienses. En él se aprecia el rápido aumento de potencia que tiene lugar a partir de los afloramientos del Mioceno de base (muro de la formación confinante) que existen en el borde paleozóico de la depresión del Guadalquivir.

El Plano nº 4 refleja la profundidad a la que se encuentra el contacto entre la base del Terciario y el techo del Jurásico, por lo tanto este mapa refleja la profundidad a la que se entraría en la formación almacén. Las líneas isobatas (de igual profundidad) se han trazado únicamente en aquellas zonas en que es segura la existencia de almacén jurásico bajo el relleno neógeno.

De acuerdo con los datos analizados de los sondeos profundos, el espesor de la formación almacén es muy variable, especialmente la zona de las calizas y dolomías que por su mayor karstificación y fracturación pueden ser

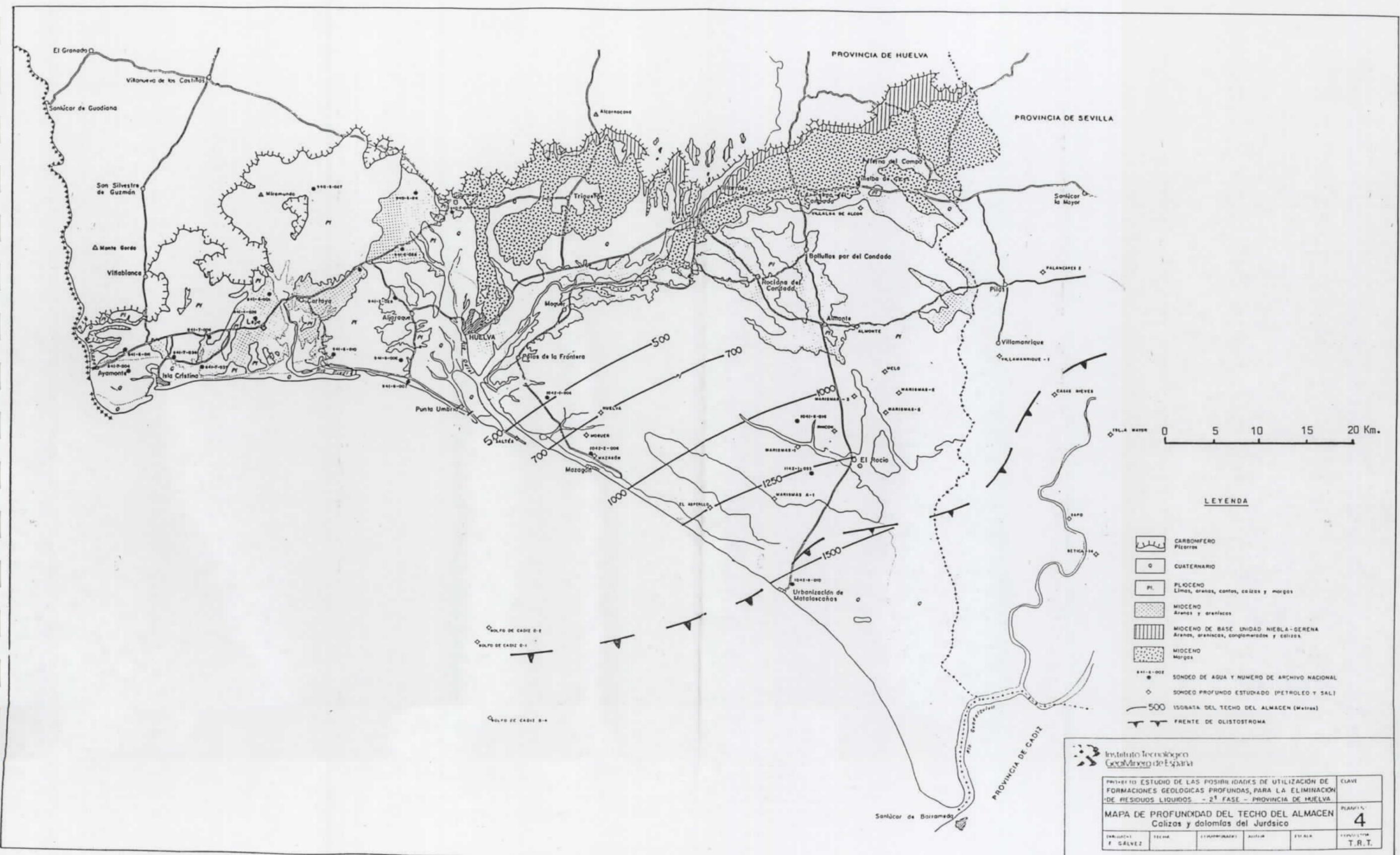


**LEYENDA**

- CARBONIFERO  
Pizarras
- CUATERNARIO
- PLEOCENO  
Limas, arenas, conchas, coque y margas
- MIOCENO  
Arenas y areniscas
- MIOCENO DE BASE UNIDAD NIEBLA-GERENA  
Arenas, areniscas, conglomerados y coque
- MIOCENO  
Margas
- SONDEO DE AGUA Y NUMERO DE ARCHIVO NACIONAL
- SONDEO PROFUNDO ESTUDIADO (PETROLEO Y SAL)
- ISOPACA DE LA FORMACION CONFINANTE (metros)
- FRENTE DE OLISTOSTROMA

Instituto Tecnológico  
Geol.Miner. de España

PROYECTO: ESTUDIO DE LAS POSIBILIDADES DE UTILIZACION DE FORMACIONES GEOLOGICAS PROFUNDAS, PARA LA ELIMINACION DE RESIDUOS LIQUIDOS - 2ª FASE - PROVINCIA DE HUELVA				CLAVE
MAPA DE ESPESOR DE LA FORMACION CONFINANTE Arcillas y margas azules del Mioceno				PLANO N.º 3
ELABORADO POR	FECHA	ESCALA	PROYECTO	REVISADO POR
F. GALLVÉ				T. R. T.



**LEYENDA**

- CARBONIFERO  
Pizarros
- CUATERNARIO
- PLIOCENO  
Limas, arenas, cantos, calizas y margas
- MIOCENO  
Arenas y areniscos
- MIOCENO DE BASE UNIDAD NIEBLA-GERENA  
Arenas, areniscos, conglomerados y calizas
- MIOCENO  
Margas
- SONDEO DE AGUA Y NUMERO DE ARCHIVO NACIONAL
- SONDEO PROFUNDO ESTUDIADO (PETROLEO Y SAL)
- 500 ISOBATA DEL TECHO DEL ALMACEN (Márgas)
- FRENTE DE OLISTOSTROMA

Instituto Tecnológico  
Geológico de España

PROYECTO DE ESTUDIO DE LAS POSIBILIDADES DE UTILIZACIÓN DE FORMACIONES GEOLOGICAS PROFUNDAS, PARA LA ELIMINACION DE RESIDUOS LIQUIDOS - 2ª FASE - PROVINCIA DE HUELVA

MAPA DE PROFUNDIDAD DEL TECHO DEL ALMACEN Calizas y dolomías del Jurásico

ELABORADO:	FECHA:	COORDINADOR:	REVISOR:	EST. GEO.:	CLAVE:
F. SÁLVIZ					PLANCHA 4
					T.R.T.

consideradas como óptimas para la inyección. No obstante, según las conclusiones del apartado anterior, la zona más permeable, situada por encima de los episodios o intercalaciones de lechos arcillosos, tiene un espesor del orden de 300-500 metros. Por ello los sondeos de inyección deberían alcanzar o perforarse al menos estos 500 metros por debajo de la isobata del techo del almacén.

#### 5.4.- CORRELACIÓN ENTRE SONDEOS

Siguiendo una técnica habitual en el estudio de formaciones geológicas profundas, se han elaborado tres correlaciones utilizando las columnas sintetizadas de los sondeos. Esta correlación se presentan en las Figuras 13, 14 y 15. Este tipo de correlación es útil para controlar la constancia en el espesor y características hidrogeológicas de las formaciones almacén y confinante. Permiten en su estudio, conjuntamente con los perfiles sísmicos, conocer en detalle la distribución de las formaciones profundas.

En las tres figuras citadas se puede apreciar, sobre todo, la constancia del paquete carbonatado Jurásico en sus características a lo largo de la costa de Huelva, su hundimiento hacia el SE y la persistencia de la zona de pérdidas de circulación en todo el ámbito de existencia de la formación. Esta zona de pérdidas es sobre todo constante y muy significativa en los primeros 500 metros de calizas dolomíticas y dolomías gruesas a muy gruesas, cavernosas y fracturadas.

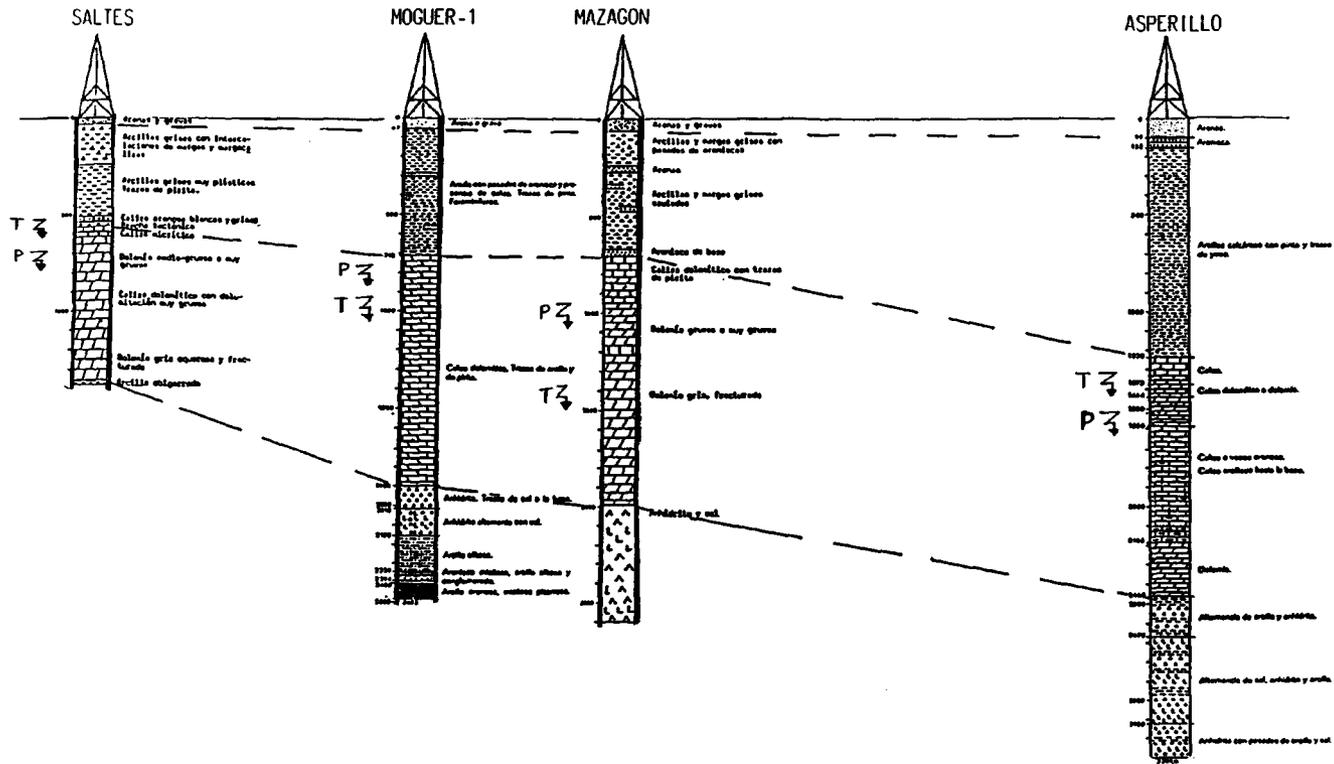


FIGURA 13  
CORRELACION ENTRE SONDEOS Nº 1





**6.- CARACTERIZACION DE LOS RESIDUOS**

---

### 6.1.- INTRODUCCIÓN

Uno de los factores clave para la ejecución de operaciones de inyección es la compatibilidad residuo-almacén. Obviamente el conocimiento de la composición del residuo resulta imprescindible para evaluar dicha compatibilidad. Sin perjuicio de los estudios de detalle que habrían de llevarse a cabo en caso de plantearse operaciones concretas, el objetivo del presente capítulo es ofrecer una visión general de la tipología de los residuos producidos por la industria de Huelva, con el fin de lograr una primera aproximación a las posibilidades de inyección de los mismos desde el punto de vista de su compatibilidad con el posible almacén.

La fuente de información utilizada para la caracterización de los vertidos industriales es fundamentalmente el informe "Estudio Técnico-Económico de la Gestión de los Residuos Industriales en Huelva", elaborado por la empresa SERELAND, S.A. en el año 1985. Es importante resaltar que con posterioridad a la ejecución de este informe, se puso en marcha el denominado "Plan de Corrección de los Vertidos Industriales Contaminantes en el Litoral de Huelva", que ha modificado sensiblemente la situación respecto a la reflejada en aquél.

Resulta pues obvio el interés de conocer la situación actual de los vertidos (volumen, composición, etc.) tras la puesta en marcha de dicho Plan, así como el grado de

ejecución del mismo hasta la fecha. Las gestiones llevadas a cabo a tal efecto ante la Administración no han ofrecido resultados positivos, por lo que los datos disponibles se limitan básicamente a documentos publicados por la Agencia del Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, que por su carácter divulgativo carecen de la exhaustividad técnica que se precisa para los objetivos del presente informe. En consecuencia, los resultados que aquí se recogen relativos a la evaluación de compatibilidad residuo-almacén, se refieren a datos de composición y caudal previos a la aplicación del Plan. No obstante aunque insuficientemente precisa, la información disponible permite valorar de forma aproximada las presuntas variaciones que tal aplicación ha introducido o en su caso introducirá en las características de los efluentes.

#### 6.2.- POLO DE DESARROLLO DE HUELVA. MARCO GENERAL.

En la década de los 60, dentro de la política de fomento de inversiones en determinadas zonas del País, se elige Huelva como lugar de instalación de un polo de desarrollo con las consiguientes ayudas oficiales a las empresas que deciden instalarse en el mismo.

La elección de Huelva se hace en base a tres factores:

- Actividad minera existente y posibilidad de transformación in situ de los productos.
- Economía de transporte de estas materias primas a los lugares de transformación.
- Posibilidad de transporte marítimo.

Alrededor de este modelo se ha ido desarrollando un

amplio conjunto de instalaciones, distribuidas en los polígonos de la Punta del Sebo, Nuevo Puerto, Tartessos y San Diego, los cuáles constituyen la principal concentración industrial de Andalucía. En conjunto son más de cuarenta plantas de producción, basada fundamentalmente en la actividad química y con una participación relevante en la economía andaluza. A continuación se ofrece una relación de los establecimientos industriales que integran cada uno de los citados polígonos, en la que se han señalado con un asterisco los que a priori pueden presentar mayor potencial contaminante.

- A. Polígono industrial TARTESOS. Se encuentra situado en las proximidades de San Juan del Puerto, aproximadamente en el Km. 630 de la carretera Madrid-Huelva:

<u>INDUSTRIA</u>	<u>ACTIVIDAD</u>
* Empresa Nacional de Celulosa	Pasta de Papel
* Sociedad Española de Carburos Metálicos	Oxígeno y acetileno
San Juan del Condado	Tableros y aglomerados
Maderas del Sur	Parquets
Cerámica Onubense	Cerámica
S.A. Onubense de Cartonajes	Cartón
Montajes Andalucía, S.A.	
HOLASA	

- B. Polígono Industrial SAN DIEGO. Situado en la misma carretera que el anterior pero más próximo a Huelva (Km. 637). Comprende las siguientes industrias:

<u>INDUSTRIA</u>	<u>ACTIVIDAD</u>
TAMSA	Tableros aglomerados
Firestone	Neumáticos

(cont.)

<u>INDUSTRIA</u>	<u>ACTIVIDAD</u>
Michelín	
Pavipresa	Terrazos
CONTINENTE	Hipermercado
Fábrica de Azufre	Azufre
Estrella del Sur	Cervezas
Transportes Cotemar	Transportes
Diansa	
Comercial Arroyo (PEGASO)	
Huelva Motor, S.A. (SEAT)	Concesionarios y
Jace Vidosa, S.A. (AVIA)	Talleres de servicios
Comercial Arroyo (RENAULT)	
Hucar, S.A. (CITROEN-PEUGOT)	
Mosa (TALBOT)	
Cervezas Cruzcampo	Cervezas
La Gaseosa	Refrescos
Argón	Gases soldadura
Fábrica Abrasivos, R.T.M.	
Talleres Varaderos, S.A.	
Expofrisa.	

C. Polígono Industrial PUNTA DEL SEBO. Ubicado a lo largo de la Ría del Odiel y constituido por las siguientes instalaciones:

<u>INDUSTRIA</u>	<u>ACTIVIDAD</u>
* Foret, S.A. (fosfórico)	Químicas
* Río Ródano, S.A.	"
* Fosfórico Español, S.A.	"
* Río Tinto Minera, S.A.	Metalurgia de Cobre
* Explosivos Río Tinto-Abonos	Químicas
* Cía. Sevillana de Electricidad (central térmica)	Producción de energía eléctrica
Artic, S.A.	Frigoríficos

(Cont.)

<u>INDUSTRIA</u>	<u>ACTIVIDAD</u>
Campsa	Combustibles
Arcos distribuidor	
Dominguez Hermanos	
Suministros Bilbainos	Hierros
Hermanos Noguera	
Coca Cola	
Construcciones Metálicas Colón, SA	Calderería

- D. Polígono Industrial NUEVO PUERTO. Situado a lo largo de la Ría del Odiel (aguas abajo de la desembocadura del Tinto), en el municipio de Palos de la Frontera, e integrado por las siguientes industrias:

<u>INDUSTRIA</u>	<u>ACTIVIDAD</u>
* Energía e Industrias Aragonesas	Química
* Lubrizol española	"
* E.R.T. División Petróleos	Refinería Petróleo
* Ertisa	Química
* Tioxide, S.A.	Oxido de Titanio
* E.R.T. Amoniaco-Urea	Química
* Foret, S.A. (sulfhídrico)	"
Pipensa	Piensos
Campsa	Combustibles
Prebetong	Hormigones
Talleres La Rábida	Metálica
Butano	Combustible
Aridos y Transporte La Rábida	Tratamiento de áridos
Bidones La Rábida	Envases metálicos
Asland-Readymix	Hormigón
Hormigones González	"
Hormigones Huelva	"
Tubos Onuba	Tuberías
Jucosa	Resinas

(Cont.)

<u>INDUSTRIA</u>	<u>ACTIVIDAD</u>
Formón Adhesivos	Adhesivos
Monacril	Metacrilato de metilo
Transportes Martin	Trasporte Público
INCOMET	
AUXIOBRA	

Los siguientes datos, así como los recogidos en la tabla 2, ponen de relieve la magnitud e importancia del sector industrial de la provincia de Huelva.

INDICADORES SOCIOECONÓMICOS DE LOS  
POLÍGONOS INDUSTRIALES ONUBENSES

• CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA (Mw-hora/año).....	1.729.371 (33% del total del consumo industrial de Andalucía).
• CAPACIDAD (Tm/año)	
<u>MATERIA PRIMA</u>	
Pirita.....	1.410.000
Concentrado de cobre.....	550.000
Roca Fosfórica.....	1.875.000
Petróleo crudo.....	4.000.000
Madera.....	830.000
<u>PRODUCTOS</u>	
Acido sulfúrico.....	2.484.000
Acido fosfórico.....	618.000
Pasta de papel.....	263.000
• VALOR DE PRODUCTOS (Millones Ptas).....	225.512
• NUMERO DE EMPLEADOS	
Propios.....	4.976
Contratas.....	792

Fuente: Asociación de Industrias Químicas de Huelva.

TABLA 2.- CIFRAS RELATIVAS A LAS EMPRESAS DE LA ASOCIACION DE INDUSTRIAS QUIMICAS Y BASICAS DE HUELVA

FABRICA	EMPRESA	ACCIONISTAS MAS IMPORTANTES	INVERSION M.N.		PROCESOS Y PUESTA EN MARCHA		CAPACIDADES x 1000 T/año				ENERGIA ELECTRICA Mw-h/a		VALOR DE PRODUCTOS MM. \$/año	Nº EMPLEADOS		DISTRIBUCION DE VENTAS (%)			APLICACIONES GENERALES DE LOS PRODUCTOS
			Total	M.A.	Denominación	Año	Materias Primas	Cant.	Productos	Cantidad	Consumo	Producción		Propios	Contrata	Nac.	Exp.	Países	
FESA HUELVA ARONOS	Fertilizantes Españoles, S.A.	ERCROS	11.650	1.200	Acido Sulfúrico Acido Fosfórico Amoniaco-Urea Abonos Complejos NPK Fosfatos mono y diamónico	1965 1966 1966 1966 1969	Pirita Roca Fosfórica Urea	160 225 60	Acido Sulfúrico Acido Fosfórico Urea Fosf. monoamónico Abonos complejos	200 48 70 120 270	64.000	—	10.200	460	100	50	50	Venezuela, Colombia, Ghana, Camerún, China, Gran Bretaña, Turquía, Irlanda, Tailandia, Arabes, Vietnam, otros	Fertilizantes para agricultura.
FESA AMONIACO-UREA	Fertilizantes Españoles, S.A.	ERCROS	16.000	100	Urea Amoniaco	1975 1976	Amoniaco Mella L.P.G.	110,4 176,1 49,7	Urea Amoniaco	180 270	60.000	—	9.260	198	15	100	—	Fertilizantes para agricultura, materia prima para abonos	
ARAGONESAS	Energía e Industrias Aragonesas S.A.	100% privado (accionariado diverso)	22.775	1.500	Cloro-sosa Cloroetano Cianuro sódico Sulfato amónico Salinas	1973 1974 1978 1977 1977	Cianuro sódico Metanol Gas de refino Amoniaco	150 9,7 2,4 18	Sal Cloro-sosa Cloroetano Cianuro sódico Sulfato amónico	170 170 21,5 6 42	360.000	—	4.500	320	21	85	15	Israel, U.S.A., Portugal, Sudáfrica, Chipre, Corea, China, Marruecos, India, Irlanda, Australia, Japón	Blanqueo, desinfección, industria minera, disolventes, síntesis farmacéutica
ASLAND	Asland, S.A.	100% privado (accionariado diverso)	15.000	840	Primera línea Segunda línea	1967 1970	Caliza-arcilla-escoria Caliza	Cementos Cal	400 130	78.400	—	3.026	173	—	100	—	—	Construcción, obras públicas, medio ambiente, minería	
CELULOSAS	Empresa Nacional de Celulosas, S.A.	I.N.I.	40.000	2.000	Primera línea Aplicación 1ª línea Segunda línea Pasta a granel Aplicación 2ª línea	1964 1967 1972 1979 1986	Madera Cloro Clorato Sosa Acido Sulfúrico	830 11 4,5 11 6	Pasta a granel	263	161.231	140.620	18.200	499	130	15	85	Gran Bretaña, U.S.A., Suiza, Francia, Alemania, Italia, otros	Papel de escritura e impresión de alta calidad
CENTRAL TERMICA CRISTOBAL COLON	Cia. Sevillana de Electricidad, Cia Sevillana	Cia. Sevillana de Electricidad S.A.	43.800	77	Grupo 1 Grupo 2 Grupo 3	1961 1963 1968	Fuel Agua	Energía eléctrica (Gw-h/año)	3.329 200	199.740	3.329.000	—	149	Variable	100	—	—	Energía eléctrica industrial y doméstica	
COMPLEJO PETROLIFERO DE LA RABIDA	ERCROS	100% privado (accionariado diverso)	56.158	603	Refinería y asfalto Petroquímica Lubricantes	1967 1970 1974	Petróleo crudo	Combustibles Asfaltos Petroquímicos Lubricantes	3.211 400 135 100	160.000	—	70.000	670	110	75	25	E.E., U.S.A., Canadá, Africa, otros	Energía, plásticos, lubricantes, fibras, asfaltos	
ERTISA	Ertisa, S.A.	ERCROS	11.523	400	Metilaminas Derivados Fenol-acetona Cuaseno	1976 1976 1978 1979	Metanol Amoniaco Derivados metilo Benceno Propileno	14 4 7 83 46	Metilaminas Dietilacetamida Dietilformamida Fenol Acetona	10 3,5 3,5 17 54	48.000	—	10.452	185	22	25	75	Francia, Alemania, USA, Holanda, Bélgica, Japón, Portugal, Reino Unido, Canadá, Venezuela	Fibras, resinas, fungicidas, farmacia, alimentación animal, metacrilato de metilo
FORET	Foret, S.A.	F.M.C. (U.S.A.)	22.000	1.550	Acido fosfórico A. fosfórico técnico Polifosfatos Fosfatos diversos Acido sulfúrico	1968 1970 1969 1969 1982	Pirita Fosforita Sosa cáustica Carbonato de sosa Aditivos	250 350 50 100 50	Acido fosfórico Polifosfatos Acido sulfúrico	150 150 300	112.000	80.000	22.000	350	Variable	70	30	Area del Mediterráneo y Sudafrica	Detergentes, metalurgia, industria textil, industria cerámica
FESA FOSFORICO	Fertilizantes Españoles, S.A.	ERCROS	42.000	2.190	Acido sulfúrico Acido fosfórico Fosfatos mono y diamónico Superfosfórico	69/75 69/75 69/74 1983	Pirritas Fosfato roca Amoniaco	1.000 1.300 65	Acido sulfúrico Acido fosfórico A. Superfosfórico Fosf. monoamónico Fosfato diamónico	1.400 400 100 300 150	230.000	—	20.000	805	154	46	54	India, Indonesia, URSS, Checoslovaquia, Turquía, Irlanda, Gran Bretaña, Francia, Portugal	Fertilizantes, detergentes, preparación de abonos complejos
LUBRIZOL	Lubrizol, S.A.	The Lubrizol International, S.A.	1.373	—	Aditivos lubricantes Dialquil ditiofosfato de zinc	1969 1977	Prep. Interaedio Aceite mineral Alcohol amilico Alcohol isoctilico Pentasulfuro fosf.	16,5 1,2 0,5 0,1 0,8	Aditivos para lubricantes	20	6.400	—	2.500	23	—	100	—	Mejora de lubricantes y Combustibles	
RIO RODANO	Rio Rodano, S.A.	Rhône-Poulenc	11.000	100	Calcinación T.P.P. 1 Ac. fosfórico (v.t.) Atomización T.P.P. Fosfatos especiales Calcinación T.P.P. 2	1969 1969 1971 1974 1975	Acido fosfórico Sosa	120 70	Tripolifosfato sódico (T.P.P.)	40	54.000	—	5.500	170	10	85	15	Marruecos, Portugal, México, China, Egipto	Detergentes
RIO TINTO MINERA	Rio Tinto Minera, S.A.	Rio Tinto Zinc ERCROS	50.000	9.000	Fusión horno Hosoda Refinería cobre Acido Sulfúrico Fusión horno Flash	1970 1970 1970 1975	Concentrados de Cobre Cobre Blister o Chatarra de cobre	550 20	Cátodos cobre Acido Sulfúrico Lodos electrolit. Escorias	115 584 0,5 160	150.000	80.000	35.000	720	80	80	20	Gran Bretaña, Italia, Francia, Portugal, Japón, Alemania, Bélgica	Hilos, tubos y planchas de cobre, fabricación de fertilizantes, objetos de oro y plata, abrasivos, fabricación cementos
S.E.O.	Sociedad Española del Oxígeno, S.A.	L'Air Liquide International, Banesto	3.000	—	Fabricación de Oxígeno, Nitrógeno y Argón	1985	Aire	Oxígeno Nitrógeno Argón	80 45 4	64.000	—	1.000	15	—	95	5	Portugal	Oxidación, soldadura, oxígeno, oxígeno terapia, investigación, inertización	
TIOXIDE	Tioxide España, S.A.	Tioxide Group P.L.C.	22.000	1.932	Pixido de titanio Cristalización de sulfato ferroso Sulfato férrico	1976 1979 1985	Ilmenita Acido sulfúrico Hidróxido sódico Chatarra de hierro	120 190 12 12	Pigmentos titanio Sulfato ferroso Sulfato férrico	60 75 60	60.000	—	16.500	432	80	61	39	U.S.A., Portugal, Sudamérica, Canadá, Marruecos, Francia y otros 20 países	Pinturas, barnices, tintas, papel, fibras sintéticas, caucho, vidrio, cerámica, tratamiento de suelos y cultivos, tratamiento de aguas
TOTAL DE TODAS LAS EMPRESAS			348.279	21.492				12.531		10.598	1.807.771	3.629.620	228.138	5.169	722	67,5	32,5		

La naturaleza del sector -fundamentalmente industria química básica- y su notable desarrollo, le confieren un elevado potencial contaminante, el cual se manifiesta en una fuerte degradación ambiental del entorno de los polígonos. Los siguientes datos avalan estas consideraciones:

#### CONTAMINACIÓN HÍDRICA

Acidez.....	30 Tm equivalentes de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /día.
Metales pesados.....	25 Tm/día.

#### CONTAMINACIÓN POR RESIDUOS SÓLIDOS

Yesos.....	3.000.000 Tm/año.
Cenizas.....	750.000 Tm/año.
Fangos.....	40.000 Tm/año.

Fuente: Agencia de Medio Ambiente (datos correspondientes a 1986-87).

El informe "Medio Ambiente en Andalucía" publicado por la Agencia de Medio Ambiente (AMA) de la Junta de Andalucía, refleja una serie de datos globales acerca de la producción de residuos tóxicos y peligrosos (RTP) en Andalucía, inscrita en el marco general de las restantes comunidades autónomas (tabla 3), así como la correspondiente a cada una de las provincias andaluzas (tabla 4). En el caso de Huelva dicha producción asciende a 68.500 Tm/año, lo que supone un 40,85% de los RTP generados en Andalucía. Las previsiones de tratamiento se recogen en la tabla 5, según la cuál el 3,2% sería sometido a incineración, un 10,2% a tratamiento físico-químico y el 86,6% restante se almacenaría en depósitos de seguridad (datos correspondientes a Huelva). No obstante, según se indica en el mismo informe de AMA, esta última solución ha sido modificada como consecuencia de la introducción de una planta de ácidos débiles, así como de la adopción de un sistema de microencapsulado.

**TABLA 3.-Generación de residuos tóxicos y peligrosos por Comunidades Autónomas**

	TOTAL	%
Andalucía	167.650	9,81
Aragón	98.650	5,77
Asturias	70.300	4,11
Baleares	19.000	1,11
Canarias	26.850	1,57
Cantabria	22.300	1,30
Castilla-La Mancha	35.750	2,09
Castilla-León	116.150	6,79
Cataluña	458.000	26,80
Extremadura	22.700	1,32
Galicia	43.850	2,56
Madrid	148.000	8,66
Murcia	17.500	1,02
Navarra	29.000	1,69
País Vasco	263.000	15,39
La Rioja	13.750	0,80
Valencia	155.950	9,12
<b>Total</b>	<b>1.708.400</b>	<b>100,00</b>

Cifras en Toneladas/año

Fuente: Plan Nacional de Residuos Tóxicos y Peligrosos. DGMA. MOPU. 1988.

**TABLA 4.-Generación de residuos tóxicos y peligrosos en Andalucía**

	TOTAL	%
Almería	2.800	1,67
Cádiz	9.000	5,36
Córdoba	7.650	4,56
Granada	8.400	5,01
Huelva	68.500	40,85
Jaén	9.700	5,78
Málaga	11.250	6,71
Sevilla	50.350	30,03
<b>Andalucía</b>	<b>167.650</b>	<b>100,00</b>

Cifras en Toneladas/año

Fuente: Plan Nacional de Residuos Tóxicos y Peligrosos. DGMA. MOPU. 1988.

**TABLA 5.- Tratamiento previsto de los residuos industriales**

PROVINCIA	TRATAMIENTO			TOTAL
	INCINE-RACION	FISICO-QUIMICO	DEPOSITO SEGURIDAD	
Almería	350	1.000	1.450	2.800
Cádiz	2.400	3.000	3.600	9.000
Córdoba	1.250	3.100	3.300	7.650
Granada	700	3.300	4.400	8.400
Huelva	2.200	7.000	59.300	68.500
Jaén	3.200	3.000	3.500	9.700
Málaga	900	3.750	6.600	11.250
Sevilla	6.000	15.850	28.500	50.350
<b>Andalucía</b>	<b>17.000</b>	<b>40.000</b>	<b>110.650</b>	<b>167.650</b>

Cifras en Tm./año.

Fuente: Plan Nacional de Residuos Tóxicos y Peligrosos. DGMA. MOPU.

Por último, es importante destacar que las aguas residuales urbanas de la ciudad de Huelva así como de varios otros municipios, se vierten en la actualidad sin tratamiento alguno a la Ría de Huelva, si bien existe un proyecto de construcción de una depuradora para dicha capital. Asimismo, los ríos Tinto y Odiel cuya confluencia da lugar a la citada Ría, presentan un elevado nivel de contaminación producido por la intensa actividad minera que desde tiempos históricos viene desarrollándose en sus cuencas media y alta. De acuerdo con los datos de AMA, la descarga de metales pesados a los citados ríos asciende a 25 Tm/día, distribuidos de la forma siguiente:

	<u>Tm/día</u>
Cu	2,8
Pb	3,5
Fe	11,8
Zn	2,8
As	3,3
Sb	0,5
Bi	0,5
Cr	0,5

### 6.3.- CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS INDUSTRIALES

Como se indicó en el apartado de Introducción, la única referencia disponible acerca de la composición de los residuos es el informe "Estudio Técnico-Económico de la Gestión de los Residuos Industriales en Huelva", elaborado por SERELAND, S.A. para la Dirección General del Medio Ambiente. Su objetivo es la corrección de la problemática ambiental de la zona mediante la aplicación de sistemas de tratamiento, los cuales se analizan y valoran técnica y económicamente en el estudio. El trabajo se desarrolló en 3 fases:

- I. Recogida de información.
- II. Visita a las instalaciones industriales y obtención de datos "in situ".
- III. Propuesta de alternativas de tratamiento.

De los diferentes aspectos contemplados en este estudio, a efectos de una evaluación de compatibilidad, obviamente el interés está centrado en los capítulos relativos a la caracterización de los residuos, la cual se aborda en las fases I y II. Los datos que se aportan en ambas fases provienen de tres fuentes:

- "Estudio de la Contaminación de la Ría de Huelva", elaborado por la empresa INTECSA en 1982, que contiene datos analíticos de los efluentes industriales obtenidos por esta última empresa a través de una campaña realizada en 1980.
- Información proporcionada por la Agencia de Medio Ambiente de Huelva relativa a generación de residuos sólidos, obtenida durante 1985.
- Encuestas realizadas por SERELAND específicamente para el estudio en cuestión.

#### **6.3.1.- RESIDUOS SÓLIDOS**

Si bien en principio los residuos sólidos se apartan del objetivo de inyección, resultan de interés en el contexto global del estudio, por lo que se ha estimado oportuno considerarlos brevemente en este apartado.

La clasificación de los residuos sólidos de la industria de Huelva responde en líneas generales al siguiente esquema:

- A. **Yesos** ( $\text{SO}_4\text{Ca}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -90%, junto con compuestos de fósforo, fluoruros y silicatos). La producción se distribuye entre las siguientes fábricas:

Fosfórico Español, S.A.....	1.950.000 Tm/año	
E.R.T. División Abonos.....	250.000	"
Río Ródano, S.A.....	10.000	"
Foret, S.A.....	35.000	"

La cantidad total estimada es de aproximadamente 2.500.000 Tm/año. Este residuo se almacena en grandes balsas de decantación (margen derecha del Tinto, marismas del Pinar, del Rincón y de Mendafia), y en el caso de Foret, S.A. se vierte a través de un emisario submarino.

- B. **Cenizas de piritas** (óxido de hierro con contenidos variables de azufre, silicatos, arsénico y otros metales -Pb, Cu, Zn, Cr, etc.-). Se genera en las plantas de producción de ácido sulfúrico.

Fosfórico Español, S.A.....	600.000 Tm/año
E.R.T. División Abonos.....	<u>90.000</u> "
TOTAL.....	690.000 Tm/año

Estos residuos se acumulan en las inmediaciones de las fábricas.

- C. **Escorias de fundición** (silicatos complejos de hierro).- Generados por Río Tinto Minera, S.A., en cantidades que alcanzan 200.000 Tm/año. Debido a sus numerosas aplicaciones (abrasivos, cementos puzolánicos, etc.) son en parte vendidos, depositándose el resto en terrenos de Río Tinto. Esta empresa produce asimismo 1600 Tm/año de polvos Cotrell (contienen As, Sb, Cd y Pb), cuya gestión se desconoce.

- D. **Asfaltos, aceites y similares.**- Se consideran en este

apartado los residuos generados por el Complejo Petrolífero de La Rábida, que se vierten de forma incontrolada en los alrededores del mismo.

La tabla 6 es una reproducción de la incluida en el informe de SERELAND (1985), en la que se recogen el volumen y destino de los residuos sólidos de un total de 18 industrias de Huelva.

Por último, las industrias generan otros residuos diversos -bidones, envases, paletas, plásticos, aislantes, catalizadores, tortas de filtro, etc.-, que se vierten en terrenos propiedad de las fábricas o se gestionan a través de contratos privados.

#### 6.3.2.- RESIDUOS LÍQUIDOS

A efectos de una posible inyección de residuos industriales líquidos, los polígonos de TARTESSOS y SAN DIEGO se encuentran excesivamente alejados de la zona costera, en la que se ubican las estructuras geológicas más favorables a dicha operación. En consecuencia, si bien entre las industrias pertenecientes a dichos polígonos existen algunas con un importante potencial contaminante -caso de la Empresa Nacional de Celulosa, por ejemplo-, en principio los costes derivados del transporte de los efluentes hasta la zona de inyección harían inviable este tipo de solución. El interés pues se concentra en los polígonos de PUNTA DEL SEBO y NUEVO PUERTO, este último asentado directamente sobre la potencial zona de inyección.

Los datos disponibles acerca de la composición y caudal de efluentes proceden en su totalidad del informe de SERELAND anteriormente citado. Con el fin de no omitir información que eventualmente pueda resultar de utilidad, se ha considerado

TABLA 6.- RESIDUOS SOLIDOS Y ESPECIALES GENERADOS POR LAS INDUSTRIAS

EMPRESA	RESIDUOS SOLIDOS(Tn/a)	RESIDUOS ESPECIALES(Tn/a)	LUGAR DE VERTIDO
EMPRESA NACIONAL DE CELULOSA, S.A.	- 16.450 (Cortezas y arena) - 125 (Basuras)	- 1150 (CO <sub>3</sub> Ca y CaO)	- Marisma - Contratista a vertedero
CARBUIOS METALICOS S.A.		- Fangos de cal - Material filtrante, cloruro de Ca hidr.) - Basuras	- Bolsa retención parcela indust - Parcela industrial - Vteredero
TAMSA	- Embalaje de cartón = 8 - Piezas defectuosas = 10 - Basuras = 2,5		- Se quema junto con las basuras - Iden. - Iden.
FUNDICIONES INDUSTRIALES DEL SUR	-	-	-
ARTIC, S.A.	- Restos de pescado = 90 - Carbón = 27		- Vteredero de Huelva - Venta esporádica
FORET, S.A.	- 1.600 = basuras	- Torta de filtros #16500(comp. de P, Ca y Silicatos) - SO <sub>4</sub> Ca.2H <sub>2</sub> O = 35.000(peso seco) - Lodos inertes	- Vertido por contratista - Dilución ría Odíel - Almacenados en factoría - Por contratista
RIO RODANO S.A.	- 4 = Basuras - 20 = Escombros	- 10.000 = SO <sub>4</sub> Ca 2H <sub>2</sub> O	- Almacenado en bolsas - Vteredero Huelva - Vertido por contratista
FOSFORICO ESPAÑOL S.A.		- 1.950.400 = SO <sub>4</sub> Ca. 2H <sub>2</sub> O	- Almacenado balsas
FOSFORICO ESPAÑOL S.A. (Zona Sulfúrica)		- 600.000 = Cenizas de piritas	- Montones en la propia instalación
RIO TINTO MINERA S.A.		- 1.650 = Polvos Cottrell con contenido en As, Sb, Cd, y Pb - 200.000 = escorias fundición de Ca	- En zona industrial - En zona industrial y como sivo de cemento.
E.R.T. ABONOS S.A.	- Basura - Escombros	- 250.000 = SO <sub>4</sub> Ca . 2H <sub>2</sub> O - 90.000 = Cenizas de pirita	- En balsas - Montones - Escombrera propia de la ins
CIA SEVILLANA DE ELECTRICIDAD S.A.	- 10 = Basuras		- Parcela industrial
ENERGIA E INDUSTRIAS ARAGONESAS, S.A.	- Basuras	- 3.300 = Lodos de salmuera (ClNa, SO <sub>4</sub> Ba, CO <sub>3</sub> Ca, tierras y arcillas)	- Vertido por contratista
LUBRIZOL ESPAÑOLA S.A.	- 15 = Basuras	- 10 = Tortas de filtros (tierra de diatomeas impregnada de aceites minerales).	- Vteredero (Andaluz de ser - Vteredero de Huelva
E. R. T. DIVISION PETROLEO	- Bidones(muestras de lab.) - 1250 m <sup>3</sup> /a = Basura	- Lodos de API	- Terreno fábrica - Terreno de fábrica - Contratista a vertedero
ERTISA, S.A.	- 15 = Basuras		- Vteredero de Huelva
TITANIO S.A.	- Basuras	- 10.000 = Oxidos de Ti y restos de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (fangos de digestión ilmenita)	- Vteredero de minas de RIO TI: - Vertido por contratista
ANONIACO-UREA	- 1620 m <sup>3</sup> /a = Basuras - 75 m <sup>3</sup> /a = Escombros	- Material de contacto (tierra de diatomeas) - Lodos balsa neutralización	- Terrenos de fábrica - Vteredero (1 vez/año) - Vteredero (contrata) - Vteredero (contrata)

oportuno incluir los datos iniciales del citado estudio (1982 y 1985), así como los de elaboración más reciente (1986). Los primeros corresponden a una recopilación realizada a partir del informe "Estudio de la Contaminación de la Ría de Huelva" (INTECSA, 1982), cumplimentada con cifras de 1985 aportadas por la AMA. El conjunto de datos se refleja en las tablas 7 y 8.

Con respecto a los datos de 1986, son el resultado de una campaña de encuestas llevada a cabo por la propia SERELAND sobre las industrias de mayor capacidad contaminante, complementada con una serie de visitas a las más importantes.

Como características comunes a la mayor parte de las industrias se tiene:

- Sistemas de refrigeración en circuito abierto, con elevados caudales de vertido y que en la mayoría de los casos van mezclados con agua de proceso.
- Escasa o nula recuperación de productos enviados con el efluente general, como es el caso del sulfúrico residual en las plantas de obtención de este ácido. (Fosfórico Español, ERT-Abonos y Río Tinto Minera).
- Generación de subproductos en cantidades muy elevadas: yesos, cenizas de pirita y escorias de fundición, con escasa reutilización.
- Vertido a las rías del Tinto y Odiel de un efluente generalmente muy ácido y con presencia de elementos tóxicos.

Se han elaborado unas tablas resumen que reproducen los datos del informe citado y que se presentan en el Anexo 2. Estas tablas son exhaustivas en cuanto a la descripción del vertido y reflejan la situación en la fecha citada.





TABLA 8. - VERTIDOS DE LAS INDUSTRIAS DEL POLIGONO "NUEVO PUERTO"

EMPRESA	PLANTILLA (persona)	ACTIVIDAD	PROCESO FABRICACION	PRODUCCION Tm/a.	CONSUMO H <sub>2</sub> O m <sup>3</sup> /d.	VERTIDO RESIDUAL m <sup>3</sup> /d.	LUGAR DE VERTIDO	SISTEMA TRATAMIENTO	RESIDUOS SOLIDOS Tm/a.	RESIDUOS ESPECIALES Tm/a.	LUGAR DE VERTIDO	OBSERVACIONES
ENERGIA E INDUSTRIAS ARMONESAS, S.A.	362	U. básica con producción de: - Cloro - Sosa cáustica (50% en agua) - Cloruro sódico (18% en agua) - Ac. clorhídrico (31% en peso) - Sosa cáustica (50% en agua) - Cloruro sódico (30% en peso) - Cloruro sódico - agua - Fertilizante sólido (31% en peso) - Sulfato amónico - EDTA, NITRO sodio - Benzoino y pastas - Chat (DINOSA) - Residuos (DINOSA) - Metacrilato de metilo (MONOCRIL)	- Electrolisis del Cl <sub>2</sub> (celdas de Hg) - Cl <sub>2</sub> gas en solución - Cl <sub>2</sub> gas en solución - Combustión de H <sub>2</sub> en atmósfera de Cl <sub>2</sub> - Absorción en H <sub>2</sub> O y absorción en H <sub>2</sub> O - Sosa cáustica en absorción del agua de sosa 50%. - Osmo: Hidrocarbonatos de Na y absorción de H <sub>2</sub> O - Fertilización: Fertilización, Evaporación de agua y concentración de agua y concentración de Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> cristal - Fe(OH) <sub>3</sub> y Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> en solución - Tratamiento de residuos de la planta de metacrilato (Monocril) con Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> y agua. - Tratamiento de sal tratada de EDTA. - Metacrilatos acetone + clorhidrina + SO <sub>2</sub> y posterior esterificación - Nitro sodio - Nitro sodio + cloruro sódico - PARACUAM: Síntesis de dicloruro 1,1-dicloro-2,2-bis(4-clorofenilo) Hidrocloruro de amoníaco y cloruro de metilo.	35.251 39.388 2.862 1.170 10.497 1.800 300 790 19.000 10.000	2.251 (620.792 m <sup>3</sup> /año)	500 (cloro-sosa) 80 (DINOSA) 40 SO <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> 50 (parque al. mec.) 12 (DINOSA) 300 (DINOSA) cont. <1 MONOCRIL. cont.	Proximidades del muelle de E.I.A.S.A.	- Destrucción O <sub>3</sub> - Incineración. - Atracción y neutralización (todos los vertidos)	2.000 Tm/a lodos (50% H <sub>2</sub> O) de composición: Mg(OH) <sub>2</sub> , 30%, CaCO <sub>3</sub> , 40%, SO <sub>2</sub> , 10%, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 10%, H <sub>2</sub> O, trazos.	INTECSA (1982) 3.300 (lodos de salmuera con contenido Cl <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , CaCO <sub>3</sub> ). ANA (1985) 1.700 (lodos de cloro-sosa). 35-40 (lodos de dióxidos).	INTECSA (1982) - Terrenos propios - Contralista. ANA (1985) - Terrenos propios - Vertidos. - Terrenos propios	Vertidos extremos de pH de Vertido de Hg: 0,075 Kg/l de producto según el estudio y 0,0001-0,006 Kg/l según datos de la Industria se reanota para Hg.
E.R.T. división petroliera	905	PETROQUIMICA con producción de: - GP - Burtas - Gasolinas - Gasóleo - Fuel-oil - Cut-back - Asfalto-penetrad - Curte - C <sub>10</sub> -C <sub>12</sub> - C <sub>10</sub> -C <sub>12</sub> obranco - Aceites lubricantes - Bases	- Refino de catalizadores - destilación, reformación, fraccionamiento catalítico, almeccamiento. - Admisiones reformado catalítico, extracción de metano, líquido de salquímica, agua de producción de H <sub>2</sub> y clorobenceno. - Lubricantes: destilación a vacío, desalifado con propano, extracción de aromáticos, desulfuración, organoguardado, mezcla y envasado. - Bafallas: producción de cut-backs y asfaltos.	100.981 436.177 421.538 237.407 719.323 1.314.185 182.138 1.449 45.262 54.735 26.222 64.080	6.315	4.800 (vertido único del campo de petróleo) <200 m <sup>3</sup> /h de desastres de petróleo.	Estero de Domingo Rubio. Confluencia de linto con Odisei.	Separador API y filtración. Balsa retención y filtración. Separador API y filtración.	Baldones con metales de laboratorio. 1.250 (m <sup>3</sup> /a) balsa, trastos, envases, madera.	INTECSA (1982) Lodos de separador API. ANA (1985) 93 m <sup>3</sup> (derrames de aceites). 4.800 m <sup>3</sup> (lodos de campo de petróleo). 2.000 m <sup>3</sup> (lodos de campo de petróleo). 800 m <sup>3</sup> (lodos de campo de petróleo). 2.250 m <sup>3</sup> (desastres). 26 m <sup>3</sup> (resid. de borat.).	INTECSA (1982) - Terrenos propios - Contralista. ANA (1985) - Terrenos propios - Vertidos. - Terrenos propios Evacuación con trata. (semanal) - Fuac. contralista. (semanal).	El separador API funciona de forma adecuada.



#### 6.4.- BREVE DESCRIPCIÓN DEL PLAN DE CORRECCIÓN DE LOS VERTIDOS CONTAMINANTES EN EL LITORAL DE HUELVA

Dado el interés que puede tener en posteriores estudios la viabilidad de operaciones de inyección, se incluye a continuación un resumen del PLAN DE CORRECCION DE LOS VERTIDOS, especialmente diseñado para los polígonos de la "Punta del Sebo" y "Nuevo Puerto".

##### **6.4.1.- CARACTERÍSTICAS GENERALES**

Se recogen en este apartado las informaciones publicadas por la AMA acerca de las directrices del Plan Corrector.

A partir de junio de 1986, fecha en que la Agencia de Medio Ambiente recibió las competencias relativas al control y corrección de los vertidos contaminantes al mar, este organismo inició una serie de actuaciones orientadas a resolver el problema ambiental que en este sentido generaban los polígonos industriales de Huelva. Se evaluó qué sustancias se vertían y en qué cantidad, definiéndose a continuación las medidas correspondientes a aplicar en cada caso.

El resultado de estas actuaciones constituyó la base del "Plan de Corrección de los Vertidos Industriales Contaminantes en el Litoral de Huelva" redactado por una comisión en la que, junto a los técnicos de la AMA, participó la Dirección General del Medio Ambiente del MOPU, la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de Sevilla y la Consejería de Economía y Fomento. Dicho plan contempla la adopción de diferentes medidas correctoras y de control, divididas en dos grandes grupos:

- a) *Medidas internas:* A adoptar por las empresas.
- b) *Medidas generales:* A cargo de la Administración (en algunas participan también las empresas).

Se fijó igualmente un calendario de ejecución de las mismas en el que se situó como horizonte de consecución del plan el año 1989.

- a) *Medidas internas.* Sus características han sido definidas por la AMA en base a los anteproyectos presentados por las industrias, corriendo la financiación por cuenta empresarial. Adicionalmente, para facilitar estas inversiones, se ofreció la posibilidad a las empresas de obtener un crédito específico preferencial, a través de un convenio suscrito entre la Agencia de Medio Ambiente y el Banco de Crédito Industrial.

Como filosofía general se optó en la selección de medidas correctoras por primar las siguientes líneas:

- Utilización de medidas correctoras que conllevan transformaciones en los procesos industriales, que redundan en un beneficio para el medio ambiente. Su correcto funcionamiento estaría garantizado por el hecho de que una alteración de las mismas equivaldría también a una perturbación del proceso productor. En esta línea está el paso a circuito cerrado, la recirculación interna, técnica de blanqueo de pasta de papel con oxígeno, etc.
- Utilización de tecnologías blandas: Procedimientos de depuración biológicos y asociados.

La tabla 9 refleja una relación de las principales medidas internas previstas.

Empresa	Medida	Objeto	Inversión (Miles Ptas.)
ENCE	Blanqueo con oxígeno	Reducción de vertidos clorados	1.200.000
ENCE	Tratamiento primario	Reducción de la carga orgánica en los vertidos	500.000
FORET	Reutilización efluentes y neutralización con cal	Reducción de la acidez en los vertidos	60.000
RIO RODANO	Recirculación en planta	Reducción de los vertidos	30.000
FESA	Modificación de la planta de fosfórico	Eliminar acidez en los vertidos	500.000
FESA	Modificación circuito de lavado de ácido sulfúrico	Eliminación de acidez y metales en los vertidos	365.000
RTM	Circuito cerrado en lavado de gases	Eliminación de acidez y metales en los vertidos	760.000
RTM	Segregación y tratamiento de efluentes	Reducir acidez y metales en los vertidos	30.000
ERT Abonos	Circuito cerrado en lavado de gases	Eliminación de ácidos y metales en los vertidos	196.000
ERT Abonos	Eliminación de cenizas del agua de enfriamiento	Reducir metales en vertidos	8.650
ERT Abonos	Recuperación vertido en planta de fosfórico	Reducir acidez en los vertidos	15.700
TIOXIDE	Reciclaje de corrientes internas	Reducir acidez en los vertidos	159.000
TIOXIDE	Planta de neutralización del ácido residual	Reducir acidez en los vertidos	211.000

Empresa	Medida	Objeto	Inversión (Miles Ptas.)
TIOXIDE	Concentración de ácido y separación de sólidos	Reducir acidez en los vertidos	711.500
ERT Refinería	Planta de tratamiento de efluentes líquidos	Reducir aceites y materia orgánica en los vertidos	550.000
ERT Refinería	Balsa de lodos	Eliminar contaminación del subsuelo	9.763
ERT Refinería	Arenero	Eliminar vertidos sólidos	32.100
ERTISA	Torre de recuperación de metanol	Reducir materia orgánica en los vertidos	33.000
ERTISA	Tratamiento biológico de efluentes	Reducir materia orgánica en los vertidos	153.400
ERT A. UREA	Segregación vertidos pluviales y de proceso	Separar aguas de proceso	44.000
ERT A. UREA	Reducción y recirculación de efluentes líquidos	Reducción de la carga orgánica en los vertidos	15.000
EIASA	Reducción de la acidez en los efluentes	Reducción de la acidez en los vertidos	80.000
EIASA	Tratamiento de las aguas residuales en la planta de sulfato amónico	Reducción de la materia orgánica en los vertidos	50.000
EIASA	Eliminación de la Demanda Química de Oxígeno en los drenajes Orgasa	Reducción carga orgánica en los vertidos	120.000

TABLA 9 .- PRINCIPALES MEDIDAS INTERNAS PREVISTAS

b) *Medidas generales.* Su objetivo era resolver los problemas que exceden del ámbito de las empresas, o que implican a un gran número de ellas. Son ejecutadas por la Administración, participando en las inversiones la Junta de Andalucía (a través de la Agencia de Medio Ambiente) y el Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (por medio de la Dirección General del Medio Ambiente). En algunas de ellas también se cuenta con inversión empresarial. Las principales son las siguientes:

- *Colector perimetral del Odiel.* Este colector recoge las aguas de proceso vertidas por las industrias (que ya han sido tratadas y neutralizadas por estas), evitando que se arrojen a la ría del Odiel. Son conducidas a una planta de control, a fin de comprobar si se encuentran correctamente neutralizadas, y en caso contrario recibir el oportuno tratamiento. El colector y la planta de control suponen una inversión aproximada de 250 millones de pesetas.
- *Planta de tratamiento y almacenamiento de efluentes.* El tratamiento de los efluentes realizado por las empresas genera, en términos generales, tres tipos de residuos:
  - Líquidos. Son conducidos al colector perimetral del Odiel.
  - Ácidos. Tratados en la planta de ácidos que se describirá a continuación.
  - Sólidos inertes.Estos últimos son tratados y almacenados en esta planta industrial, de cara a un posible aprovechamiento futuro.
- *Planta de ácidos.* A pesar de las medidas de corrección por las empresas en algunos casos se producen ácidos y otros compuestos contaminantes. Estos residuos serán tratados en una planta con el

fin de reciclar algunos de sus componentes. Dicha planta se sitúa en los mismos polígonos industriales y supone una inversión de unos 540 millones de pesetas.

- *Colector "Nuevo Puerto".* De similares características al del Odiel, pero instalado para las industrias del polígono "Nuevo Puerto". A diferencia del anterior, su puesta en funcionamiento importa sólo 60 millones de pesetas, ya que se restauraría un colector ya existente y en la actualidad fuera de uso.

- *Reordenación balsas de yeso.* La producción de fosfatos genera una importante cantidad de residuos de yeso que, desde que comenzaron a funcionar estas plantas, se han vertido sin ningún tipo de control en balsas situadas en la zona de marisma de la margen derecha del río Tinto. La ausencia de sistemas de protección permite que gran cantidad de yeso termine depositándose en la ría.

El objetivo de esta medida es reordenar el vertido de yesos, localizándolo en una zona en la que, por sus características y medidas de control, se suprima el vertido a la ría. La inversión prevista asciende a 250 millones de pesetas.

Por último, se prevé un plan de restauración paisajística de los polígonos.

En total, el conjunto de medidas internas y generales supone una inversión cercana a los 9.000 millones de pesetas (6.000 internas, 3.000 generales).

#### 6.4.2.- GRADO DE APLICACIÓN

Como se indicó anteriormente, las gestiones realizadas para obtener datos actualizados acerca de las características de los residuos producidos tras la adopción de las medidas previstas en el plan corrector, y el propio nivel de aplicación de estas últimas, resultaron infructuosas. Para intentar paliar esta dificultad se procedió a revisar las publicaciones editadas por la AMA sobre este particular, encontrándose datos al respecto concretamente en el informe anual "Medio Ambiente en Andalucía" correspondiente a 1988. En el mismo se incluye un cuadro (tabla 10) en el que se recogen las diferentes medidas contempladas en el Plan Corrector, clasificadas en función de su nivel de aplicación. En la edición 1989 de este mismo informe no se actualizan estos datos, por lo que se desconoce si la aplicación del Plan ya ha culminado (se fijó como horizonte de consecución el año 1989), y en caso contrario la situación en que se encuentra actualmente.

**TABLA 10.- Medidas previstas en el Plan de corrección de vertidos industriales de Huelva, según estado de ejecución**

EMPRESA	MEDIDA	OBJETO	INVERSION (Miles pts.)
<b>Medidas ya realizadas</b>			
TIOXIDE	Concentración de ácido y separación de sólidos	Reducir acidez en los vertidos	711.500
ERTISA	Torre de recuperación de metanol	Reducir materia orgánica en los vertidos	33.000
ERTISA	Tratamiento biológico de efluentes	Reducir materia orgánica en los vertidos	153.400
ERT A. UREA	Reducción y recirculación de efluentes líquidos	Reducción de la carga orgánica en los vertidos	15.000
EIASA	Reducción de la acidez en los efluentes	Reducción de la acidez en los vertidos	80.000
TIOXIDE	Reciclaje de corrientes internas	Reducir acidez en los vertidos	159.000
FESA	Modificación circuito de lavado de ácido sulfúrico	Eliminación de acidez y metales en los vertidos	365.000
ENCE	Tratamiento primario	Reducción de la carga orgánica en los vertidos	500.000
FORET	Reutilización efluentes y neutralización con cal	Reducción de la acidez en los vertidos	60.000
RIO RODANO	Recirculación en planta	Reducción de los vertidos	30.000
ENCE	Tratamiento de emisión de gases	Reducir la emisión de gases por combustión	120.000
RTM	Segregación y tratamiento de efluentes	Reducir acidez y metales en los vertidos	30.000
ERT Abonos	Recuperación vertido de planta de fosfórico	Reducir acidez en los vertidos	15.700
ERT Abonos	Eliminación de cenizas del agua de enfriamiento	Reducir metales en vertidos	6.650
<b>SUBTOTAL INTERNAS</b>			<b>2.281.250</b>
	Sistema de medida de inmisión y emisión de gases	Control de emisión de gases	50.000
	Sistema de medida de parámetros hídricos	Control de los vertidos hídricos	50.000
<b>SUBTOTAL GENERALES</b>			<b>100.000</b>
<b>Medidas en curso</b>			
RTM	Circuito cerrado en lavado de gases	Eliminación de acidez y metales en los vertidos	760.000
ERT Abonos	Circuito cerrado en lavado de gases	Eliminación de ácidos y metales en los vertidos	196.000
TIOXIDE	Planta de neutralización	Reducir acidez	211.000
ERT Refinería	Planta de tratamiento de efluentes líquidos	Reducir aceites y materia orgánica en los vertidos	550.000
ERT Refinería	Balsa de lodos	Eliminar contaminación del subsuelo	9.783
ERT	Arenero	Eliminar vertidos sólidos	32.100
EIASA	Eliminación de la D.Q.O. en los drenajes Orgasa	Reducción carga orgánica en los vertidos	120.000
<b>SUBTOTAL INTERNAS</b>			<b>1.878.883</b>
	Colector perimetral del Odiel y Planta de control	Recogida y control de las aguas vertidas por las industrias	250.000
	Colector "Nuevo Puerto"	Recogida y control de las aguas vertidas por las industrias	60.000
	Planta de ácidos	Tratamiento de residuos ácidos	540.000
	Restauración paisajística	Embellecimiento paisajístico del entorno industrial	800.000
	Laboratorio Control	Control efluentes	30.000
<b>SUBTOTAL GENERALES</b>			<b>1.680.000</b>
<b>Medidas por realizar</b>			
ENCE	Blanqueo con oxígeno	Reducción de vertidos clorados	1.200.000
FESA	Modificación de la planta de fosfórico	Eliminar acidez en los vertidos	500.000
ERT A. UREA	Segregación vertidos pluviales y de proceso	Separar aguas de proceso y tratarlas	44.000
EIASA	Tratam. aguas residuales en planta sulfato amónico	Reducción de la materia orgánica en los vertidos	50.000
<b>SUBTOTAL INTERNAS</b>			<b>1.794.000</b>
	Planta de tratamiento y almacenamiento de inertes	Tratar y almacenar los residuos sólidos inertes	1.000.000
	Reordenación balsas de yeso	Reordenar balsas de yeso en la Ria del Tinto	250.000
<b>SUBTOTAL GENERALES</b>			<b>1.250.000</b>
<b>TOTAL INTERNAS</b>			<b>5.954.133</b>
<b>TOTAL GENERALES</b>			<b>3.030.000</b>

Fuente: Agencia de Medio Ambiente- 1989

**7.- EVALUACION DE LA COMPATIBILIDAD EN**  
-----  
**OPERACIONES DE INYECCION**  
-----

### **7.1.- GENERALIDADES**

El objetivo inicial previsto para este apartado era estudiar la compatibilidad entre los residuos a inyectar y el almacén seleccionado. En el desarrollo del proyecto se ha puesto de manifiesto la dificultad en realizar ese estudio ante la falta de datos y herramientas para llevarlo a cabo. Por ello, se adoptó el criterio de elaborar una síntesis general de los problemas de inyectividad de residuos, a partir de los conocimientos desarrollados en los EE.UU. e ilustrando dicha síntesis con ejemplos prácticos que ayudarán a plantear los estudios concretos que deberán realizarse en un futuro ante el inicio de operaciones de inyección.

### **7.2.- PROCESOS QUE INVOLUCRAN RESIDUOS INORGANICOS**

#### **7.2.1.- INTRODUCCIÓN**

Una de las características más importantes de los RTP inorgánicos -plomo, cadmio, cromo, etc.- es su persistencia. Las únicas vías para su transformación en residuos inocuos son la dilución, aislamiento y, en algunos casos, cambio en su estado de oxidación. En consecuencia, los métodos de tratamiento tales como la incineración no son efectivos, debido a que las sales metálicas no se degradan por combustión. La inyección se plantea pues como un método efectivo para mantener aislados los RTP, o al menos dispersos

a una concentración no perjudicial para la salud humana o el ambiente.

La mayoría de las reacciones o transformaciones que experimentan los RTP incluyen: precipitación, adsorción/desorción, intercambio iónico, hidrólisis, formación de complejos, oxidación/reducción, reacciones ácido/base, y disolución mineral. La bibliografía indica que las propiedades de los materiales inorgánicos son más fácilmente cuantificables, ya que los posibles productos de reacción para un determinado componente de un RTP es finita, y está limitada por la combinación de otros materiales presentes en la zona de inyección. En contraste con esta situación, el estudio de los residuos orgánicos indica que el número de posibles productos es mucho más difícil de limitar. La inyección simultánea o sucesiva de productos diversos, puede incrementar rápidamente la complejidad de las reacciones.

En principio los fluidos presentes en el almacén, se hallan en equilibrio con los minerales que forman este último. A su vez, las soluciones de residuos se hallan en un estado termodinámico dado, de forma que tras la inyección, se producirá un reajuste en el sentido de alcanzar nuevamente el equilibrio en la formación. A continuación se analizan algunos de los procesos que pueden tener lugar tras la inyección.

#### 7.2.2.- PROCESOS DE PRECIPITACIÓN

Algunos residuos provocan la precipitación inmediata de sólidos y consiguiente taponamiento de la formación. Otros no provocan problemas tan inmediatos pero sin embargo reducen significativamente la vida del sondeo de inyección. Todo ello hace evidente la necesidad de realizar un estudio previo de

compatibilidad.

El método más sencillo para evaluar la compatibilidad es la simple mezcla del residuo con el agua de la formación, y observar los resultados. La formación de un precipitado es usualmente un indicador de la incompatibilidad fluido-fluido. No obstante, este ensayo ha de considerarse con cautela, puesto que no recoge las condiciones de presión y temperatura del almacén.

Los siguientes procesos de precipitación pueden producirse:

- Precipitación de alcalinotérreos -calcio, bario, estroncio y magnesio- en forma de carbonatos, sulfatos, ortofosfatos, fluoruros e hidróxidos insolubles.
- Precipitación de otros metales tales como hierro, aluminio, cadmio, zinc, manganeso y cromo, como carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos, ortofosfatos y sulfuros insolubles.
- Precipitación de productos derivados de reacciones redox:  
H<sub>2</sub>S con Cr(VI), por ejemplo.

Se han desarrollado diversas experiencias de laboratorio a fin de determinar la compatibilidad, acompañadas por desarrollos teóricos como medio para evaluar los resultados. Tales experiencias han demostrado que el grado de mezcla entre fluidos depende de los procesos de dispersión hidrodinámica. Una vez caracterizada esta propiedad dispersiva en un medio poroso, resulta posible predecir con precisión la magnitud de la reacción química.

Asimismo, la naturaleza del precipitado determinará el grado de reducción de permeabilidad que provoca su presencia

en la formación. Por ejemplo, el hidróxido férrico bloquea apreciablemente el flujo a través de una matriz porosa, lo que no ocurre con los sulfatos de bario y estroncio. La razón estriba en que el  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  es gelatinoso, mientras que ambos sulfatos se encuentran en forma de finos cristales.

Uno de los sistemas utilizados para prevenir la precipitación es la inyección de agua no reactiva con el fin de formar una zona tampón, cuyas dimensiones han de ser suficientes para prevenir los procesos citados.

A este respecto, y en general, hay que tener en cuenta las incompatibilidades derivadas de diferencias de pH entre el fluido inyectado y el agua de formación. Por ejemplo, aunque ambos están saturados con carbonatos, una diferencia de pH o de actividad de calcio los convierte en incompatibles (si el pH es superior a 10, el calcio, bario, estroncio, magnesio y hierro forman hidróxidos gelatinosos que precipitan).

La bibliografía cita otros ejemplos de procesos de precipitación. Tal es el caso de las reacciones de cromatos y fosfatos presentes en aguas residuales, con sulfato de bario, ácido sulfhídrico y hierro soluble, que dan lugar a precipitados capaces de taponar el pozo. Se cita asimismo el hecho de que si bien las soluciones ácidas pueden inicialmente movilizar ciertos minerales de la formación, pueden a su vez precipitar otros, reduciendo la permeabilidad.

El ejemplo siguiente ilustra la complejidad de predecir la compatibilidad de los fluidos. Se trata de un pozo de inyección en New York. Los análisis mostraban un incremento en la interfase entre fluidos del ión  $\text{Fe}^{2+}$  10 veces superior a la concentración en ambos de este ión. El hecho se atribuyó a la presencia de pirita, convertida en un mineral

termodinámicamente inestable como consecuencia del cambio inducido por el fluido inyectado, en las condiciones reductoras iniciales del almacén, a un ambiente oxidante. Ello supone la liberación de:



La acidez producida era eventualmente neutralizada, y el  $\text{Fe}^{2+}$  precipitaba en forma de  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  en presencia de oxígeno, hasta que el sistema alcanzaba la estabilidad. La química del proceso puede complicarse en función de las condiciones de pH, Eh, presencia de  $\text{Fe}^{3+}$ , presión parcial de  $\text{O}_2$ , presencia de compuestos orgánicos, etc.. Si bien no cabe esperar que la totalidad de los residuos inyectados den lugar a un incremento en la solubilidad del hierro, este ejemplo es útil para ilustrar el hecho de que incluso los componentes no peligrosos -el oxígeno en este caso-, pueden incidir de forma importante en la química del sistema.

Otro factor que condiciona los procesos de interacción entre fluidos es la baja concentración de sales, que puede provocar la migración de las arcillas, como se ha demostrado tanto en campo como en laboratorio.

Las soluciones de elevado pH tienden a disolver la sílice liberando finos, que pueden migrar y taponar los poros de la formación, así como reprecipitar en otro sector de la formación, disminuyendo su permeabilidad. Por otra parte, un pH bajo puede provocar la formación de geles de sílice, o la disolución de algunas arcillas y carbonatos (matriz o cemento). Estos problemas no son importantes en formaciones carbonatadas cuya permeabilidad suele ser por fracturación, si bien la deposición de otros materiales si puede llegar a causar problemas.

En conclusión, los tests de compatibilidad basados

sencillamente en poner en contacto ambos fluidos pueden conducir a resultados erróneos, pudiendo darse el caso de que presuntas incompatibilidades no lleguen a producir problemas, y por el contrario fluidos aparentemente compatibles taponen los poros de la formación.

### 7.2.3.- EFECTOS DE LOS COMPLEJOS METÁLICOS SOBRE LA MOVILIDAD DE LOS METALES

La toxicidad de los RTP es función de su solubilidad, la cual determina a su vez la movilidad de estos materiales en almacén. Propiedades de la solución tan simples como el pH y Eh afectan a la solubilidad de los metales. Sin embargo, también la presencia de ciertos compuestos orgánicos puede incrementar esta última, como consecuencia de la formación de complejos metálicos. Por ejemplo, los agentes quelantes *ácido nitrilotriacético* (NTA), *diutilentriaminpentacético* (DTPA) y *etilendiaminotetracético* (EDTA) se emplean en el tratamiento de residuos radiactivos, por su efectividad en el transporte de estos residuos a partir de su fuente. Sin embargo, estos mismos agentes quelantes pueden incrementar la movilidad de los metales radiactivos en el medio subterráneo. La solubilidad de la mayoría de los metales es muy superior cuando se hallan bajo la forma de complejos organometálicos. Para evitar este problema es preciso aplicar un pretratamiento para destruir los agentes quelantes, previo a su incorporación a la formación.

Existen también otros productos con una capacidad limitada de coordinarse con metales, entre los que se cuentan *ácidos alifáticos y aromáticos, alcoholes, aldehídos, cetonas, aminas, hidrocarburo aromáticos, ésteres, éteres y fenoles*. Todos ellos pueden acomplejarse parcialmente con metales e incrementar su solubilidad.

Uno de los ácidos alifáticos más comunes en aguas asociadas a los campos petrolíferos es el ácido acético. Estudios realizados en campos petrolíferos de Texas, ponen de manifiesto su presencia en la zona 2 (80-200°C). A temperaturas superiores tal presencia es mínima, lo que se atribuye a procesos de descarboxilación térmica. En la zona 1 (T<80°C) se detectan muy pocos ácidos alifáticos, lo que se justifica en base a la degradación microbiana por las bacterias metanogénicas. También la dilución por mezcla con otras aguas puede contribuir a estas bajas concentraciones.

El estudio de las propiedades de adsorción-desorción del uranio, cobalto, estroncio y cesio, muestra que aunque los agentes quelantes incrementan su solubilidad, no necesariamente reducen la adsorción. De hecho, se ha comprobado que, por ejemplo, el complejo uranio/ácido tiene mayor tendencia a ser adsorbido por las arcillas que el metal individual. A nivel de conclusión general cabe apuntar que la presencia de agentes quelantes no ofrece siempre resultados claros.

A efectos de compatibilidad también resulta importante el nivel de concentración de los metales. Por ejemplo, cuando la concentración de  $Fe^{3+}$  es baja, los ácidos húmicos forman verdaderas soluciones debido al complejo organometálico. Sin embargo, si la concentración es elevada, estos mismos ácidos húmicos forman suspensiones coloidales. Las partículas de los complejos metálicos pueden hallarse poco hidratadas y por tanto, permanecer suspendidas o precipitar, según el tamaño de la partícula. Evidentemente el pH influirá en la química de estos complejos.

La presencia de bacterias introduce un factor de complejidad adicional, puesto que estos organismos son capaces tanto de degradar los complejos organometálicos, como de convertir materiales no acomplejantes en agentes que si

poseen esta propiedad. En el caso hipotético de que en un pozo que contenga residuos no peligrosos con presencia de bacterias, se inyecte un RTP, podría ocurrir que los primeros incrementasen la solubilidad de los metales, su movilidad y en consecuencia también su toxicidad, por otra parte también podría darse la circunstancia de que estos mismos residuos ricos en bacterias incrementasen la adsorción de los metales, en línea con lo expuesto anteriormente.

Por tanto, antes de la inyección es preciso conocer la presencia y concentración de compuestos orgánicos naturales, capaces de formar complejos de coordinación con los materiales, así como de los que vayan a inyectarse simultáneamente o sucesivamente a los inorgánicos -ricos en metales-, incluso aunque no posean carácter peligroso. Asimismo debe considerarse la presencia de bacterias capaces de generar complejos. Cada sistema de inyección debe ser considerado en detalle, a fin de determinar la importancia relativa de las relaciones químicas metal/compuestos orgánicos.

#### 7.2.4.- PROCESOS DE SORCIÓN DE LOS RTP INORGANICOS

Aunque las reacciones entre estos productos y la sílice, dolomita, etc., son relativamente claras, y las que tienen lugar con el agua de la formación a menudo resultan de fácil caracterización, las interacciones que tienen lugar con las arcillas son más difíciles de determinar.

Obviamente, la interacción con el residuo puede dar lugar a procesos de hinchamiento o a la migración de partículas de arcilla. En tal sentido, en las operaciones de recuperación de petróleo secundario y/o terciario, normalmente se evita inyectar soluciones alcalinas y a menudo cualquier solución acuosa en el caso de que existan arcillas

sensibles en la formación. La consecuencia de esta interacción es la reducción drástica de la permeabilidad. Para evitar estos problemas se emplean ciertos productos que estabilizan las arcillas.

La adsorción de materiales orgánicos e inorgánicos depende del tipo y cantidad de arcilla presente en la formación. Los cationes moderadamente solubles presentes en el residuo, son atraídos por las cargas negativas de las arcillas. De esta forma pueden desplazar a los más solubles previamente adsorbidos, resolubilizándolos (intercambio iónico). Algunos de los metales asociados a las arcillas pueden formar uniones fuertes, en la medida que se consideran inmovilizados o adsorbidos permanentemente. Los metales pesados son particularmente susceptibles de este comportamiento.

Las arcillas se consideran saturadas con un ión particular cuando todas las posiciones de intercambio están ocupadas por aquél y por tanto, no existe más capacidad de adsorción. No obstante, este nivel de saturación no sólo depende del tipo y cantidad de arcilla, sino también de que se hallen presentes óxidos de hierro y manganeso, los cuales proporcionan buenas superficies de adsorción.

Las arcillas se componen de capas alternas de tetraedros de sílice y octaedros de óxido de aluminio; sin embargo, ocasionalmente los iones silicio o aluminio pueden ser reemplazados por otros de inferior estado de oxidación, dando lugar a cargas negativas. Aunque el grado de carga depende en gran medida de las condiciones de depósito de arcilla, este intercambio iónico no es uniforme en toda la superficie de la arcilla o entre diferentes tipos de éstas, lo que explica las diferencias de comportamiento de cada una de ellas.

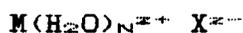
La adsorción de agua entre las capas de arcilla conduce a su hinchamiento. En principio, las capas de arcilla tienden a apilarse de forma que la orientación de las cargas aproxime las de signo opuesto para lograr la neutralidad eléctrica. Si una solución pro salina o de pH elevado entra en contacto con dichas capas, las moléculas de agua comienzan a ser adsorbidas y a separar las capas una de otra. Este realineamiento de las capas generalmente no vuelve a su estado original, ni tan siquiera añadiendo soluciones de elevada salinidad.

Una descripción detallada del proceso de adsorción sería la siguiente. Los cationes cambiabiles son atraídos por la carga negativa de las partículas de arcilla, repeliéndose a su vez entre sí. El entorno próximo a la carga negativa de la arcilla sería pues una diminuta atmósfera, más densa en las proximidades de su superficie, y más difusa a distancias superiores. Si la solución es muy salina, existirán muchos iones para contrarrestar las fuerzas repulsivas entre "atmósferas" alrededor de la arcilla. En consecuencia dichas "atmósferas" serán estables y las velocidades de intercambio muy bajas. Por el contrario, si la salinidad es baja, las atmósferas habrán de ser más difusas para evitar las fuerzas repulsivas entre cationes. Estas atmósferas menos densas conducirán en consecuencia a un "ablandamiento" de la estructura de la arcilla, hinchamiento y migración.

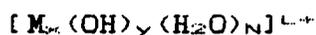
Cada catión se dispone de una forma distinta para formar diferentes atmósferas en el entorno de las arcillas. Existe una experiencia ilustrada al respecto, consistente en tratar un testigo con cierto contenido de arcilla con una solución de  $\text{CaCl}_2$  al 3%, y posteriormente con agua desionizada. Si bien esta última provoca una disminución de densidad en la estructura catiónica, el ión  $\text{Ca}^{2+}$  es atraído con la intensidad suficiente como para evitar la migración de finos. Repitiendo la operación con  $\text{NaCl}$  (reemplazando  $\text{Ca}^{2+}$

por  $\text{Na}^{2+}$ ) y nuevamente agua desionizada, el testigo se obstruye. A diferencia del calcio, el sodio no experimenta una fuerte atracción por la arcilla, por lo que la aplicación de agua destilada provoca una disminución de la densidad de las "atmósferas de sodio".

Los metales polivalentes se unen incluso con mayor intensidad a las arcillas. El primer paso es un proceso de hidratación, dando lugar a formas del tipo:



Después de la hidratación, el metal comienza a hidrolizarse y a formar múltiples asociaciones con otros metales, representadas de la forma siguiente:



Cuando estos iones complejos polinucleares se asocian con las partículas de arcilla, se forma una estructura muy compacta en torno a los cristales de aquélla. Se precisan meses o años para que se alcance el equilibrio de estas asociaciones metálicas.

Una experiencia similar a la anteriormente citada se realizó mediante el tratamiento del testigo con uno de estos metales hidrolizables. La aplicación sucesiva de agua desionizada, NaCl al 3% y nuevamente agua mostró, en contraste con el experimento previo, sólo una ligera reducción de permeabilidad. A diferencia de los iones calcio, los iones polinucleares se enlazan a la arcilla de forma muy compacta, no siendo reemplazados por el sodio cuando el testigo se trata con NaCl.

Esta fuerte adsorción puede resultar muy útil para ciertos residuos peligrosos. Si estos últimos experimentan

tal adsorción, las arcillas quedarán protegidas respecto al hinchamiento y a la migración de finos, preservando al pozo de una obstrucción prematura. Asimismo los residuos quedan inmovilizados de forma permanente en la zona de inyección y sus proximidades.

No obstante, es preciso también considerar otras posibles soluciones. Los metales adsorbidos pueden estarlo a partículas muy pequeñas de arcilla. Si dichas partículas no permanecen unidas a la matriz silícea del almacén, el metal podrá migrar con la propia partícula. Este mecanismo de movilización puede llegar a ser muy importante.

Se distinguen dos tipos de fuerzas entre partículas: físicas y químicas. Las primeras incluyen las interacciones entre partículas en suspensión, entre éstas y los granos de arena, y entre partículas de suspensión y la propia tierra en forma de efectos gravitacionales. En función del tipo de fuerza que predomine, las partículas pueden agregarse, adsorberse sobre la superficie de las rocas, o abandonar la suspensión. También puede llegar a alcanzarse un pseudo-equilibrio si la energía de estas fuerzas no es tan grande como para superar la energía térmica media del sistema.

En relación con estas fuerzas físicas se ha podido comprobar mediante experimentos de flujo a través de testigos, que cuando la salinidad del efluente es baja, iones y partículas son fuertemente retenidas por las arenas en el testigo, cosa que no ocurre cuando la salinidad es elevada. La explicación propuesta es que la solubilidad afecta a las fuerzas atractivas entre las partículas en suspensión y los granos de arena. Las uniones catión-partícula de arcilla son suficientemente fuertes como para mantenerse frente a estos fenómenos.

La adsorción de los residuos sobre las arcillas en la

zona de inyección es deseable, ya que los fluidos pueden resultar menos peligrosos, y las arcillas ganarían cierta protección frente al hinchamiento y la migración. Evidentemente tal adsorción no es deseable si conduce a la obstrucción del sondeo. Resulta muy difícil predecir cuánto residuo puede ser absorbido, cuánto permanecerá inmobilizado, y bajo qué circunstancias podría resultar desorbido.

### 7.3.- PROCESOS QUE INVOLUCRAN RESIDUOS PELIGROSOS ORGANICOS

#### 7.3.1.- INTRODUCCIÓN

A diferencia de los inorgánicos, los residuos orgánicos pueden convertirse en productos no peligrosos mediante transformaciones moleculares. Procesos tales como el intercambio iónico, oxidación, reducción, hidrólisis, ciclación y transformaciones biológicas, pueden reducir la peligrosidad de ciertos residuos, pero también incrementar la toxicidad de algunos otros.

Debido al enorme número de estos productos, resulta muy difícil determinar cuál será en último término su efecto nocivo, a diferencia de lo que ocurre con los inorgánicos. Por ejemplo, las conclusiones de un estudio acerca de la inyección de residuos orgánico en Willmington, NC, sugieren que los procesos químicos y biológicos que tienen lugar son los siguientes:

- Disolución de minerales carbonatados por los ácidos orgánicos y producción de CO<sub>2</sub>.
- Disolución y formación de complejos de hierro derivados de los óxidos que recubren los materiales granulares del acuífero, por acción de los ácidos orgánicos.

- Reprecipitación de los complejos de hierro disueltos durante la neutralización de los residuos.
- Coprecipitación del ácido ftálico acomplejado con el hierro, durante la precipitación de éste.
- Producción de metano por degradación microbiana.
- Reducción microbiana de sulfatos y sulfitos.
- Reducción del ión férrico a ferroso debido a cambios de pH y Eh relacionados con la degradación microbiana del residuo.
- Retención de los ácidos orgánicos residuales por adsorción e intercambio iónico sobre los constituyentes minerales de la zona de inyección.
- Formación de hidróxido y carbonato férricos y ácidos tereftálico como precipitados, así como CO<sub>2</sub>, que obstruyen el sondeo.

El tipo de ambiente -aerobio o anaerobio- determinará el proceso de biodegradación predominante, puesto que son diferentes los organismos dominantes en uno u otro. El propio residuo inyectado puede incluso llegar a transformar a anaerobio un ambiente aerobio. Se han analizado algunos estudios acerca de la evolución de ciertos compuestos orgánicos. Por ejemplo, los clorobencenos se degradan en condiciones aerobias, nunca anaerobias. Por el contrario, el tetracloruro de carbono lo hace sólo en medio anaerobio (metanogénesis y desnitrificación). A continuación se describen algunos de estos procesos.

### 7.3.2.- DEGRADACIÓN TÉRMICA

Los procesos de oxidación, reducción, hidrólisis,

absorción y degradación microbiológica, son comunes en la transformación de los residuos orgánicos. También son posibles otros procesos de carácter térmico: pirólisis, reacciones de condensación, ciclación, reordenación intramolecular, etc., los cuáles dependen tanto de la existencia de temperaturas muy altas, como de la presencia de otros productos.

Las temperaturas y presiones de almacén que normalmente existen en las zonas de inyección, son por lo general excesivamente bajas para iniciar estos procesos. Sin embargo, si estos productos entran en contacto con otros residuos, pueden tener lugar algunos de los procesos citados al principio del párrafo. Por ejemplo, los fenoles pueden reaccionar con el formaldehído para dar resinas fenólicas. Puesto que se trata de reacciones muy específicas, es preciso considerar al respecto cada caso de forma particular, evaluando las características del almacén y de los residuos.

### 7.3.3.- PROCESOS DE ADSORCIÓN

La adsorción constituye el mecanismo de interacción fluido-sólido más importante en lo que se refiere a la movilidad de los residuos orgánicos. Es un proceso básicamente dependiente de las arcillas.

#### CAP. ADSORCIÓN

Montmorillonita, vermiculita	ALTA
Illita, abrita	MEDIA
Caolinita	BAJA

La capacidad de adsorción es función de la superficie disponible.

Existen diversos factores que influyen en el grado de

adsorción de los diferentes productos orgánicos residuales: forma y configuración molecular, acidez, solubilidad en agua, distribución de carga, polaridad, tamaño molecular, etc. La mayor parte de los que resultan adsorbidos lo son en función de todas estas propiedades, que contribuyen en grado variable al fenómeno. Por ello no es posible predecir la adsorción en base a una de ellas, sin considerar las restantes.

Otro factor que influye sobre la adsorción es la temperatura. Aunque generalmente los procesos de adsorción son exotérmicos y los de desorción endotérmicos, un incremento de temperatura normalmente reduce la adsorción, si bien existen excepciones (el pesticida EPTC, por ejemplo).

Los posibles mecanismos de adsorción de productos orgánicos son diversos: intercambio iónico, protonación sobre la superficie silicatada, protonación en la solución con adsorción subsecuente por intercambio iónico, y protonación por reacción con protones disociados procedentes del agua residual presente en la superficie o en coordinación con el catión de cambio. Los compuestos orgánicos más fácilmente adsorbidos por intercambio son los que poseen cationes, mediante un proceso similar al expuesto para residuos inorgánicos. Otros métodos de adsorción incluyen la adsorción química vía fuerzas de Van der Waals, puentes de hidrógeno, y coordinación con metales.

El pentaclorofenol es un compuesto especialmente estudiado. Tales estudios han puesto en evidencia que su adsorción se realiza mediante una combinación de intercambio iónico y fuerzas de Van der Waals. El pH influye sobre el proceso; por ejemplo, en medio ácido su concentración decrece por precipitación, mientras que para valores superiores a 5, en presencia de arcillas el descenso es debido a la adsorción (no a la precipitación).

El efecto de la temperatura sobre la adsorción del pentaclorofenol es contrario al esperado. Para cuatro tipos diferentes de arcillas, dicha adsorción es mayor a altas (33°C) que a bajas temperaturas.

Como era previsible, un aumento de la salinidad provoca un descenso en la adsorción del pentaclorofenol. Ello presupone que la adsorción se realiza por intercambio.

Otros mecanismos estudiados de adsorción de productos orgánicos incluyen el reemplazamiento de metales por moléculas catiónicas, sustitución de metales por moléculas neutras hidrogenadas para convertirse en catiónicas, intercambio iónico con metales polivalentes adheridos a la arcilla, coordinación con cationes metálicos, y uniones hidrógeno. Muchos de estos mecanismos han sido estudiados y demostrados mediante técnicas diversas: isotermas de adsorción, calorimetría, difracción de rayos X, espectroscopía UV-visible, de resonancia de spin-electrón e infrarroja.

Una vez adsorbidos, los productos orgánicos pueden sufrir una serie de procesos que provoquen su degradación. Por ejemplo, pueden concentrarse microorganismos sobre la superficie sólida y metabolizar los residuos orgánicos. Estos últimos pueden asimismo experimentar otras reacciones químicas si las arcillas o los materiales adheridos a éstas pueden actuar como catalizadores de dichas reacciones (este proceso tiene lugar con la hidrólisis de ésteres).

Existen diversas experiencias acerca de la adsorción de productos orgánicos específicos:

\* El estudio de la adsorción de tricloroetileno y pentaclorofenol sobre diversos suelos de Missouri, indicó que el primero se adsorbía menos que el segundo, y que un

aumento del pH disminuía en ambos casos la adsorción.

- \* El tetracloruro de carbono y el cloroformo no se adsorben en arcillas saturadas en calcio, si bien el segundo de dichos compuestos muestra un 17% de adsorción en arcillas saturadas en aluminio.

La ecuación de Freundlich es utilizada con frecuencia para evaluar la adsorción de compuestos químicos en suelos:

$$X/m = KC^n$$

x = cantidad de producto adsorbida

m = masa de suelo

C = concentración de equilibrio del producto

K = cte. que describe la magnitud de la adsorción

n = cte. que describe la naturaleza de la adsorción

El uso de esta fórmula para inyección en sondeos profundos no ha sido estudiado.

#### 7.3.4.- OXIDACIÓN

Son procesos capaces de transformar estos residuos en otros compuestos, siendo al respecto especialmente susceptibles los fenoles, aminas aromáticas, olefinas, dienos, sulfuros de alquilo y "eneaminas". Los distintos tipos de radicales oxígeno presentes en el agua y suelos que inician el proceso de oxidación son HO·, RO· y O<sub>2</sub>, en función de las condiciones ambientales. Su importancia en las operaciones de inyección no ha sido evaluada, si bien existen casos tales como la inyección simultánea o sucesiva de ciertos residuos conteniendo cromo(VI) y de productos orgánicos, en los que se ha comprobado la importancia de la oxidación de estos últimos.

### 7.3.5.- HIDRÓLISIS

Es un proceso químico por el cual el grupo funcional de una molécula es reemplazado por un  $\text{OH}^-$  proveniente de la molécula de agua. La hidrólisis puede ser catalizada por ácidos y bases.

La hidrólisis en el ambiente está influenciada por factores tales como el pH, temperatura y presencia de otros iones, que afectan a la velocidad del proceso. El mecanismo depende en gran medida del pH. Cuando éste es bajo, el ión  $\text{H}_3\text{O}^+$  predomina en la hidrólisis, mientras que si es elevado lo sería el  $\text{OH}^-$ . No se conoce con certeza la magnitud de la influencia de la temperatura. La presencia de alcalinos e iones de metales pesados puede catalizar la hidrólisis de una variedad de ésteres.

El efecto del pH puede ilustrarse a través de los haluros alifáticos y alílicos. La hidrólisis de estos compuestos puede tener lugar en condiciones neutras o básicas para dar alcoholes, pero no es probable en medio ácido. El tipo de haluro influirá en la velocidad del proceso: la cte. de velocidad para el fenil diclorometano es aproximadamente 5 órdenes de magnitud superior que la del diclorometano. El clorobenceno es resistente a la hidrólisis en condiciones normales.

La mayor parte de los residuos peligrosos estudiados que potencialmente pueden experimentar reacciones de hidrólisis son los hidrocarburos halogenados, tales como el tetracloruro de carbono, dibromuro de etileno y cloroformo. La mayor parte de los resultados disponibles respecto a la vida media de estos compuestos se refieren a profundidades próximas a la superficie. Por ejemplo, la del dibromuro de etileno es de 5 a 10 días, mientras que la del tetracloruro de carbono -mucho mas resistente- oscila entre 700 y 7000

años. En el caso del cloroformo se sitúa entre estos dos rangos de valores. En ambientes subterráneos, el incremento de temperatura y presión y el valor del Eh pueden acortar la vida media de estos compuestos. Puesto que los hidrocarburos halogenados en su mayor parte no resultan biodegradables, la hidrólisis constituye su principal mecanismo de degradación.

Los tiempos de vida media pueden estimarse con buena precisión si se conocen las ctes. de velocidad para el compuesto en las condiciones apropiadas de T<sup>a</sup>, pH, fuerza iónica, etc.. Sin embargo la cantidad de datos disponibles es limitada, y las extrapolaciones por ejemplo, de las condiciones de temperatura, pueden conducir a grandes errores.

#### 7.3.6.- DEGRADACIÓN MICROBIOLÓGICA

La biodegradación puede desarrollarse a través de una variedad de procesos, entre los que se incluyen:

- Mineralización:* Conversión a inorgánico de un residuo orgánico.
- Destoxificación:* Conversión a no tóxico de un residuo tóxico.
- Activación:* Conversión a tóxico de un residuo no tóxico.
- Cometabolismo:* Conversión de un compuesto orgánico en otro, sin que el microorganismo emplee este proceso como medio de nutrición.
- Desactivación:* Conversión de un compuesto potencialmente capaz de transformarse en peligroso, evitando la formación del intermediario peligroso. Este proceso ha sido confirmado

en laboratorio, pero no ha sido identificado en el ambiente.

La primera cuestión que se plantea respecto a la biodegradación es la siguiente: ¿existen o pueden existir en las condiciones de la zona de inyección microbios capaces de convertir residuos orgánicos en residuos no peligrosos?. El tema ha sido tratado por diversos investigadores, pudiendo extraerse algunos ejemplos:

- Inyección en un acuífero salino a profundidades entre 850 y 1000 pies.- Gran parte del residuo inyectado contenía compuestos orgánicos tales como ácido acético, ácido fórmico y metanol. Del acuífero no contaminado se aislaron alrededor de 3000 organismos/ml, la mayor parte de los cuales eran aerobios típicos de ambientes acuáticos. Los géneros más comunes fueron: *Abrobaterum*, *Pseudomonas*, *Protens*, *Bacillus*, *Aerobacter*, *Coryne bactor*, *Arthabacter* y *Micrococcus*. Por el contrario, las muestras recogidas tras la inyección contenían bacterias anaerobias metanogénicas.
- Actividad microbiológica en minas subterráneas en Europa.- La profundidad de las aguas muestreadas oscilaba desde 600 hasta más de 3000 pies por debajo de la superficie. Se encontraron microorganismos en todos los pozos, si bien la mayor variedad correspondió al acuífero menos salino. El rango de salinidades era de  $5,7 \times 10^{20}$  mg/l de cloruros a más de  $1,32 \times 10^{25}$  mg/l.
- Degradación de residuos en condiciones subsuperficiales tipo (simulación en laboratorio).- Se observa que normalmente la degradación aerobia es más eficiente que la anaerobia, puesto que algunos compuestos como los hidrocarburos aromáticos sólo se degradan por el primero de los procesos, que por otra parte no están limitados por las temperaturas elevadas. Investigaciones adicionales

mostraron que una vez que se ha producido la inyección, aparecen microorganismos que pueden utilizar los residuos y que permanecen mientras exista la inyección. Los compuestos considerados en estas experiencias fueron nitritos, ácidos carboxílicos, alcoholes, aminas, ácidos benzoicos, fenoles, cetonas, aldehídos, compuestos nitroaromáticos, y otros. Estos compuestos fueron utilizados para enriquecer cultivos y determinar qué organismos eran capaces de incorporar y modificar tales compuestos. Se estudiaron también los efectos de la temperatura, presión y sistemas de mezcla de cultivos.

- La inyección de residuos orgánicos da lugar fundamentalmente a condiciones anaerobias. A diferencia de los sistemas biológicos de los acuíferos no contaminados, los microorganismos en la zona de inyección durante el período en que ésta se desarrolla son fundamentalmente bacterias metanogénicas y sulfato-reductoras. Esta conclusión viene avalada por el estudio de modelos de laboratorio. La población microbiana se incrementa siete o más órdenes de magnitud cuando se introduce el residuo en el modelo. Los efectos de la presión son variables: la velocidad de degradación del ácido fórmico se incrementaba con la presión cuando esta crecía hasta 500 psi, pero disminuía con un incremento adicional hasta 4.000 psi.
- Se ha comprobado que ciertos alcanos y alquenos clorados no se degradan en el subsuelo. Sin embargo, otros compuestos tales como el tolueno y estireno si lo hacían en las mismas condiciones, si bien no de la misma forma en ambientes diferentes. En consecuencia el estudio de la biodegradación debería particularizarse a cada caso concreto.
- El estudio de la degradación de compuestos tales como acetato, formato, metanol, formaldehído y ácidos aromáticos a través de modelos de laboratorio, arrojan interesantes

consideraciones acerca de las bacterias metanogénicas y sulfato-reductoras. Aparentemente, incluso aunque estuviesen disponibles los nutrientes requeridos, las primeras de ellas no proliferan pero si lo hacen las segundas en la zona estudiada. La causa de este comportamiento podría estar en el pH predominante durante el test, al cual ambos tipos de bacterias se excluyen mutuamente. Obviamente, la degradación del residuo inyectado dependerá del tipo de bacterias que prevalezca, puesto que unas y otras actúan sobre tipos diferentes de compuestos.

- Si bien diversos estudios han puesto de manifiesto la existencia de bacterias en ambientes subterráneos, algunos de los factores necesarios para predecir tal circunstancia permanecen indeterminados. El origen real de estas bacterias no ha sido establecido, su nivel de actividad no siempre se conoce, y la importancia sobre la degradación microbiológica de otros procesos no biológicos ya citados es un factor, aún pendiente de estudio.
  
- Aunque carece de importancia directa, se han realizado estudios acerca de la influencia sobre las bacterias de la presión. Por ejemplo, el crecimiento y reproducción de la *E. Coli* se retarda entre 1 y 400 atmósferas, y su muerte se acelera por encima de este último valor. Los resultados son diferentes cuando se experimenta con otro tipo de bacterias, si bien en términos generales se observa que el crecimiento y reproducción decrecen para incrementos de presión hasta de 600 atm. Las bacterias de origen marino procedente de profundidades a las que existen estas mismas presiones, demuestran un crecimiento satisfactorio en los estudios de laboratorio, particularmente en condiciones ligeramente calientes. No se conocen los efectos de la presión sobre la velocidad del metabolismo.

En resumen, la degradación microbiana es con frecuencia un muy importante mecanismo de transformación de residuos peligrosos en no peligrosos. Las bacterias han sido identificadas en ambientes subterráneos, dentro de ciertos límites, son capaces de sobrevivir en ambientes relativamente hostiles. A través de diferentes estudios se ha observado que los procesos de transformación de tipo biológico son complejos y difíciles de establecer. En consecuencia, no se debe conferir excesiva importancia a dichos procesos como sistema de destoxificación, a menos que a través de estudios piloto se haya comprobado su existencia.

#### 7.4.- EJEMPLOS

##### 7.4.1.- BELLE GLADE (FLORIDA)

El caso estudiado consiste en la migración ascendente e interacciones geoquímicas de un residuo industrial ácido inyectado en un acuífero salino próximo a Belle Glade. Dicho residuo líquido y caliente generado en una fábrica de furfural, se inyectaba en la parte inferior del acuífero entre 1485-1939 pies. La inyección se inició en 1966, y tras aproximadamente 27 meses de detectaron los efectos del residuo en los pozos de control superficial situados en la parte superior del acuífero.

El análisis de las muestras de agua indicaba que los residuos eran transportados hacia arriba y lateralmente. Tal migración se detectó a través de una disminución de la relación  $SO_4^{2-}/Cl^-$  y el correspondiente incremento en la concentración de  $H_2S$ .

Para corregir esta situación, se incrementó la

profundidad de inyección a 2200 pies; sin embargo continuó produciéndose la migración ascendente, por lo que se profundizó hasta 3000 pies la zona de inyección. No se conoce la efectividad de esta última estrategia. Se ha propuesto como conclusión que el acuífero carbonatado no puede contener residuos calientes. No se ha determinado la extensión real de la contaminación.

La primera reacción entre el residuo y las calizas del acuífero es la neutralización de los ácidos, de la que resulta un incremento en la solución residual de calcio, magnesio y sílice. Las bacterias sulfatorreductoras presentes en la formación convierten el  $\text{SO}_4^{2-}$  en  $\text{S}^{2-}$ . El consiguiente descenso de la relación  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$  permite utilizar esta última como indicador de contaminación.

#### 8.4.2.- WILLMINGTON (NORTH CAROLINA)

Desde Mayo de 1968 a Diciembre de 1972, se realizó una inyección de residuos orgánicos derivados de la fabricación de dimetil tereftalato, a razón de  $3 \times 10^5$  galones/día ( $1.135,5 \text{ m}^3/\text{día}$ ), en un acuífero sedimentario conteniendo agua salina en un lugar próximo a Willmington. La zona de inyección está integrada por múltiples tramos en un rango de profundidad de 850 a 1000 pies. Una vez que los operadores determinaron que el almacenamiento de este residuo en el acuífero no era deseable, la inyección se llevó a cabo de forma discontinua. La vigilancia se mantuvo hasta mediados de 1970.

En 1971 se puso en marcha un estudio para investigar las interacciones del residuo en el acuífero. El primer paso fue la caracterización del residuo, del agua subterránea en la zona de inyección y de las condiciones hidrogeológicas. El componente mayoritario del agua resultó ser cloruro sódico,

con un contenido medio de sólidos disueltos de 20.800 mg/l. El contenido medio en carbono orgánico disuelto del residuo era de 7.100 mg/l, comprendiendo ácidos acético, fórmico, p-toluico, tereftálico, ftálico y benzoico, formaldehído y metanol. Previo a la inyección el residuo se neutralizaba a pH 4 por adición de cal, por lo que su componente inorgánico mayoritario era el calcio (1.300 mg/l).

La segunda parte del estudio consistió en determinar la interacción residuo-acuífero a través de varios sondeos de observación. Las muestras de agua se tomaban en tres pozos de observación situados entre 1.500 y 2.000 pies de los pozos de inyección. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Los residuos orgánicos ácidos son responsables de la disolución de minerales carbonatados, alúmino-silicatados y de los recubrimientos de sesquióxidos de los minerales primarios en la zona de inyección. Asimismo, forman complejos con los óxidos de hierro y manganeso. Estos complejos disueltos reprecipitan cuando el pH se incrementa a 5,5 ó 6,0, debido a la neutralización del residuo por los carbonatos y óxidos del acuífero.
- Los constituyentes minerales del acuífero adsorben todos los componentes del residuo orgánico excepto el formaldehído. La sorción de todos los ácidos orgánicos excepto el ftálico se incrementa con el descenso del pH del residuo.
- El ácido ftálico se acompleja con el hierro disuelto. La concentración de este complejo decrece con el incremento del pH, debido que dicho complejo coprecipita con el óxido de hierro.
- La transformación bioquímica del residuo tiene lugar a bajas concentraciones de este último. El resultado es la

producción de metano. Asimismo, una degradación microbiológica adicional del residuo da lugar a la conversión de sulfatos en sulfuros, y en la reducción de  $\text{Fe}^{3+}$  a  $\text{Fe}^{2+}$ . Este último proceso tiene lugar de forma lenta en el ambiente subterráneo en cuestión.

Los pozos comenzaron a taponarse pocos meses después de iniciada la inyección, debido al carácter reactivo del residuo. En consecuencia, la compatibilidad de los mismos con los fluidos y minerales en la zona de inyección, ha de ser considerada antes de que la inyección se realice. En este caso, el taponamiento de los pozos se debe a la precipitación de minerales inicialmente disueltos, de la formación de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ , y de la disolución por los ácidos orgánicos del cemento situado entre el casing del pozo y la formación. Este taponamiento provocó el ascenso del residuo inyectado hacia zonas superficiales.

#### 7.4.3.- PENSACOLA, FLORIDA. (AMERICAN CYANAMID)

Este caso corresponde a la investigación realizada acerca de la inyección en la formación caliza de un acuífero próximo a Pensacola, de un residuo líquido conteniendo organonitrilos y nitrato.

El análisis químico del agua de un sondeo de vigilancia y del flujo de retorno del pozo de inyección, indicaban que los compuestos orgánicos se transformaban en  $\text{CO}_2$  y el  $\text{NO}_3^-$  se reducía a nitrógeno elemental. Estas transformaciones microbiológicas eran virtualmente completas a corta distancia del pozo de inyección.

El tiocianato sódico contenido en el residuo permanece inalterado durante su movimiento a través de la zona de inyección. Por ello fue utilizado para detectar el grado de

mezcla con el agua subterránea, a través de los pozos de observación. El análisis de esta última puso de manifiesto que el residuo líquido se hallaba totalmente libre de organonitrilos y nitratos, así como una reducción del 80% en la DQO.

#### 7.4.4.- PENSACOLA, FLORIDA (MONSANTO)

La planta química de Monsanto Company produce residuos líquidos compuestos de ácido nítrico, sales inorgánicas y numerosos compuestos orgánicos. Los residuos eran inyectados en un acuífero calizo de agua salada. El estudio realizado comprende datos hidráulicos y químicos recogidos entre 1970 y 1977, que incluyen velocidades, volúmenes y presiones de inyección, niveles de agua y análisis de las muestras recogidas en los sondeos de observación.

La presión media en cabeza de pozo era de 180 psi en Marzo de 1977, y el gradiente de presión hidráulica de 0,53 psi/pie de profundidad en el techo de la zona de inyección. Mientras el carácter químico de las muestras de agua pertenecientes a los pozos de observación más superficiales permanece inalterada, la de los pozos profundos situados al sur muestran un incremento de las concentraciones de bicarbonato, carbono orgánico disuelto y contenido en gas. Estas observaciones indican que la degradación microbiana de los residuos tenía lugar en la zona de inyección.

#### 7.5.- CONCLUSIONES

- El test básico de compatibilidad consistente en la mezcla del fluido residual con agua de almacén no siempre aporta resultados significativos. Tal test debería realizarse bajo

las condiciones del almacén. Caso de que en estos ensayos se produzcan precipitados, pueden o no -en función de su naturaleza- taponar el pozo.

- El pH de la solución es un factor crítico para determinar el comportamiento de los residuos orgánicos. La identidad de las especies solubles, productos de solubilidad, características de adsorción e interacciones químicas, son algunas de las variables afectadas por el pH.
- La concentración salina, factor que no se cataloga de peligroso, es sin embargo muy importante en cuanto que afecta a la estabilidad de las arcillas y características de adsorción.
- La presencia de agentes complejantes orgánicos puede o no afectar a la movilidad de los metales pesados en el almacén.
- La adsorción de los residuos no orgánicos depende de varios factores: Eh, pH, tipo de arcillas y presencia o ausencia de óxidos e hidróxidos de hierro.
- Los modelos matemáticos pueden predecir satisfactoriamente ciertos procesos de reacción. Sin embargo, no se han modelado aún algunas interacciones.
- Los pentaclorofenoles son adsorbidos por las arcillas mediante una combinación de intercambio iónico y fuerzas de Van der Waals.
- La hidrólisis es el principal mecanismo de degradación para algunos hidrocarburos halogenados.
- La degradación microbiana de los residuos orgánicos peligrosos ha demostrado ser útil como medio de

descontaminación post-inyección. Los residuos pueden soportar el crecimiento de ciertas bacterias durante el proceso de inyección. Sin embargo, los resultados no son siempre predecibles, y los estudios realizados sugieren que cada caso ha de evaluarse individualmente para determinar la factibilidad del proceso.

- Las características litológicas de la formación almacén influye de forma primordial en la viabilidad de la operación. Un gran número de los efectos y reacciones enumerados y analizados anteriormente, tienen una incidencia muy diferente según el tipo de formación almacén de que se trate. A este efecto hay que señalar las extraordinarias ventajas de los almacenes carbonatados, con elevada permeabilidad por fracturación y disolución, con respecto a los almacenes detríticos en los que la permeabilidad es primaria por porosidad y en los que habitualmente junto con las arenas, areniscas o conglomerados, coexisten capas de arcillas. Estas arcillas son fuente de un buen número de todos los problemas planteados en apartados anteriores.

**8.- AREAS DE INTERÉS, PROPUESTA DE SOLUCIONES.**

---

### 8.1.- INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista geológico, todos los datos analizados durante la realización del estudio confirman como zona de mejores características para emprender una operación de inyección, el área costera de la provincia de Huelva, desde Huelva hasta Matalascañas (Fig. 16).

Al Oeste del meridiano de Huelva no se tiene evidencia de la existencia de almacenes, estando además el basamento triásico-paleozóico muy poco profundo.

Al Este de Matalascañas (e incluso en el subsuelo de la misma urbanización) la profundidad a que se encuentran los citados almacenes es muy grande para la realización del sondeo de inyección y los de monitoring de la operación.

Por otra parte hay que destacar que esta zona seleccionada, es además en la que los problemas de eliminación de residuos se hacen más acuciantes. Como ya se ha citado en otros capítulos de este informe los residuos de los polígonos industriales de Huelva, así como las aguas residuales urbanas de Huelva, Mazagón y Matalascañas, tienen actualmente planteados problemas muy graves de afección al medio ambiente, que necesitan urgente solución.

Parece por tanto lógico, ante la constatación de ambos factores (posibilidades geológicas y problemas de gestión de residuos), realizar la propuesta de sistemas de inyección como una más de las posibles soluciones a la citada gestión de residuos.

En los apartados siguientes se van a realizar cuatro

# SECCION ESQUEMATICA EN PROFUNDIDAD

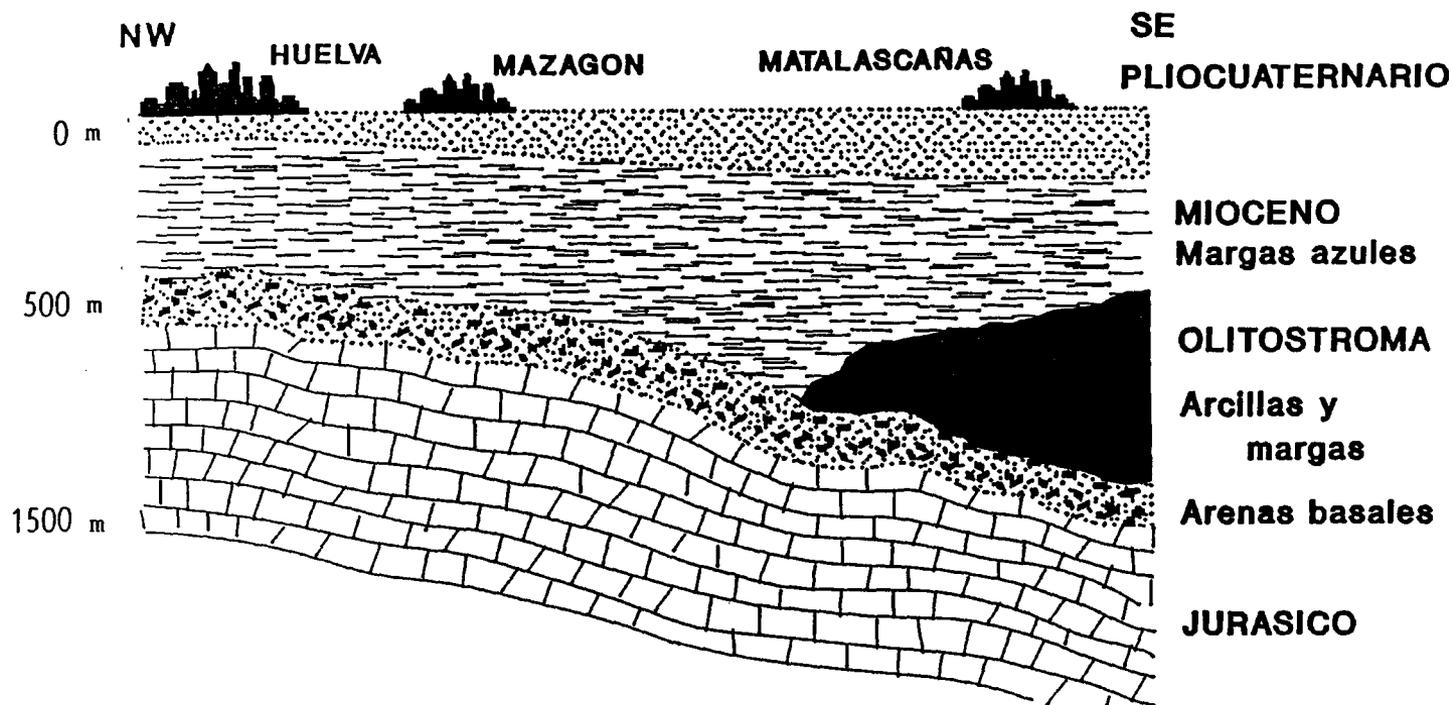


FIGURA 16

propuestas de esquemas de inyección como alternativa a la gestión de aguas residuales urbanas en la ciudad de Huelva, residuos industriales en el polígono Nuevo Puerto, aguas residuales de Mazagón y aguas residuales de Matalascañas (Plano nº 5).

## 8.2.- PROPUESTAS

### 8.2.1.- CIUDAD DE HUELVA

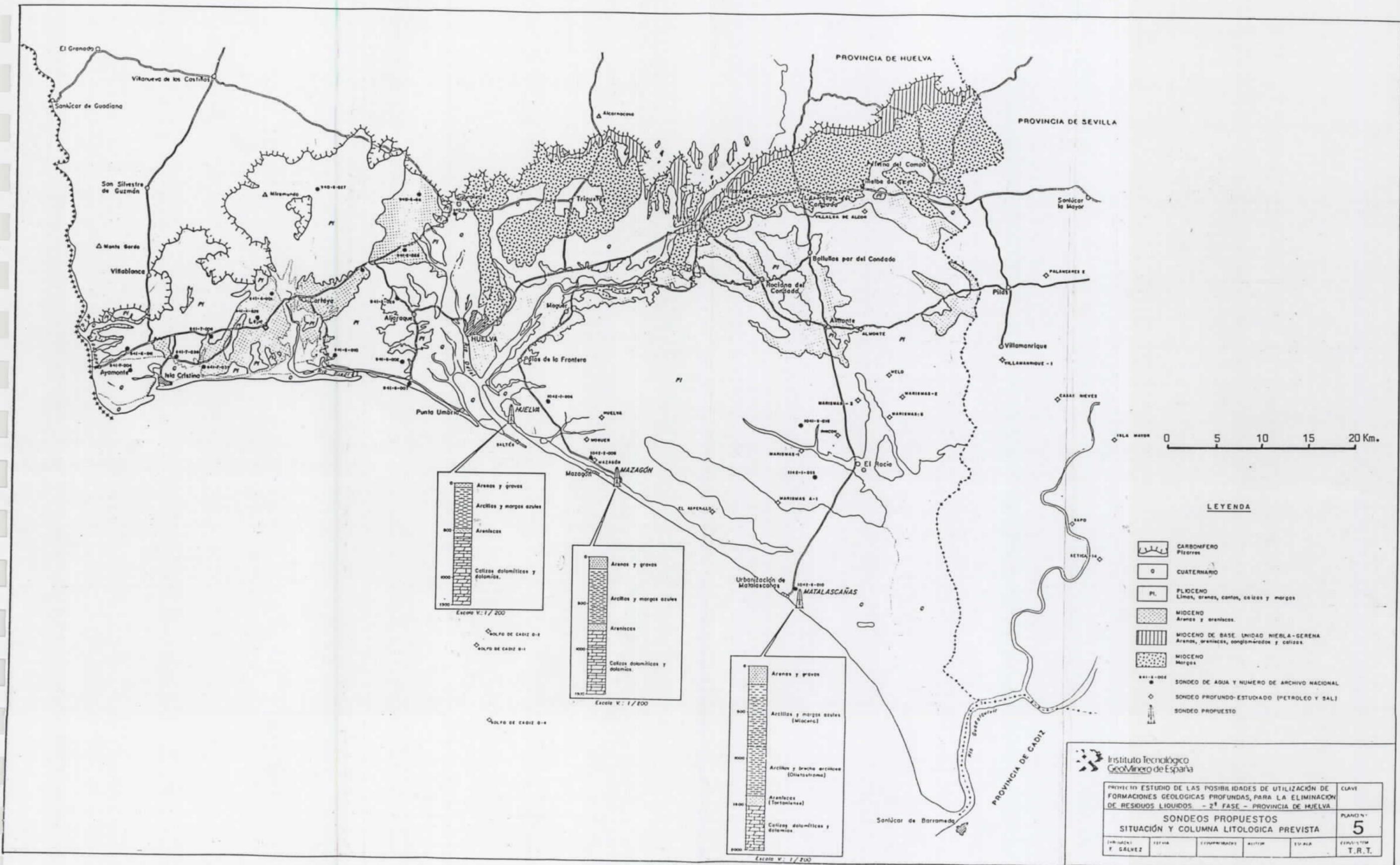
Actualmente las aguas residuales de Huelva no son depuradas y se vierten íntegramente a la ría. Según las informaciones obtenidas, existe un proyecto de depuradora que se piensa ejecutar próximamente. La inyección de estas aguas residuales mediante 2 ó 3 pozos en los almacenes jurásicos puede ser una solución económicamente competitiva.

El corte geológico previsto para los sondeos sería el siguiente:

<u>Profundidad (m)</u>	<u>Geología prevista</u>
0-50	Pliocuaternario (arenas, gravas y limos)
50-500	Mioceno (arcillas y margas azules)
500-1000	Jurásico (calizas y dolomías)

Teniendo en cuenta la protección que hay que realizar del acuífero superficial así como la necesidad del mayor diámetro de inyección posible, se propone el siguiente esquema de pozo de inyección:

<u>Profundidad (m)</u>	<u>Perforación (mmø)</u>	<u>Entubación (mmø)</u>
0-5	1.500	1.000
5-70	850	650
70-550	600	400
550-1000	350	Sin tubería



**LEYENDA**

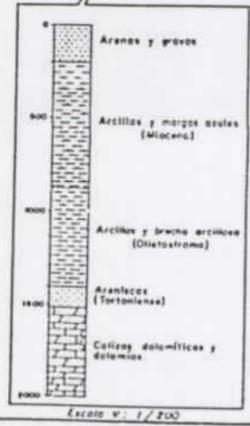
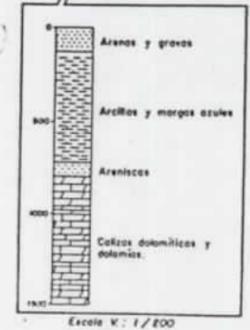
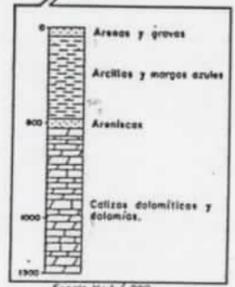
- CARBONIFERO  
Pizarras
- CUATERNARIO
- PL. PLEOCENO  
Limas, arenas, conchas, calizas y margas
- MIOCENO  
Arenas y areniscas
- MIOCENO DE BASE UNIDAD HUELVA-GERENA  
Arenas, areniscas, conglomerados y calizas
- MIOCENO  
Margas
- SONDOS DE AGUA Y NUMERO DE ARCHIVO NACIONAL
- SONDOS PROFUNDOS-ESTUDIADOS (PETROLEO Y SAL)
- SONDOS PROPUESTOS

Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

PROYECTO DE ESTUDIO DE LAS POSIBILIDADES DE UTILIZACIÓN DE FORMACIONES GEOLOGICAS PROFUNDAS, PARA LA ELIMINACIÓN DE RESIDUOS LIQUIDOS - 2ª FASE - PROVINCIA DE HUELVA

SONDOS PROPUESTOS  
SITUACIÓN Y COLUMNA LITOLÓGICA PREVISTA

ELABORADO F. GÁLVEZ	REVISADO	COORDINADOR	APROBADO	FECHA	CLAVE PLANO N.º <b>5</b> Escala: 1/200 T.R.T.
------------------------	----------	-------------	----------	-------	---



Las tuberías irían cementadas hasta superficie, siendo especialmente importante la cementación de la tubería que llega a 70 metros y que protegería el acuífero superficial. La figura 17 presenta esquemáticamente el sondeo propuesto. éste debería situarse próximo al mar, frente al polígono del Nuevo Puerto, con lo que el sondeo Saltés, debidamente reacondicionado, podría servir de control a nivel de almacén. Además sería conveniente realizar un sondeo de pequeño diámetro para llevar el control del almacén en dirección Norte a una distancia aproximada de 3-4 Km y un sondeo de pequeño diámetro a 50 metros de profundidad para controlar el acuífero superficial a una distancia del sistema de inyección de 30-50 metros.

El presupuesto para cada pozo de inyección con el esquema de acabado que se ha presentado, para precios de 1990, se puede estimar en 100-150 M.P. Este margen del 50% se debe a la posibilidad de utilizar dos tipos de máquinas, de diferente tamaño y por lo tanto capacidad de perforación.

Las instalaciones de pretratamiento, preparación y bombeo del residuo se estiman del orden de 50 M.P. para cada pozo de inyección.

#### 8.2.2.- POLÍGONO INDUSTRIAL NUEVO PUERTO

Los datos geológicos son los mismos que para la propuesta anterior, ya que la ubicación del sondeo sería la misma. El acabado de pozo difiere, siendo necesario en el caso de las industrias la colocación de una tubeía de fibra de vidrio en el interior de la última tubería de acero, ya que éstas serían rápidamente afectadas por la composición química de los residuos.

El presupuesto vendría incrementado tanto por el precio

# SONDEO DE HUELVA

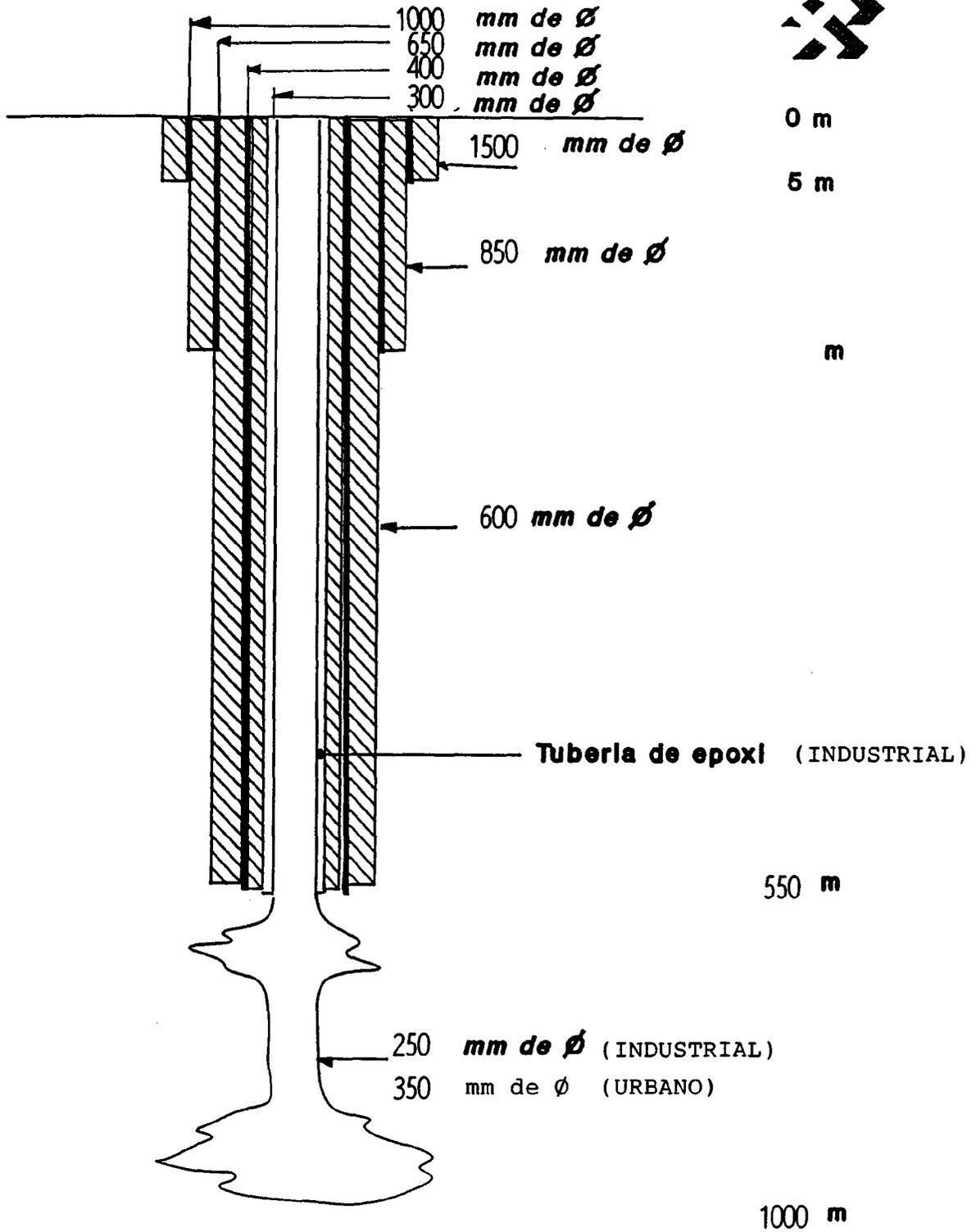


FIGURA 17

de la tubería de fibra como por los costos extras de tiempo de equipo y cementación de dicha tubería, alcanzando el coste de cada pozo los 125 a 175 M.P. según el tamaño de máquina que se emplee. No se calcula en este caso el precio de las instalaciones de superficie pues su evaluación depende estrechamente del tipo de residuo a inyectar así como del volumen del mismo. El presupuesto de estas instalaciones suele ser (como estimación de magnitud) del orden de 10-15% del presupuesto de las instalaciones de tratamiento físico-químico del mismo producto, según datos procedentes de este sector industrial en E.E.U.U.

### 8.2.3.- URBANIZACIONES DE MAZAGÓN

Las urbanizaciones de Mazagón tienen planteados, aunque con menor virulencia, los mismos problemas de gestión de aguas residuales que Matalascañas. Aunque recientemente se ha construido una planta, todavía no se ha puesto en funcionamiento persistiendo el problema del emisario submarino y su mantenimiento.

El corte geológico previsto difiere ligeramente del planteado en la zona de la ciudad de Huelva, y sería el siguiente:

<u>Profundidad (m)</u>	<u>Geología prevista</u>
0-100	Pliocuaternario (arenas, gravas y limos)
100-750	Mioceno (arcillas y margas azules)
750-1300	Jurásico (calizas y dolomías)

Para este corte geológico se puede proponer el siguiente esquema de sondeo de inyección:

<u>Profundidad (m)</u>	<u>Perforación (mmø)</u>	<u>Entubación (mmø)</u>
0-5	1.500	1.000
5-120	850	650
120-800	600	400
800-1300	350	Sin tubería

Las tuberías irían cementadas hasta superficie siendo especialmente importante la cementación de la tubería de 650 mm que va hasta 120 metros y protegería el acuífero superficial. La figura 18 presenta esquemáticamente el sondeo propuesto que estaría ubicado en las proximidades de la actual planta de tratamiento. Como sistema de control se propone recuperar el sondeo profundo Mazagón que serviría como control de almacén.

El acuífero superficial habría que controlarlo con un sondeo de 100 metros situados a 30-50 metros del sistema de inyección.

El presupuesto para la realización de un pozo de inyección de este tipo sería de 170 M.P., estimándose que para instalaciones de superficie serían necesario en este caso otros 25 M.P.

#### 8.2.4.- URBANIZACIONES DE NATALASCANAS

Al estar estas urbanizaciones en el área menos investigada y por lo tanto con menos disposición de datos del subsuelo, el riesgo geológico es algo mayor que en los casos anteriores, en que al existir sondeos muy próximos el riesgo es prácticamente nulo. En este caso el sondeo más próximo es Asperillo, situado a 12 km, y las líneas sísmicas se quedan también a 3 ó 4 km. de las urbanizaciones.

Por otra parte el sondeo se situaría ya en el ámbito de

# SONDEO DE MAZAGON

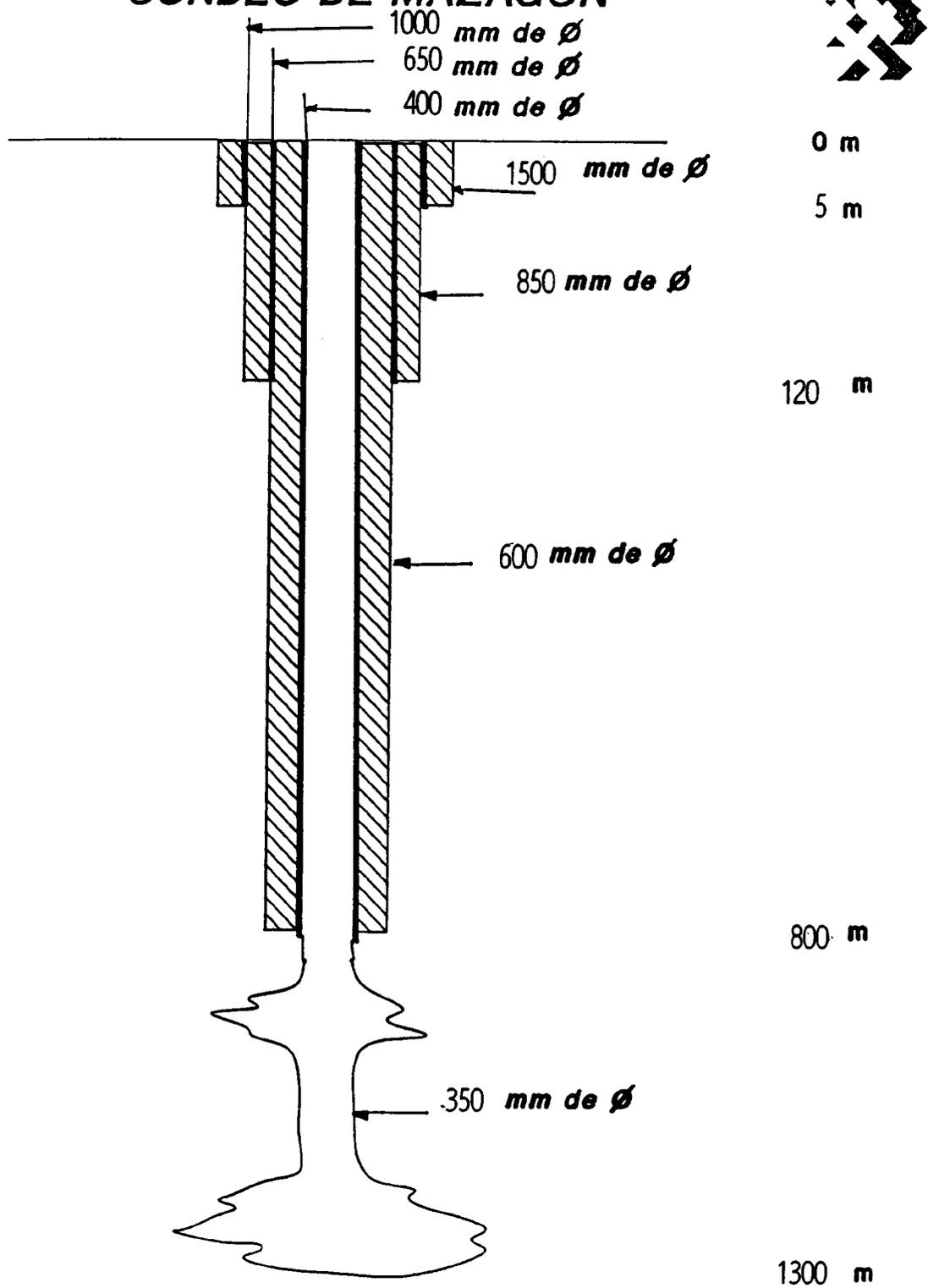


FIGURA 18

existencia de los olistostromas con la consiguiente problemática de perforación.

El corte geológico previsto sería el siguiente:

<u>Profundidad (m)</u>	<u>Geología prevista</u>
0-220	Pliocuaternario (arenas, gravas y limos)
220-1100	Mioceno (arcillas y margas azules)
1100-1450	Olistostroma (arcillas, margas y brechas)
1450-1550	Mioceno de base (arenisca y conglomerado)
1550-2000	Jurásico (calizas y dolomías)

Para este corte geológico previsto se propone el siguiente esquema de pozo:

<u>Profundidad (m)</u>	<u>Perforación (mmø)</u>	<u>Entubación (mmø)</u>
0-5	1.500	1.000
5-250	850	650
250-1600	600	400
1600-2000	350	Sin tubería

Las tuberías irían cementadas hasta superficie, siendo de especial importancia la cementación hasta 250 metros, para protección del acuífero Almonte-Marismas.

La figura 19 presenta esquemáticamente el sondeo propuesto. Como sistema de control habría que establecer un sondeo de 250 metros a una distancia de 30-50 metros. En principio dada la profundidad del almacén y la ubicación de la operación no parece necesario establecer un sondeo de control al almacén.

El presupuesto para la perforación de un pozo de estas dimensiones se sitúa en el orden de 260-280 M.P. Las instalaciones de superficie necesarias para una operación de inyección en este caso se estiman del orden de 20-25 M.P.

# SONDEO DE MATALASCAÑAS

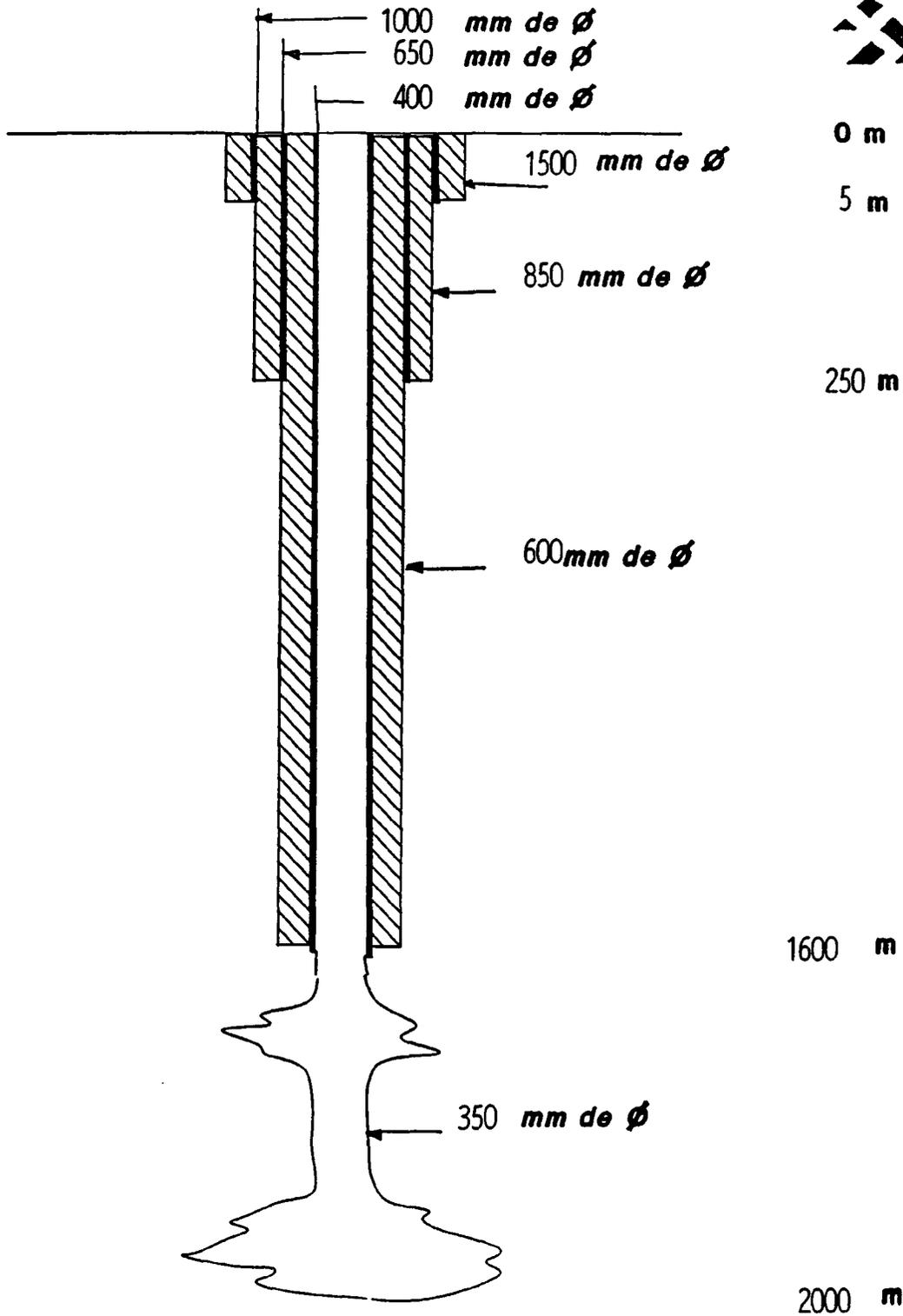


FIGURA 19

Para una mejor programación del sondeo de inyección sería necesario en este caso un estudio más pormenorizado de la prospección sísmica petrolera, y posiblemente la realización de una pequeña campaña exclusiva en la zona de interés. Ello podría servir para cambiar la situación del sondeo de manera que se evite perforar el olistostroma con el consiguiente abaratamiento de los sondeos.

### 8.3.- DATOS ECONÓMICOS

Los valores de inversiones para sondeos de inyección presentados en el apartado anterior han de ser completados con los datos de inversiones en instalaciones y sondeos de control, así como con la cuantificación de los costes operativos y de mantenimiento.

Y posteriormente estos datos de inversiones y costes de mantenimiento han de compararse con los mismos referidos a soluciones convencionales de plantas de tratamiento y eliminación.

Una ventaja importante de posibles operaciones de inyección en Huelva, reside en su esquema hidrogeológico regional. Los acuíferos explotados y explotables en toda la zona se encuentran en los 200 primeros metros. Con ello las inversiones necesarias en sondeos e instalaciones de control se ven reducidas respecto a lo que es habitual en otras zonas. En las zonas próximas a Huelva, donde el almacén jurásico es más superficial, y puede ser necesario un control del mismo mediante sondeos, existen perforaciones profundas en buenas condiciones para ser recuperadas y preparadas para la operación.

En cuanto a los costes de operación y mantenimiento de

los sistemas de inyección, los más importantes suelen ser debidos a la energía de bombeo cuando la presión en almacén lo requiere. Los sistemas de monitoring automatizados reducen al máximo el personal necesario en este tipo de instalaciones. Otro de los elementos de coste característico son los ensayos periódicos de integridad mecánica que hay que llevar a cabo para verificar el buen estado en el acabado del sondeo, cementación de tuberías, etc.

Junto a estas tres partidas de mayor entidad, cabe citar como costes de menor entidad, la renovación de pequeño material, mantenimiento de instalaciones, revisión periódica de estado de válvulas e instrumentos, etc.

La estimación de los costes de operación habría que hacerla específicamente para cada caso concreto a la vista de los datos particulares de la explotación. No obstante según las referencias bibliográficas obtenidas en E.E.U.U., los costes de mantenimiento y operación en sistemas de inyección varían estadísticamente en el orden del 6-8% del valor de las inversiones necesarias en instalaciones (incluyendo los sondeos de inyección y monitoring). En la zona costera de la provincia de Huelva y en el caso de los almacenes jurásicos, los datos de todos los sondeos parecen indicar que la presión en almacén es la equivalente al nivel del mar, y en cualquier caso siempre por debajo del nivel del suelo, lo que supondrá siempre una ventaja como ahorro energético. Por ello en este caso se han cuantificado los costes de explotación en un 6% de las inversiones necesarias.

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los datos económicos estimados para las cuatro operaciones de inyección propuestas en el presente estudio.

	Huelva (Residuo Urbano) (3 sondeos)	Huelva (Industrias) (1 sondeo)	Mazagón (1 sondeo)	Matalascañas (1 sondeo)
Inversiones investigación preliminar 10 <sup>e</sup> Pts	30	30	-	35
Inversiones sistema de inyección 10 <sup>e</sup> Pts	375	150	170	280
Inversiones instalación de superficie 10 <sup>e</sup> Pts	150	50	25	25
Inversiones de control y monitoring 10 <sup>e</sup> Pts	50	30	35	10
TOTAL INVERSIONES	605	260	230	350
Costes de explotación 10 <sup>e</sup> Pts/año	37	15.6	13.8	21

Estos datos económicos de los sistemas de inyección hay que compararlos con los mismos parámetros (inversiones y costes de explotación) de sistemas convencionales como plantas de tratamiento o estaciones depuradoras.

Para el caso de residuos industriales, los datos son muy dispersos ya que la variedad de procesos y productos se traduce también en una gran variedad de instalaciones, tipos de reactivos, etc.

Tanto las inversiones como los costes de operación son muy sensibles al tamaño de la planta de manera que es muy difícil extrapolar datos entre diferentes tipos de industrias.

Como órdenes de magnitud se van a presentar algunos datos generales tomados de diferentes fuentes:

Dirección General de Medio Ambiente (MOPU)

## Plan Nacional de Residuos Tóxicos y Peligrosos

	<u>Inversiones</u> (M. P.)	<u>Costes</u> (Ptas/Tn)
Plantas de Incineración (30.000 Tn/año)	3.200	20.000
Planta de Tratamiento Físico- Químico (40.000 Tn/año)	400	3.700

CH2M Hill Consultores EEUU

	<u>Inversiones</u> (M. P.)	<u>Costes</u> (Ptas/m <sup>3</sup> )
Planta de tratamiento Físico- Químico		
(3.800 m <sup>3</sup> /día)	1.240	11
(19.000 m <sup>3</sup> /día)	4.000	19

Estos datos se refieren a procesos de tratamiento de residuos líquidos y comprende una cadena que va desde los primeros homogeneizadores y debastadores hasta tratamiento y eliminación de lodos producidos, e incluyen instalaciones e instrumentación, obra civil, autorizaciones, tuberías, seguros, etc., etc. En los costes de operación no se incluye amortización de equipos.

Para el caso de las aguas residuales urbanas los datos de diferentes fuentes parecen ser más homogéneos, debido a la mayor similitud entre los residuos. Se presentan a continuación los datos para distintos tamaños de planta, procedentes de diversas fuentes. La primera obtenida por consulta directa con diversas ingenierías españolas especializadas en este tema. Se presentan los datos medios de inversiones y costes. La segunda está elaborada por CH2M Hill Consultora que ha participado en el proyecto y se refiere a datos de depuradoras en EEUU.

Plantas depuradoras de aguas residuales (España).

	<u>Ciudad</u> <u>50.000 Hab.</u>	<u>Ciudad</u> <u>100.000 Hab.</u>	<u>Ciudad</u> <u>150.000 Hab.</u>
Inversiones totales por habitante Pts/hab.	13.000	11.000	10.000
Coste operacional Pts/m <sup>3</sup>	21	19	18

Las plantas incluyen: pretratamiento (debastado y desarenado), decantación, aireación, floculación, separación de lodos, tratamiento y secado de lodos y cloración.

Plantas depuradoras de aguas residuales (E.E.U.U.)

	<u>Ciudad</u> <u>100.000 Hab.</u>	<u>Ciudad</u> <u>280.000 Hab.</u>
Inversiones totales por habitante Pts/hab.	20.000	15.000
Coste operacional Pts/m <sup>3</sup>	11	6

La comparación económica de la solución de inyección en el almacén jurásico en la zona costera de Huelva, con soluciones convencionales de plantas de tratamiento sólo parece lógico hacerla en el caso de depuradoras de agua residuales urbanas ya que los datos son más homogéneos. Para el caso de industrias sólo se podría hacer la comparación con estudios muy detallados de los procesos e instalaciones necesarias.

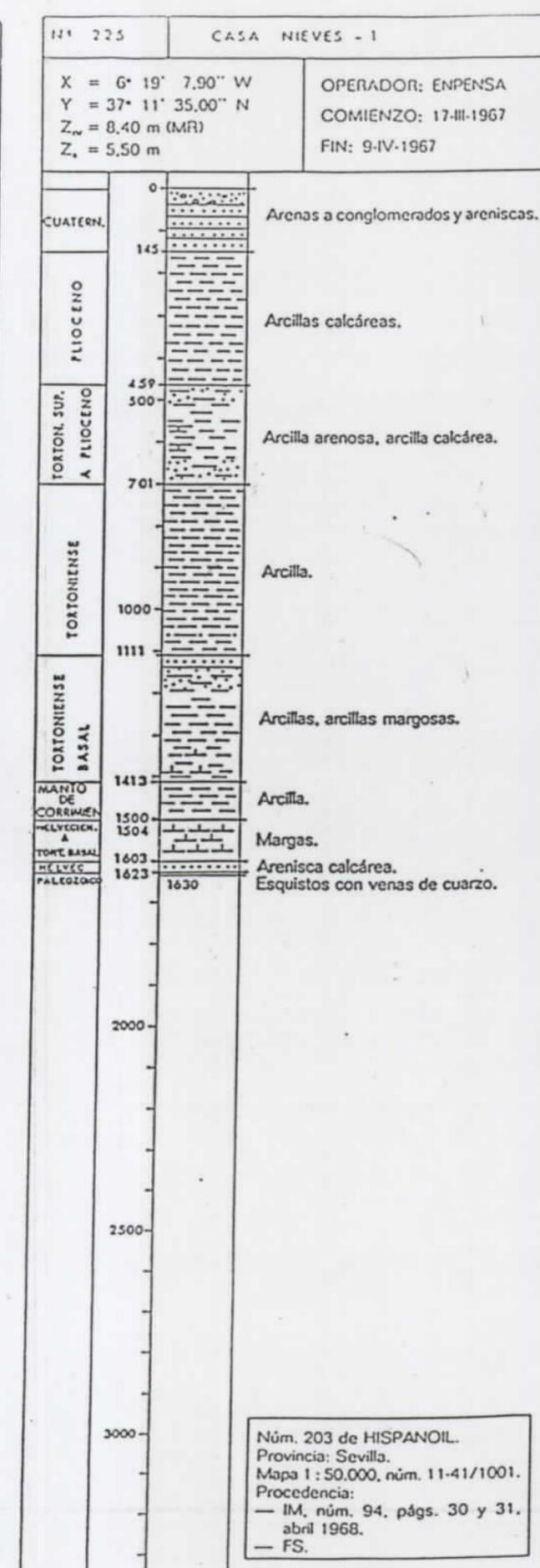
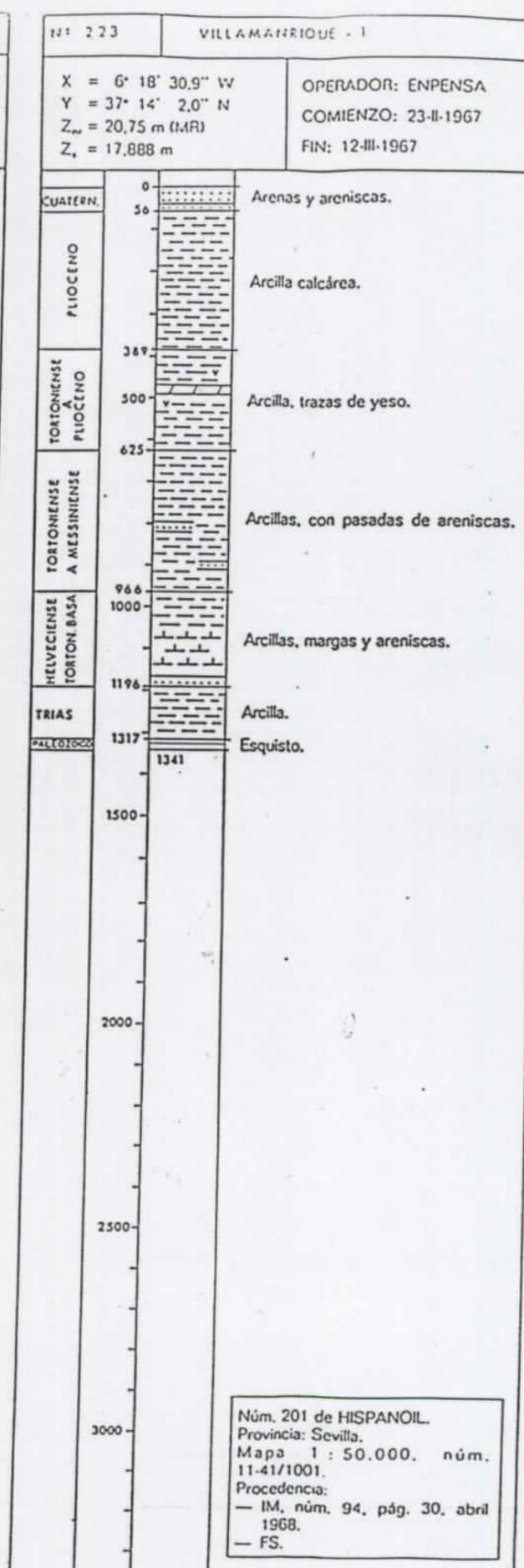
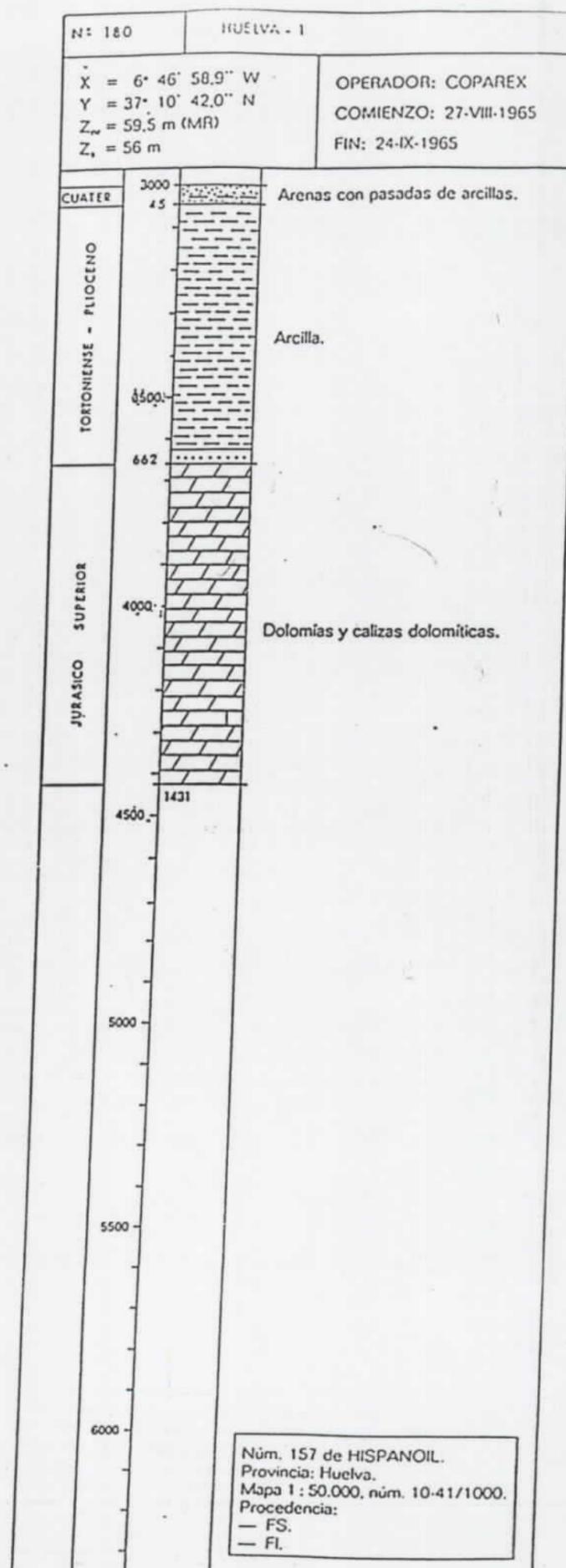
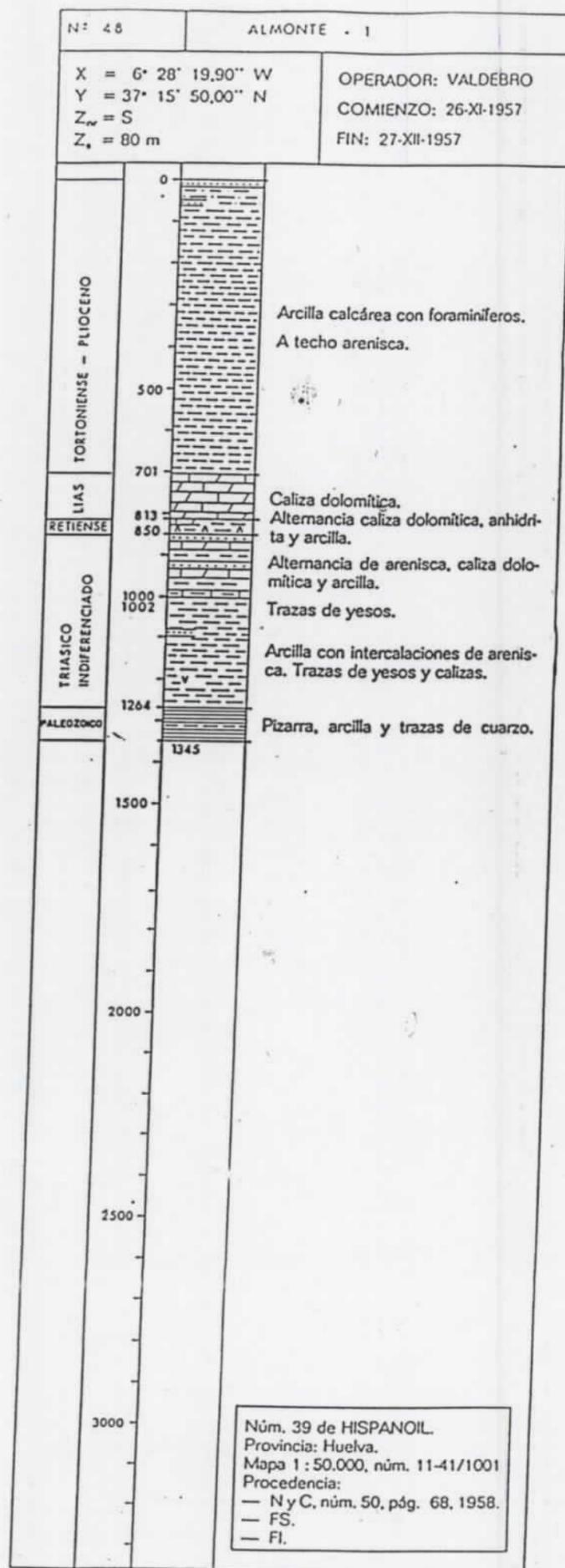
Aplicando los datos presentados anteriormente para la ciudad de Huelva (130.000 habitantes), suponiendo que sean necesario tres pozos de inyección para los aproximadamente 30.000 m<sup>3</sup>/día de aguas residuales producidas se tienen los siguientes datos comparativos:

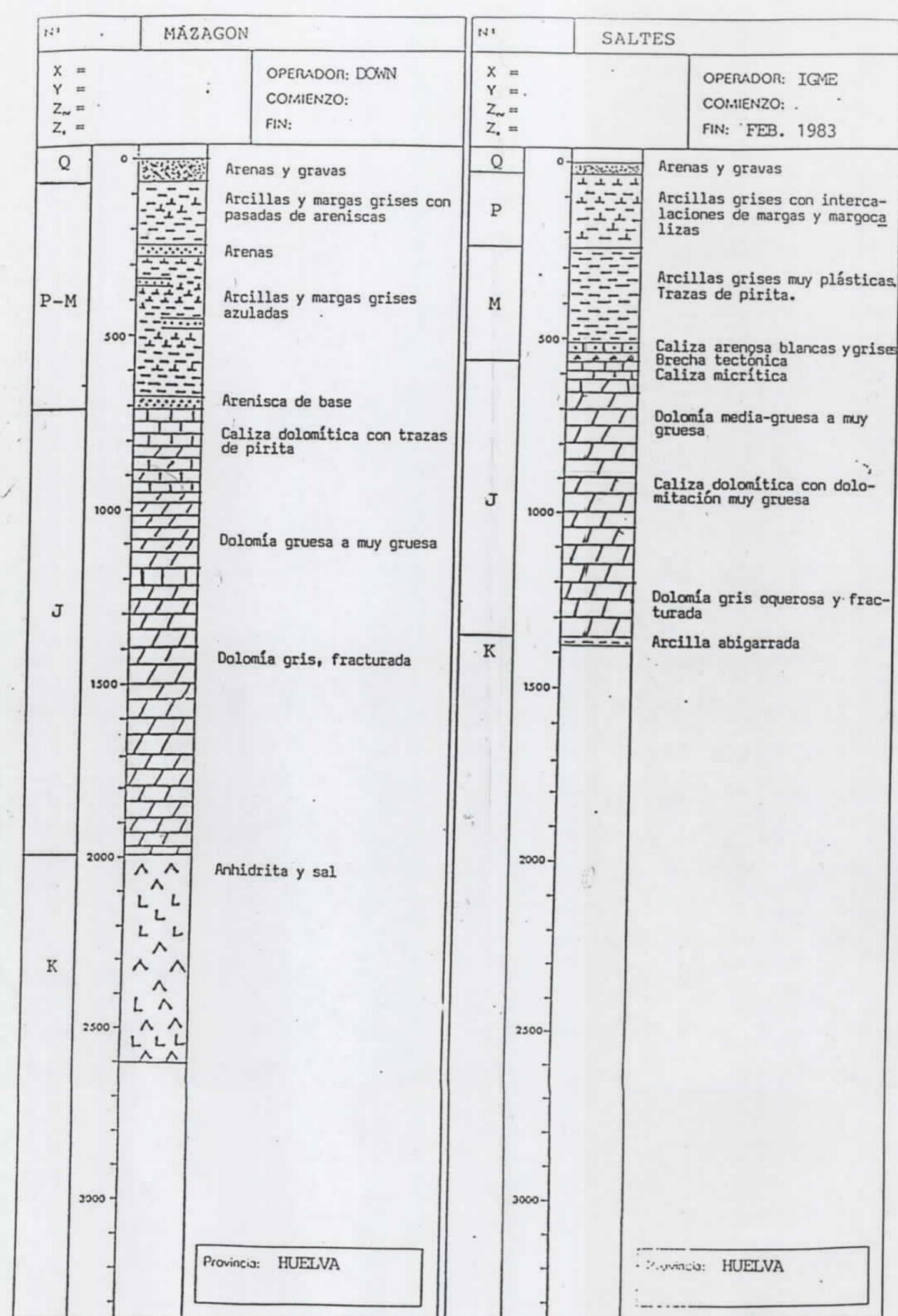
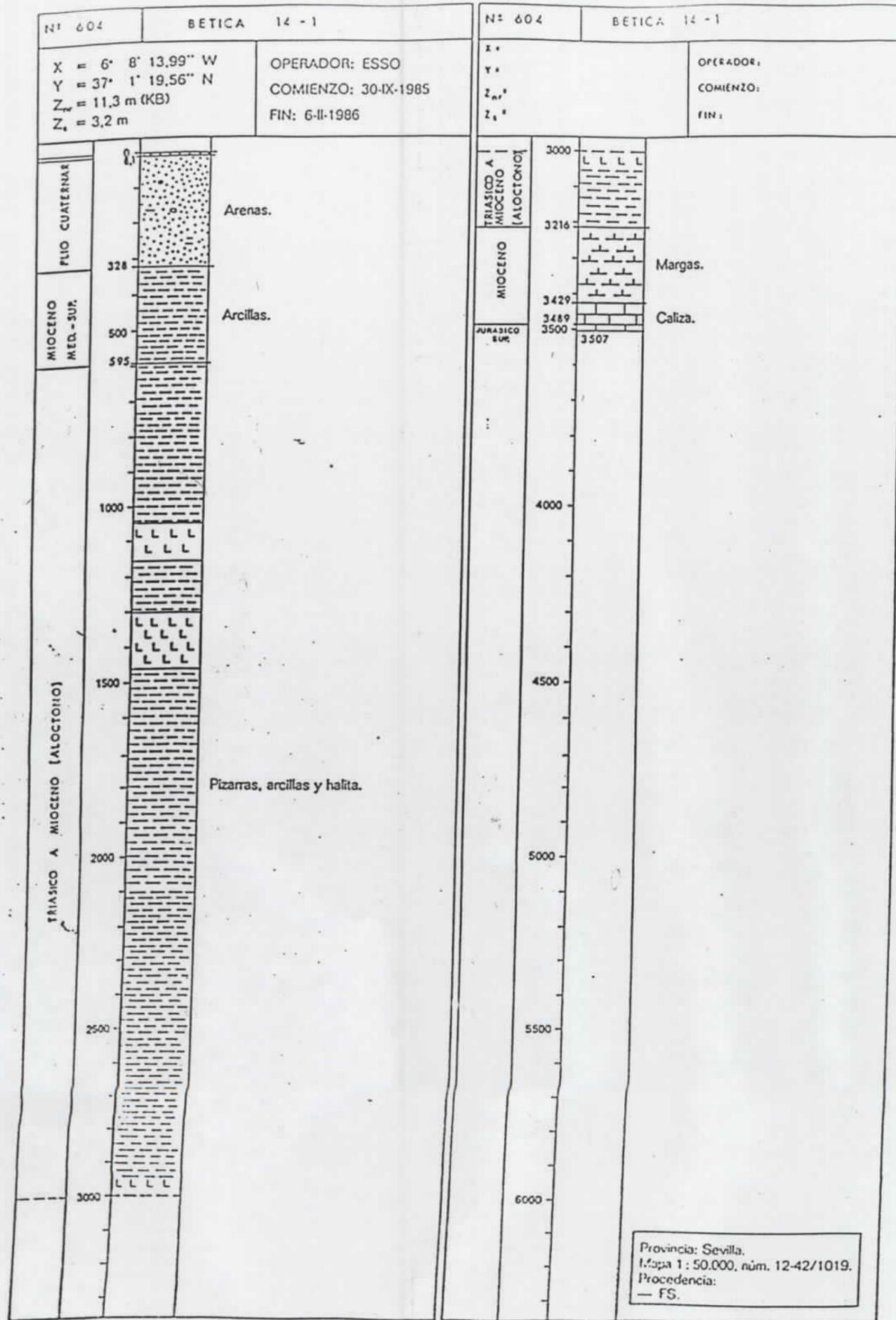
	<u>Planta Depuradora</u>	<u>Sistema de Inyección</u>
Inversiones	1.300	605
M. P.		
Coste Operacional	197	37
M. P. /año		

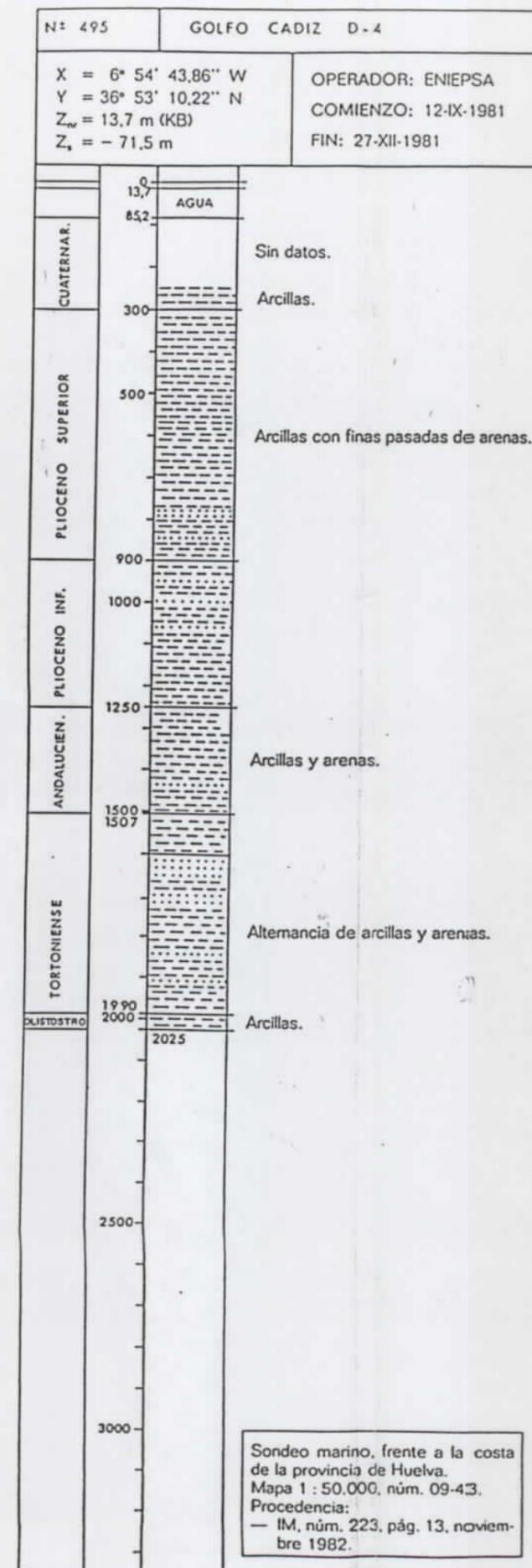
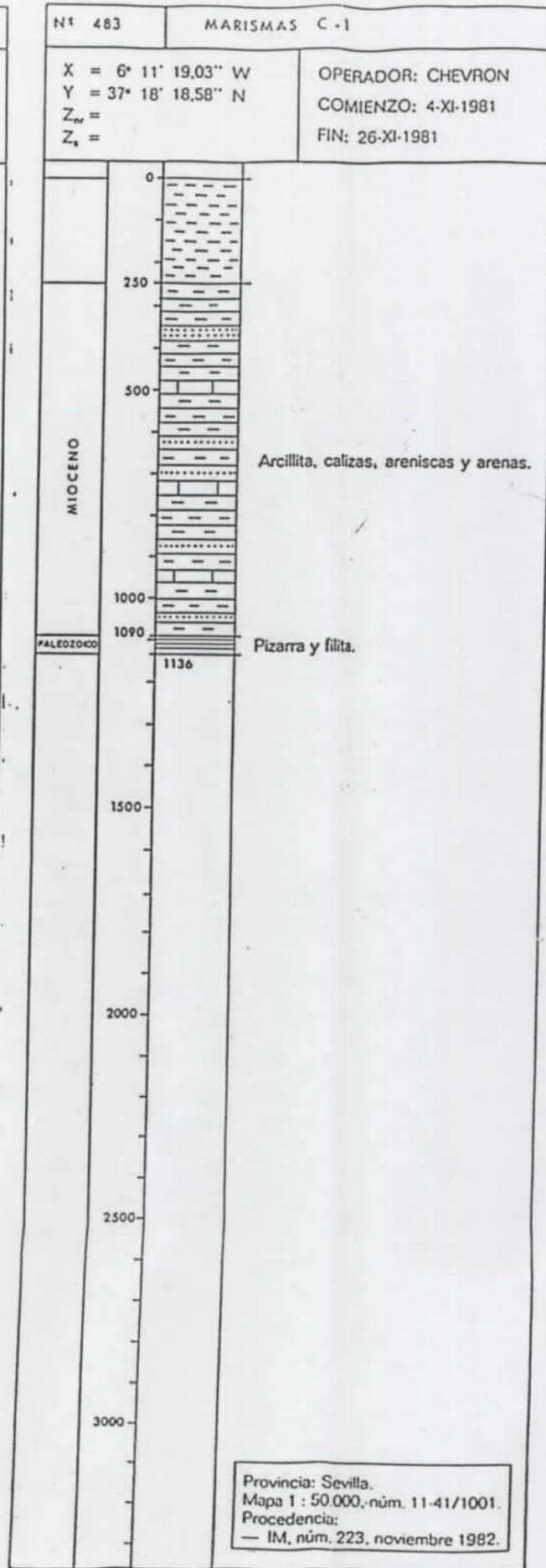
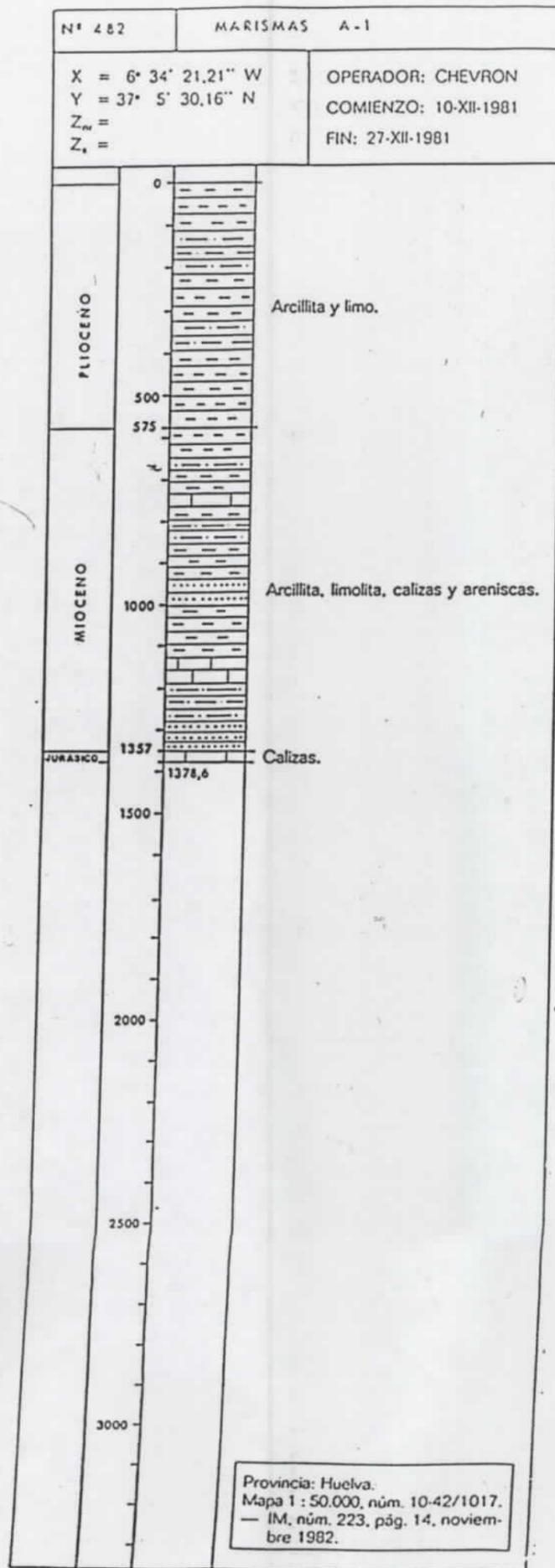
Como se ve los datos son claramente favorables a la solución de inyección en el subsuelo, que incluye, dentro de su presupuesto además del sistema de inyección propiamente dicho, las inversiones necesarias en la investigación preliminar así como la planta de pretratamiento y acondicionamiento necesaria.

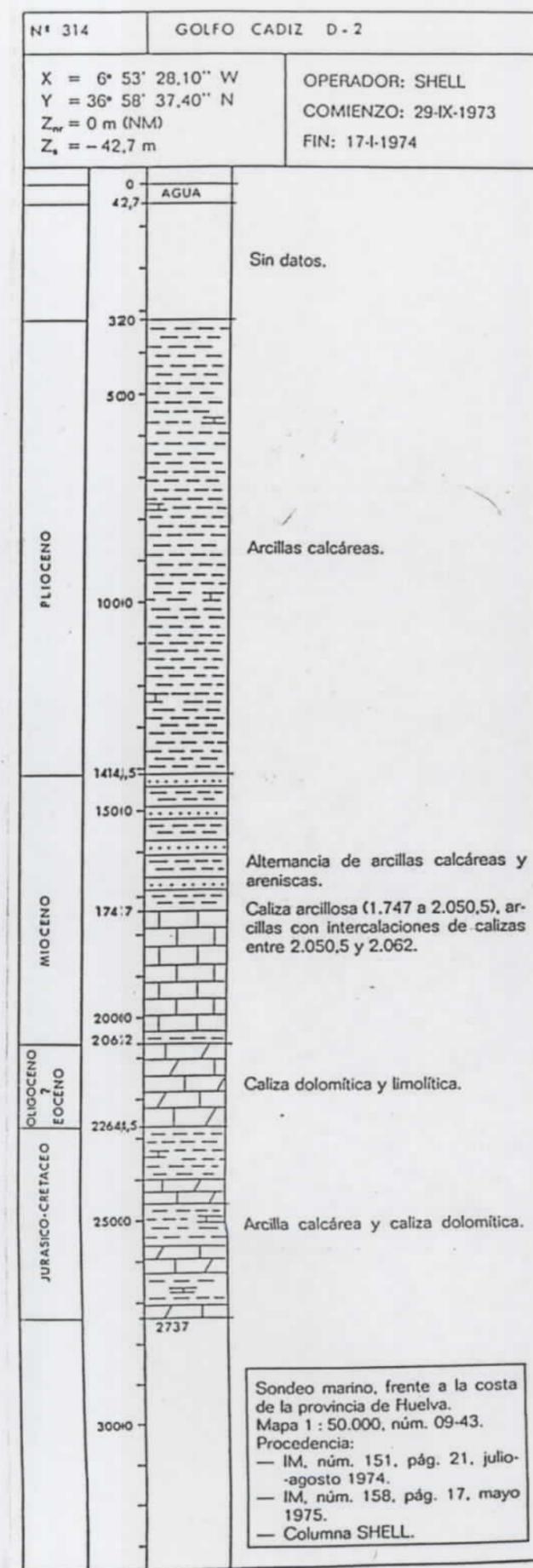
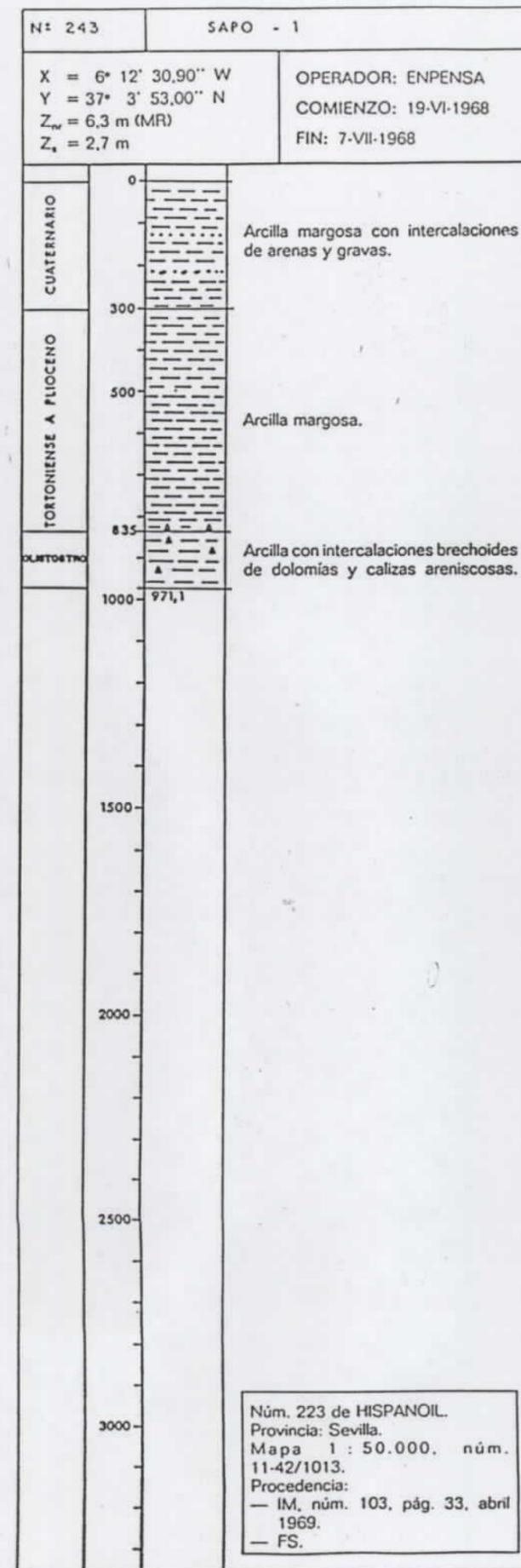
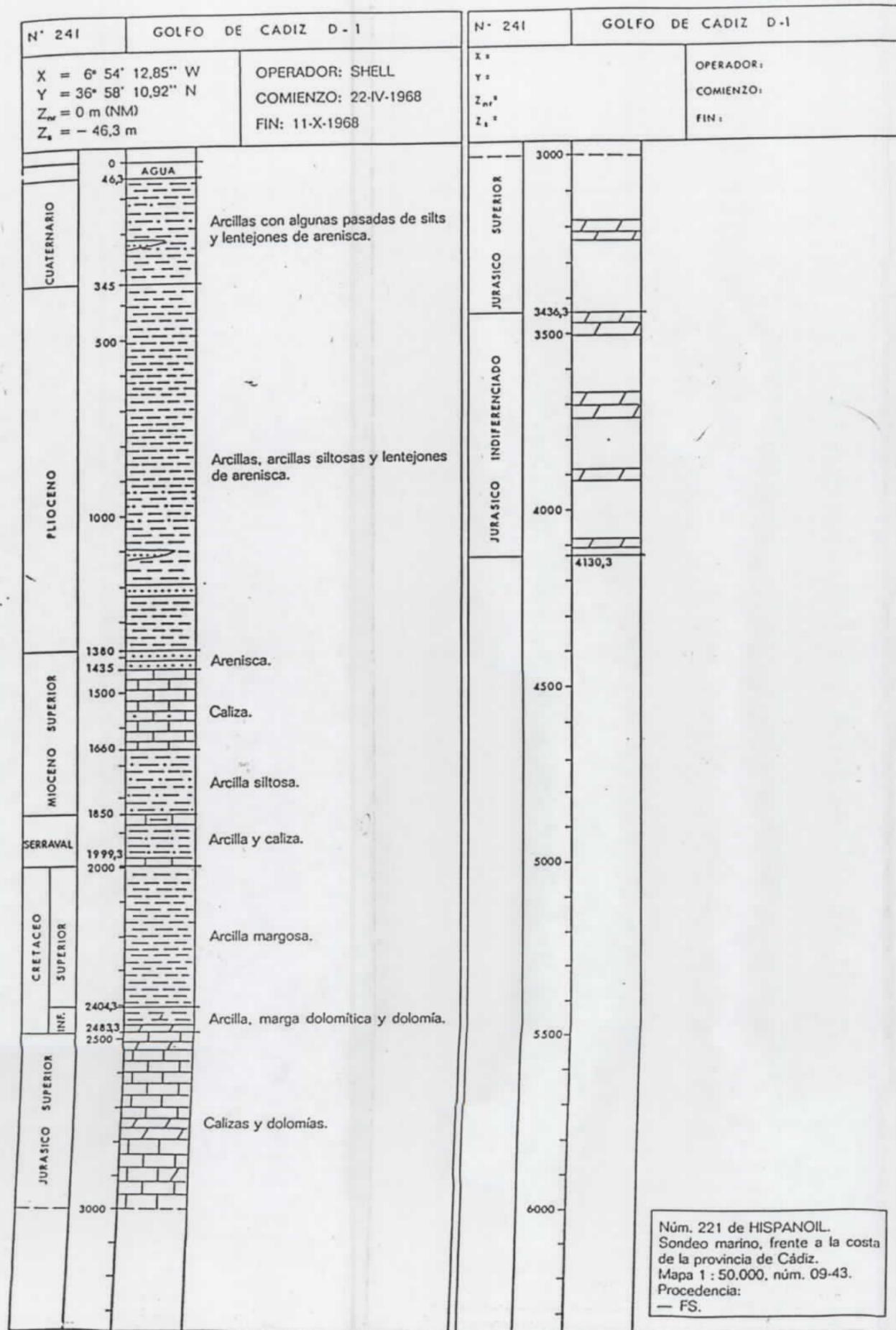
**ANEXO 1**  
-----

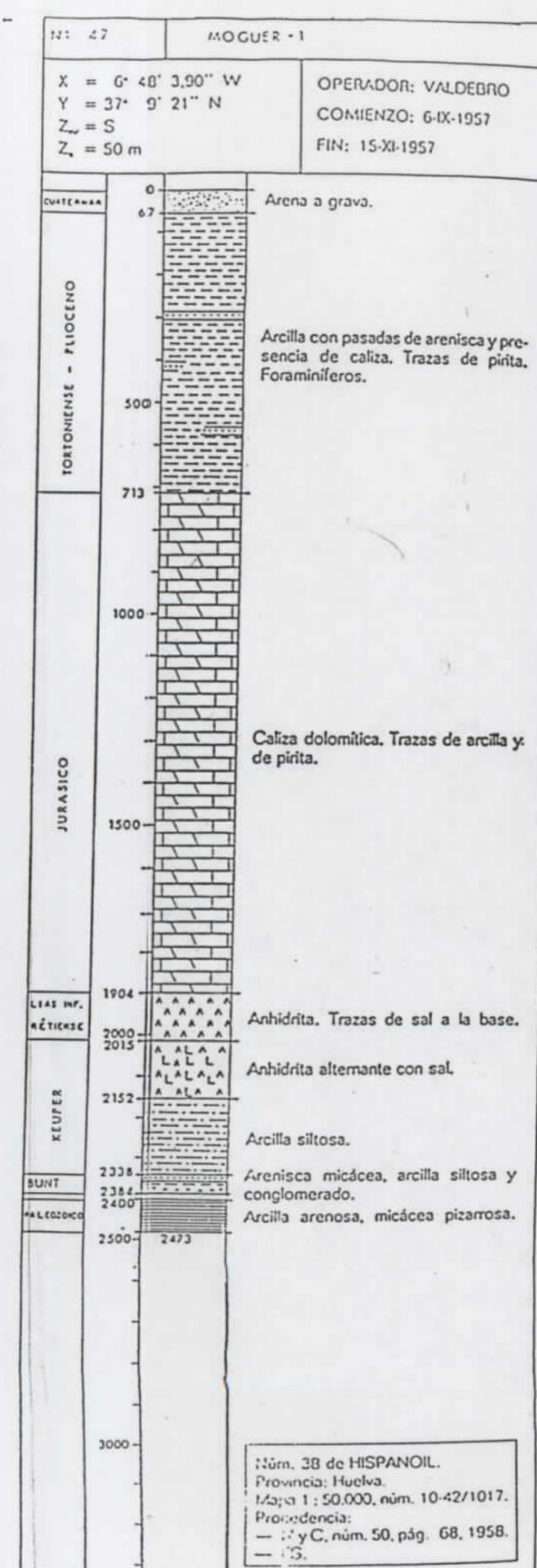
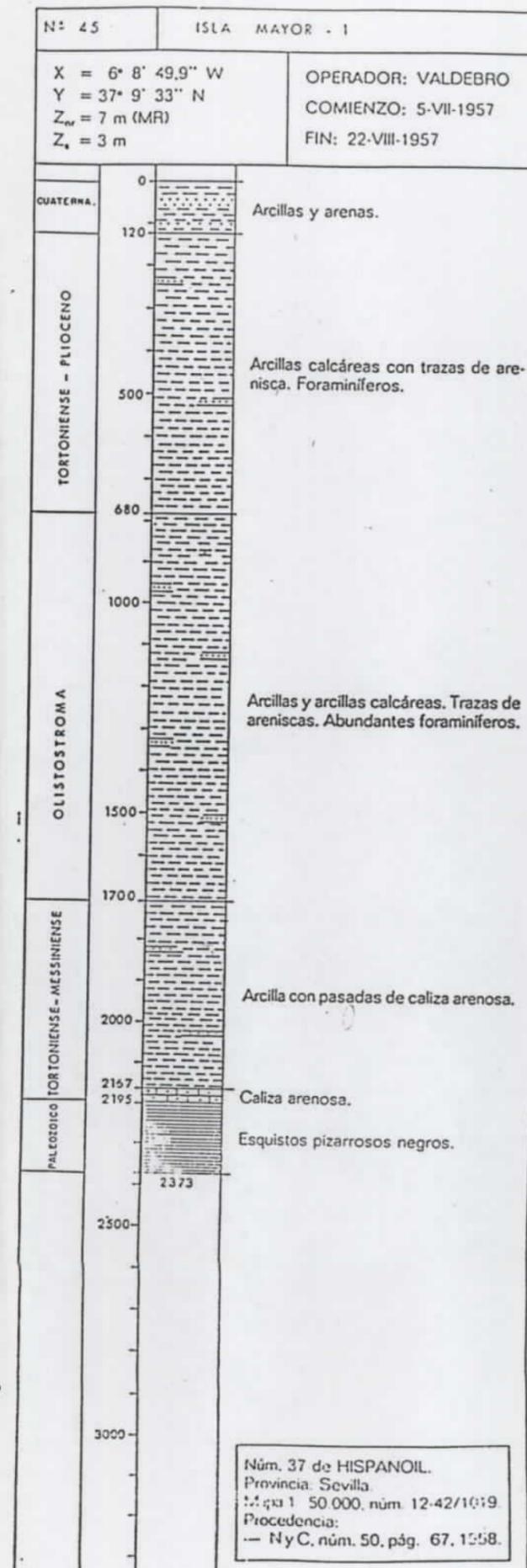
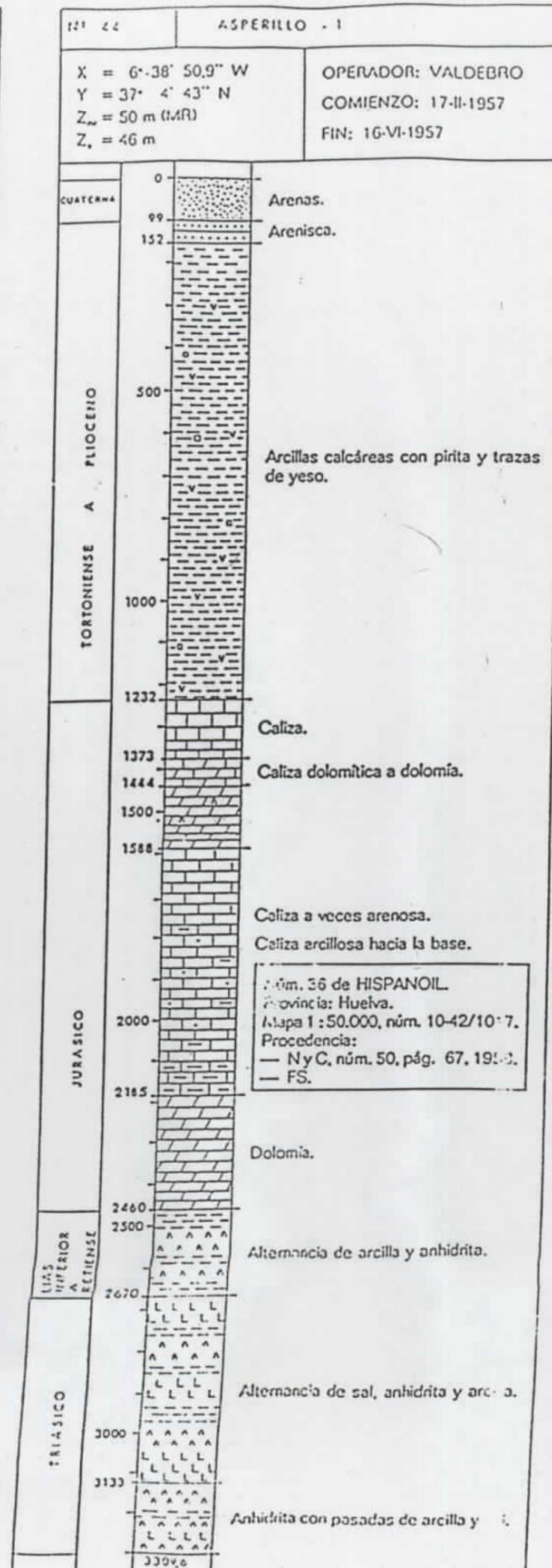
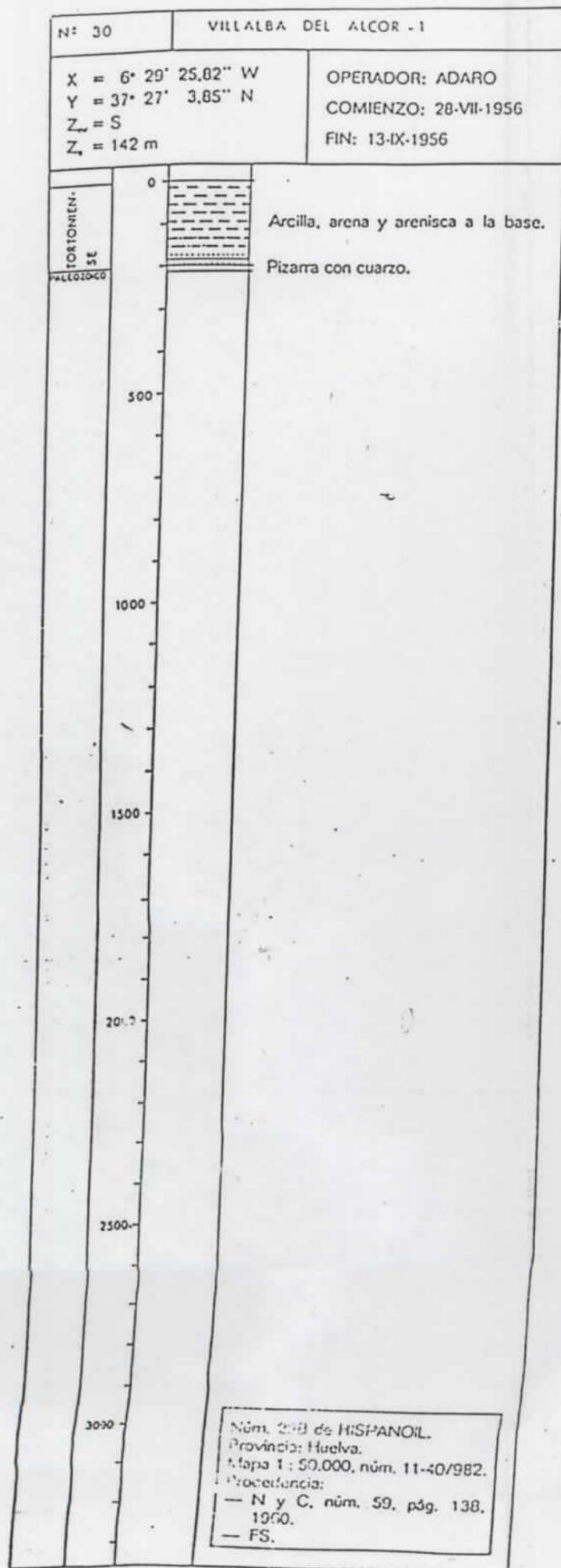
**FICHA GEOLÓGICA RESUMIDA DE TODOS LOS SONDEOS  
EXISTENTES EN LA ZONA ESTUDIADA**











**ANEXO 2**  
-----

**DATOS RESUMEN DE LOS VERTIDOS DE LAS  
INDUSTRIAS DE HUELVA**

VERTIDOS DE LAS INDUSTRIAS DEL POLICOMO "PUNTA DEL SEBO"

EMPRESA	DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO	ORIGEN	COMPOSICIÓN	PRODUCCIÓN	VERTIDO	OBSERVACIONES
FORET, S.A.	Agua de refrigeración	Calefacción de polifosfatos			Los cinco efluentes se descargan, de forma conjunta, en la Dica del Odriel, a través de un colector único donde confluyen (existiendo uno por cada planta). Resultando un vertido final de 24000 m <sup>3</sup> /día de caudal con 25-30 ug/l de flúor.	El vertido está constituido, mayoritariamente, por aguas de refrigeración.
	Agua de lavado de opses, kitos, criobblers...	Fabricación de polifosfatos		240 m <sup>3</sup> /día		
	Agua de purgas y refrigeración de calderas, condensadores, bombas y domes hidráulicos					
	Agua ecuatorias	Servicios, laboratorios y limpieza				
	Agua de lavado de camisas					
	Suspensión de yesos en agua de usar (220 g/l)	Atape de la fosforita con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> en la fabricación de H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yesos (36000 m/mes):                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O</li> <li>- Impurezas metálicas</li> </ul> </li> <li>• S<sub>2</sub>As<sub>2</sub></li> <li>• H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> impuro (con contenido en metales pesados)</li> <li>• Sales minerales (ocasionalmente)</li> <li>• 40-50% de agua</li> </ul>	27000 m <sup>3</sup> /día	El efluente resultante, con un pH de 3-4 y un contenido en flúor de 30-50 ug/l, se vierte a la Dica del Odriel mediante emisarios subterráneos.	El 60% de los vertidos totales de la industria se genera en la planta nueva; el 40% restante, en la vieja.
FOSFÓRICO ESPAÑOL, S.A.	Efluente procedente de los condensadores y de los lavas de atape, filtración y concentración (contenido de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , F- y otros aniones variables, en conjunto, de ≈ 0.3 kg/m <sup>3</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )  Efluente originado en lavado de opses en criobblers.	Plantas AF-3 y 4 de fabricación de H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> y planta ASF de fabricación de ácido superfosfórico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH 4.5 - 6.5</li> <li>• S.S.: 100-550 ug/l</li> <li>• SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>: 2500-3300 ug/l</li> <li>• P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 30-150 ug/l</li> <li>• F: 50-150 ug/l</li> </ul>	72000 m <sup>3</sup> /día	El vertido del efluente resultante se realiza en la Dica del Odriel, tras precipitación con cal del flúor que contiene, en caso de que no se efectúe la recuperación de dicho elemento.	El caudal de vertido indicado incluye las aguas de refrigeración, que suponen, aproximadamente, un 70% del mismo.

VERTIDOS DE LAS INDUSTRIAS DEL POLICOMO "NUEVO PUERTO"

EMPRESA	DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO	ORIGEN	COMPOSICIÓN	PRODUCCIÓN	VERTIDO	OBSERVACIONES
E.R.T. - DIVI- SIÓN PETRÓLEO	Residuo del pretratamiento del crudo	Refinería (Unidad de crudo)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aceites y grasas</li> <li>• Sólidos en suspensión</li> <li>• Sulfuros</li> <li>• Nitrógeno (<math>NH_4^+</math>)</li> </ul>	285 m <sup>3</sup> /día (10% del vertido general)	el efluente global que resulta (3200 m <sup>3</sup> /día) se envía a un separador API para la recuperación de aceites; pre-sentando, a la salida del mismo, los siguientes caracte-rísticos: • pH: 7.3-10.2 • DBO: 240-1113 mg/l • S.S.: 8-103 mg/l • Aceites y grasas: 12-60 mg/l • Fenoles: 1.5-16.2 mg/l • Nitrógeno ( $NH_4^+$ ): 1.9-59.7 mg/l • Sulfuros: 3.2-28.0 mg/l • Cromo total: 0.1-0.4 mg/l • Cr <sup>6+</sup> < 0.1 mg/l	el residuo así pre-tratamiento (agua, sales) es el vertido del desalador (4% del cu-rtido) el que se mezcla con el agua de con-densado de la torre de vacío, suficiente para separar el agua dulce de las ( $NH_4^+$ y H <sub>2</sub> S) y originar el efluente residual de 285 m <sup>3</sup> /día.
	Agua de condensado de la torre de vacío	Unidad de aspirato-res				
	Condensados de vapor de la torre de desti-lación a vacío	Unidad de desti-lación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sulfuros</li> <li>• Aceites</li> </ul>			
	Efluente interceptado por las purgas de las torres de refrigeración y de las calderas y por el residuo originado en la refrigeración de los gases de destilación, en el momento de su salida al tratamiento del agua por procesos.	Complejo petroli-ero en general	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólidos en suspensión</li> <li>• Cromatos (apartados por las purgas de las torres de refrigeración, ya que se oxidan con el tratamiento de los gases destilados a refrigeración)</li> </ul>		A continuación, se envía a una balsa de aireación natural y, poste-riormente, se filtra, ver-tiendo el agua de bo-mbinao Rambo.	
	Drenajes de las tanques		Contenido del producto almacenado y aceites en general			
	Agua pluviales		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólidos</li> <li>• Aceites</li> </ul>			
	Agua de destilación	Muelle de carga y descarga	A la salida del separador API: • pH: 7.4-7.1 • DBO: 40-1700 mg/l • S.S.: 6-107 mg/l • Aceites y grasas: 1-30 mg/l • Fenoles: 0.29-0.6 mg/l • Nitrógeno ( $NH_4^+$ ): 0.44-1.6 mg/l • Sulfuros: 1.6-4 mg/l • Cromo total: 0.1-0.18 mg/l • Cr <sup>6+</sup> < 0.1 mg/l	1560 m <sup>3</sup> /día		Muelle petrolero Torre Arcebrinos

VERTIDOS DE LAS INDUSTRIAS DEL POLIGONO "NUEVO PUERTO"

EMPRESA	DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO	ORIGEN	COMPOSICIÓN	PRODUCCIÓN	VERTIDO	OBSERVACIONES
ERTISA, S.A.	Agua de lavado del vapor procedente del reactor de hidrólisis	Planta de feul-ace.	<ul style="list-style-type: none"> <li>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> disuelto</li> <li>Sulfatos</li> <li>Compuestos orgánicos oxigenados</li> </ul>	576 m <sup>3</sup> /día (con contenido en cumeno de 15-18 ppm)	<p>Los corrientes procedentes de ambos plantas, se envían a una torre de oxidación vegetal, resultando fructuoso, su efluente global de 960 m<sup>3</sup>/día de caudal, que se vertió en la día del Dniep (un valle reina sofía) mediante un emisario submarino y que tiene los siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>pH: 10-12</li> <li>BOD: 2268 mg/l</li> <li>Sólidos: 0.8607 (%ppm): 8507 mg/l totales</li> <li>metanol: 670 mg/l</li> <li>NH<sub>3</sub>: &lt; 10 mg/l</li> <li>Fórmula de metil &lt; 10 mg/l</li> <li>Acetato de metil &lt; 10 mg/l</li> <li>metilaminas (comodina): 163 mg/l</li> <li>Dimetilformamida: 24 mg/l (ppm)</li> <li>Dimetilacetamida: 11 mg/l (ppm)</li> <li>Acetona: 161 mg/l</li> <li>Feul: 261 mg/l</li> <li>Pérdidos (como CH<sub>4</sub>): 202 mg/l</li> <li>Cumeno: 18 mg/l</li> <li>Benceno &lt; 10 mg/l</li> <li>Craucis: 2 mg/l</li> </ul>	<p>Estos efluentes se someten a tratamiento en una unidad de recuperación de feul y en otra de recuperación de acetona, generándose dos corrientes, una en cada unidad. En la corriente se dirige.</p> <p>Las corrientes procedentes de los residuos de recuperación se envían junto con los residuos que contiene aceites y grasas.</p>
	Efluentes procedentes de las columnas de feul y acetona	Planta de feul-ace.	Tras tratamiento: <ul style="list-style-type: none"> <li>Una corriente con 7.5 m<sup>3</sup>/mes de feul</li> <li>Una corriente con 4.7 m<sup>3</sup>/mes de acetona</li> </ul>			
	Residuos que contienen aceites y grasas	Planta de feul-ace.				
	Efluente generado en la base de la columna destilación instantánea	Planta de metilaminas y derivados	Cantidad significativa de amoníaco sin recuperar	384 m <sup>3</sup> /día (con valores de 100 muy altos frente al valor de 100, debido a su contenido de NH <sub>3</sub> )	<p>Es la corriente que se genera en esta planta.</p>	
	Dos efluentes procedentes de la base de las columnas de fraccionamiento	Planta de metilaminas y amoníaco				
	Efluente sanitario				Red del Polígono	

VERTIDOS DE LAS INDUSTRIAS DEL POLICONO "NUEVO PUERTO"

EMPRESA	DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO	ORIGEN	COMPOSICIÓN	PRODUCCIÓN	VERTIDO	OBSERVACIONES
TIOXIDE, S.A.	Efluente procedente de la purificación del "licor negro"	Proceso de obtención de caparrosa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH 0.5</li> <li>• <math>H_2SO_4</math>: 13.4% en peso</li> <li>• Fe: 6.4% en peso</li> <li>• <math>TiO_2</math> soluble: 0.29% en peso</li> <li>• <math>TiO_2</math> insoluble: 0.025% en peso</li> <li>• Cr: 20 ppm</li> <li>• Cu: 0.3 ppm</li> <li>• Pb: 4.7 ppm</li> <li>• Ni: 15 ppm</li> <li>• Zn: 80 ppm</li> <li>• Cd: 0.05 ppm</li> </ul>	1250 m <sup>3</sup> /día	Se envía por cañerías hasta el poblado Reina Sofía, donde se recoge en bacos (2 al día) que lo vertien en alto mar (a 35 metros al sur de Huelva y a 30 de Cádiz)	Existen depósitos de almacenamiento en los poblados para casos de emergencia.
	Aguas no lavados	Procesos de fabricación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH 1.5-2.0</li> <li>• <math>SO_4^{2-}</math>: 4000 mg/l</li> <li>• Fe: 300 mg/l</li> </ul>	5000 m <sup>3</sup> /día	El efluente constituido por los residuos serendados (25000 m <sup>3</sup> /día de caudal) se vierte en el día del agua (poblado Reina Sofía) mediante un emisario submarino.	La comente de aguas de lavado convierten a la "etapa de agua" se somete a decantación para eliminar los sólidos presentes ( $TiO_2$ )
	Retorno del agua de refrigeración de cristalizadores, evaporadores y concentradores		<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH 2.0</li> </ul>	20000 m <sup>3</sup> /día		
	Fangos procedentes del decantador de agua de extracción a fábrica					
	Efluente procedente de la recuperación de los residuos de intercambio iónico	Planta de tratamiento de agua para calderas	Su carácter ácido o básico depende del tipo de regeneración efectuado.	Se desconoce el valor de su caudal, pero este es insustanciable comparado con el de los comienzos restantes	Colector general del Polígono	
	Efluente sanitario				Colector general del Polígono	

VERTIDOS DE LAS INDUSTRIAS DEL POLICONO "NUEVO PUERTO"

EMPRESA	DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO	ORIGEN	COMPOSICIÓN	PRODUCCIÓN	VERTIDO	OBSERVACIONES
FORET, S.A.	Efluente general constituido por aguas sanitarias y purgas de refrigeración.			30 m <sup>3</sup> /día	Colector general del INUR, que descarga al Océano Atlántico	
E.R.T. - AMONIACO - UREA	Efluente procedente de purgas y de la capa de asbestos	Residuo de fabricación de amoniaco				Los residuos señalados constituyen un efluente general que presenta los característicos siguientes.
	Efluente resultante de las pérdidas en el circuito de refrigeración por purgas y fugas de recuperadoras.	Residuo de fabricación de urea	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH 6.8 - 8.2</li> <li>• S.S. = 10 - 15 mg/l</li> <li>• Cr<sup>6+</sup> = 5 - 7 mg/l (máx. 100 mg/l)</li> <li>• Fe = 1 mg/l</li> <li>• NH<sub>3</sub> disuelto = 40 mg/l (como N)</li> </ul>	365 m <sup>3</sup> /día	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH = 7.9</li> <li>• S.S. = 50 - 200 mg/l</li> <li>• NH<sub>3</sub> libre = 0 - 50 mg/l</li> <li>• NH<sub>3</sub> disuelto = 10 - 300 mg/l (como N)</li> <li>• N orgánico = 50 - 100 mg/l (como N)</li> </ul>	
	Aceites lubricantes de compresores	Residuo de fabricación de urea	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH 6.5 - 6.9</li> <li>• S.S. = 100 - 200 mg/l</li> <li>• DQO = 400 mg/l</li> <li>• NH<sub>3</sub> disuelto = 200 - 500 mg/l (como N)</li> <li>• N orgánico = 1000 - 2000 mg/l (como N)</li> <li>• Cr<sup>6+</sup> = 0.5 mg/l</li> <li>• Fe = 1 mg/l</li> <li>• Aceites y grasas = 50 mg/l</li> </ul>	150 m <sup>3</sup> /día	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cr<sup>6+</sup> = 2 - 7 mg/l</li> <li>• Fe = 1 mg/l</li> <li>• DQO = 300 mg/l</li> <li>• Aceites y grasas = 50 mg/l</li> </ul>	Antes de su vertido en el colector de aguas residuales del Polígono, los aceites se envían a una bolsa de decantación y la corriente procedente del tratamiento reactivivo (electrolisis con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> y NaOH), a una balsa de neutralización para ajustar su pH entre 6 y 9.
	Efluente procedente de la recuperación de los residuos de amoniaco iónico	Residuo de desmineralización de aguas para proceso			1000 m <sup>3</sup> /día	
	Efluente sanitario			~ 6.5 m <sup>3</sup> /día	fosa séptica	Corresponde a 180 personas

VERTIDOS DE LAS INDUSTRIAS DEL POLICONO "NUEVO PUERTO"

EMPRESA	DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO	ORIGEN	COMPOSICIÓN	PRODUCCIÓN	VERTIDO	OBSERVACIONES	
ENERGIA E INDUSTRIAS ARAGONESAS, S.A.	Efluente generado en la electrolisis de sal-muestra	Planta de cloro-sosa	Hg < 0.05 ppm (después de la desmercúrización)	330 m <sup>3</sup> /día	<p>Todos los efluentes descritos se envían a una planta de tratamiento fiscal no-piedra de ARAGONAS, donde se someten a una serie de procesos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Neutralización con cal (piedra caliza). A la bolsa donde se efectúa, no se incorporan los efluentes de las plantas de cloro-sosa y de desmercúrización, los cuales se envían a la bolsa de leucopeneización - directamente.</li> </ul>	Dados de ser enviado a la planta de tratamiento fiscal, este efluente se envía a un proceso de desmercúrización para bajar su contenido de Hg hasta situarlo en un valor inferior a 0.05 ppm.	
	Efluente generado en la detección de clorometanos	Planta de clorometanos	Acetato diluido	220 m <sup>3</sup> /día		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neutralización con cal (piedra caliza). A la bolsa donde se efectúa, no se incorporan los efluentes de las plantas de cloro-sosa y de desmercúrización, los cuales se envían a la bolsa de leucopeneización - directamente.</li> </ul>	Dada la toxicidad del CN <sup>-</sup> , el efluente se trata, en la propia planta en dos bolsas y se mezcla con NaOH y Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> reciduosos. En estas las veces se sea necesario hasta que no se detecte contenido de dicho efluente en el mismo.
	Efluente generado en la fabricación de cloruro sódico	Planta de CNNA 30%	CN <sup>-</sup> (se elimina después de tratamiento)	10 m <sup>3</sup> /día	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neutralización (ajuste de pH entre 6-9 con HCl y NaOH)</li> <li>• Decoloración de los efluentes</li> </ul>	Esta planta utiliza sistema de claración	
	Efluente procedente de la regeneración de las columnas de intercambio iónico	Planta de desmercúrización de aguas para proceso				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neutralización (ajuste de pH entre 6-9 con HCl y NaOH)</li> <li>• Decoloración de los efluentes</li> </ul>	El efluente generado en el proceso de fabricación de Benouillo presenta escasa toxicidad en ciertos efluentes.
	Aguas de lavado de la torta fiscal del producto	ORGASA (Proceso de fabricación de Benouillo)		4 m <sup>3</sup> /día		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neutralización (ajuste de pH entre 6-9 con HCl y NaOH)</li> <li>• Decoloración de los efluentes</li> </ul>	Los tres efluentes originados en procesos de fabricación en ORGASA, se tratan con hipoclorito sódico para eliminar la actividad orgánica. Se neutralizan antes de ser enviados a la planta de tratamiento fiscal de ARAGONESAS.
	Efluente procedente del lavado de la torta y destilación de los fondos y aguas de retroceso	ORGASA (Proceso de fabricación de Glicofosato)		10 m <sup>3</sup> /día		<ul style="list-style-type: none"> <li>• T: 20-30 °C</li> <li>• pH: 6-9</li> <li>• Hg &lt; 0.05 ppm</li> <li>• CN<sup>-</sup>: no detectado</li> <li>• S.S.: 10-20 mg/l</li> <li>• S. disueltos &lt; 1 mg/l</li> <li>• DBO: 450-500 mg/l</li> </ul>	
	Efluente generado en la fabricación de cloroturon	ORGASA		3 m <sup>3</sup> /día			
	Residuos procedentes del laboratorio	ORGASA					
	Residuo generado en la fabricación de sulfato amónico	Planta de sulfato amónico	Este contenido en materia orgánica	24 m <sup>3</sup> /día		Se vertido se realiza en la día de Nueva mediante un emisario subterráneo	Se incinera en la propia planta

VERTIDOS DE LAS INDUSTRIAS DEL POLICONO "PUNTA DEL ZEBO"

EMPRESA	DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO	ORIGEN	COMPOSICIÓN	PRODUCCIÓN	VERTIDO	OBSERVACIONES	
RIO TINTO MINERA, S.A.	efluente constituido por pérdidas del circuito de refrigeración, compresores y lavado de gases del horno de oficio	Fundición de cobre	<ul style="list-style-type: none"> <li>pH 2.5 - 3.5</li> <li>Elevado contenido de:</li> <li>Sólidos en suspensión</li> <li>Ácidos</li> <li>sales minerales (<math>CO_3^{2-}</math>, <math>SO_4^{2-}</math>, <math>Cl^-</math>)</li> </ul>	600 m <sup>3</sup> /día	Todos los efluentes enfriados en la industria se vierten por un canal único a la Dica del Dniek. El vertido final que resulta, tiene un caudal de 75000-80000 m <sup>3</sup> /día y las características siguientes:	Este efluente se trata con NaOH para neutralizar sus ácidos.	
	Agua de limpieza de bodegas	Procesos de electrolisis	Contenido variable en cianuros contaminantes debido a su origen	12 m <sup>3</sup> /día			
	efluente constituido por purgas de condensados y del sistema de refrigeración y por los residuos procedentes de la recuperación de los metales, de intercambio iónico de la estación desmineralizadora	Central Térmica	Su carácter ácido o básico depende del tratamiento reductor, al efectuarse éste con $H_2SO_4$ o NaOH.	250 m <sup>3</sup> /día		<ul style="list-style-type: none"> <li>pH 2.5 - 3.5</li> <li>S.S.: 200-250 mg/l</li> <li><math>SO_4^{2-}</math>: 3000-3500 mg/l</li> <li>OD: 0.5 - 0.9 ppm</li> <li>ZnO: 580 ppm</li> <li>Ácidos: 300 ppm <math>CaCO_3</math></li> </ul>	
	Agua de lavado de los gases sulfurosos, condensado y pulverizados, y agua operada al sello de bombas	Plantas de fabricación de $H_2SO_4$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Carácter ácido</li> <li>Sólidos en suspensión</li> <li><math>SO_4^{2-}</math>, <math>Cl^-</math>, <math>F^-</math></li> </ul>	570 m <sup>3</sup> /día			290 m <sup>3</sup> de su caudal diario se vierten durante el turno de trabajo en el tanque de los electrofocos limitados (170 m <sup>3</sup> en el punto N°1 y 120 m <sup>3</sup> en el N°2) en el día de 2 h/día.
	Agua de refrigeración	Fundición de cobre y plantas de sulfúrico	Presenta los mismos caracteres que el efluente de entrada por ser agua de mar sin ningún tratamiento previo	67300 m <sup>3</sup> /día			Su caudal corresponde al tope de la Dica del Dniek, exceptuando los pérdidas por evaporación.
	Agua procedente del lavado de gases con agua de mar	Planta N°1 de sulfúrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Carácter ácido</li> <li>Sólidos en suspensión</li> </ul>	7200 m <sup>3</sup> /día			Su carácter ácido se debe al sulfúrico residual que arrastra.
	Agua sanitaria			25 m <sup>3</sup> /día			

VERTIDOS DE LAS INDUSTRIAS DEL POLICIANO "PUNTA DEL SERO"

EMPRESA	DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO	ORIGEN	COMPOSICIÓN	PRODUCCIÓN	VERTIDO	OBSERVACIONES	
U.E.P.T. - ABOGOS	Agua de lavado de gases	Planta de fabricación de $H_2SO_4$ .	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH 1.9 - 2.0</li> <li>• S.S. = 80 mg/l</li> <li>• DBO = 550 mg/l</li> <li>• Cu = 5 mg/l</li> </ul>	5880 m <sup>3</sup> /día	<p>Ambas se verten de forma conjunta, dando lugar a un efluente global de 2620 m<sup>3</sup>/día de caudal con la composición indicada, cuya descarga se realiza en el río del Otvel a través de un conducto compuesto en FESA en el que también se maneja el efluente FESA-3.</p>	<p>Los efluentes del proceso se mezclan con agua de uso en circuito abierto. El efluente procedente de esta planta debe ser controlado o es un recuperación del subproducto residual.</p>	
	Agua de refrigeración	Planta de fabricación de $H_2SO_4$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pb = 20 mg/l</li> <li>• As = 10 mg/l</li> </ul>	20620 m <sup>3</sup> /día			
	Efluentes procedentes de purgas, fugas, rebosos y pérdidas en sellos de bombas de vacío, condensaciones y efluentes con agua de los procesos del reactor	Planta de fabricación de $H_2SO_4$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH 6.5</li> <li>• DBO = 45 mg/l</li> <li>• <math>P_2O_5</math> &gt; 40 mg/l</li> <li>• F<sup>-</sup> = 15 mg/l</li> </ul>	13700 m <sup>3</sup> /día	<p>La descarga de los dos efluentes se realiza conjuntamente, por un canal abierto, en la ría del Otvel. El vertido final resultante tiene un caudal de 3000 m<sup>3</sup>/día y los siguientes iones: <math>HCO_3^-</math> y <math>NO_3^-</math> representativos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• pH 6.5 - 7.0</li> <li>• S.S. = 60 mg/l</li> <li>• <math>NH_3</math> = 5 mg/l</li> <li>• <math>P_2O_5</math> = 110 mg/l</li> </ul>		
	Fugas de condensados y de circuitos	Planta de fabricación de urea	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH 6.5</li> <li>• DBO = 1200 mg/l</li> <li>• <math>PO_4^{3-}</math> &gt; 120 mg/l</li> <li>• <math>NH_3</math> = 75 mg/l</li> </ul>	16800 m <sup>3</sup> /día			
	Agua de refrigeración	Planta de fabricación de urea	Agua de usar			Ría del Otvel	El proceso de recuperación se realiza en circuito abierto, no produciéndose, contaminación en él.
	Derivados de los aceites de los compresores de los gases para el reactor	Planta de fabricación de urea					
	Suspensión de yesos (18-20%)	Planta de fabricación de $H_2SO_4$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yesos (caso)</li> <li>• Fosfita inactivada</li> <li>• <math>H_2PO_4</math> no recuperado</li> <li>• Agua de lavados de los gases en los scrubber</li> <li>• pH 2.7</li> </ul>			Balsas de circulación situadas en la margen derecha del río Tinto, donde se envían por tubería.	La producción de yesos asciende a 33600 t/mes.

## VERTIDOS DE LAS INDUSTRIAS DEL POLIGONO "PUNTA DEL SEHA"

EMPRESA	DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO	ORIGEN	COMPOSICIÓN	PRODUCCIÓN	VERTIDO	OBSERVACIONES	
RESÚMICO ESPAÑOL, S.A.	Suspensión de yesas en agua de mar (10-20%)	Plantas AF-1,2,3 y 4 de fabricación de $H_3PO_4$ (atape de la fosfita con $H_2SO_4$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH 2-3</li> <li>• S.S.: 100-500 mg/l</li> <li>• <math>SO_4^{2-}</math>: 4000-5000 mg/l</li> <li>• <math>P_2O_5</math>: 500-1250 mg/l</li> <li>• F: 450-800 mg/l</li> </ul>	33600 m <sup>3</sup> /día	El etfluente FESA-6 se envía a unas bolsas de decaulación situadas en la margen derecha del río Tinto. La fracción líquida es: los más- mos (con pH ácido y presencia de F y $P_2O_5$ ) se vierte, mediante rebosaderos, a la ría del Tinto.	La producción de yesas en las plan- tas AF-1,2,3 y 4 asciende a 166670 m <sup>3</sup> /mes. Cuando hay recupera- ción de filtrar en las plantas AF-3 y 4 está un apta re- siduo de neutro- lización de este elemento.	
	G I D U L	Residuo de la neutralización con cal del filtrado me- sado en vertidos líquidos (CaF <sub>2</sub> )	Efluentes procedentes de las plantas AF-1,2, 3 y 4 de fabricación de $H_3PO_4$ , integrados en FESA-1 y FESA-2.				
		Suspensión de yesas en agua de mar (al 50% y con pH 2.5)	RIO ROBANO, S.A. (purificación del $H_3PO_4$ empleado como materia prima).				
		Suspensión de fos- fatos neutralizados en agua de mar (al 50% y con pH 6.5-7)	RIO ROBANO, S.A.				
RIO ROBANO, S.A.	Agua de refrigeración de los concentradores		<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH 6.2</li> <li>• S.S.: 280 mg/l</li> </ul>	4560-6270 m <sup>3</sup> /día	Los dos efluentes se vierten conjuntamente, constituyendo un total de 4300-6600 m <sup>3</sup> /día de caudal y con los valores medios indicados la descreta de dicho efluente se afecta en la del canal, frente a FESA.		
	Agua de lavado de filtros, plantas y otras		<ul style="list-style-type: none"> <li>• F: 30-35 mg/l</li> <li>• Fe: 10 mg/l</li> <li>• <math>P_2O_5</math>: 320 mg/l</li> </ul>	240-330 m <sup>3</sup> /día			
	Agua procedente del laboratorio			7 m <sup>3</sup> /día	fosa séptica		
	Suspensión de yesas en agua de mar	Purificación del $H_3PO_4$ procedente de FESA que se emplea como ma- teria prima.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH 2.5</li> <li>• 50% de humedad</li> </ul>	≈ 691-636 m <sup>3</sup> /mes	Ambas suspensiones se envían por tubería a FESA para ser incorporadas a la suspensión de yesas generada en ella y res- ultar su transporte con- junto a los botes de decaulación de la margen derecha del río Tinto.	Se ha considerado un periodo de pro- ducción de 11 me- ses al año. (Producción anual de cada suspensión: 6500-7000 m <sup>3</sup> )	
	Suspensión en agua de mar de fosfatos neu- tralizados procedentes de impurezas		<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH 6.5-7</li> <li>• 50% de humedad</li> </ul>	≈ 591-636 m <sup>3</sup> /mes			

## VERTIDOS DE LAS INDUSTRIAS DEL POLICONO "PUNTA DEL SEBO"

EMPRESA	DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO	ORIGEN	COMPOSICIÓN	PRODUCCIÓN	VERTIDO	OBSERVACIONES
HISTÓRICO ESTARJOL, S.A.	FESA-2 Efluentes generados en la fabricación de $H_2PO_4$ (los mismos de FESA-1) Efluentes generados en la fabricación de fosfato monoamónico Efluentes generados en la fabricación de fosfato diamónico	Plantas AF-1 y 2 de fabricación de $H_2SO_4$	<ul style="list-style-type: none"> <li>pH 2.1-3.6</li> <li>S.S.: 50-300 mg/l</li> <li><math>SO_4^{2-}</math>: 2500-3300 mg/l</li> <li><math>P_2O_5</math>: 30-175 mg/l</li> <li>F: 100-200 mg/l</li> </ul>	57600 m <sup>3</sup> /día	El efluente FESA-2 se vierte en la Dica del Ordel, tras efectuarse la precipitación con cal de flúor contenido en los flujos que proceden de las plantas AF-1 y 2.	Aproximadamente, un 70% del caudal de vertido indicio puede ser recuperado, aunque que el volumen de los residuos procedentes de las plantas MAP-1 y 2 y MAP es mínimo.
		Plantas MAP-1 y 2 de fabricación de $NH_4H_2PO_4$				
		Planta DAP de fabricación de $(NH_4)_2HPO_4$				
	FESA-3: Aguas de refrigeración	Plantas AS-1 y 2 de fabricación de $H_2SO_4$	<ul style="list-style-type: none"> <li>pH 5-6.5</li> <li>S.S.: 50-300 mg/l</li> <li><math>SO_4^{2-}</math>: 2500-3300 mg/l</li> <li><math>P_2O_5</math>: 5-15 mg/l</li> <li>F: 8-12 mg/l</li> <li>Fe: 0.3-2.6 mg/l</li> <li>Cu: 0.2-0.7 mg/l</li> <li>Pb: 0.4-0.6 mg/l</li> <li>Zn: 1.8-3 mg/l</li> <li>As &lt; 0.1 mg/l</li> </ul>	94800 m <sup>3</sup> /día	Dica del Ordel	El vertido está constituido por agua muy salada, por lo que los datos de composición indicados son los del agua de captación. Estos valores pueden modificarse por eventual contaminación puntual
	FESA-4 Aguas de refrigeración Residuos derivados del proceso de regeneración de resinas de intercambio iónico	Plantas AS-3 y 4 de fabricación de $H_2SO_4$				El efluente FESA-4, de caudal 121700 m <sup>3</sup> /día, se vierte a la Dica del Ordel.
Plantas de desmineralización		<ul style="list-style-type: none"> <li>3456 kg <math>H_2SO_4</math></li> <li>552 kg NaOH</li> </ul>	798 m <sup>3</sup> /día			
FESA-5: Efluente procedente de los baños de lavado y enjuague de las pallas (con contenido de caustico Cottrell)	Plantas AS-1, 2, 3 y 4 de fabricación de $H_2SO_4$	<ul style="list-style-type: none"> <li>pH 2-3</li> <li>S.S.: 100-400 mg/l</li> <li><math>SO_4^{2-}</math>: 3900-5000 mg/l</li> <li>Fe: 180-300 mg/l</li> <li>Cu: 20-60 mg/l</li> <li>Pb: 30-60 mg/l</li> <li>Zn: 15-70 mg/l</li> <li>As: 20-70 mg/l</li> </ul>	57600 m <sup>3</sup> /día	Dica del Tirol, tras decantación en las SAS situadas en la margen derecha del río.		