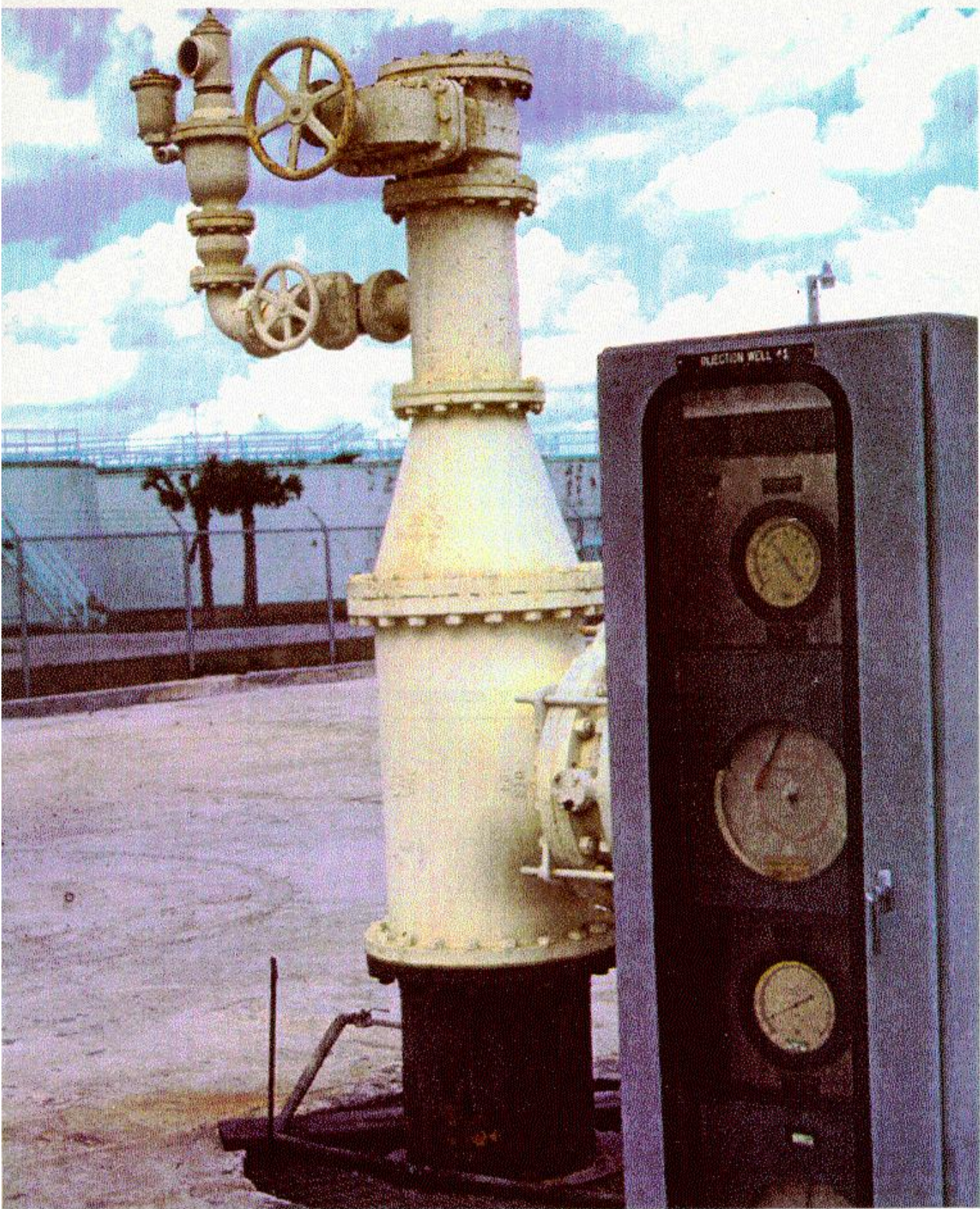


**"ESTUDIO DE LAS POSIBILIDADES DE
UTILIZACION DE FORMACIONES GEOLOGICAS
PROFUNDAS PARA LA ELIMINACION DE
RESIDUOS INDUSTRIALES Y URBANOS. 2ª
FASE. AREAS COSTERAS DE ASTURIAS Y
ZONAS INDUSTRIALES DE ZARAGOZA Y
TARRAGONA. 1990-1991".**

PROVINCIA DE ZARAGOZA



**INYECCION EN SONDEOS PROFUNDOS-I.S.P.-
PROVINCIA DE ZARAGOZA**

RESUMEN Y CONCLUSIONES

PRESENTACION

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 áreas de interés algunas zonas del Valle del Ebro (provincia de Zaragoza) ya que las condiciones geológicas del subsuelo parecían cumplir los requisitos necesarios para este tipo de solución.

Estas zonas son además ámbito de problemas medioambientales como consecuencia de la eliminación de residuos fundamentalmente industriales.

Por ello el ITGE consideró del máximo interés llevar a cabo un estudio detallado de las posibilidades reales de utilizar esta tecnología en la zona mencionada, por lo que inició 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 preliminar de compatibilidad.
- Propuesta de sistemas de inyección adaptados a las condiciones locales en cada caso.
- Propuesta de programa de actividades y evaluación económica, para cada caso.

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., con la colaboración de Estudio y Tratamiento de la Información, S.A.

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 recapitulación de los residuos producidos en la zona y la posible problemática de inyección y finalmente la evaluación aproximada de los datos económicos inherentes a una operación de inyección en las zonas seleccionadas.

SELECCION DE ALMACEN

La propuesta de utilización de las formaciones calcáreas (calizas y dolomías) del Lías, Rhetiense y Muschelkalk como almacén para la inyección de residuos líquidos

industriales, se basa en el análisis detallado de las condiciones geológicas del Valle del Ebro.

El Valle del Ebro es una gran cuenca endorréica que se mantuvo emergida durante gran parte del Terciario debido al levantamiento tectónico simultáneo a la subsidencia del zócalo.

Los materiales terciario se apoyan sobre el basamento mesozóico-paleozóico. Bajo el punto de vista de la inyección se han estudiado específicamente las unidades mesozóicas y terciarias.

Mesozóico

En el área de estudio, comprende los dos megaciclos inferiores: Triásico y Jurásico.

El primero está muy bien representado en todos sus pisos y con la constitución litológica característica del área de la Cordillera Ibérica: areniscas, conglomerados, arcillas, lutitas y margas en el Buntsandstein, calizas y dolomías con intercalaciones margoarcillosas y yesíferas en el Muschelkalk con sus tres unidades típicas M_1 , M_2 y M_3 , y finalmente el paquete arcilloso-yesífero con intercalaciones de dolomías en el Keuper.

El segundo está igualmente representado en sus tres pisos: Lías, Dogger y Malm. Como es habitual entre el Lías y el Keuper infrayacente se presenta el Rethiense, también denominado Infralías, con una constitución anhidrítica-dolomítica típica, encontrándose siempre en la base del mismo las denominadas "dolomías de Imón" de gran permeabilidad. El resto de las formaciones jurásicas presentan la alternancia de materiales calcáreos y margo-arcillosos típica de este megaciclo.

Terciario

Constituido en general por tres tipos de litofacies más características: facie detrítica, facie calcárea y facie evaporítica. En el área estudiada predomina la tercera con abundancia de materiales yesíferos, como ponen en evidencia los datos de sondeos analizados.

Desde el punto de vista de la inyección el esquema presentado de superposición Terciario-Mesozóico, con las litologías existentes permite seleccionar como posibles almacenes, los citados paquetes dolomíticos de la base del Lías, el paquete de dolomías de la base del Rhetiense y las calizas y dolomías al Muschelkalk superior.

Todas estas formaciones presentan en los sondeos estudiados buenas características de permeabilidad y las formaciones confinantes correspondientes, aseguran un buen esquema de modelo de inyección. La alta salinidad del fluido nativo en la formación estudiada apoya esta selección.

MODELO DE INYECCION

Definidos los posibles modelos de inyección se ha realizado un estudio detallado de los mismos, basado tanto en datos de sondeos y prospección sísmica, como en correlaciones estratigráficas y litológicas de los materiales presentes en el subsuelo.

Mediante este estudio ha sido posible definir las potencias y profundidades de almacén y confinantes que permitieran definir un sistema de inyección.

La prospección sísmica y el conocimiento geológico de la cuenca han permitido la elaboración de cortes y correlaciones

entre sondeos que a su vez, permiten analizar las estructuras geológicas presentes en la zona, asegurando la idoneidad de los modelos propuestos en cuanto al confinamiento de los residuos inyectados.

El estudio geológico se ha completado con un estudio hidrogeológico general que ha puesto en evidencia las desconexiones estructurales entre las formaciones jurásicas y triásicas presentes en las zonas de interés y las que se presentan en el área de la Cordillera Ibérica.

Con los datos de los ensayos realizados en los sondeos petrolíferos ha sido posible deducir las características de salinidad total, presiones y permeabilidad en el ámbito del almacén lo que permite realizar propuestas concretas.

ESTUDIO DE COMPATIBILIDAD

Con los datos recopilados referidos a los residuos que se pretende inyectar y el conocimiento que se tiene de la formación almacén se ha llevado a cabo un análisis preliminar de compatibilidad para la zona de La Zaida. En la zona de Zaragoza capital no ha podido plantearse este estudio por falta de datos.

La problemática de la compatibilidad que afecta a las operaciones de inyección es muy compleja y su planteamiento depende de la cantidad de datos que se disponga. A veces, debido a las características del residuo los estudios de compatibilidad son tan complicados que pueden llegar a hacer inviable la misma operación. Por ello, se suele acometer las operaciones de inyección con los datos previos y un análisis teórico de posibles problemas, que se completarán cuando se obtengan testigos de la formación almacén y muestras del fluido nativo. Entonces será posible ampliar el análisis preliminar y con ello

diseñar las instalaciones del pretratamiento.

El estudio llevado a cabo permite emitir las siguientes consideraciones previas:

- El fenómeno de hinchamiento de arcillas no debe ser un problema para la realización de la operación de inyección.
- Dadas las características de la formación almacén no son de esperar problemas de colmatación por productos de precipitación. Sin embargo este punto ha de ser analizado en detalle cuando se disponga de muestras del fluido nativo. Un factor muy importante será la relación de pH de residuo inyectado con pH del fluido nativo.
- Existe cierta similitud química entre el residuo estudiado y la composición posible del fluido nativo. Ello será muy favorable a la operación de inyección.
- No se pueden deducir conclusiones en cuanto a posibles problemas derivados de actividad microbacteriana en la formación al desconocerse su presencia o ausencia. Este factor puede ser origen de importantes problemas de compatibilidad. Debido a ello se recomienda, en principio, no mezclar residuo industrial con aguas residuales del poblado anexo.
- La constitución y tipo de permeabilidad del almacén (por fracturación) minimiza cualquier efecto de colmatación debido a precipitados, lo que favorece la operación de inyección.
- La composición conocida del residuo no comporta la existencia de productos tóxicos especialmente prohibidos o vigilados en operaciones de este tipo.

PROPUESTAS DE SOLUCION

En base a toda la documentación estudiada y analizada se ha llegado a la propuesta de un prediseño de sistema de inyección profunda, para cada una de las zonas caracterizado y constituido por un sondeo de inyección y un sondeo de seguimiento. Para la zona de La Zaida, en esta propuesta de solución, se elige el almacén de la base del Rhetiense para operar con un margen de seguridad extra, ya que si se inyecta en las dolomías de Imón, se tiene por encima de la formación anhidrítica confinante otro almacén con agua muy salada (más de 30.000 ppm) con su correspondiente capa confinante.

Esquemáticamente el diseño de sondeo es el siguiente:

<u>Profundidad (m)</u>	<u>Diámetro sondeo (mm)</u>	<u>Diámetro tubería (int) (mm)</u>
0-5	1.500	1.000
5-260	525	360
260-1040	350	160
1040-1080	155	

Como sondeo de seguimiento se propone el siguiente esquema:

<u>Profundidad (m)</u>	<u>Diámetro sondeo (mm)</u>	<u>Diámetro tubería (int) (mm)</u>
0-350	250	175/160 (totalmente cementada)
350-525	155	125/114 (cementada entre 425 y 525)
525-630	105	pozo abierto

La propuesta incluye un programa de trabajos a realizar para completar el sistema de inyección, similar a los

realizados habitualmente en EE.UU. en operaciones autorizadas y controladas por la Agencia de Protección Mediambiental (E.P.A.).

Finalmente se ha llevado a cabo una estimación de las inversiones y costes de explotación que conllevaría una operación de inyección como la propuesta, aunque hay que señalar la falta de datos específicos sobre el pretratamiento que habría de darse al residuo.

Según esta estimación los presupuestos para la ejecución del sistema se elevan a 220 millones de pesetas, incluyendo las instalaciones de pretratamiento que habría que complementar.

La operación y explotación del sistema de inyección llevaría consigo unos costes anuales que se han estimado en 22 millones de pesetas en base a la experiencia recogida por operaciones similares en EE.UU.

Un estudio económico más detallado sólo podría realizarse tras la ejecución del sistema de inyección y los ensayos propuestos en el programa.

Para la zona de Zaragoza capital, la menor densidad de datos de geología profunda, obliga a una propuesta más general, pero no por ello menos interesante.

El sondeo de inyección tendría una profundidad de 2.150 metros, con el objetivo-almacén constituido por las calizas y dolomías liásicas que están confinadas por potentes paquetes margosos del Jurásico medio y superior, así como por los 1.800 metros de Terciario evaporítico que se depositaron en la zona. El sondeo de vigilancia tendría en este caso una profundidad limitada a 150 metros con objeto de controlar los acuíferos del aluvial del río Ebro.

Este sistema de inyección comportaría unas inversiones totales del orden de 330-340 millones de pesetas, con unos costes de operación y mantenimiento estimados en 35 millones de pesetas al año.

CONCLUSIONES

A la vista de todos los datos analizados en el informe parece no existir dudas sobre el interés de considerar la inyección de los residuos industriales como una solución válida para la zona de La Zaida. En la zona de Zaragoza, a pesar de la falta de datos concretos, las perspectivas son asimismo muy prometedoras.

La decisión final depende de la comparación de los datos apuntados en este informe con otras soluciones alternativas clásicas, y siempre estará fundamentada en criterios económicos y de seguridad medioambiental.

La realización previa de un proyecto de operación podrá precisar algo más las inversiones relativas a los sondeos de inyección y seguimiento e instalaciones de bombeo, pero no se podrá precisar más los datos relativos a pretratamiento, hasta haber ejecutado los sondeos y realizado ensayos en los mismos.

I N D I C E

	<u>Pág.</u>
1.- <u>PRESENTACION</u>	1
1.1.- ANTECEDENTES.....	2
1.2.- OBJETIVOS.....	5
1.3.- REALIZACION DEL TRABAJO.....	6
2.- <u>SINTESIS GEOLOGICA DEL VALLE DEL EBRO. SELECCION DE FORMACIONES PERMEABLES</u>	8
2.1.- GEOLOGIA REGIONAL.....	9
2.1.1.- <u>Introducción</u>	9
2.1.2.- <u>Estratigrafía</u>	10
2.1.3.- <u>Tectónica</u>	17
2.2.- FORMACIONES PERMEABLES. SELECCION DE ALMACENES.	19
3.- <u>MODELOS DE INYECCION</u>	26
3.1.- MODELOS TEORICOS DE INYECCION.....	27
3.2.- CORRELACIONES ESTRATIGRAFICAS EN LOS ALMACENES Y COBERTERAS ESTUDIADOS.....	32
3.2.1.- <u>Cretácico</u>	32
3.2.2.- <u>Malm</u>	34
3.2.3.- <u>Dogger</u>	36
3.2.4.- <u>Lías</u>	36
3.2.5.- <u>Rhetiense</u>	39
3.2.6.- <u>Keuper</u>	39
3.2.7.- <u>Muschelkalk</u>	43
3.2.8.- <u>Buntsandstein</u>	46
4.- <u>SINTESIS HIDROGEOLOGICA DE LOS ACUIFEROS SUPERFICIALES EXPLOTADOS</u>	50
4.1.- ALUVIAL DEL EBRO Y AFLUENTES (Sistema nº 62)...	51
4.2.- MESOZOICO IBERICO DE LA DEPRESION DEL EBRO (Sistema nº 58).....	52

	<u>Pág.</u>
5.- <u>ESTUDIO DETALLADO DE LAS FORMACIONES ALMACEN</u>	63
5.1.- REVISION DE LOS SONDEOS PROFUNDOS DE INVESTI- GACION PETROLERA EXISTENTES EN LA ZONA.....	64
5.1.1.- <u>Localización</u>	64
5.1.2.- <u>Fechas</u>	65
5.1.3.- <u>Profundidades</u>	66
5.1.4.- <u>Objetivos de los sondeos</u>	66
5.2.- ESTUDIO DETALLADO DE LOS SONDEOS EN EL AREA DE LA ZAIDA.....	68
5.2.1.- <u>Sondeo La Zaida</u>	68
5.2.1.1.- Estratigrafía y Litología....	70
5.2.1.2.- Estructura geológica.....	72
5.2.1.3.- Resultados de la interpreta- ción de las diagrafas.....	72
5.2.2.- <u>Sondeo Lopin</u>	81
5.2.2.1.- Estratigrafía y Litología....	83
5.2.2.2.- Estructura geológica.....	85
5.2.2.3.- Resultados de la interpreta- ción de las diagrafas.....	85
5.2.3.- <u>Sondeo Ebro-1</u>	89
5.2.3.1.- Estratigrafía y Litología....	91
5.2.3.2.- Estructura geológica.....	92
5.2.3.3.- Resultados de la interpreta- ción de las diagrafas y pruebas.....	92
5.2.3.4.- Ensayos DST realizados.....	100
5.2.4.- <u>Sondeo Gelsa</u>	101
5.2.4.1.- Estratigrafía y Litología....	103
5.2.4.2.- Estructura geológica.....	104
5.2.4.3.- Diagrafas y ensayos.....	104
5.2.5.- <u>Sondeo Ebro-2</u>	105
5.2.5.1.- Estratigrafía y Litología....	108
5.2.5.2.- Estructura geológica.....	109

	<u>Pág.</u>
5.2.5.3.- Resultados de la interpretación.....	110
5.2.5.4.- Ensayos de producción.....	114
5.2.6.- <u>Sondeo Caspe-1</u>	115
5.2.6.1.- Estratigrafía y Litología....	115
5.2.6.2.- Estructura geológica.....	117
5.2.6.3.- Resultados de la interpretación de las diagráfias y pruebas.....	118
5.2.7.- <u>Sondeo Chiprana-1</u>	120
5.2.7.1.- Estratigrafía y Litología....	120
5.2.7.2.- Estructura geológica.....	124
5.2.7.3.- Resultados de la interpretación de las diagráfias y pruebas.....	124
5.2.8.- <u>Sondeo Zaragoza-1</u>	129
5.2.8.1.- Estratigrafía y Litología....	131
5.2.8.2.- Estructura geológica.....	132
5.2.8.3.- Resultados de la interpretación de las diagráfias y pruebas.....	132
5.2.9.- <u>Sondeo Zuera</u>	133
5.2.9.1.- Estratigrafía y Litología....	135
5.2.9.2.- Estructura geológica.....	136
5.2.9.3.- Resultados de la interpretación de las diagráfias y pruebas.....	137
5.3.- CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DETALLADO DE LOS SONDEOS PROFUNDOS.....	138
5.4.- ESTUDIO DE LA PROSPECCION SISMICA. CORRELACIONES.....	146

	<u>Pág.</u>
6.- <u>EVALUACION DE RESIDUOS</u>	164
6.1.- INTRODUCCION.....	165
6.2.- ZONA DE ZARAGOZA CAPITAL.....	166
6.2.1.- <u>Industrias</u>	166
6.2.2.- <u>Aguas residuales urbanas</u>	169
6.3.- ZONA DE LA ZAIDA.....	171
6.3.1.- <u>Industrias</u>	171
6.3.2.- <u>Aguas residuales urbanas</u>	174
7.- <u>ZONA DE LA ZAIDA. ANALISIS TEORICO DE PROBLEMAS</u> <u>DE COMPATIBILIDAD</u>	176
7.1.- GENERALIDADES.....	177
7.2.- FACTORES QUE INCIDEN EN LA COMPATIBILIDAD.....	178
7.2.1.- <u>Residuos</u>	178
7.2.2.- <u>Almacén</u>	179
7.2.3.- <u>Fluido nativo</u>	181
7.3.- DATOS DE LA ZAIDA.....	182
7.4.- ANALISIS TEORICO DE COMPATIBILIDAD.....	183
7.4.1.- <u>Reacciones entre residuo y minerales</u> <u>arcillosos de la formación</u>	185
7.4.2.- <u>Reacciones de precipitación</u>	185
7.4.3.- <u>Actividad de microorganismos</u>	186
7.4.4.- <u>Otras reacciones. Conclusión</u>	187
8.- <u>VIABILIDAD DE LA INYECCION. ANALISIS DE PROPUESTAS</u>	188
8.1.- INTRODUCCION.....	189
8.2.- ZONA DE LA ZAIDA.....	190
8.2.1.- <u>Sistema de inyección y vigilancia</u> <u>propuesto</u>	190
8.2.2.- <u>Programa propuesto</u>	193
8.2.3.- <u>Datos económicos</u>	195
8.2.3.1.- <u>Inversiones</u>	195

	<u>Pág.</u>
8.2.3.2.- Costos de explotación y mantenimiento.....	196
8.3.- ZONA DE ZARAGOZA CAPITAL.....	198
8.3.1.- <u>Sistema de inyección y vigilancia</u> <u>propuesto</u>	198
8.3.2.- <u>Datos económicos</u>	199
8.3.2.1.- Inversiones.....	199
8.3.2.2.- Costos de operación.....	200

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 del ámbito de actividad del hombre.

Las estructuras geológicas profundas pueden llegar a ser una buena 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 era la Depresión del Ebro, en donde formaciones carbonatadas del Jurásico inferior y Rhetiense, pueden constituir un buen almacén, reuniendo los requisitos necesarios de estanqueidad.

El estudio del registro de instalaciones industriales de la provincia de Zaragoza ha puesto de manifiesto la existencia de dos zonas (figura 1) de concentración industrial interesantes por el tipo de industrias presente, con vistas a la aplicación a las mismas, de la técnica de inyección en almacenes profundos. La primera situada a lo largo del río Ebro en el campo de influencia de la ciudad de Zaragoza y la segunda ubicada en las proximidades de La Zaida.

Los datos geológicos existentes y analizados en el presente trabajo ponen de relieve que en ambas zonas, las posibilidades de eliminación de residuos presenta un notable interés. En la zona de La Zaida, además, se encuentra ubicada una empresa química que, preocupada por la minimización de sus residuos, ha mantenido un constante diálogo con las autoridades medioambientales con el fin de disminuir al máximo el impacto de sus vertidos. Se trata de FORET, S.A., que tiene instalada en las inmediaciones de La Zaida una fábrica de agua oxigenada y otros peróxidos.

Actualmente los residuos de la fábrica constituidos por agua de refrigeración, aguas residuales de los servicios de

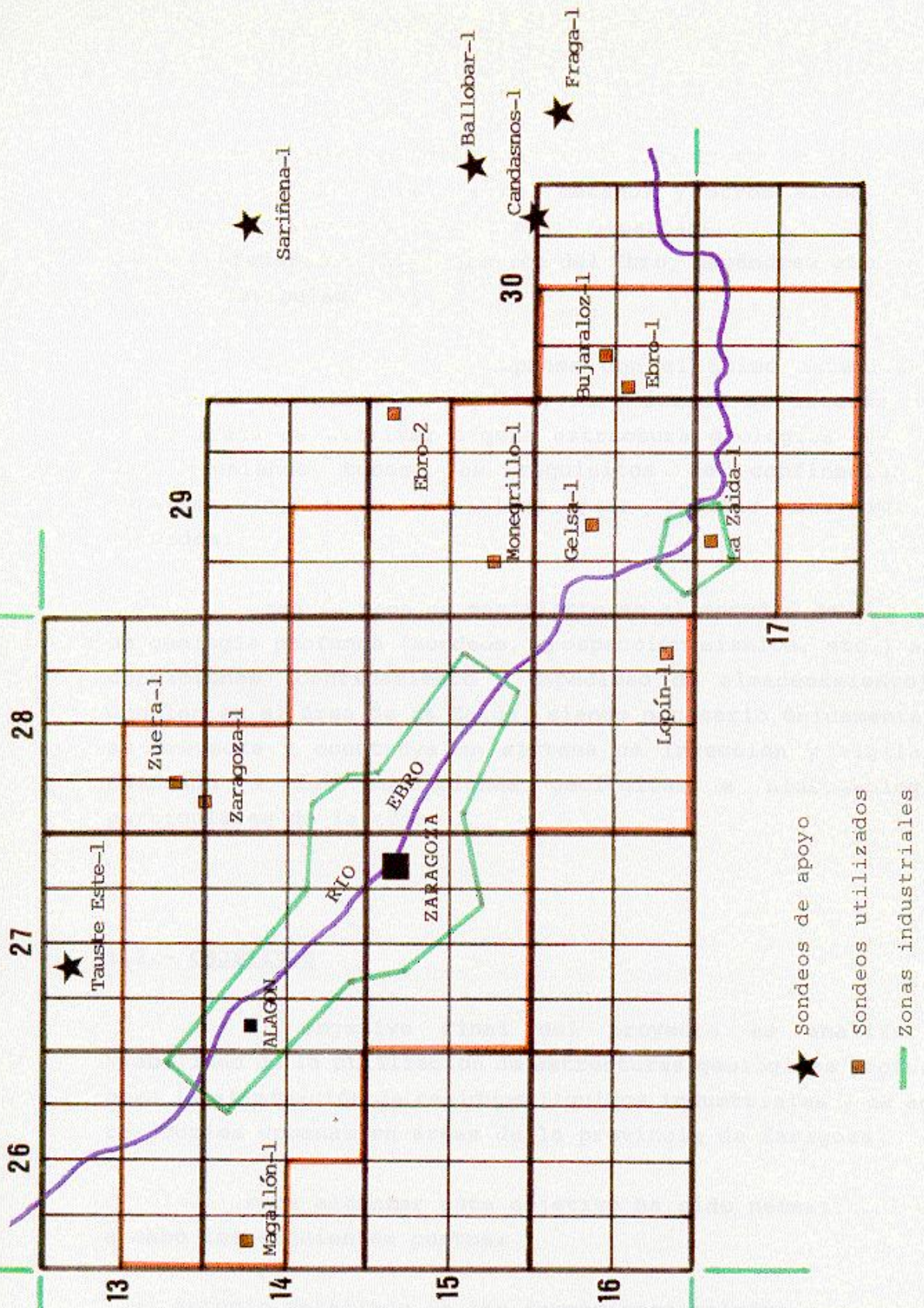


FIGURA 1

fábrica y poblado anexo y residuos de peróxidos (fundamentalmente solución acuosa de cloruros y sulfatos, con pequeñas cantidades de aceite, metanol y otros alcoholes) es vertido al río Ebro bajo control de departamento correspondiente de la Confederación Hidrográfica del Ebro, pagándose el canon de vertido estipulado.

No obstante, la empresa con el ánimo anteriormente citado de minimizar el impacto, ha mostrado su interés en la posibilidad de utilizar alguna estructura geológica profunda, que reuniendo todos los requisitos de confinamiento y estanqueidad, tenga capacidad para recibir sus residuos líquidos.

Como se pone de manifiesto en el estudio de los datos de geología profunda (sondeos, prospección sísmica, etc.) ambas condiciones (confinamiento y capacidad de almacenamiento) se cumplen en el área de La Zaida, siendo necesario únicamente que se proyecte y construya un sistema de inyección y vigilancia adecuado a las condiciones geológicas e hidrogeológicas particulares de la zona.

1.2.- OBJETIVOS

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

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

- Estudio detallado de las formaciones calcáreas mesozoicas en las zonas 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 anteproyecto de un documento, que contemple el programa de prospecciones a realizar, así como las instalaciones necesarias para la puesta en marcha de una operación de inyección con una evaluación económica de la misma (inversiones a realizar y costes de operación).

1.3.- REALIZACION DEL TRABAJO

El proyecto ha sido realizado, bajo la dirección del Instituto Tecnológico GeoMinero de España, por las empresas Tecnología y Recursos de la Tierra, S.A.L. y Estudio y Tratamiento de la Información, S.A.

En su desarrollo ha intervenido el siguiente equipo técnico:

Gerardo Ramos González. Ingeniero de Minas. Director del Proyecto. I.T.G.E.

José Sánchez Guzmán. Ingeniero de Minas. Responsable del Proyecto. Tecnología y Recursos de la Tierra.

Juan Antonio Navarro Iáñez. Ingeniero de Minas. Estudio y
Tratamiento de la Información.

Luis Ocaña Robles. Licenciado en Ciencias Químicas. Tecnología
y Recursos de la Tierra.

Rafael Martínez Alvarez-Amandí. Ingeniero de Minas. Tecnología
y Recursos de la Tierra.

2.- SINTESIS GEOLOGICA DEL VALLE DEL EBRO.

SELECCION DE FORMACIONES PERMEABLES

2.1.- GEOLOGIA REGIONAL

2.1.1.- INTRODUCCION

La zona estudiada está ubicada dentro de la Depresión del Ebro, la cual está formada en superficie por materiales del Terciario y Cuaternario.

Esta cuenca tiene forma triangular, delimitada por varios sistemas montañosos: al Norte se encuentran los Pirineos, al Sur-Oeste la Cordillera Ibérica y al Sur-Este la Cadena Costero-Catalana.

Se trata de una gran cuenca endorreica, que se mantuvo emergida durante gran parte del Terciario, debido al levantamiento tectónico simultáneo a la subsidencia del zócalo.

Esta cubeta terciaria, en su desarrollo, ha supuesto una traslación del curso sedimentario, desde una posición subpirenáica, durante el Eoceno, a otra más al Sur, aproximadamente en la posición del curso medio actual del Ebro; esta es la razón por la que existe una disimetría de unidades estratigráficas en cuanto a potencias y facies litológicas.

De forma resumida se definen, en las zonas de interés dos grandes unidades geológicas:

- Depresión del Ebro, y
- Cordillera Ibérica

2.1.2.- ESTRATIGRAFIA

Se ha señalado anteriormente que la geología asociada a este área está constituida predominantemente por materiales terciarios y cuaternarios, bordeados por afloramientos mesozoicos y paleozoicos.

A continuación se describe muy someramente la estratigrafía asociada a cada una de estas edades geológicas.

Paleozoico

Afloran estos materiales en la franja Sur-Suroeste montañosa que bordea a la depresión del Ebro. Son materiales incluidos en el Sistema Ibérico.

Se trata de cuarcitas, areniscas, pizarras, grauwackas, calizas dolomíticas y dolomías calcáreas, donde se distinguen diferentes capas y unidades, que constituyen un conjunto de gran espesor.

Triásico

Aparecen muy bien caracterizados sus tres pisos en las cordilleras circundantes a la depresión terciaria.

El **Buntsandstein**, constituido por conglomerados y areniscas de color rojizo, incluidas en un medio arcilloso, existiendo en las partes altas de dicha formación margas arcillosas, lutitas rojas y verdosas. La potencia es muy variable, oscilando entre 20 y 500 metros.

El **Muschelkalk** está constituido por calizas y dolomías, con intercalaciones margo-arcillosas, yesos, anhidritas y

El Malm está formado por margas grises y calizas detríticas con intercalaciones margosas. La potencia suele alcanzar los 250 metros.

En general, el Jurásico comprende potencias que abarcan entre 100 y 900 metros de espesor.

Como se verá más adelante, en los sondeos de petróleo existentes en la Depresión del Ebro, el Rethiense está muy claramente representado por un importante paquete evaporítico de anhidritas con intercalaciones de dolomías (200-500 metros). Este potente paquete tiene una carácter general impermeable con la inclusión de niveles dolomíticos muy permeables. Las carniolas que se encuentran a techo de este paquete y que cronológicamente se asignan al Rethiense, a efectos prácticos (diferenciación de niveles almacenes y niveles confinantes) va a incluirse en este informe como parte del Lías calcáreo, constituyendo su nivel de muro.

Cretácico

Existen numerosos afloramientos en la zona Noreste de la Cordillera Ibérica, hacia la Depresión del Ebro.

La parte inferior, facies WEALD, está compuesta por bancos de areniscas intercalados en margas versicolores y conglomerados arenosos.

La parte superior está formada por niveles de calizas y dolomías masivas con margas.

En general, el Cretácico comprende potencias de hasta 500 metros.

En las figuras 2, 3 y 4 se presentan algunas columnas tipo para los niveles mesozóicos en diferentes zonas del área de estudio.

Terciario

Dentro de este potente paquete sedimentario se distinguen tres tipos de litofacies: facies detríticas, facies calcáreas y facies evaporíticas-yesíferas-.

Las **facies detríticas** ocupan una posición marginal en la cuenca; corresponden a conglomerados que pasan lateralmente a depósitos alternantes de margas y areniscas. Dentro de esta facies se distinguen las formaciones Sariñena, Urgell y Caspe, entre otras.

Las **facies calcáreas** corresponden a calizas lacustres con disposición en bancos más o menos potentes (0,2 a 2 metros), asociadas a margas, areniscas calcáreas y a lignitos, y a veces, a yesos y sílex. Las formaciones Alcutierre, Mequinenza, Codo y otras, presentan esta facies.

Las **facies evaporíticas**, originadas en lagunas endorreicas de tipo sebja, corresponden a yesos asociados a margas y depósitos de halitas, y abundantes materiales carbonatados. Las formaciones más importantes son la Zaragoza y Yesos de Barbastro.

Cuaternario

Está constituido por las terrazas del Ebro y tributarios, que pertenecen a la categoría de terrazas-glacis. Es decir, una terraza formada por desplazamientos laterales del río

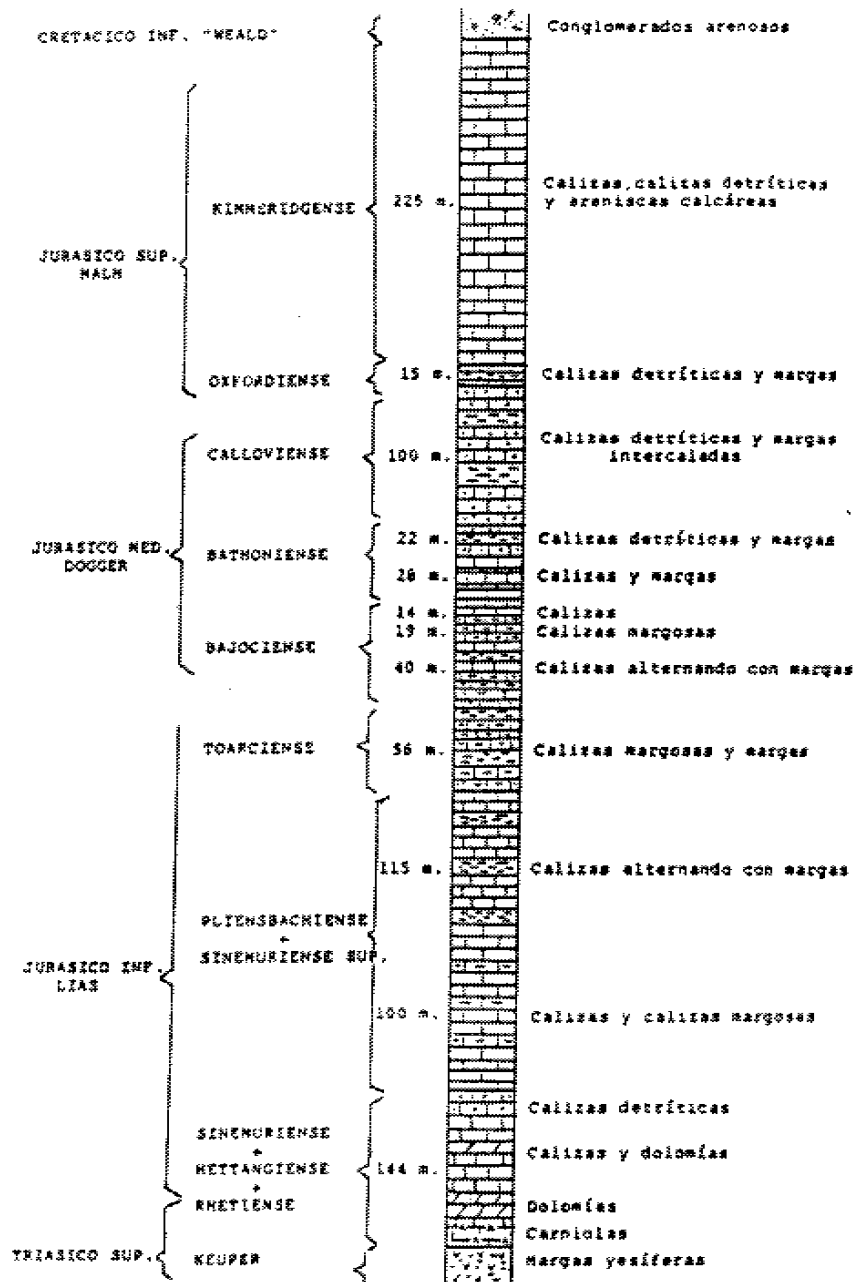


FIGURA 2.- CORTE ESTRATIGRAFICO: VALLE DEL JALON (RICLA)

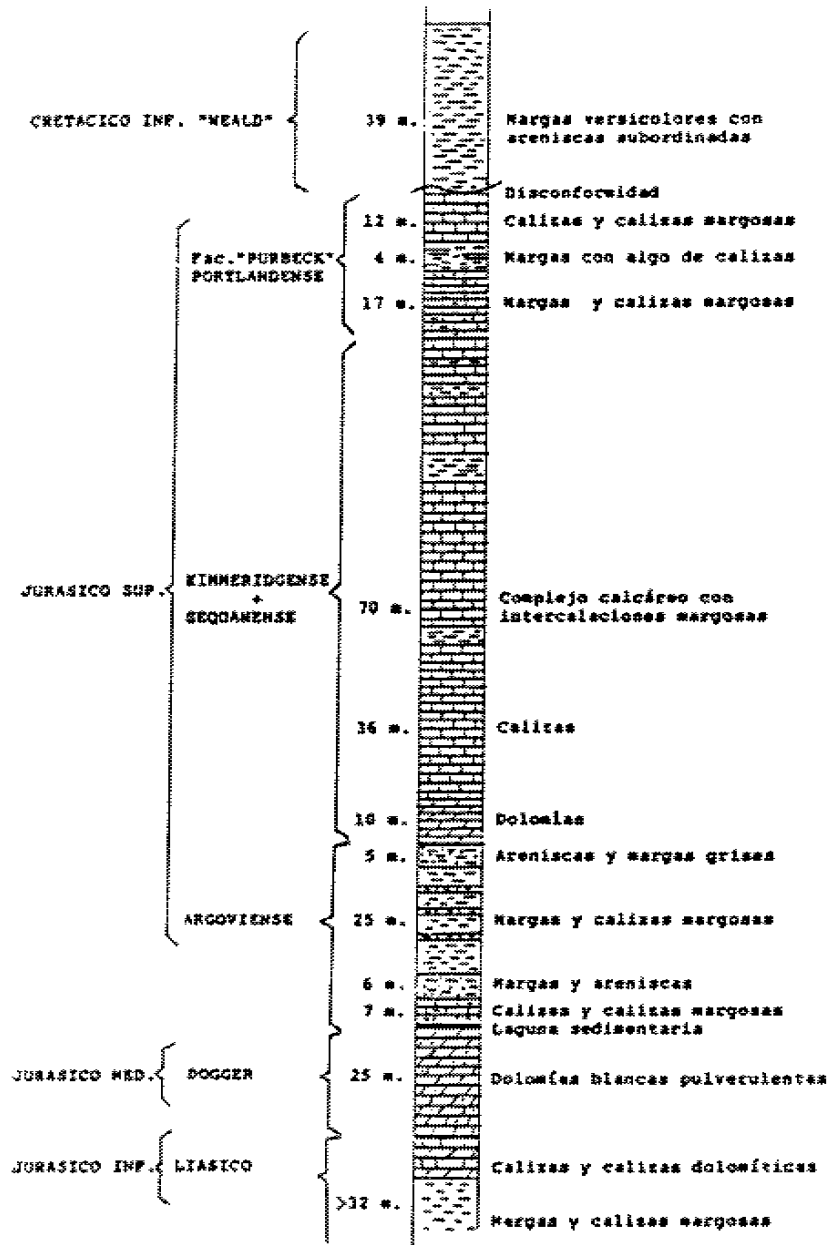


FIGURA 3.- CORTE ESTRATIGRAFICO: BARRANCO DEL RIO GUADALOPE

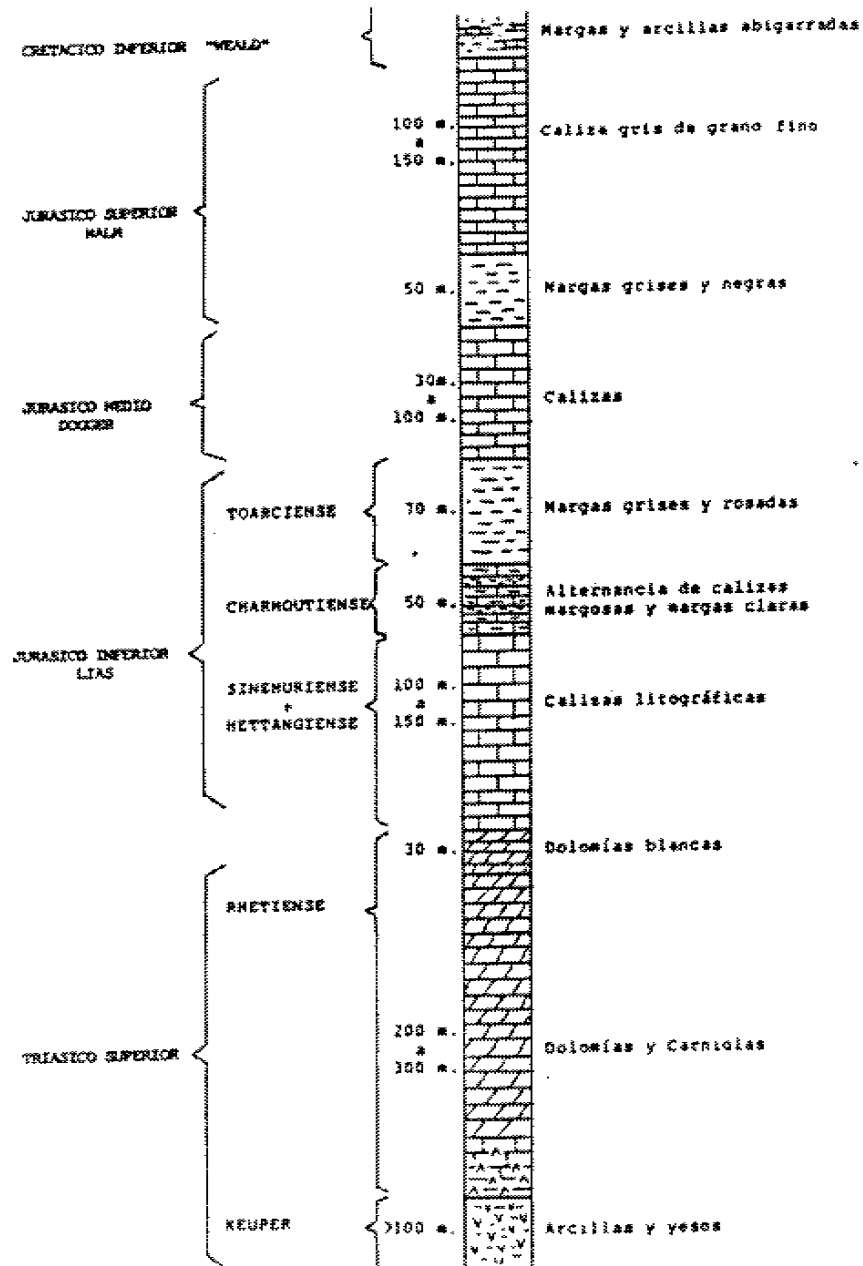


FIGURA 4.- COLUMNA TIPO PARA EL JURASICO: ZONA DEL RIO GUADALUPE

durante una fase de estabilidad, revestidas por un manto de graveras poligénicas procedentes de la cabecera del río. Mientras que los glacis son extensos planos inclinados hacia el río, revestidos con gravas de procedencia local y lateral, están constituidos por materiales relativamente blandos, procedentes de la denudación de los materiales terciarios de la depresión del Ebro. Se han reconocido 4 terrazas-glacis, a las que se añade la terraza de inundación del Ebro, la cual se halla encajada en la primera, lo cual tiene una gran trascendencia para la captación de aguas. Tanto las terrazas como los glacis suelen estar revestidos por limos eólicos discontinuos de naturaleza yesífera.

2.1.3.- TECTONICA

Se distinguen en el área dos grandes estructuras: la Cordillera Ibérica y la Depresión del Ebro.

Cordillera Ibérica

En la Cordillera Ibérica se superponen dos estructuras tectónicas: la herciniana y la alpídica. Dentro de la zona objeto de estudio, donde se enmarcan las áreas de interés, se pueden distinguir las siguientes unidades:

- Rama Castellana o interna de la Ibérica
- Depresión de Calatayud, rellena de Terciario Continental
- Rama Aragonesa o externa de la Ibérica, a la que pertenecen las fracturas limitantes con la Depresión del Ebro.

Según diversos autores la estructura hercínica tiene un estilo de plegamiento y fractura característico, ya que los ejes de plegamiento se alinean preferentemente de NO a SE; es decir, casi paralelos a las estructuras alpinas. El conjunto hercínico se caracteriza estructuralmente por la existencia de pliegues verticales y simétricos.

Los materiales mesozóicos, pueden haber reaccionado de distinta manera sobre el basamento hercínico, ya plegado e inerte. El Triás inferior, a veces muy potente, está "pegado" al basamento hercínico, actuando de "tegumento" tectónico. Los niveles del Keuper, en cambio, han actuado a modo de superficies de despegue, en virtud de su carácter plástico; lo cual ha dado lugar a que las unidades stratigráficas superiores se hayan despegado, ocasionando algunos cabalgamientos. Los ejes de plegamiento presentan claras direcciones NO a SE, la vergencia es netamente hacia el nordeste; lo cual viene avalado por las fallas inversas existentes de plano inclinado hacia el SO.

El borde de la Cordillera Ibérica está estructuralmente constituido por fallas cabalgantes, con cobijadura de los conglomerados paleógenos, y fallas normales que, en fases posteriores, han dado lugar a una disposición en bloques que presentan un descenso gradual hacia el centro de la depresión del Ebro.

Depresión del Ebro

No puede decirse que constituya un conjunto sedimentario tabular y plano. Se trata de sedimentos miocenos post-alpídicos; y por tanto las deformaciones que han sufrido son relativamente poco enérgicas, y de ordinario los buzamientos medidos son inferiores a los tres grados, sin rebasar casi nunca los ocho grados. Por estas razones puede ser objeto de críticas el hablar de plegamientos anticlinales y sinclinales cuando se

trata en realidad de deformaciones tan suaves y de tanta extensión. Por otra parte, la superficie de separación Terciario Continental-Mesozoico marino presenta un progresivo hundimiento hacia el Pirineo.

2.2.- FORMACIONES PERMEABLES. SELECCION DE ALMACENES.

Una vez presentada de forma muy resumida la geología superficial asociada al área objeto de estudio, se analiza a continuación cuales son los materiales geológicos aptos para ubicar en ellos los residuos, debido a sus características hidrogeológicas favorables que permiten el almacenamiento de líquidos, así como a la existencia de materiales suprayacentes que actuando de cobertera, impiden la migración de los fluidos inyectados hacia otros materiales geológicos que contengan aguas de calidad aceptable para uso por el hombre, en cualquiera de los sectores de actividad, o bien otros recursos aprovechables (gas, petróleo, etc..). Además, los fluidos nativos de la posible roca almacén deben ser de mala calidad, de manera que la inyección de residuos líquidos no comprometa el uso futuro de un recurso natural.

La revisión somera de la geología de materiales aflorantes que se ha realizado en el apartado anterior, pone de manifiesto que en el área objeto de estudio, los materiales asociados al Mesozóico son los de mayor interés, con vistas a su utilización como almacenes para la inyección de residuos. Los materiales paleozóicos presentan escasa capacidad de almacenamiento mientras que los terciarios y cuaternarios, en general muy superficiales, contienen recursos aprovechables, o lo que es más habitual, son impermeables.

Al objeto de valorar a priori las posibilidades de utilización de niveles mesozóicos como almacenes se ha simulado

la superficie de contacto Terciario Continental-Mesozóico Marino, es decir la paleotopografía del techo del Mesozóico, sobre el que se apoya discordante el Terciario Continental (figura 5). Asimismo se ha simulado el contacto Mesozóico-Paleozóico, o sea, la paleotopografía del basamento paleozóico (figura 6) Esta doble simulación matemática permite trazar un mapa de isopacas simplificado, de toda la depresión del Ebro, para el paquete mesozóico. El conjunto de información aportada por estos tres modelos de simulación constituye una herramienta muy interesante para la evaluación de las posibilidades de inyección.

En la figura 7 se ha representado el mapa de isopacas correspondiente al Mesozóico, en el que se refleja la constitución de este paquete sedimentario, para cada uno de los sondeos que han sido utilizados como información básica, estableciendo una clasificación de los distintos niveles en función de sus características permeables o impermeables.

Las principales conclusiones que se pueden obtener de estos primeros datos son:

- La profundidad a la que se sitúa, aproximadamente, el basamento paleozoico en las zonas de interés es:
 - * ZONA DE LA ZAIDA: 1000-1500 mts.
 - * ZONA DE ZARAGOZA CAPITAL: 2500-4000 mts.

- La profundidad a la que se sitúa, aproximadamente, el techo mesozoico en las zonas de interés es:
 - * ZONA DE LA ZAIDA: 200- 500 mts.
 - * ZONA DE ZARAGOZA CAPITAL: 1000-2000 mts.

- En ambas zonas de interés existe una alternancia de niveles con carácter permeable e impermeable, lo que en principio, permite pensar en la existencia de materiales almacén y cobertera. Sólo faltaría por comprobar la existencia de

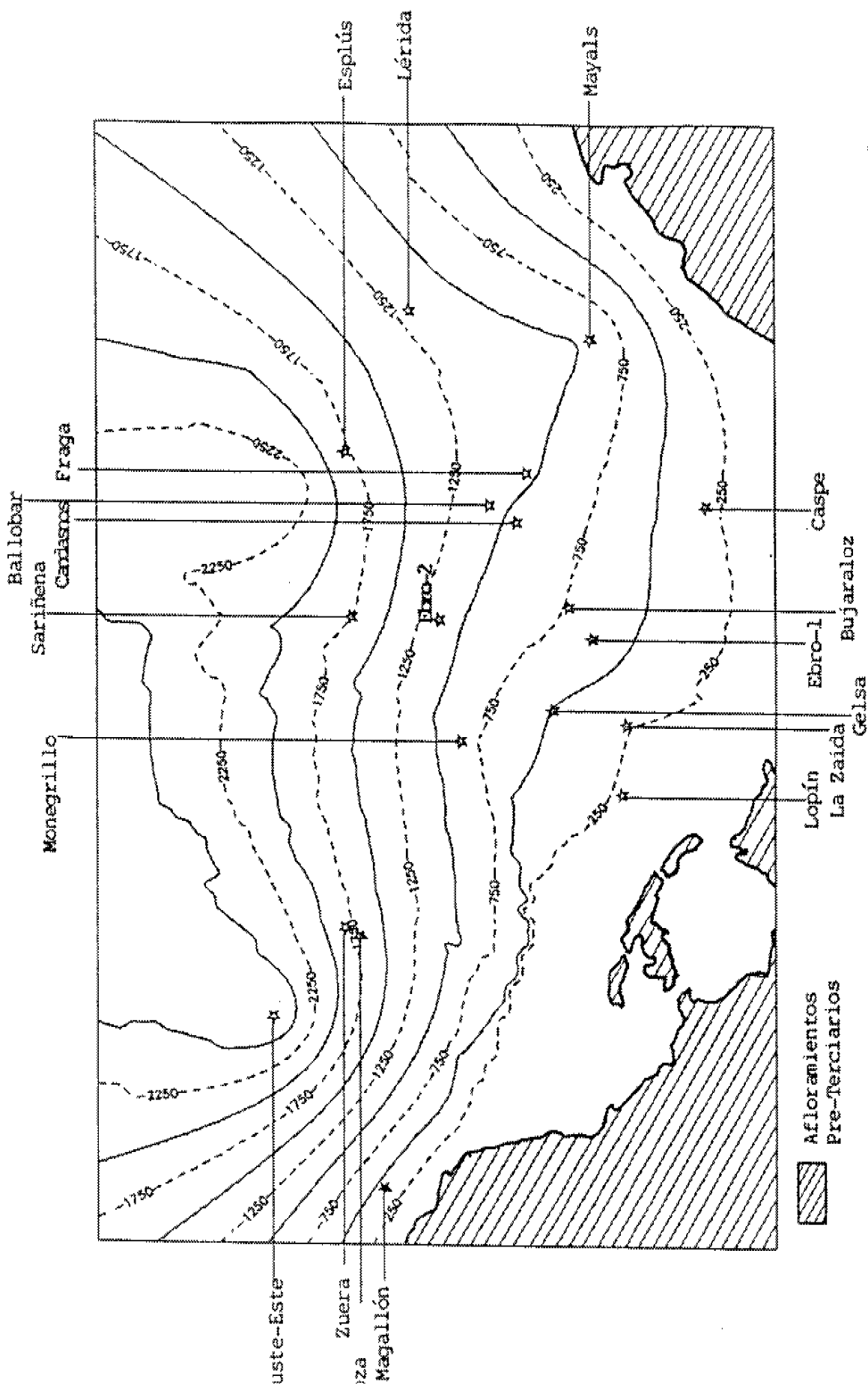


FIGURA 5

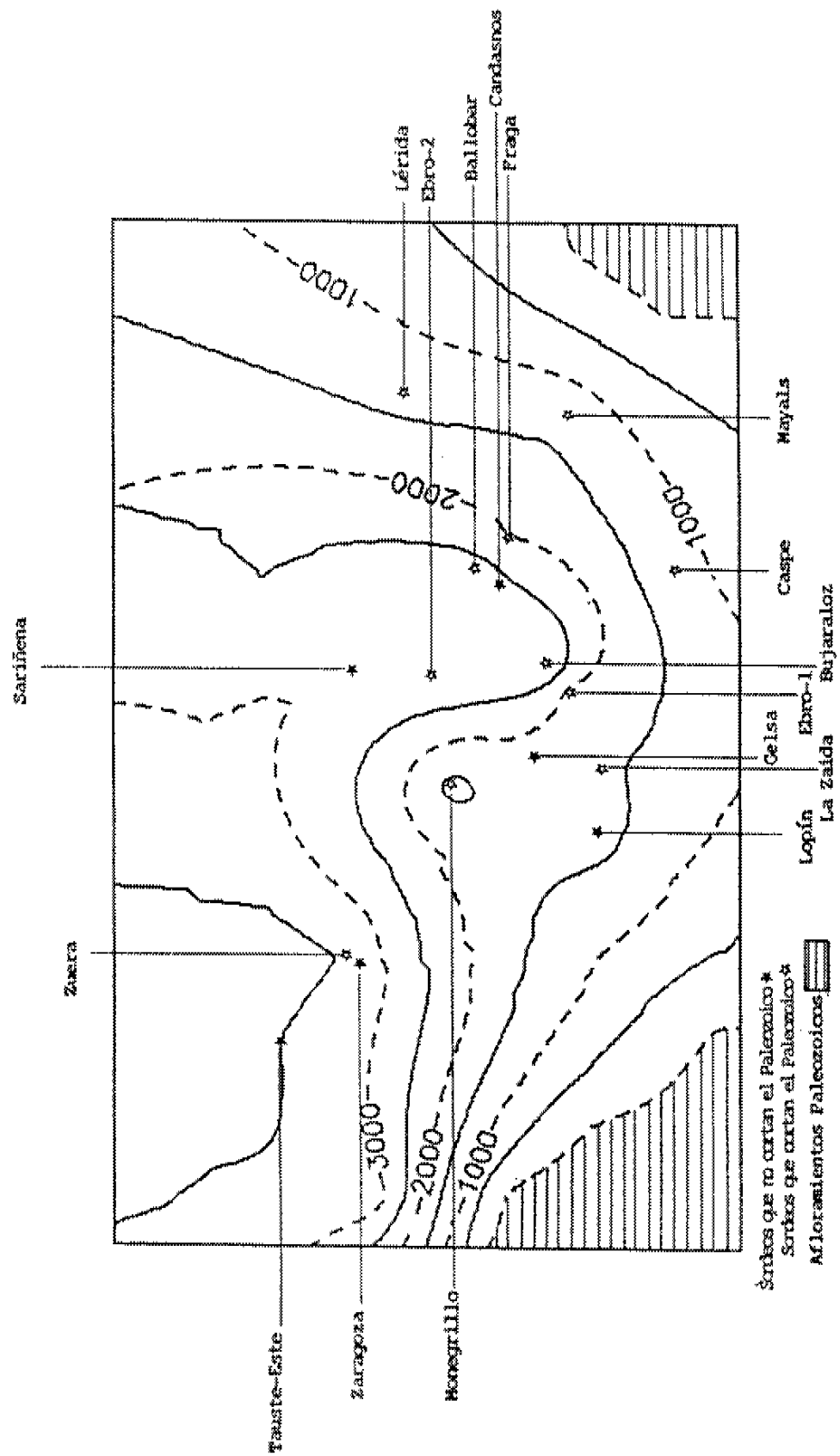


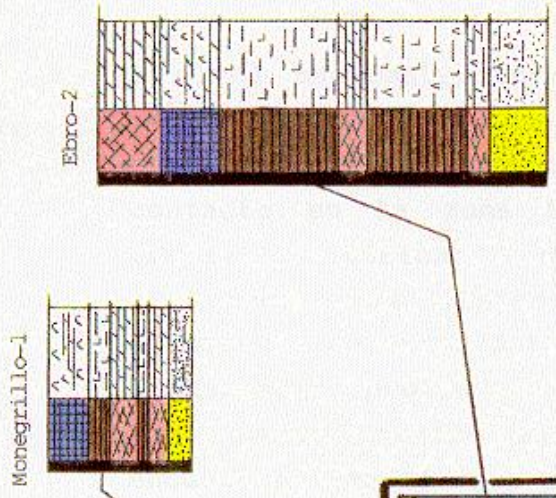
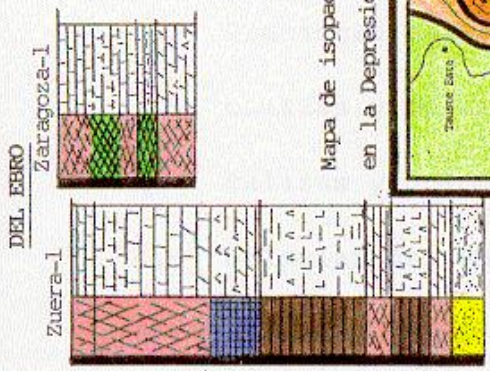
FIGURA 6

EL MESOZOICO EN LA DEPRESION DEL EBRO

	Material permeable por fisuración
	Material permeable porosidad primaria
	Material impermeable
	Intercalación de permeables y semipermeables
	Intercalación de permeables e impermeables

L E Y E N D A

Columna litológica
Carácter hidrogeológico



Mapa de isopacas del Mesozoico en la Depresión del Ebro

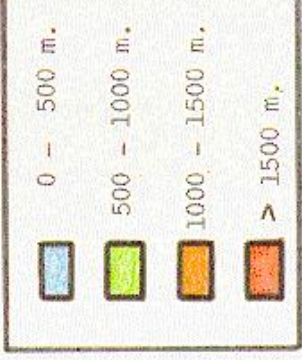
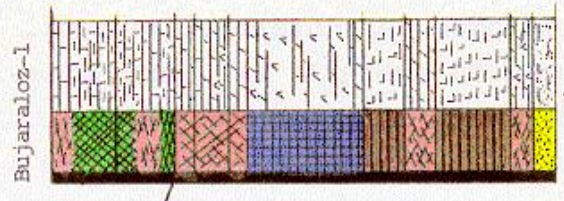
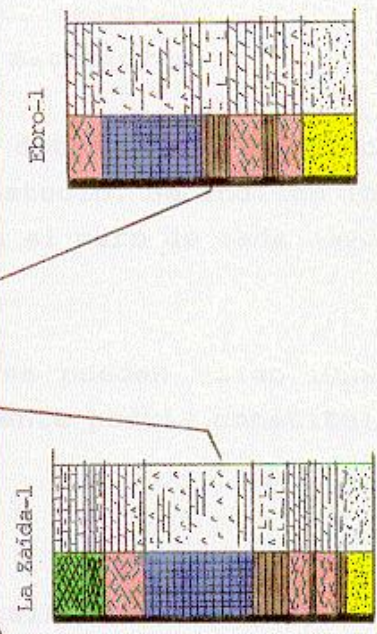
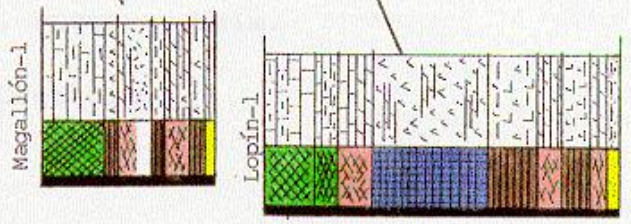
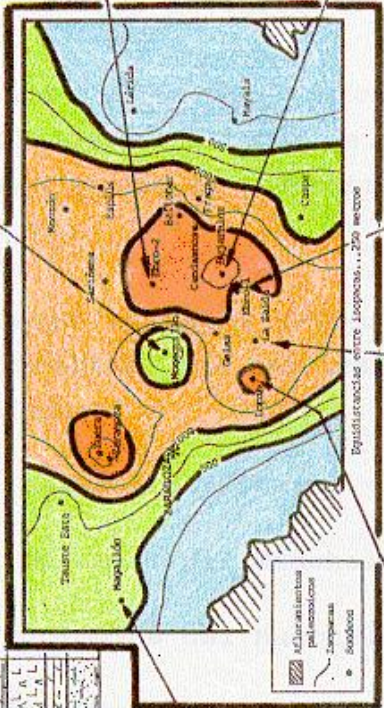


FIGURA 7

estructuras geológicas favorables.

- A nivel macroestructural la sedimentación mesozóica ha estado muy condicionada por dos grandes elementos estructurales que caracterizan a la depresión del Ebro: el contacto, en la zona Suroeste, con el Sistema Ibérico (Falla Nor-Ibérica), y la existencia en la zona Este, de la "Falla del Segre". Estas dos estructuras condicionan, salvo existencia de otros detalles macroestructurales asociados al Mesozóico profundo de la Depresión del Ebro, que en la zona central entre ambos elementos estructurales, se encuentren las máximas potencias de materiales.

En la figura 8 se presentan los datos estratigráficos para los sondeos próximos a las zonas de estudio. Se indican los datos de profundidad a la que se encuentra el muro de cada nivel y la potencia del mismo.

Como síntesis de estos datos se pueden seleccionar como formaciones permeables, que teóricamente podría constituir almacenes, los siguientes:

- 1.- Areniscas del Buntsandstein.
- 2.- Calizas y dolomías del Muschelkalk inferior (M1).
- 3.- Calizas y dolomías del Muschelkalk superior (M3).
- 4.- Dolomías del Rhetiense.
- 5.- Calizas y dolomías de los diferentes niveles jurásicos: Lías, Dogger y Malm.
- 6.- Carbonatos del Cretácico.

ESTRATIGRAFIA DE LOS SONDEOS PROFUNDOS EN ZARAGOZA

Se indica, en cada caso, a la profundidad que se encuentra el muro.
La profundidad del techo se halla restando la potencia, de la profundidad del muro, que aparece en la tabla.

SONDEOS	Base del Terc	Cret. Muro	Jurásico				Triásico				
			Malm	Dogg.	Lias	Rhet.	Keup.	M3	M2	M1	Bunt
Magall.	2480	2505			2830	2970	3019	3115	3176	3181	3200
Potencias....		25			325	140	49	96	61	5	19
Zuera	1788		1865?	2045	2567		2989	3092	3250	3332	3482
Potencias....			77	180	522		422	103	158	82	150
Zarago.	1677		1740	2001	2090	2252-					
Potencias....			63	261	89	160+					
Monegr.	820					978	1064	1175	1208	1288	1381
Potencias....						158	86	111	33	80	93
Ebro-2	1093				1355	1603	2094	2214	2626	2707	2940
Potencias....					262	248	491	120	412	81	233
Bujara.	738	1012	1254	1339	1480	2025	2197	2323	2638	2734	2825-
Potencias....		274	242	85	141	545	172	126	315	96	91+
Ebro-1	705					1256	1376	1516	1575	1674	1893
Potencias....						551	120	140	59	99	219
Zaida	258		382	423	630	1070	1203	1301	1350	1432	1577
Potencias....			124	41	207	440	133	98	49	82	145
Lopín	230		435	530	705	1152	1350	1450	1560	1620	1652-
Potencias....			205	95	175	447	198	100	110	60	32+
Gelsa	485		1310	1336	1504	2020	2182	2302	2388-		
Potencias....			825	26	168	516	162	120	86+		
Chipra.	718			896	978	1425	1508	Falla 1605		1707	1873-
Potencias....				151	109	447	83	-----97-----		102	166+

El símbolo "-" indica que el final de sondeo
El símbolo "+" indica que el nivel presenta mayor potencia de la especificada

Fuentes:

Base documental del ITGE
Archivos de REPSOL Exploración

FIGURA 8.- SINTESIS DE DATOS ESTRATIGRAFICOS PROCEDENTES DE SONDEOS PETROLEROS PROXIMOS A LAS ZONAS DE ESTUDIO.

3.- MODELOS DE INYECCION

3.1.- MODELOS TEORICOS DE INYECCION

En base a la información presentada en el capítulo anterior y atendiendo a criterios exclusivamente geológicos se puede establecer, a priori, dentro del Mesozóico en el área estudiada los siguientes modelos teóricos de inyección:

*** Modelo triásico detrítico profundo**

Constituido por la alternancia de niveles de areniscas y arcillas del Bundt, en el que las capas de areniscas actuarían de almacén y los materiales arcillosos de cobertera impermeable. En la práctica, este modelo no se elige como viable debido a la heterogeneidad en la permeabilidad de las capas de areniscas y a la problemática de inyectabilidad que suelen presentar los almacenes detríticos con elevado contenido en arcillas.

*** Modelo triásico carbonatado**

Basado en la existencia de potentes paquetes carbonatados del Muschelkalk. Se pueden distinguir dos almacenes o secuencias carbonatadas. El primero, el Muschelkalk Inferior (M1) constituido por calizas y dolomías que alternan con margas y evaporitas y están cubiertos por la secuencia impermeable del Muschelkalk Medio (M2) constituido por margas y arcillas abigarradas. El segundo de los almacenes citados es el Muschelkalk Superior (M3) constituido por calizas y dolomías más limpias que las del M1 (ausencia de niveles margosos y

anhidriticos) y que está protegido por un tramo muy continuo en extensión de arcillas y evaporitas del Keuper.

En la figura 9 se presenta un esquema del modelo de inyección que se adaptaría a este tipo de almacenes. La inyección se debería realizar preferentemente en el tramo carbonatado superior debido a sus mejores características de permeabilidad y homogeneidad.

*** Modelo Rhetiense (figura 10)**

Este modelo de inyección tiene razón de ser en base al potente paquete de anhidritas con intercalaciones dolomíticas que aparecen en el tránsito triásico-jurásico en la depresión del Ebro, donde, en ocasiones, potentes acumulaciones de anhidritas -impermeable- aíslan paquetes de dolomías -permeables-.

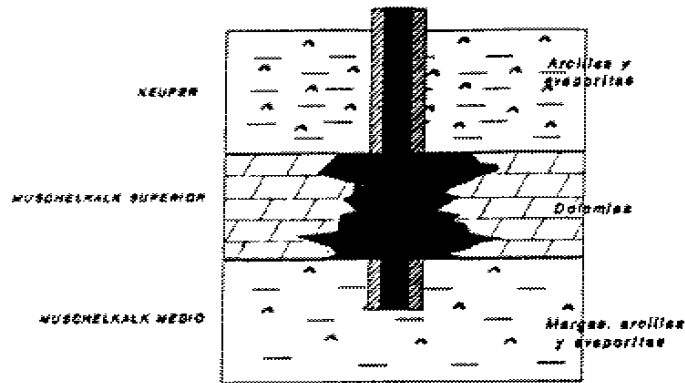
*** Modelo jurásico (figura 11)**

En el conjunto del magaciclo jurásico aparecen ciertos paquetes carbonatados muy permeables de gran potencia y extensión, cubiertos por niveles margosos-arcillosos que actúan de cobertera. Asociadas a este modelo están las "carniolas", formación de dolomías oquerosas asociadas al tránsito Lías-Rhetiense y que, a efectos prácticos, se ha decidido incluir en el Lías.

Hay que destacar como niveles permeables importantes las calizas y dolomías que abundan en el Lías, Dogger y Malm, especialmente en el Lías.

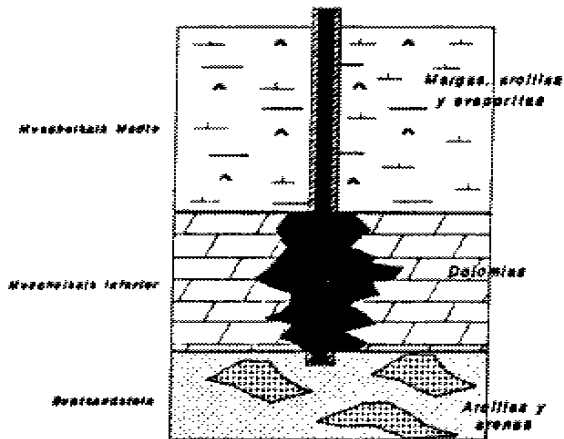
Hay que señalar que, en la mayor parte de las ocasiones el Terciario se apoya discordante sobre el Jurásico, lo que constituiría un modelo interesante, en base a posibles niveles permeables del Jurásico con cobertera terciaria.

Fluido e inyector



MODELO CARBONATADO MUSCHELKALK SUPERIOR

Fluido e inyector



MODELO CARBONATADO MUSCHELKALK INFERIOR

FIGURA 9.- MODELO TRIASICO CARBONATADO.

Fluido a
inyectar

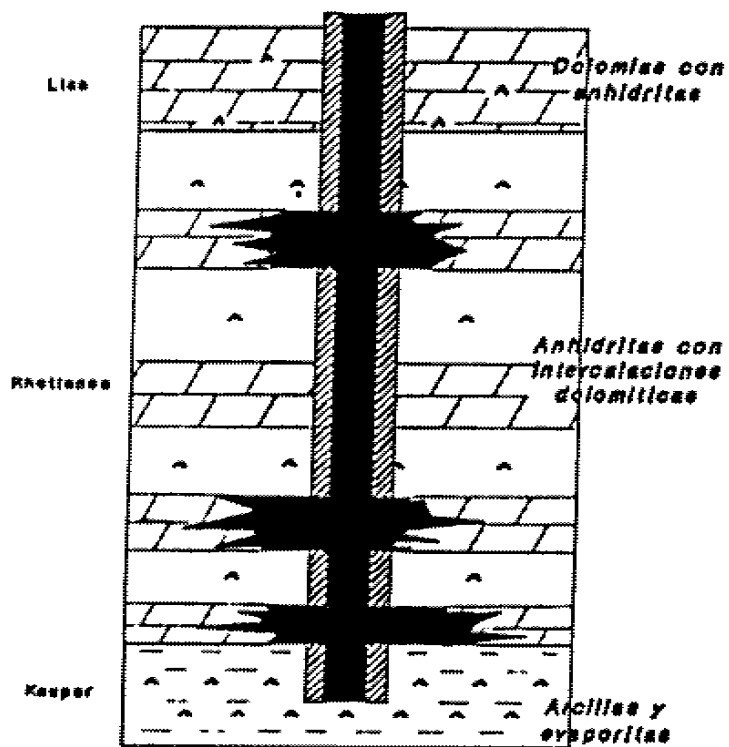


FIGURA 10.- PLANTEAMIENTO DE LA INYECCION EN LA ZONA DE TRANSITO TRIASICO-JURASICO. MODELO -- RHETIENSE.

Fleido a loyeolar

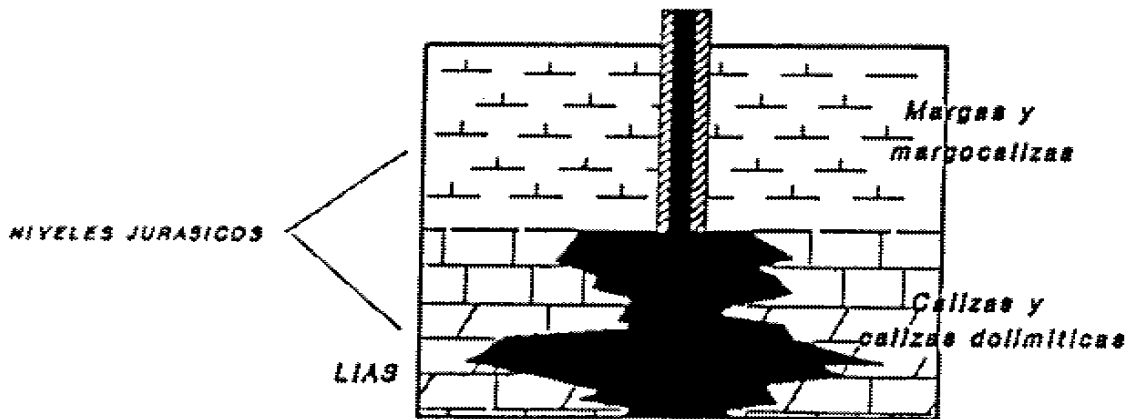


FIGURA 11.- PLANTEAMIENTO DE LA INYECCION EN LA SERIE CARBONATADA DEL LIAS. MODELO JURASICO.

* Modelo cretácico

Similar en sus características litológicas al modelo jurásico, puede establecerse este otro modelo basado en la coexistencia de niveles carbonatados muy permeables con otros suprayacentes margosos de edad cretácica o bien arcillosos-evaporíticos de edad terciaria. Este modelo sería siempre muy localizado por las limitaciones propias de la existencia sólo local del cretácico en el subsuelo de la Depresión del Ebro.

3.2.- CORRELACIONES ESTRATIGRAFICAS EN LOS ALMACENES Y COBERTERAS ESTUDIADAS

3.2.1.- CRETACICO

En la figura 12 aparece la correlación que se establece entre los tres sondeos que interceptan en la zona el Cretácico. Como se decía anteriormente, este nivel presenta una extensión muy limitada, y por tanto, un interés sólo local.

El Cretácico se presenta generalmente constituido por calizas con trazas de yesos (lo que pudo dar lugar al desarrollo de "cavings", detectado durante la perforación) y alternancia con calizas arcillosas y arcillas.

Al techo del Cretácico están las arcillas, yesos y calizas arcillosas de la base del Terciario. Este importante paquete detrítico está representado, en la ZONA DE ZARAGOZA CAPITAL, por la Formación Zaragoza, que corresponde a un potente nivel yesífero, mientras que en la ZONA DE LA ZAIDA está representado por la Formación Mequinenza, potente paquete margo-calcáreo.

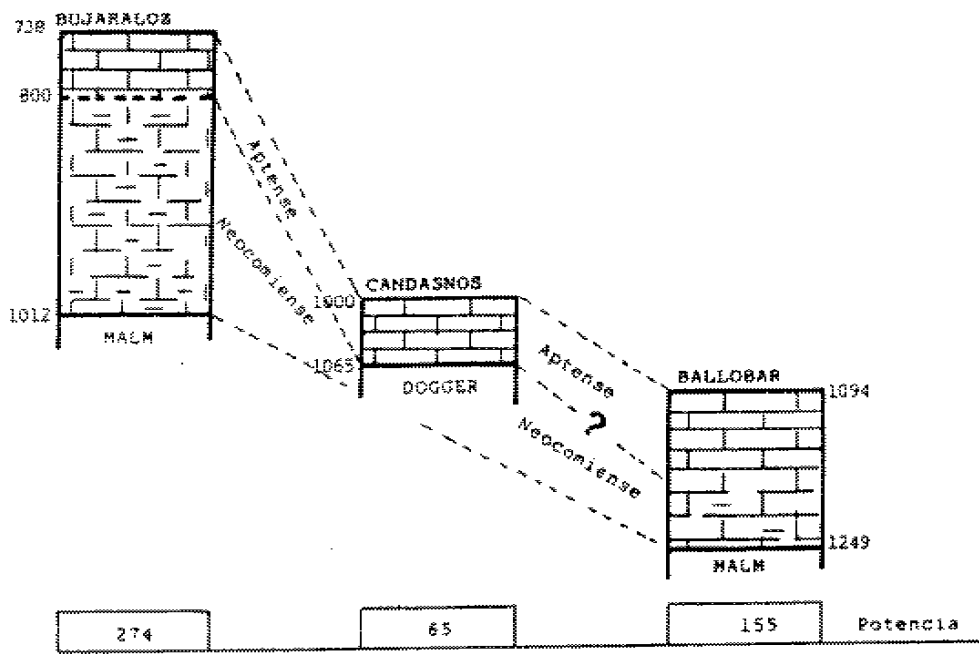
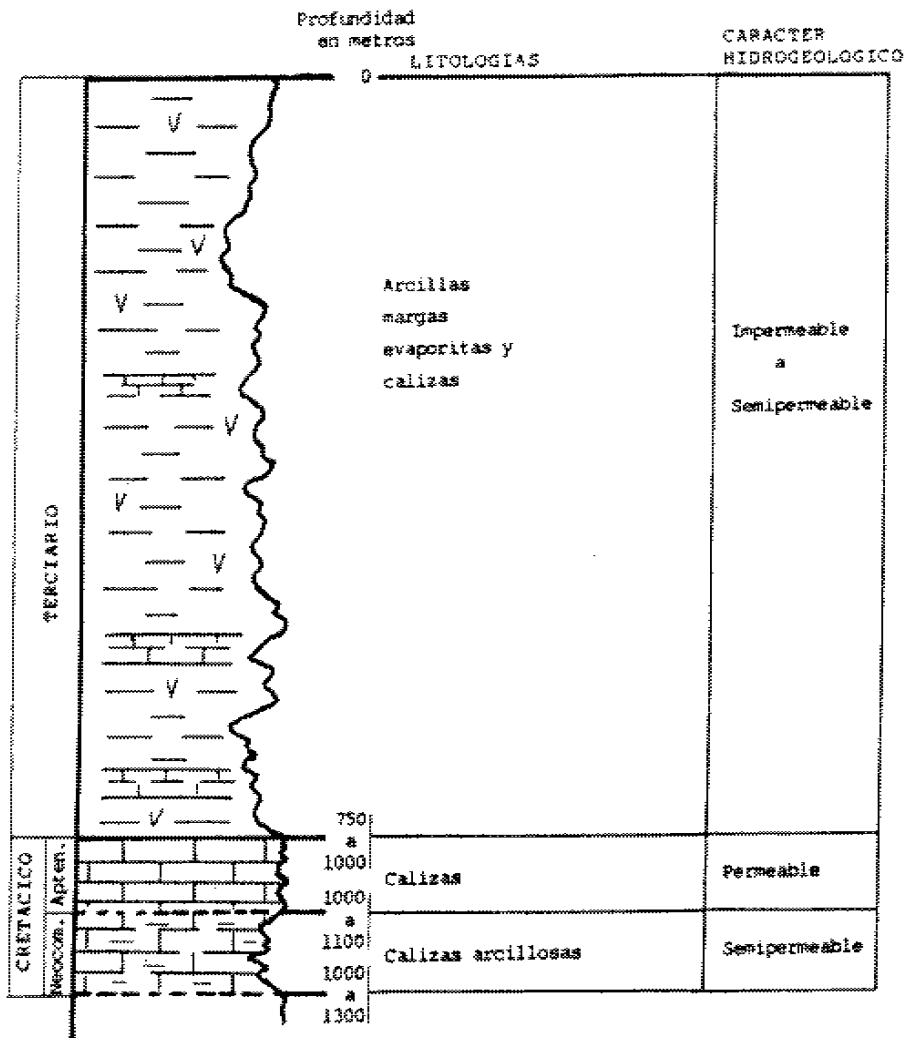


FIGURA 12.- CORRELACION PARA EL CRETACICO.



En la zona donde el Terciario se apoya sobre el Cretácico, definida por los sondeos Bujaraloz-Candasnos-Ballobar, se puede representar la columna tipo de la figura 12, en la que se marca el carácter hidrogeológico de cada uno de los niveles.

3.2.2.- MALM

En la figura 13 se presenta la correlación establecida entre los sondeos que cortan el Malm, tanto para la ZONA DE LA ZAIDA como para la ZONA DE ZARAGOZA CAPITAL.

En la ZONA DE LA ZAIDA el Malm se presenta con una potencia variable entre 125 y 200 metros. En su tramo superior (Kimmeridgiense?), aparece constituido por calizas y margocalizas, de entre 100 y 150 metros de espesor; y en el inferior (Oxfordiense?) por calizas (25-50 metros). Su profundidad oscila entre 200 y 250 metros.

En las proximidades de Gelsa aparece el Malm a unos 500 metros de profundidad, con potencias importantes (aproximadamente 800 metros), estando constituido por calizas margosas, calizas y margas intercaladas.

En esta zona al no existir Cretácico, el Terciario se apoya directamente sobre el Malm, lo que constituiría una cobertera ciertamente importante para los posible niveles permeables del Kimmeridgiense o Malm Superior y del Oxfordiense o Malm Inferior.

Para la ZONA DE ZARAGOZA CAPITAL se ha realizado la correlación para los dos sondeos existentes, obteniéndose el resultado que se muestra en la figura citada. La información que aportan los sondeos es bastante desigual. Intentando llegar a un compromiso entre estas informaciones se puede hablar de un Malm

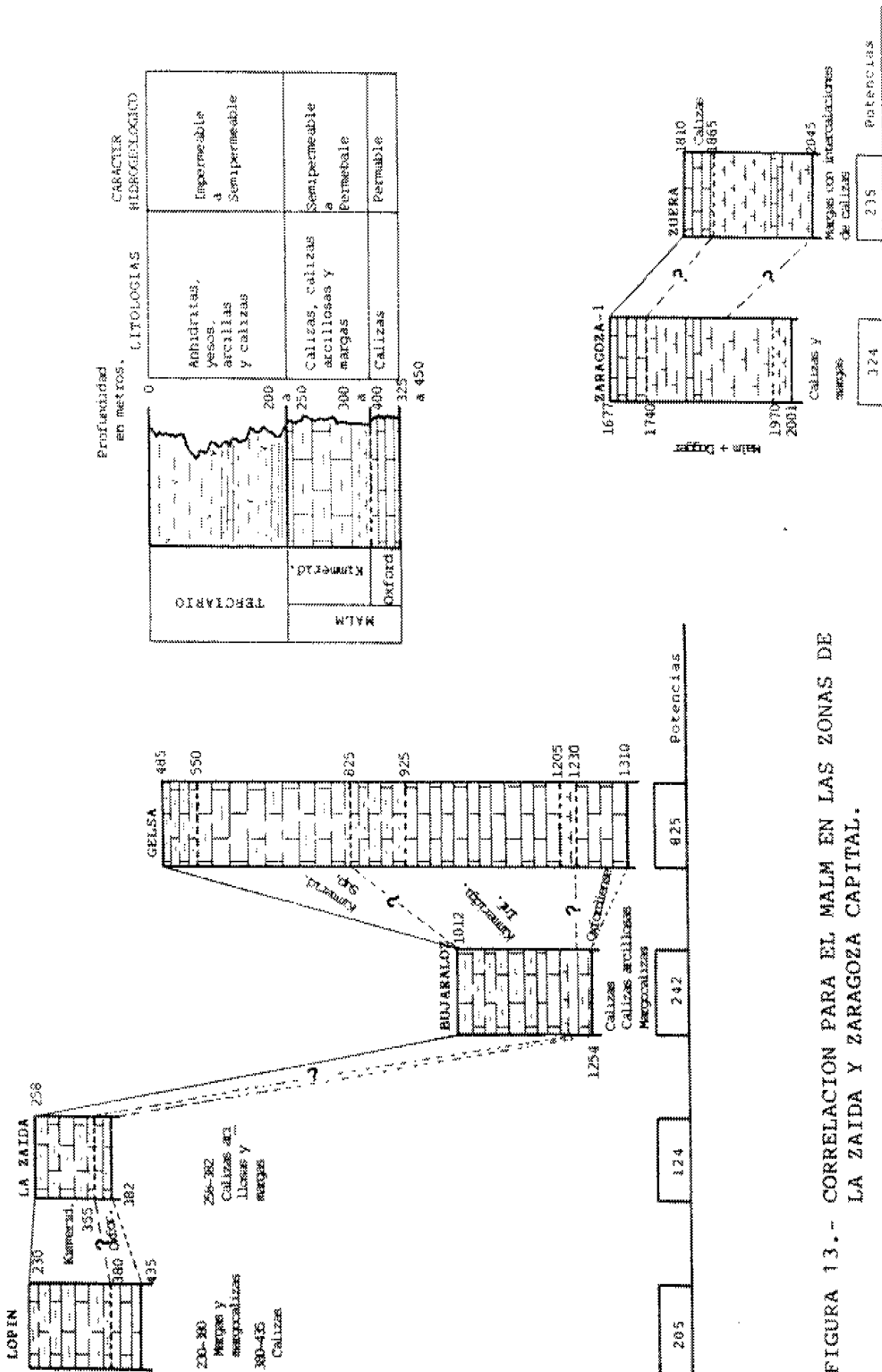


FIGURA 13.- CORRELACION PARA EL MALM EN LAS ZONAS DE LA ZAIDA Y ZARAGOZA CAPITAL.

calizo-margoso que se situa entre 1600 y 1800 metros de profundidad, con espesores entre 225 y 325 metros. Esta correlación de la **ZONA DE ZARAGOZA CAPITAL** engloba Malm y Dogger debido a la poca diferencia litológica existente.

3.2.3.- DOGGER

En la **ZONA DE LA ZAIDA**, el Dogger aparece a una profundidad de 380-400 metros. Está compuesto por calizas y calizas margosas, con potencias que oscilan entre los 75 y los 100 metros, con un nivel superior calcáreo de 40-45 mts. y un nivel inferior calcáreo-margoso de 35-55 metros.

En la zona de Bujaraloz-Candasnos, aparece a mayor profundidad (1000-1250 metros) con espesores de 80 a 100 metros, constituido por calizas bastante puras, que en ciertas zonas produjeron cavernas durante la perforación.

En la figura 14 aparece la correlación correspondiente al Dogger y la columna tipo para la **ZONA DE LA ZAIDA**. Para la **ZONA DE ZARAGOZA CAPITAL**, como ya se ha dicho la correlación engloba al Dogger con el Malm.

3.2.4.- LIAS

En la figura 15 aparece la correlación realizada para el Lías en los sondeos petroleros.

En la **ZONA DE LA ZAIDA** el Lías presenta dos niveles, uno superior calizo-dolmítico bastante limpio (75-100 metros) y otro inferior de dolomías con anhidritas (50-100 metros). Aparece a una profundidad de 400 a 550 metros de profundidad, con espesores globales de 150 a 200 metros.

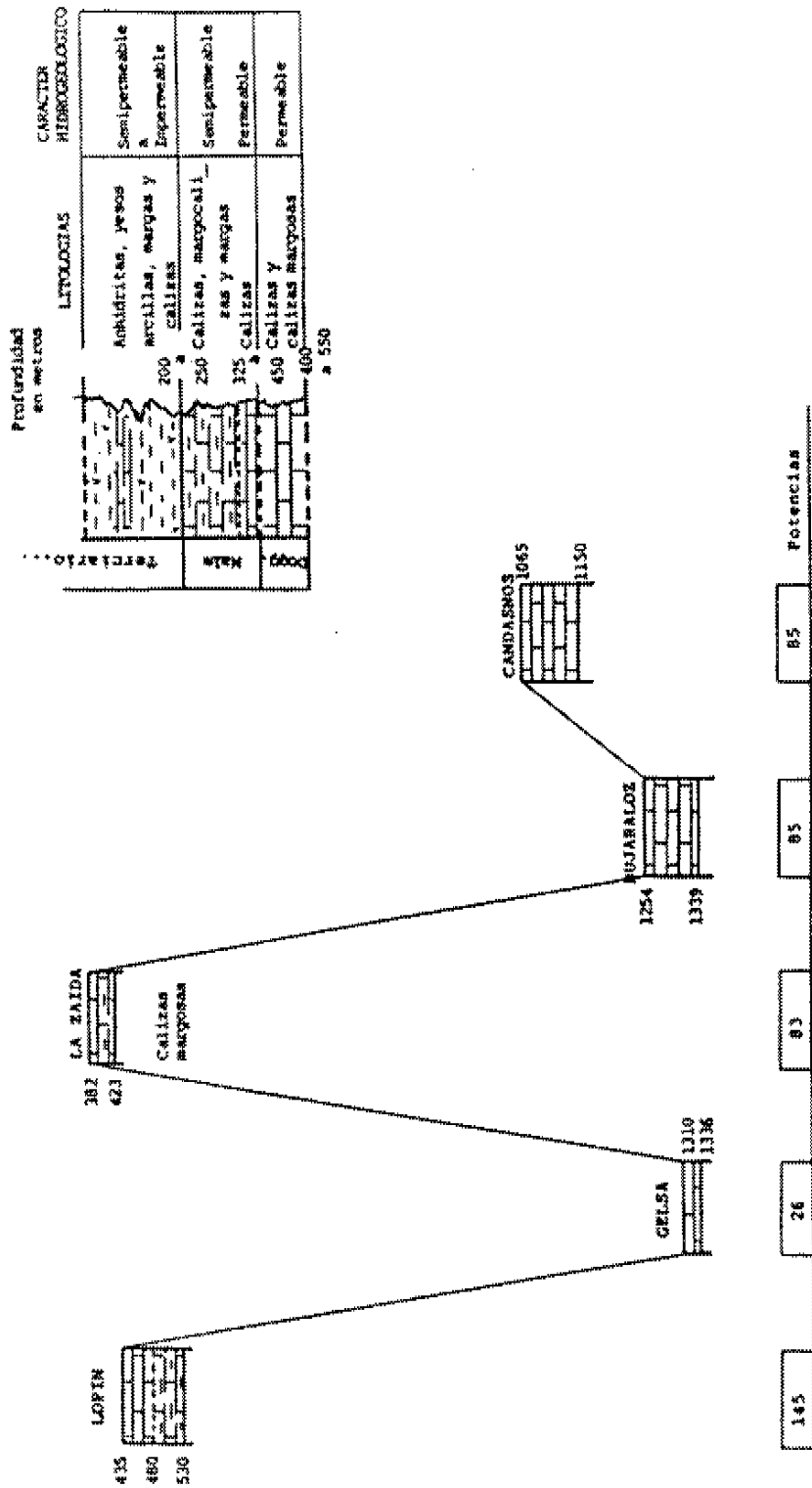


FIGURA 14. - CORRELACION ESTRATIGRAFICA Y COLUMNA TIPO DEL DOGGER EN LA ZONA DE LA ZAIDA.

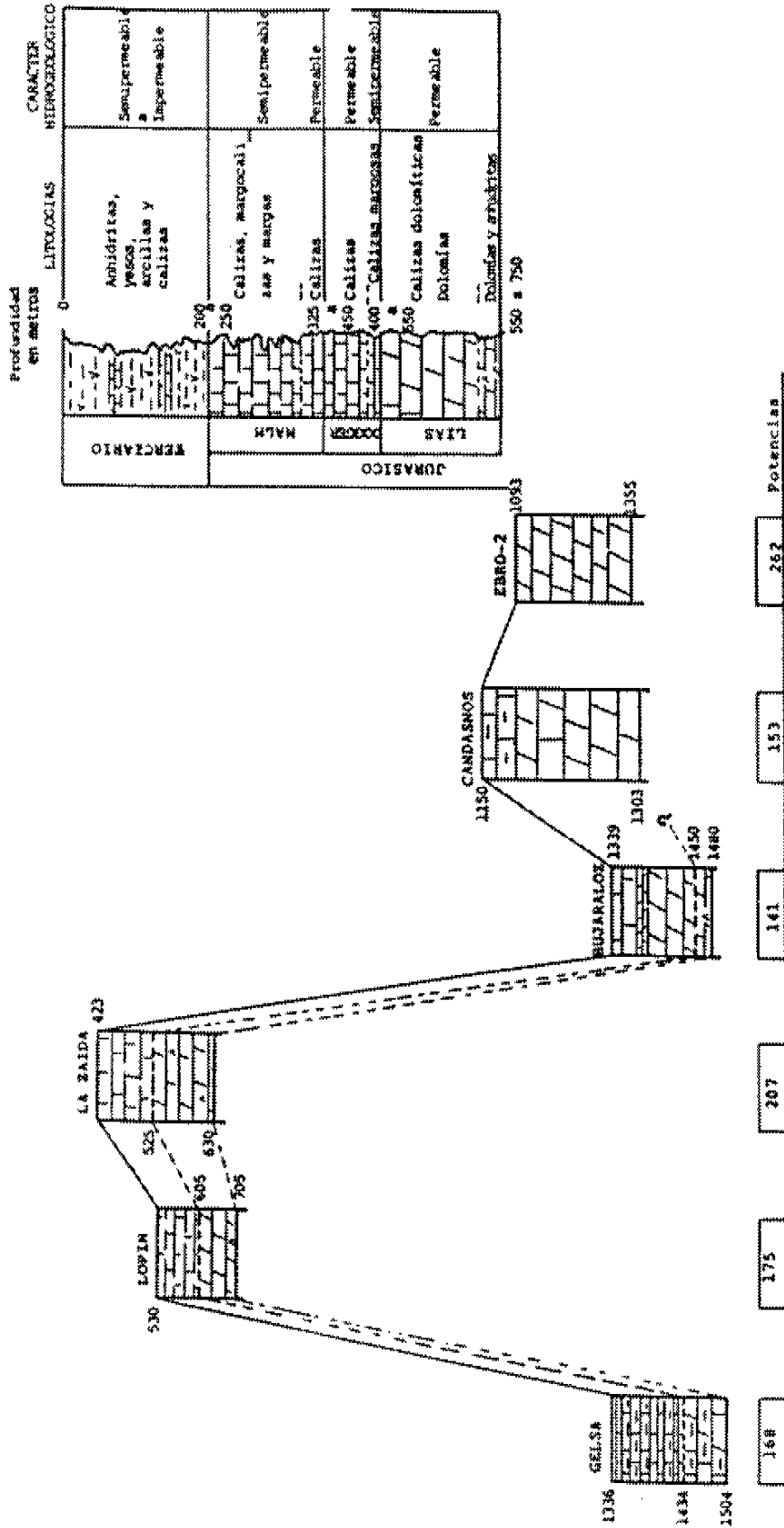


FIGURA 15.- CORRELACION ESTRATIGRAFICA DEL LIAS CORTADO POR DIFERENTES SONDEOS PETROLIFEROS.

En la figura 16 aparecen dos cortes del Lías, uno en Ricla y el otro en Calanda.

No se ha realizado la correlación para la **ZONA DE ZARAGOZA CAPITAL** ya que a partir del Lías los materiales se encuentran muy profundos por lo que es menos viable llevar a cabo operaciones de inyección.

3.2.5.- RHETIENSE

Este nivel corresponde al tránsito del Triásico al Lías, y algunos autores lo identifican como Infralías. Dada la gran extensión y potencia detectada por los sondeos petroleros en toda la Depresión del Ebro, se ha decidido estudiar este nivel por separado.

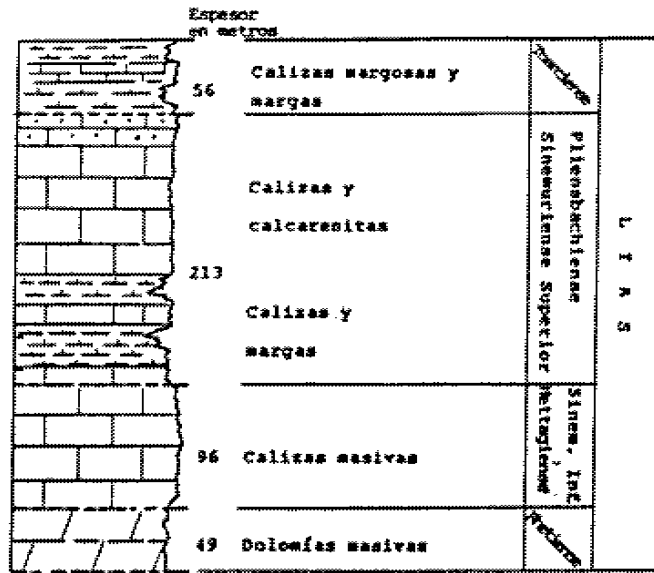
En la **ZONA DE LA ZAIDA** el Rhetiense se presenta constituido por dolomías, anhidritas y yesos a una profundidad de 650-675 metros y con una potencia variable entre 450 y 500 metros. Destaca la existencia de un nivel dolomítico que aparece en la base, en el sondeo La Zaida, pero que no aparece de forma tan clara en el sondeo Lopín. Esto es debido a la variación de facies lateral que presenta, siendo más dolomítico en el área que describen los sondeos Ebro-1, Bujaraloz, Fraga y Candasnos.

En la figura 17 aparece la correlación que se establece para el nivel Rhetiense a partir de la información aportada por los sondeos petroleros, y en la figura 18 la columna estratigráfica media para la **ZONA DE LA ZAIDA**.

3.2.6.- KEUPER

Este nivel presenta una gran extensión, si bien las potencias cortadas por los sondeos petroleros son muy variables,

RICLA



CALANDRA

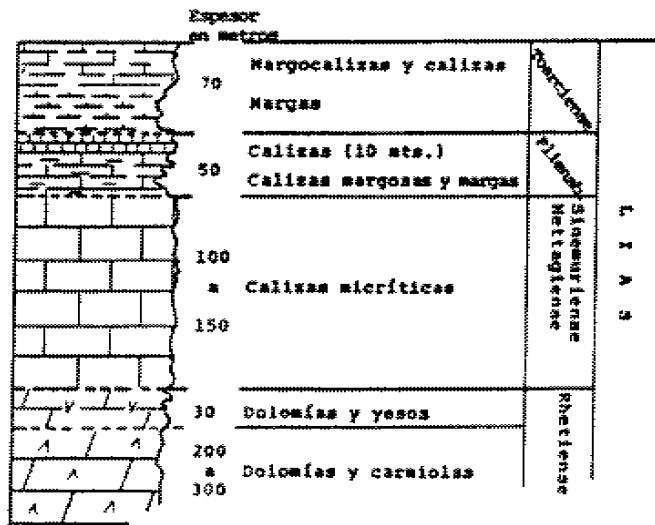


FIGURA 16.- CORTES LITOSTRATIGRAFICOS DEL LIAS EN RICLA Y CALANDRA.

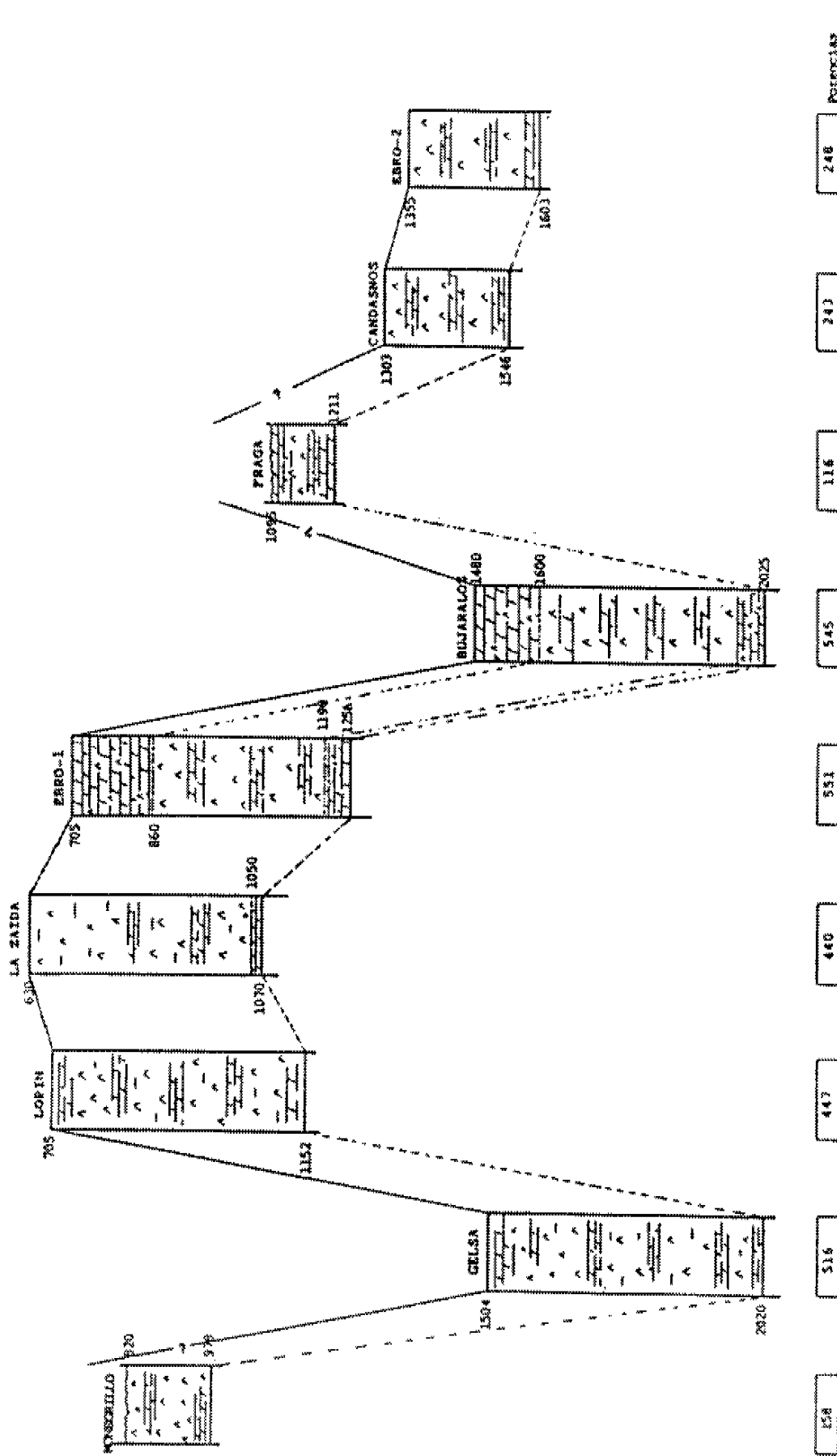


FIGURA 17.- CORRELACION ESTRATIGRAFICA DEL RHEIENSE CORTADO POR DIFERENTES SONDEOS PETRILIFEROS

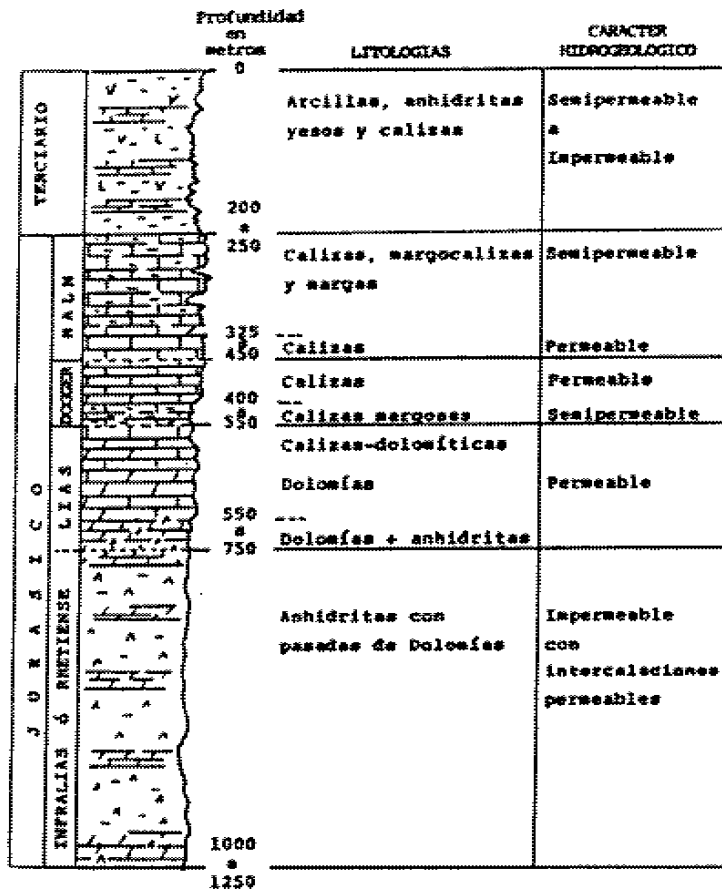


FIGURA 18.- RECONSTRUCCION DE LA COLUMNA ESTRATIGRAFICA MEDIA EN LA ZONA DE LA ZAIDA.

debido al carácter plástico que lo caracteriza.

En el **AREA DE LA ZAIDA** aparece con potencias de 100 a 200 metros, que se mantienen en toda la zona que comprenden los sondeos Monegrillo-Gelsa-Ebro 1-Brujaraloz y Ballobar.

La profundidad a la que aparece este nivel en la **ZONA DE LA ZAIDA** está comprendida entre los 1000 y 1200 metros. La correlación del Keuper a partir de la información de los sondeos petroleros se presenta en la figura 19.

3.2.7.- MUSCHELKALK

Dadas las diferencias notables que se establecen entre los tres niveles del Muschelkalk, se van a tratar estos por separado.

Muschelkalk 3

El nivel dolomítico-anhidrítico superior del Muschelkalk se situa en la **ZONA DE LA ZAIDA** a unos 1100-1300 metros de profundidad con una potencia media de 100 metros. Se trata de un paquete de gran continuidad (100-140 metros de espesor) en todo el área de cubierta por los sondeos petroleros.

En la figura 20 aparece el esquema de correlación para el M3 a partir de los datos aportados por los sondeos petroleros.

Muschelkalk 2

El nivel M2 corresponde a un paquete evaporítico (yesos, anhidritas, sales y arcillas) con escasas dolomías. Dado su carácter salino presenta potencias muy variables (50-400 metros).

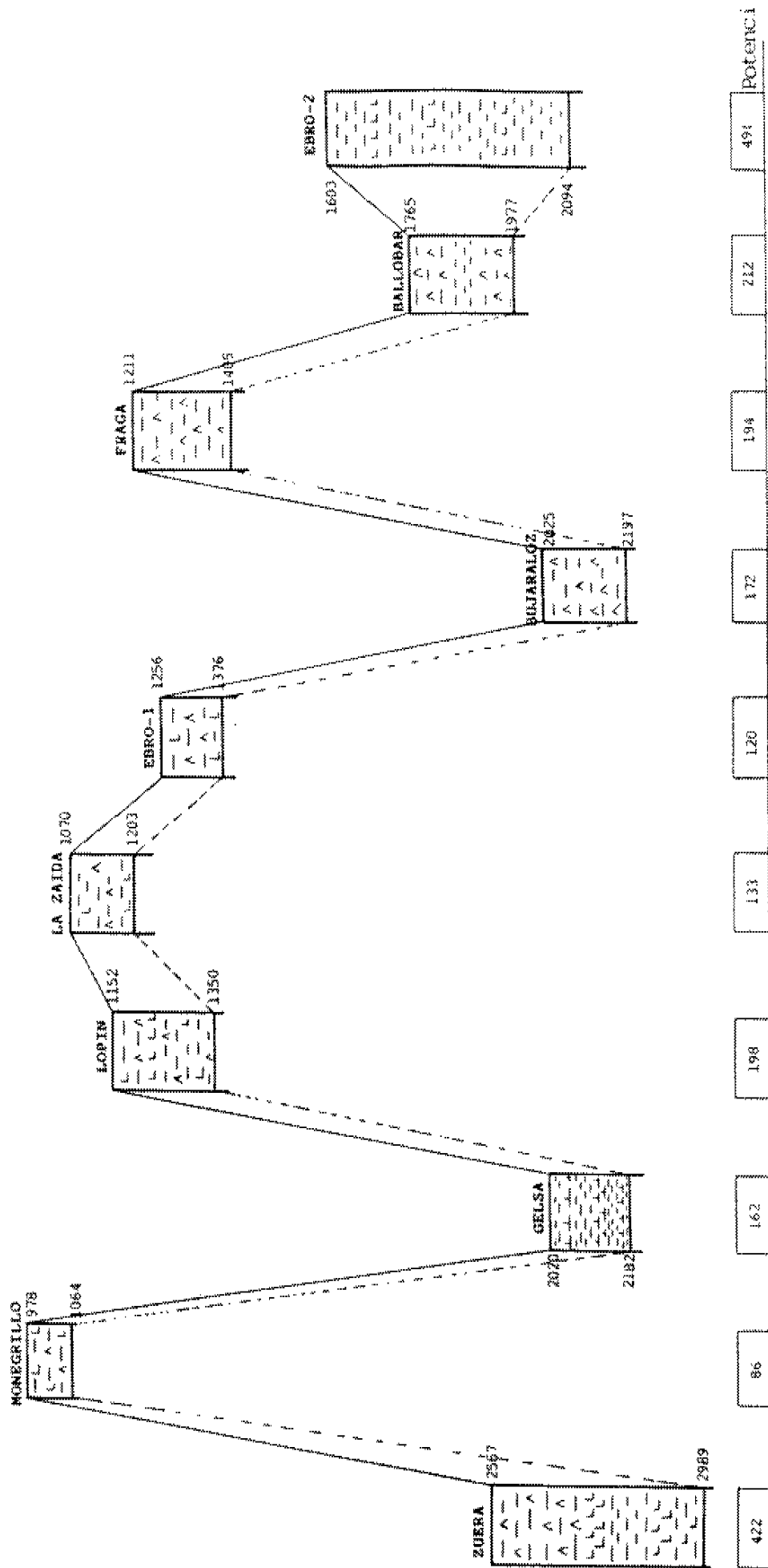


FIGURA 19.- CORRELACION PARA EL KEUPER.

En la ZONA DE LA ZAIDA se sitúa a unos 1240-1500 metros de profundidad, con potencias que oscilan entre 40 y 100 metros.

En la figura 21 aparece el diagrama de correlación a partir de la información aportada por los sondeos petroleros.

Muschelkalk 1

El nivel M1 se presenta con potencias muy constantes en toda el área (60-100 metros), estando compuesto por dolomías con cierta presencia de arcillas y anhidritas (según las zonas).

En la ZONA DE LA ZAIDA aparece a profundidades que oscilan entre 1240 y 1500 metros, con potencias de 60 a 80 metros.

En la figura 22 aparece el diagrama de correlación para el nivel M1.

2.3.8.- BUNTSANDSTEIN

Aparece con importantes cambios de espesor en los diferentes sondeos petroleros que lo cortan, lo cual es función de los procesos de formación que le son atribuidos (depósitos fluviales-costeros en el inicio de un fenómeno de carácter transgresivo).

Está constituido por unos microconglomerados de base, paquetes de areniscas y arcillas intercaladas y un nivel superior de arcillas y sales.

En la figura 23 aparece el diagrama de correlación para el Buntsandstein a partir de los datos aportados por los sondeos petroleros. Su potencia varía entre 90 y 300 metros.

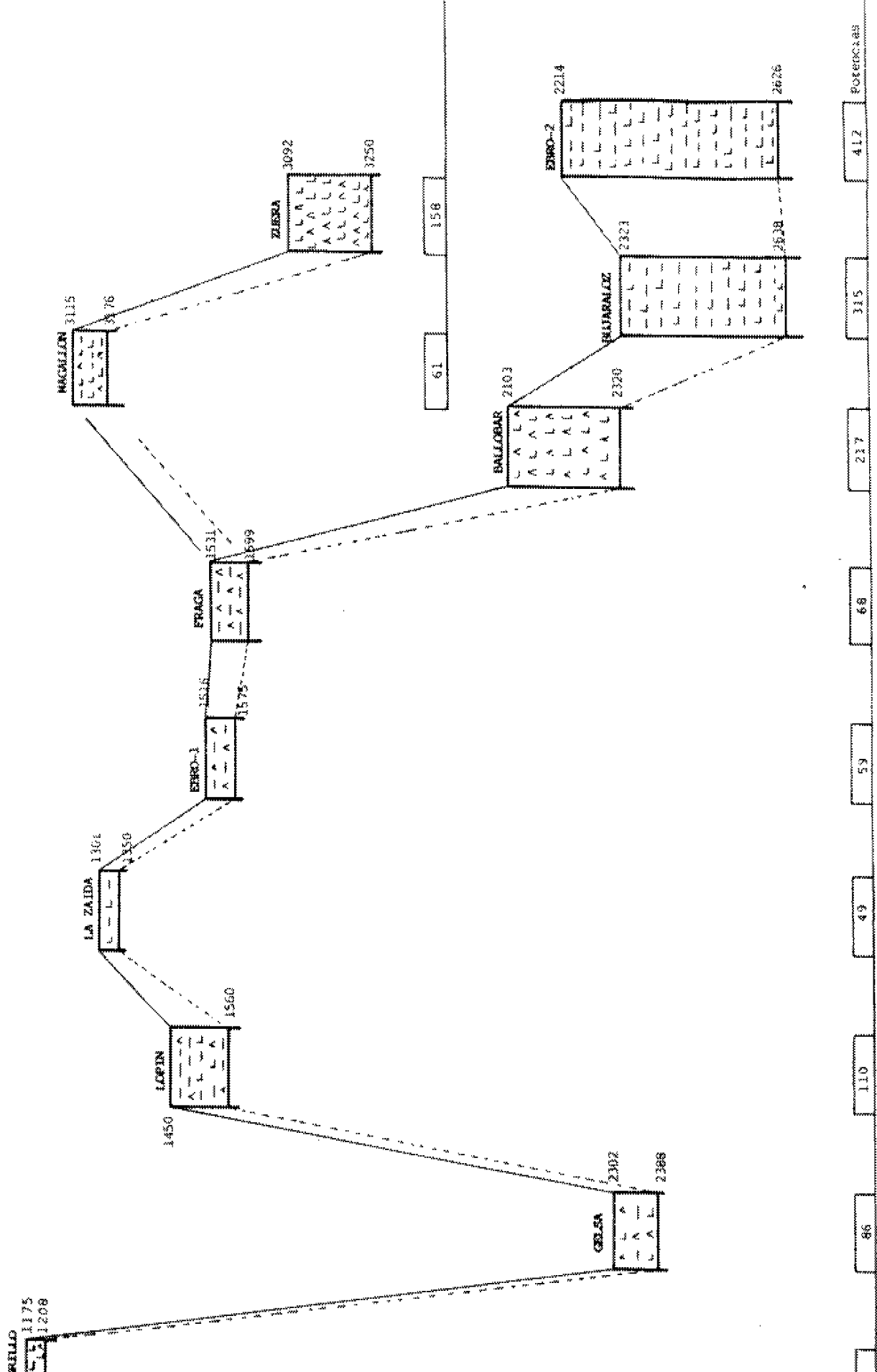


FIGURA 21.- CORRELACION PARA EL MUSCHELKALK MEDIO M2.

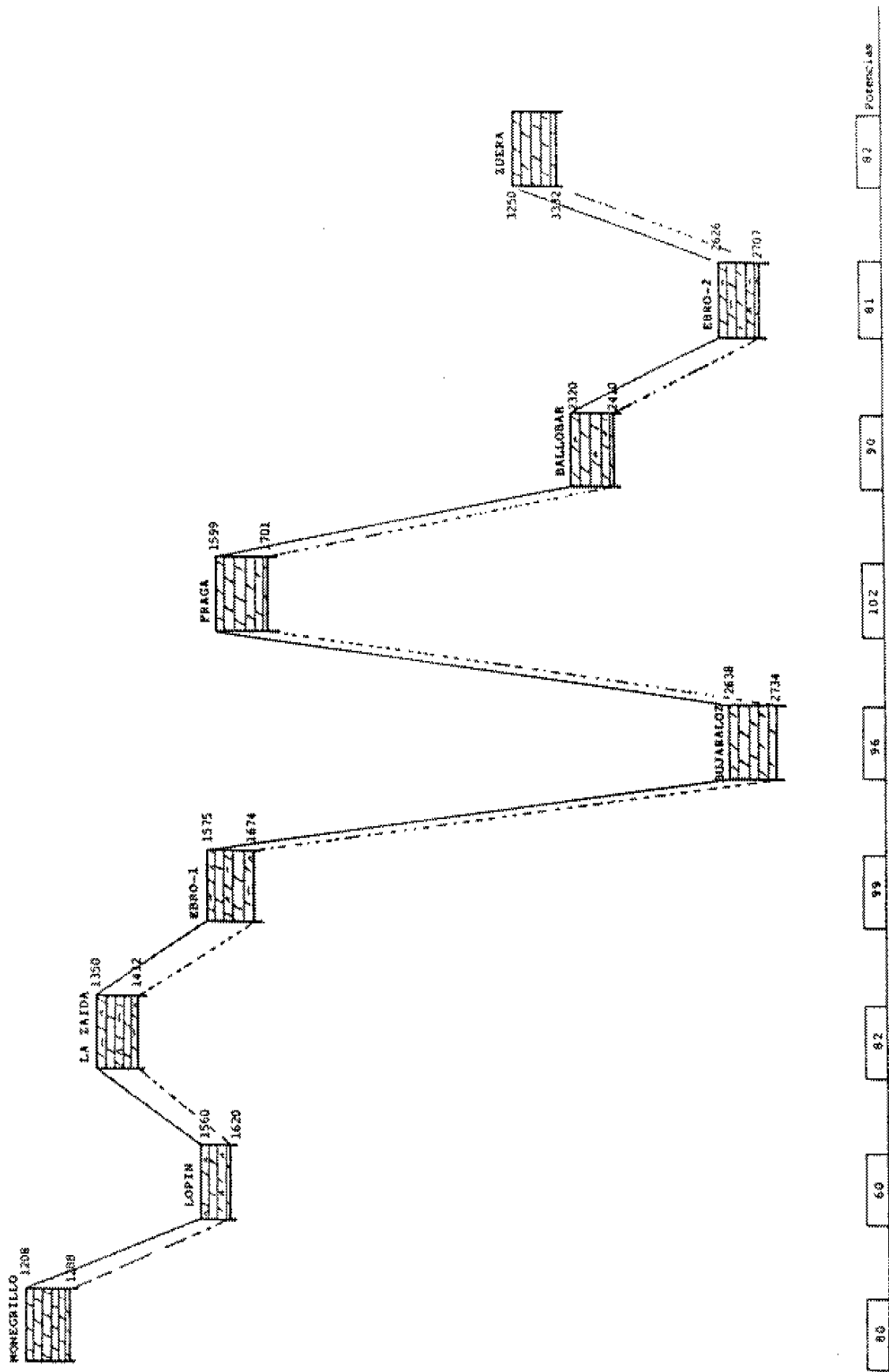


FIGURA 22. - CORRELACION PARA EL MUSCHELKALK INFERIOR M1.

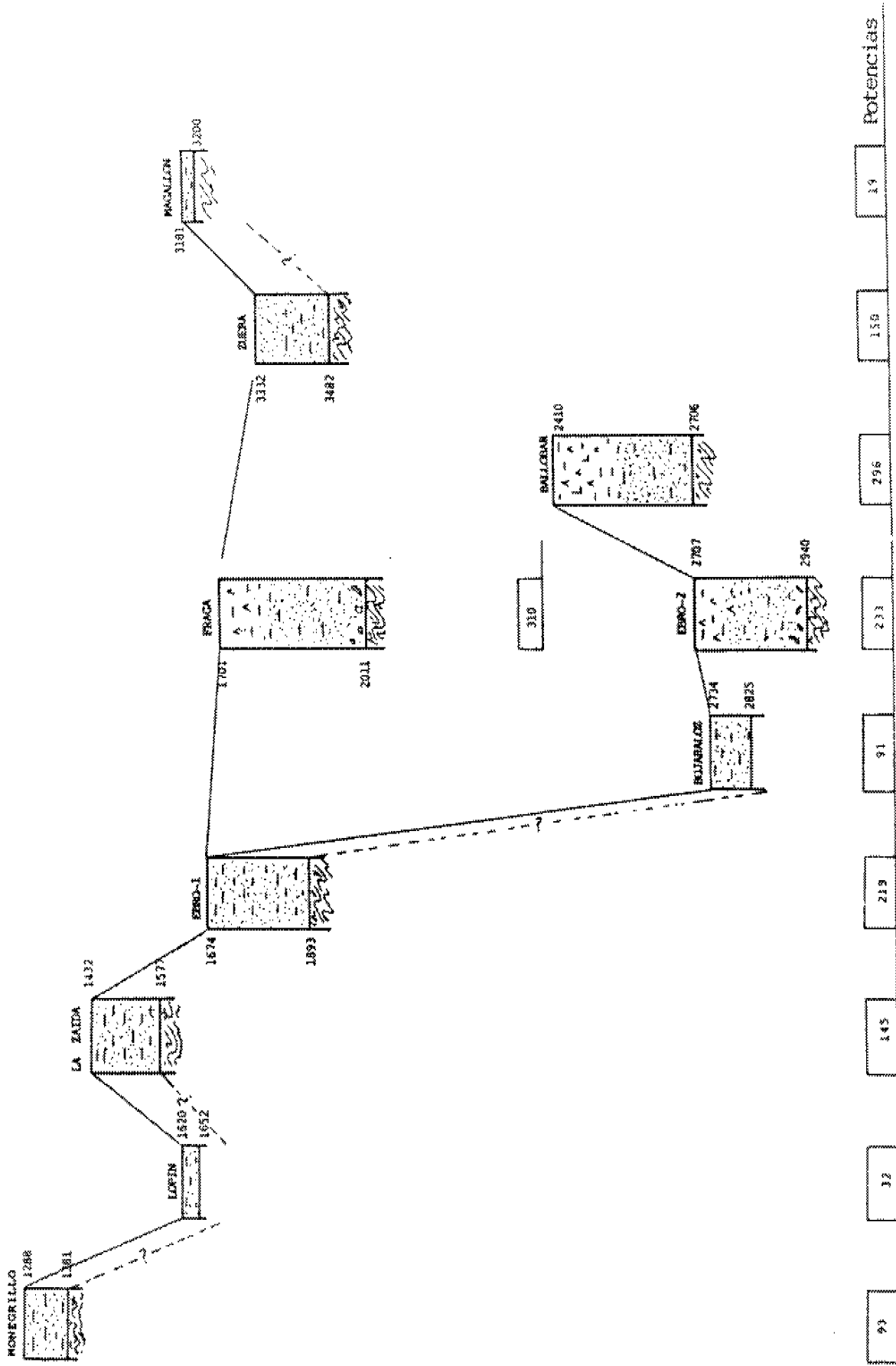


FIGURA 23.- CORRELACIONES PARA EL BUNT.

4.- SINTESIS HIDROGEOLOGICA DE LOS ACUIFEROS

SUPERFICIALES EXPLOTADOS

En el área objeto de estudio se explotan los sistemas acuíferos nº62 -Aluvial del Ebro y sus Afluentes- y el nº58 -Mesozoico Ibérico de la Depresión del Ebro-.

4.1.- ALUVIAL DEL EBRO Y AFLUENTES (Sistema nº 62)

Este sistema engloba las terrazas asociadas al río Ebro y sus afluentes. Los materiales acuíferos no presentan continuidad lateral ni vertical, son de tipo lenticular y la potencia de los distintos tramos es variable. Se componen de sucesivas alternancias de gravas y arenas, y sobre estas, capas de limos y arcillas. En el Ebro se han distinguido hasta 6 niveles diferentes de terrazas, siendo sólo las más modernas las que ofrecen posibilidades como acuíferos. Los terrenos permeables presentan una anchura media de 5 kms., aunque aguas arriba de Zaragoza, alcanzan 15 kms. La permeabilidad de estos materiales es del orden de los 100 m/día, lo que supone transmisividades en general comprendidas entre 100 m²/día y 3000 m²/día. Los caudales de los pozos son en general de 10 l/s y, en las terrazas poco desarrolladas de las márgenes del Ebro, son del orden de los 5 l/s. Se estima un bombeo anual de 75 Hm³.

Estos acuíferos se explotan mediante pozos y sondeos, de escasa y media profundidad (<100 metros), y manantiales.

Dada su escasa profundidad no influyen ni se ven afectados por el sistema y modelo de inyección que se adopte por lo que no se especifican más datos del mismo. Se encuentra

completamente aislado de las unidades Jurásica por el paquete evaporítico terciario.

4.2.- MESOZOICO IBERICO DE LA DEPRESION DEL EBRO

(Sistema nº 58)

Presenta una extensión aproximada de 12500 km² en las provincias de Teruel, Zaragoza, Soria y Castellón, quedando comprendido entre el macizo del Moncayo y el río Guadalope. La superficie de materiales permeables es de unos 4000 km², constituidos por depósitos detríticos aluviales y los que bordean los macizos montañosos (Campo de Cariñena, Somontano de Moncayo, etc.), calizas y dolomías (diseminadas por todo el sistema, con una continuidad lateral poco clara), y los conjuntos calcáreos de las serranías turolenses.

El sistema se dividió, por razones prácticas y criterios geográficos, en cinco subsistemas en los que a su vez se distinguen numerosas unidades. Los subsistemas son:

- **Queiles-Jalón:** abarca los acuíferos comprendidos entre estos dos ríos que en alguna forma están asociados al macizo del Moncayo. Se extiende en una superficie de 1300 km², de los que son permeables unos 390 km².
- **Depresión Calatayud-Montalbán:** se extiende en forma más o menos lenticular entre estas dos poblaciones. Tiene una extensión aproximada de 3500 km², de los que 350 km² son permeables.
- **Jalón-Aguasvivas:** se encuentra entre estos dos ríos, con una superficie de 2000 km². En este subsistema se sitúa el Campo de Cariñena, que constituye un importante acuífero, densamente explotado. La superficie permeable es de unos

380 km², de los que practicamente 250 km² están en el Campo de Cariñena.

- **Cubeta de Oliete:** se localiza en el "Bajo Aragón". Centrada en la población del mismo nombre, abarca desde el río Aguiasvivas hasta el Guadalorillo. Su superficie es de unos 2500 km², de los que son permeables tan sólo 650 km².
- **Zona de cabalgamientos:** es una zona poco estudiada. Se extiende desde el Sur de Martín del Río hasta Calanda. Comprende una región montañosa con una estructura geológica muy compleja. Abarca una superficie de 800 km² de los que son permeables aproximadamente la mitad.

En la figura 24 aparece un esquema geológico y la situación de los subsistemas en que se divide el sistema nº58.

Teniendo en cuenta la distribución geográfica de estos subsistemas y las zonas de interés para el presente informe, se puede restringir el resumen hidrogeológico a los subsistemas Jalón Aguasvivas y a la Cubeta de Olieta.

A continuación se van a aportar ciertos detalles sobre estos subsistemas:

- **Subsistema Jalón-Aguasvivas**

Queda encuadrado entre las poblaciones de Ricla, Epila, Belchite y Herrera de los Navarros. Se distinguen dos unidades: El Campo de Cariñena (también denominado Cuternario de Alfamén) y las calizas de Muel-Belchite. Es particularmente notable la segunda unidad, por la magnitud de sus recursos y por ser la única zona de Zaragoza regada con aguas subterráneas.

El Campo de Cariñena

Se trata de un conjunto de materiales pliocuaternarios y

miocenos, compuestos por "rañas", conglomerados, gravas y arenas y arcillas que se extienden entre Cariñena y La Almunia de Doña Godina, en una anchura de 25 km, con una anchura bastante regular del orden de 10 km.

El borde norte y nororiental está formado por materiales yesosos y arcillosos impermeables; el noroccidental por las calizas permeables del borde septentrional de la Cordillera Ibérica y el suroccidental por cuarcitas impermeables.

En la zona se distinguen dos acuíferos, uno superficial detrítico con una potencia de 50-100 metros, y un acuífero carbonatado profundo, más escasamente explotado, que constituye en calizas y calizas dolomíticas de edad jurásica.

El caudal específico de pozos y sondeos que explotan el nivel detrítico superior, varía desde valores inferiores a 5 l/s/m, en el borde sur del sistema, a valores superiores a 15 l/s/m en el centro, valores comprendidos entre 5 y 10 l/s/m son los más normales. Esto permite estimar valores de transmisividad comprendidos entre 500 y 2500 m²/día.

Las aguas subterráneas circulan de Norte a Sur, con dos zonas de drenaje preferencial: el nacimiento del río Cariñena y el área de bombeos de la Almunia. Esta unidad puede ser considerada como un embalse subterráneo regulador de las aportaciones provenientes de la infiltración directa por agua de lluvia (20 Hm³/año), infiltración de escorrentías superficiales (10 Hm³/año), retorno de regadíos e industria (20 Hm³/año e infiltración e la Acequia Baja de la Almunia (30 Hm³/año). Las salidas de la unidad corresponden a bombeos (30 Hm³/año), evapotranspiración en las zonas encharcadas (30 Hm³/año) y drenajes al río Mediano y Fuente de la Nava (20 Hm³/año).

Calizas de Muel Belchite

Este subsistema está constituido por las calizas jurásicas que afloran, de forma muy discontinua, en las cuencas de

los ríos Huerva, Ginel y Aguasvivas. La superficie permeable 130 Km².

Su geometría es bastante desconocida; en general se estiman potencias superiores a los 200 metros, aunque la continuidad de las estructuras es difícil de establecer.

El tramo jurásico inferior (Lías) y el superior (Kimmeridgiense-Malm), presentan muy buenas características hidrogeológicas. No así los tramos intermedios (Malm inferior y Dogger), que añade a su relativa impermeabilidad una extraordinaria dureza y una notable potencia.

El subsistema está prácticamente sin explotar, entre otras razones, por la profundidad a la que se situa el agua, a más de 150 metros. Siendo este acuífero captado por sondeos que situados sobre, materiales terciarios, y con profundidades que oscilan entre 100 y 350 metros (existen sondeos de 500 a 900 metros), aprovechan este acuífero. Además de estos sondeos, este acuífero se explota a partir de los numerosos manantiales que drenan las calizas y calizas dolomíticas jurásicas. La calidad de estas aguas es buena, excepto en aquellas areas donde se intercepta el Jurásico anhídrico (carniolas del Rhetiense, o dolomías anhídricas de la base de Lías), donde aparecen aguas con altos contenidos en sales (sulfatos). Se trata de aguas con facies bicarbonatada-sulfatada.

- **Subsistema Cubeta de Olite**

La zona de estudio se sitúa sólo en una parte marginal de este subsistema, la que corresponde a la provincia de Zaragoza (Zona de Hajar).

La Cubeta de Olite está limitada por los ríos Aguas Vivas y Martín, y centrada en Olite. Todos los acuíferos presentes son carbonatados, con buenas características hidrogeológicas, como lo prueba la fuente de Ariño con un caudal de 1000 l/s y los de Alcaine, Alacón, etc.. El

sistema está muy poco explotado, sólo se utilizan unos 2 Hm³/año para abastecimiento urbano, mediante obras de 50 a 200 metros de profundidades, con rendimientos de hasta 20 l/s/m.. Es una agua de buena calidad, apta para cualquier uso.

Un aspecto muy importante a tener en cuenta dentro del marco de la hidrogeología regional asociada a la rama aragonesa de la Ibérica, donde se instalan la unidad de Muel-Belchite y el subsistema de la Cubeta de Olite, es la posible relación existente entre el sistema carbonatado y el sistema detrítico de la depresión del Ebro, tanto las unidades pliocuaternarias como el Campo de Cariñena, como las unidades permeables del Terciario de la Depresión del Ebro. Al objeto de describir esta temática se resumirá la información publicada en los dos artículos siguientes:

- **Sistemas Lacustres Neógenos del Margen Ibérico de la Cuenca del Ebro, el Drenaje Subterráneo de la Cordillera Ibérica en la Depresión Terciaria del Ebro, Pérez García et al. III Reunión del Grupo español de Trabajo, Zaragoza, Noviembre 1988.**
- **El Drenaje Subterráneo de la Cordillera Ibérica en la Depresión del Ebro: Aspectos Geológicos, Sánchez Navarro et al, Cátedra de Hidrogeología, Dpto Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, 1990.**

La Rama Aragonesa de la Ibérica y los aluviales situados en su falda, constituyen en este sector una importante área de recarga para las aguas subterráneas, esta se produce por infiltración directa de agua de lluvia a través de los materiales permeables aflorante (carbonatados y detríticos); o de forma localizada a partir del sistema fluvial, que al alcanzar las formaciones permeables pierden parcial o totalmente sus aguas (Pérez García et al, 1988).

Estas aguas infiltradas son en parte drenadas dentro de la Rama Aragonesa de la Ibérica a través de los numerosos manantiales que surgen en el contacto entre la Ibérica y la Depresión del Ebro, aunque una gran parte del agua infiltrada sigue su camino hasta los niveles permeables del Lias, que constituyen un acuífero carbonatado importante, compuesto por brechas y dolomías con elevada porosidad y alta permeabilidad -formaciones Dolomías tableadas de Imón, Carniolas de Cortes de Tajuña y Calizas y Dolomías tableadas de Cuevas Labradas-. Las características hidrogeológicas de las formaciones citadas junto con su situación a techo de una unidad muy poco permeable (facies Keuper) le confieren su carácter de nivel acuífero de drenaje regional de la Ibérica (Pérez García et al, 1988).

Las aguas que circulan por este nivel acuífero siguen la compleja disposición geológica que presenta el nivel liásico. La profundidad alcanzada por el agua, y su largo recorrido por el terreno tiene dos importantes consecuencias:

- existencia de manantiales termales
- facies hidroquímica sulfatada-cálcica, por la presencia de materiales anhidríticos solubles dentro de las formaciones liásicas (Pérez García et al, 1988).

La mayor parte de la descarga de las aguas liásicas tiene lugar a través de manantiales situados en el contacto de la Rama Aragonesa de la Ibérica y la depresión Terciaria del Ebro, debido a fenómenos tectónicos que ponen en contacto unidades hidroestrigráficas de permeabilidad contrastada, o, a través, de manantiales en "trop-plain" (Pérez García et al, 1988). En cualquier caso la presencia de estos manantiales está condicionada por la existencia de la denominada Fractura Nor-Ibérica, que define el contacto de la Rama Aragonesa de la Ibérica y la Depresión Terciaria del Ebro, a la que acompañan estructuras en pliegue-falla de orientación ibérica (NO-SE) y

vergencia Nor-Este. Al objeto de justificar esta teoría se ha estudiado la situación de todos los manantiales existentes en esta zona y la situación aproximada de este importante accidente tectónico. Realizando una regresión lineal, tomando como variables las coordenadas de posición de los manantiales, la recta de regresión obtenida simula la posición de este conjunto de accidentes tectónicos (figura 25). Esto está justificado porque estos elementos tectónicos, condicionan notablemente la existencia de estas surgencias, al poner en contacto los materiales permeables carbonatados jurásicos de la Ibérica con los detríticos semipermeables e impermeables de la depresión del Ebro.

Por otra parte, las aguas que alumbran estos manantiales son asimilables a las de flujos de tipo regional (bajo contenido en tritio, mineralización elevada-composición sulfatada cálcica- y altas temperaturas de emergencia -22 a 26°C-), que debido a las estructuras asociadas a la Fractura Nor-Ibérica, pasan, de forma rápida, de un régimen de circulación profundo -regional-, a surgir en superficie (Pérez García et al, 1988).

En resumen, las surgencias que aparecen en la zona de contacto entre la Rama Aragonesa de la Ibérica y la Depresión del Ebro, corresponden a puntos de descarga o drenaje de la Cordillera Ibérica hacia el Ebro, estando justificada la aparición de éstas por:

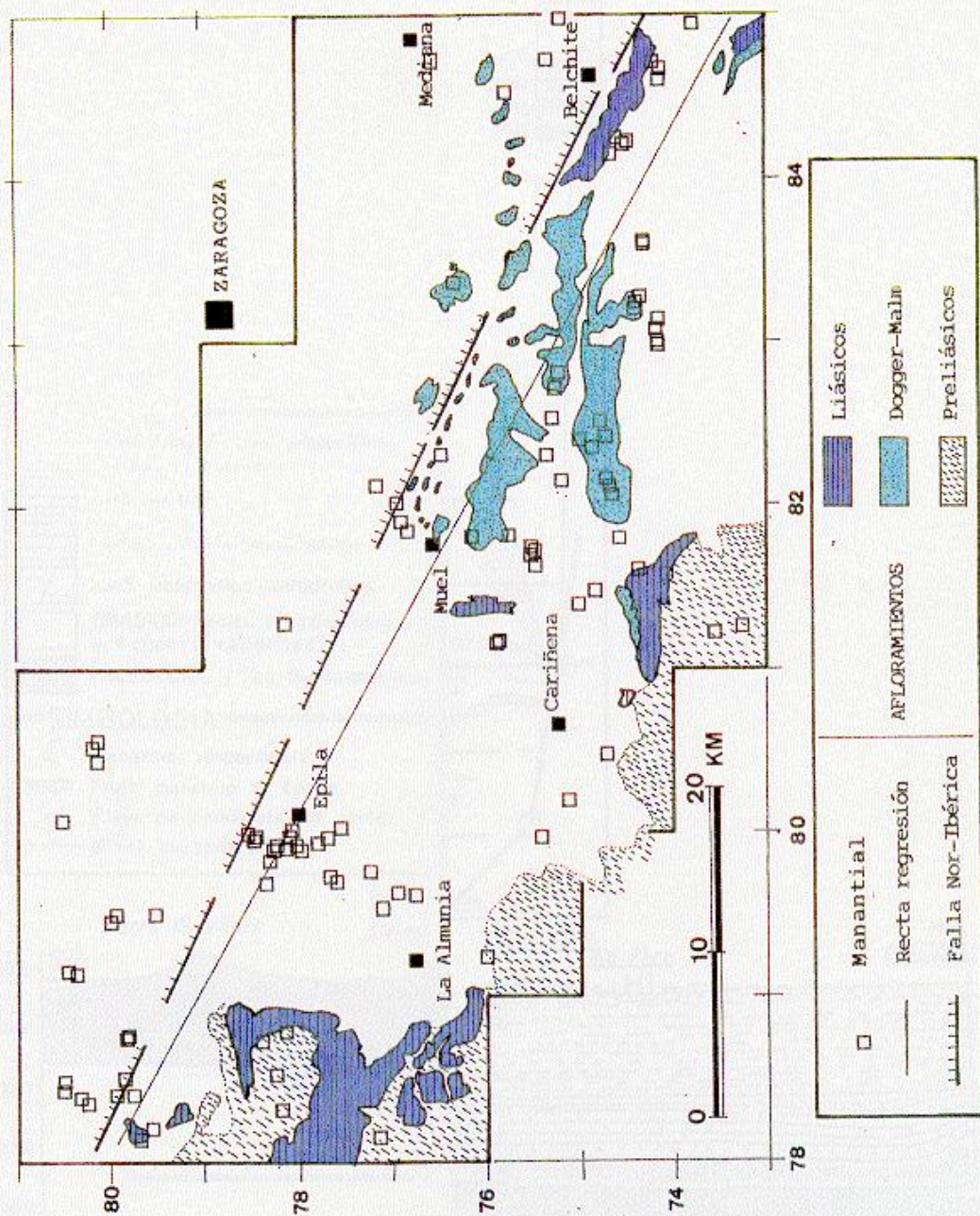
- **disposición topográfica**, todos los manantiales se sitúan en los valles más profundos,
- **la estratigrafía**, las surgencias se relacionan con materiales carbonatados permeables del jurásico (sobre todo del Lías), y
- **la estructura**, puesto que los materiales están relacionados con una geometría favorable (Sánchez Navarro et al, 1990),

resultado de las estructuras asociadas a lo que hemos denominando "Falla Nor-Ibérica".

En la figura 26 se reproducen algunos cortes geológicos en la zona estudiada que ponen de relieve las relaciones estructurales entre las distintas unidades geológicas.

FIGURA 25.- MANANTIALES EN EL MESOZOICO DE LA DEPRESION DEL EBRO

Importancia hidrogeológica de la falla Nor-Ibérica



5.- ESTUDIO DETALLADO DE LAS FORMACIONES ALMACEN

**5.1.- REVISION DE LOS SONDEOS PROFUNDOS DE INVESTIGACION
PETROLERA EXISTENTES EN LA ZONA**

Para facilitar la lectura de datos relativos a los sondeos se presentan una serie de tablas donde se incluyen toda la información recopilada sobre los sondeos que serán objeto de estudio detallado, aunque en el estudio inicial han sido utilizados hasta un total de 18 sondeos.

5.1.1.- LOCALIZACION

Para la localización de los sondeos que han servido de base en el estudio del subsuelo se ha construido la siguiente tabla:

Sondeo	Núm.	Coordenadas		Cota	Término Municipal
		X	Y		
La Zaida-1	58	0°24'48,5" W	41°19'39,00" N	162	La Zaida (Zaragoza)
Zaragoza-1	84	2°49' 0,3" W	41°49'11,00" N	336	Villanueva de Gállego (Zaragoza)
Gelsa-1	259	0°22'20,5" W	41°27'11,30" N	245	Gelsa (Zaragoza)
Caspe-1	313	0° 6'36,5" W	41°10'29,30" N	200	Villanueva de Almazán (Zaragoza)
Ebro-1	346	0°10'18,0" W	41°22'56,64" N	327	Sástago (Zaragoza)
Ebro-2	386	0° 6'24,4" W	41°38'38,86" N	467	Sena (Huesca)
Lopín-1	465	0°34'44,5" W	41°21'00,06" N	224	Belchite (Zaragoza)
Zuera-1	486	0°51'17,7" W	41°49'46,45" N	348	Zuera (Zaragoza)
Chiprana-1	-	893.301 UTM	757.951 UTM	316	Sástago (Zaragoza)

Número: corresponde al número otorgado por el Archivo de Hidrocarburos del
MINER

Todas las coordenadas están referidas al Meridiano de Madrid, excepto las del sondeo Chiprana -UTM-, y del sondeo Zuera -respecto al meridiano de Greenwich-.

En la figura 1 se ofrecía la posición aproximada de los distintos sondeos. El sondeo Chiprana-1 está muy próximo al Ebro-1, a la escala de representación de la figura 1 resulta prácticamente coincidente.

5.1.2.- FECHAS

En la tabla siguiente se presenta la información recopilada en relación a fechas:

Sondeo	Operador	Comienzo	Fin
La Zaida-1	VALDEBRO	15-IX-1958	24-IX-1958
Zaragoza-1	VALDEBRO	3-IX-1960	9-XI-1960
Gelsa-1	SIPSA-LECSA	20- X-1969	4-VI-1971
Caspe-1	AUXINI	27-VIII-73	18- X-1973
Ebro-1	CAMPSA	17- I-1976	9-IV-1976
Ebro-2	CAMPSA	29- X-1977	24-III- 78
Lopín-1	CAMPSA	11-III- 81	15- V-1981
Zuera-1	ENIEPSA	30-VII- 81	14-IV-1982
Chiprana-1	ENAGAS	17-II-1977	19-VI-1977

5.1.3.- PROFUNDIDADES

Las diferentes características de cada sondeo estudiado se reflejan en la siguiente tabla:

Sondeo	Profundidad final (mts.)	Horizonte alcanzado	Estado P Ó A
La Zaida-1	1698	Paleozoico	A
Zaragoza-1	2252	Rhetiense	A
Gelsa-1	2388	Muschelkalk 2	A
Caspe-1	1810	Paleozoico	A
Ebro-1	1969,7	Paleozoico	A
Ebro-2	2949,5	Paleozoico	A
Lopín-1	1652,2	Buntsandstein	A
Zuera-1	3515	Paleozoico	A
Chiprana-1	1845,3	Buntsandstein	A

5.1.4.- OBJETIVOS DE LOS SONDEOS

Los objetivos particulares de cada sondeo se presentan en la siguiente tabla:

Sondeo	Objetivos de la perforación	Resultados de las operaciones
La Zaida-1	Calizas y dolomías del Jurásico Dolomías del Muschel. Areniscas del Bunt	Sondeo seco
Zaragoza-1	Calizas del Cretácico Calizas y dolomías del Jurásico	Sondeo seco Trazas de petróleo en el Rhetiense fracturado
Gelsa-1	Tramo de carniolas del Rhetiense	Sondeo seco
Caspe-1	Calizas y dolomías del mesozoico, principalmente las dolomías del Muschelkalk	No se registraron indicios ni en el Muschelkalk ni en el Buntsandstein
Ebro-1	Calizas y dolomías del jurásico (en particular del Rhetiense) Dolomías del Muschel. Areniscas del Bunt.	Sondeo muy pobre en indicios (sondeo seco) Muestra sólo indicios en el Muschelkalk Almacenes en el Rhet. Muschel. y Bunt.
Ebro-2	Calizas y dolomías del Lias Dolomías del Rhetiense Dolomías del Musch. Areniscas del Bunt.	Existencia de diversos almacenes de buena calidad en el Lias, Rhet., Musch. y Bunt. Sondeo seco
Lopin-1	Dolomías del Musch. Areniscas del Bunt.	Sondeo seco
Zuera-1	Dolomías del Musch. Areniscas del Bunt.	Sondeo seco, sólo trazas en el Musch.
Chiprana-1	Dolomías del Rhet. Dolomías del Musch. Areniscas del Bunt. Como almacenes para gas	Bueno almacenes en los tramos investigados

5.2.- ESTUDIO DETALLADO DE LOS SONDEOS EN EL AREA DE LA ZAIDA

5.2.1.- SONDEO LA ZAIDA

En la figura 27 se presenta la ficha resumen con los datos del sondeo La Zaida.

En función de la columna estratigráfica cortada por el sondeo se pueden establecer los siguientes modelos de inyección:

- **Modelo jurásico Dogger**, está constituido por unas calizas arcillosas del Dogger , como almacén, que presentan una potencia de 13 metros, y como cobertera, primero unas calizas masivas, fracturadas y algo arcillosas de edad Malm, con carácter semipermeable, de 30 metros de espesor, y por evaporitas y arcillas de la base del Terciario, de carácter semipermeable a impermeable (formaciones Mequinenza y Zaragoza).
- **Modelo jurásico Lías**, constituido por tramos de dolomías del Lías inferior, se distinguen dos tramos, uno superior de 40 metros, y otro inferior de 55 metros, en la base del Lías, separados ambos por un paquete de dolomías margosas de 30 metros de espesor. Estos tramos presentan una cobertera de calizas margosas del Lías Superior.
- **Modelo Rhetiense**, constituido por un nivel de dolomías con anhidritas en la base del Rhetiense de 42 metros de espesor, con una cobertera de anhidritas con pasadas de dolomías de 408 metros de espesor de carácter practicamente impermeable.
- **Modelo carbonatado Muschelkalk superior**, está formado por el nivel de dolomías y anhidritas del M3, donde se

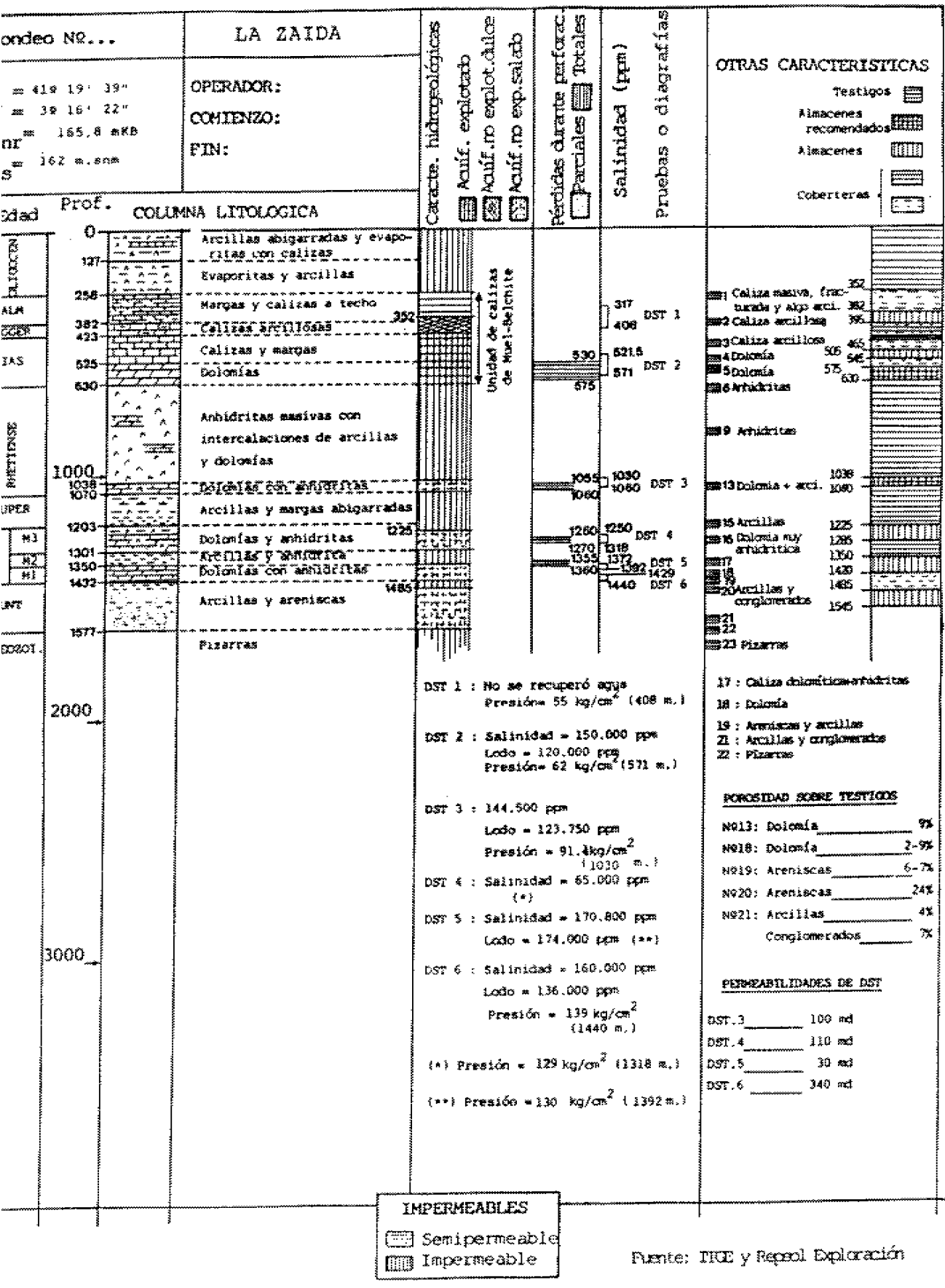


FIGURA 27.- FICHA RESUMEN SONDEO LA ZAIDA.

distingue un tramo más permable de 60 metros de espesor, que tiene como cobertera las arcillas y margas abigarradas del Keuper, un material de gran impermeabilidad y extensión, con 123 metros de espesor.

- **Modelo carbonatado Muschelkalk inferior**, constituido por las dolomías con anhidritas del M1, de 70 metros de espesor, con una cobertera constituida por las arcillas y anhidritas del M2, que en el sondeo de La Zaida presenta una potencia de 49 metros.
- **Modelo triásico profundo**, presenta como almacén las areniscas del Buntsandstein en un tramo de 60 metros donde alternan areniscas con arcillas, cubiertas por arcillas rojizas y areniscas del techo del Buntsandstein, que presentan un espesor de 65 metros.

5.2.1.1.- Estratigrafía y Litología

A continuación se describen con detalle los materiales atravesados por el sondeo:

- * **MIOCENO-OLIGOCENO (DE 0 a 258 m.) -258 metros de espesor-**
 - 0- 127: Arcillas abigarradas y evaporitas (yeso-anhidritas) con escasas intercalaciones de calizas anhidríticas pardas.
 - 127- 258: Conjunto evaporítico-arcilloso. Los tramos inferiores contienen areniscas finas y arcillas rojizas.
- * **MALM (DE 258 a 382 m.) -132 metros de espesor-**
 - 258- 300: caliza masiva con intercalaciones arcillosas.
 - 300- 352: margas grises y calizas, que produjeron numerosos "cavings" durante la perforación.

352- 382: calizas y margas.

* DOGGER (DE 382 a 423 m.) -41 metros de espesor-

382- 423: calizas algo margosas con intercalaciones arcillosas.

* LIAS (DE 423 a 630 metros) -207 metros de espesor-

423- 465: alternancia de margas y calizas grises.

465- 505: calizas más o menos margosas, con intercalaciones margosas.

505- 575: dolomías y dolomías margosas.

575- 630: dolomías con anhidritas (¿CARNIOLAS?).

* RHETIENSE (DE 630 a 1070 m.) -440 metros-

630-1038: anhidritas masivas con intercalaciones de dolomías, de escaso espesor respecto a la potencia global del conjunto anhidrítico.

1038-1070: dolomías pardas con inclusiones yesíferas y anhidritas.

* KEUPER (DE 1070 a 1203 m.) -133 metros de espesor-

1070-1203: facies típica de arcillas y margas abigarradas (rojizas, grisáceas y verdosas) y yeso-anhidrita. Faltan los nieves salíferos tan frecuentes en el Keuper.

* MUSCHELKALK (DE 1203 a 1432 m.) -229 metros de espesor-

1203-1301: conjunto de arcillas margosas y margas a techo, que pasan a anhidritas y dolomías gris oscuro, más o menos arcillosas y anhidríticas, masivas y de gran dureza -Muschelkalk superior o M3-.

1301-1350: arcillas abigarradas y anhidritas, es una facies muy similar al Keuper -Muschelkalk intermedio o M2-.

1350-1432: dolomías grises y pardas a veces anhidríticas y con algo de arcillas -Muschelkalk inferior o M1-.

- * **BUNTSANDSTEIN (DE 1432 a 1577 m.)** -145 metros de espesor-
 - 1432-1435: areniscas y arcillas limoníticas de tonos rojizos.
 - 1435-1545: areniscas arcillosas, más o menos porosas.
 - 1545-1577: conjunto arcilloso-limonítico con facies detríticas gruesas (presencia de conglomerados en una matriz arcilloso-arenosa).

- * **PALEOZOICO (1577 m. -->)**
 - Pizarras arcillosas gris oscuro a negras.

5.2.1.2.- Estructura geológica

En este área aparecen una serie de formaciones terciarias en superficie de facies continental y lacustre, en posición subhorizontal o ligeramente plegadas por movimientos de reajuste o alteración de las masas evaporíticas. Enmascarado por este recubrimiento yace en discordancia un conjunto de formaciones mesozoicas plegadas y falladas, intensamente erosionadas, faltando por ello algunos pisos superiores -Cretácico-.

El sondeo La Zaida se instala sobre una estructura anticlinal muy suave, con presencia de ciertas fracturas de carácter normal que afectan al zócalo.

5.2.1.3.- Resultados de la interpretación de las diagrfías

Estos resultados se han reflejado en los gráficos de las figuras 28 a 30, donde, para cada unidad cronogeológica se han diferenciado los tramos almacén y cobertera.

Asimismo en la figura 27 -lámina resumen del sondeo

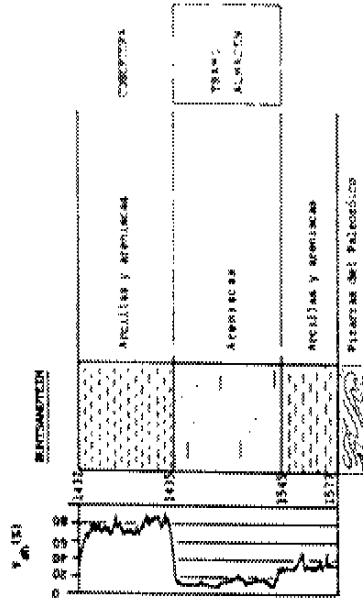
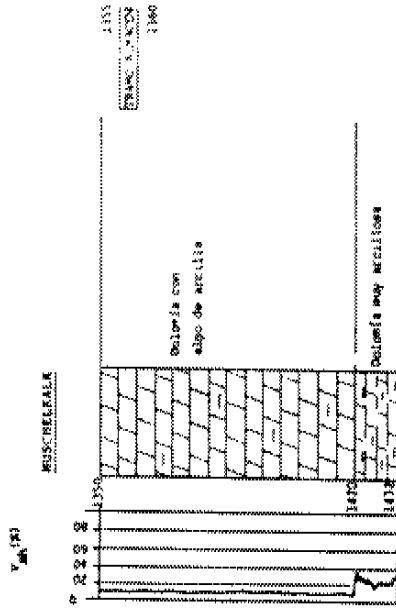
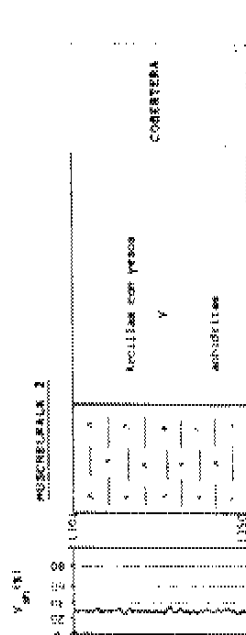
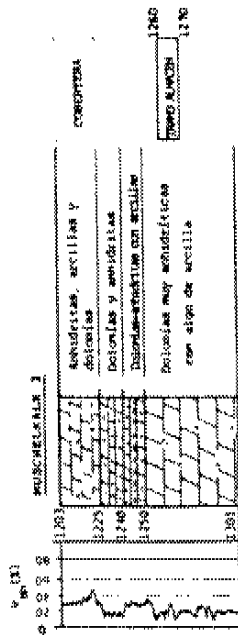
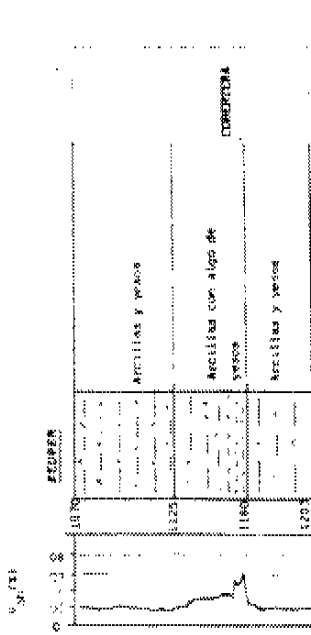


FIGURA 28.- INTERPRETACION DE DIAGRAFIAS TRIASICO.

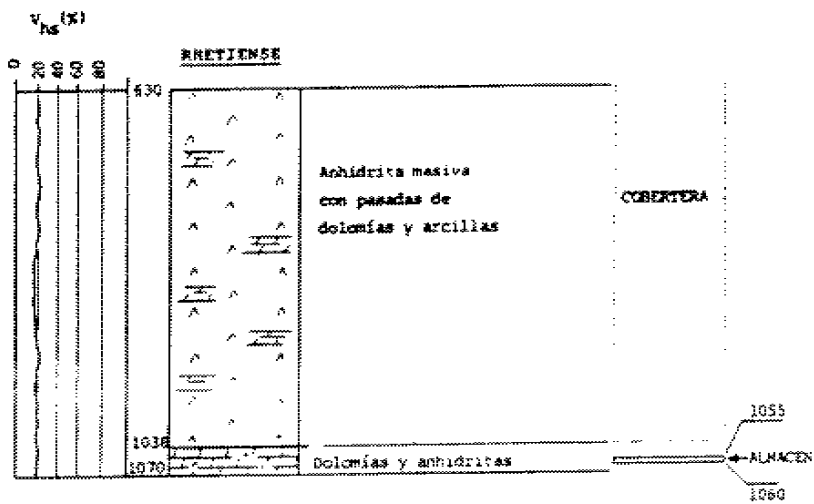
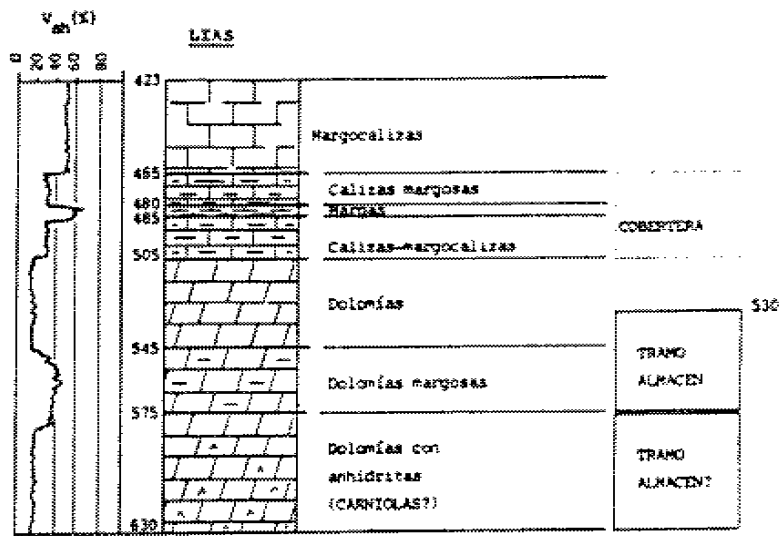


FIGURA 29.- INTERPRETACION DE DIAGRAFIAS. LIAS Y RRETIENSE.

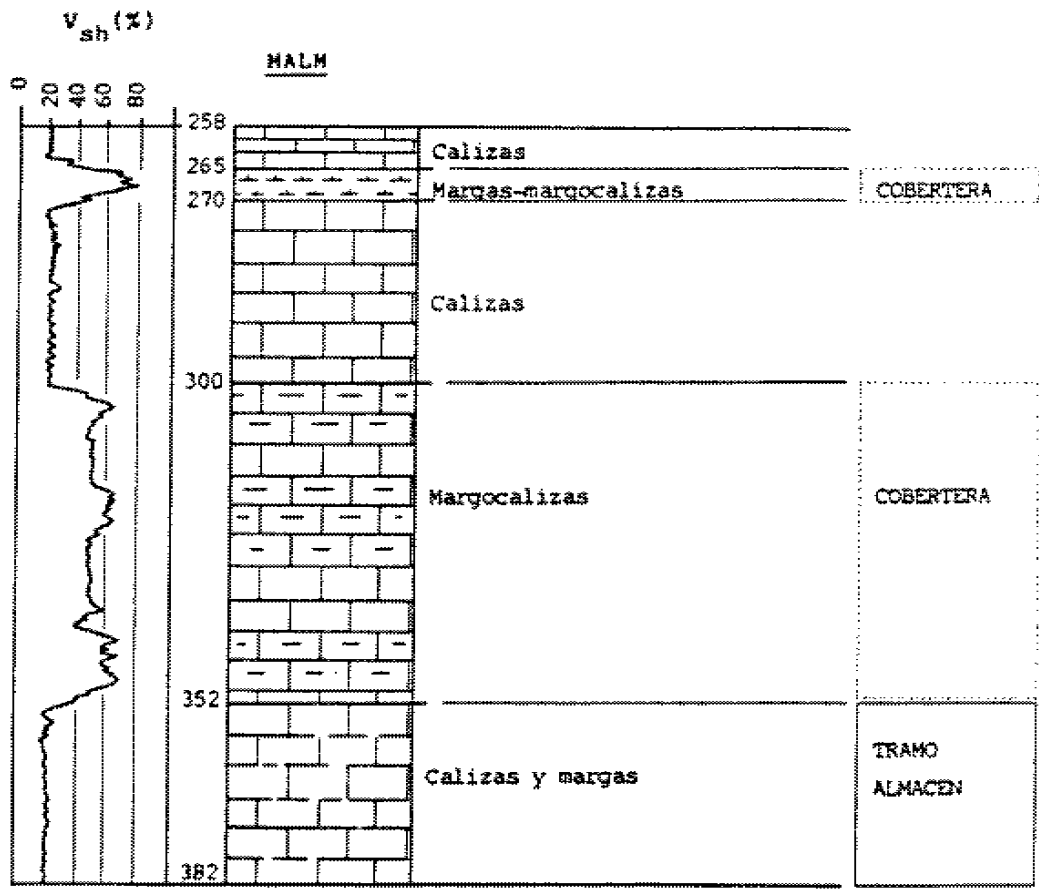


FIGURA 30.- INTERPRETACION DE DIAGRAFIAS. MALM.

La Zaida- se expresan los resultados de la interpretación de los ensayos DST.

No se han especificado valores de porosidades puesto que las diagrafas son muy antiguas y poco fiables.

En estas figuras se indica el valor del $V_{sh}(\%)$ que muestra el contenido relativo de arcillas, respecto a un nivel arcilloso (100 %).

Aunque en la ficha resumen del sondeo La Zaida se expresan los resultados del DST, en las siguiente tabla se detallan estos:

DST Nº	PROFUNDIDAD		PISO GEOLOGICO
1	317	A 408	MALM-DOGGER
2	521,5	A 571	LIAS
3	1030	A 1070	RHETIENSE
4	1250	A 1318	MUSCHELKALK 3
5	1372	A 1392	MUSCHELKALK 1
6	1429	A 1440	BUNTSANDSTEIN

DST Nº	PRESION (Kg/cm ²) (Profun)	SALINIDAD TOTAL (gr/lit.)	SALINIDAD LODO (gr/lit.)	PERMEABILIDAD (milidarcy)	NIVEL PIEZOMETRICO (m.s.n.m.)
1	55/408	No se recuperó agua		-	≈ 300
2	70/571	150.000	120.000	-	≈ 275
3	88/1030	144.500	174.000	100	≈ -20
4	129/1250	65.000 (#)		110	≈ 150
5	130/1392	170.800	174.000	30	≈ 10
6	139/1429	160.000	136.000	340	≈ 50

(#) Valor de salinidad del agua de formación

Para el cálculo de los niveles piezométricos aproximados se han utilizado los siguientes valores:

DST Nº	T* (°C)	Salinidad del fluido intersticial (ppm)	Densidad del fluido intersticial (gr/cc)
1	30	40.000	1.02
2	32,5	35.000	1.025
3	39,5	55.000	1.04
4	43	65.000	1.045
5	45	70.000	1.05
6	47,5	75.000	1.055

Para el cálculo de la T*: $T(^{\circ}\text{C})=0.016 \cdot H+23$ (siendo H la profundidad en metros)

Los datos de salinidad han sido obtenidos a partir de los logs eléctricos -Potencial espontáneo-, según se expresa en la siguiente tabla:

Profundidad en metros			Valor del SP en mV	T* (°C)	R _{mfeq} (mohms)	R _{weg} (mohms)	Salinidad ppm
385	a	400	+ 10	30	0.1	0.15	38.000
505	a	545	+ 12	31,5	0.099	0.15	36.000
545	a	600	+ 10	32,5	0.098	0.15	35.000
1050	a	1060	+ 5	39,5	0.085	0.095	50.000
1250	a	1280	- 5	43	0.082	0.085	55.000 (#)
1372	a	1392	- 1	45	0.08	0.080	60.000
1435	a	1560	- 5	47,5	0.076	0.070	65.000

(#) El valor obtenido del ensayo DST nº4 indica un valor de 65.000 ppm

Estos datos de salinidad han sido corregidos en función del dato real obtenido del ensayo DST nº4.

La información que ofrecen los ensayos DST permiten conocer la distribución de presiones hidrostáticas o de formación en las distintas unidades almacén. Para ello se ha calculado la función lineal que relaciona la presión con la profundidad a partir de las variables físicas ofrecidas por los ensayos de DST. Esta función lineal ha sido calculada mediante el establecimiento de una regresión múltiple con estas variables. Los parámetros físicos -o variables- de partida han sido: la profundidad (Prof.) a la que se realiza el ensayo, la presión de formación puntual medida o Presión medida (P_{medida}) y el volumen (Volumen) de fluido obtenido durante el ensayo.

La regresión múltiple realizada permite simular el valor de presión en un punto con un error de $\pm 1 \text{ kg/cm}^2$, mediante la expresión:

$$\text{Presión} = 1.29 + 0.00642 * \text{Prof} + 0.952 * P_{medida} - 0.000176 * \text{Volumen}$$

Esta ecuación cuantifica una relación, por otra parte lógica, entre la presión, la profundidad y el volumen de agua que un nivel puede ceder.

Representado los valores de presiones reales y los interpolados, respecto a la profundidad -figura 31- se pueden concluir los siguientes puntos:

- Existencia de ciertos tramos donde existe una clara relación entre la presión de formación y la profundidad, lo que permite pensar en la existencia de un gradiente hidráulico lineal y por tanto, en la existencia de una cierta conexión hidráulica entre los distintos niveles permeables existentes en dichos tramos. Se puede establecer la existencia de un tramo hidráulicamente

PRESIONES DE FORMACION

Sondeo La Zaida-1

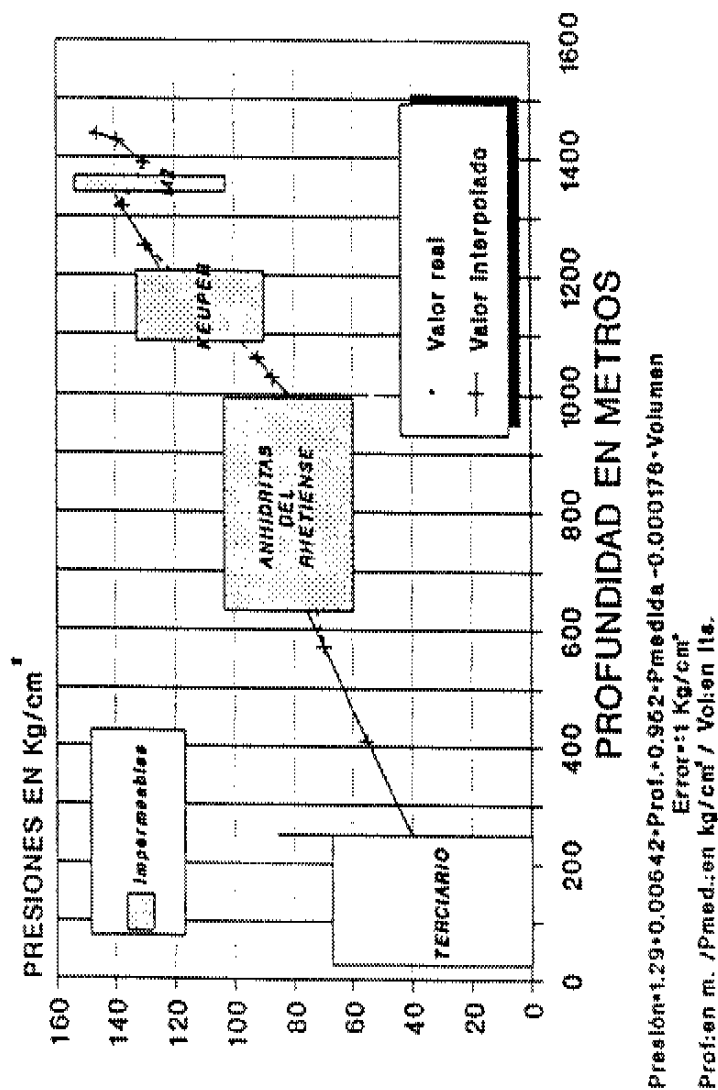


FIGURA 31.- VALORES REALES E INTERPOLADOS DE LAS PRESIONES DE FORMACION.

conectado en el Jurásico (Malm-Dogger y Lías), otro en la base del Rhetiense -Dolomías formación Imón?-, otro en el M1, y otro en el M2 y Bunt, si bien, podemos establecer una cierta desconexión entre el M1 y el Bunt.

- Existencia de tramos que provocan la desconexión hidráulica entre los tramos anteriormente definidos, y que suponen barreras impermeables que aíslan los niveles almacenes entre sí. Estos niveles impermeables corresponden a: las anhidritas del Rhetiense, el Keuper y el Muschelkalk intermedio -M2-, y en menor medida, las arcillas del techo del Buntsandstein.

En base a los datos existentes podemos, incluso, calcular las presiones de formación existentes en el Jurásico -Malm+Dogger+Lías-, en función de la profundidad, mediante la expresión:

$$\text{Presión formación}_{\text{JURASICO}} = 41,2 + (0.092 * h)$$

esiendo $h=H-258$ (H:profundidad en metros, y el valor 258 corresponde al techo del jurásico). Según esto en el tramo permable del Lias inferior (575-630, carniolas?) se pueden esperar presiones de formación entre 70 y 75 kg/cm₂, lo que implica que el posible nivel piezométrico estaría situado en los 270 msnm, o sea, sería surgente (recordar que la cota de La Zaida es de 162 msnm).

Otro dato del aislamiento que suponen estos niveles permeables queda puesto de manifiesto por los contenidos salinos calculados para los diferentes niveles. De forma que si para los niveles jurásicos -Malm+Dogger+Lías- investigados se obtienen salinidades de 35-40 g/l, para las dolomías de la base del Rhetiense se estiman salinidades de 55 g/l y para niveles triásico de 65 a 75 g/l, lo que constituyen verdaderas salmueras.

Los manantiales que drenan la unidad Muel-Belchite presentan valores de TSD (Total Sólidos Disueltos) que oscilan entre 650 y 2500 ppm, con una salinidad media de 450-1500 ppmClNa; los sondeos hidrológicos que situados en la Depresión del Ebro, cortan el Lías superficial, presentan valores de TSD que oscilan entre 950 y 2500 ppm, con una salinidad de 700-1800 ppmClNa; mientras que las aguas del Terciario Detrítico presentan TSD de 2500-30000 ppm, con una salinidad de 1800-20000 ppmClNa (Pérez García et al, 1988).

5.2.2.- SONDEO LOPIN

En la figura 32 se presenta la ficha resumen de los datos disponibles del sondeo Lopín.

En función de la columna estratigráfica cortada por el sondeo se pueden establecer los siguientes modelos de inyección:

- **Modelo jurásico Malm-Dogger**, está constituido por unas calizas del Malm-Dogger, como almacén, que presentan una potencia de 100 metros, y como cobertera, unas calizas y margas del Malm superior (110 metros), unas margas a techo del Malm (40 metros) y un paquete de arcillas y yesos del Terciario de 230 metros, con carácter semipermeable-impermeable.

- **Modelo jurásico Lías**, constituido por tramos de dolomías y dolomías con anhidritas (¿carniolas de Cortes de Tajuña?) del Lías inferior, se distinguen dos tramos, uno superior de 65 metros de dolomías, que se han incluido en el Lías, y otro inferior de 35 metros, de dolomías con anhidritas (¿carniolas?), que se han incluido en Lías como se hizo en La Zaida.

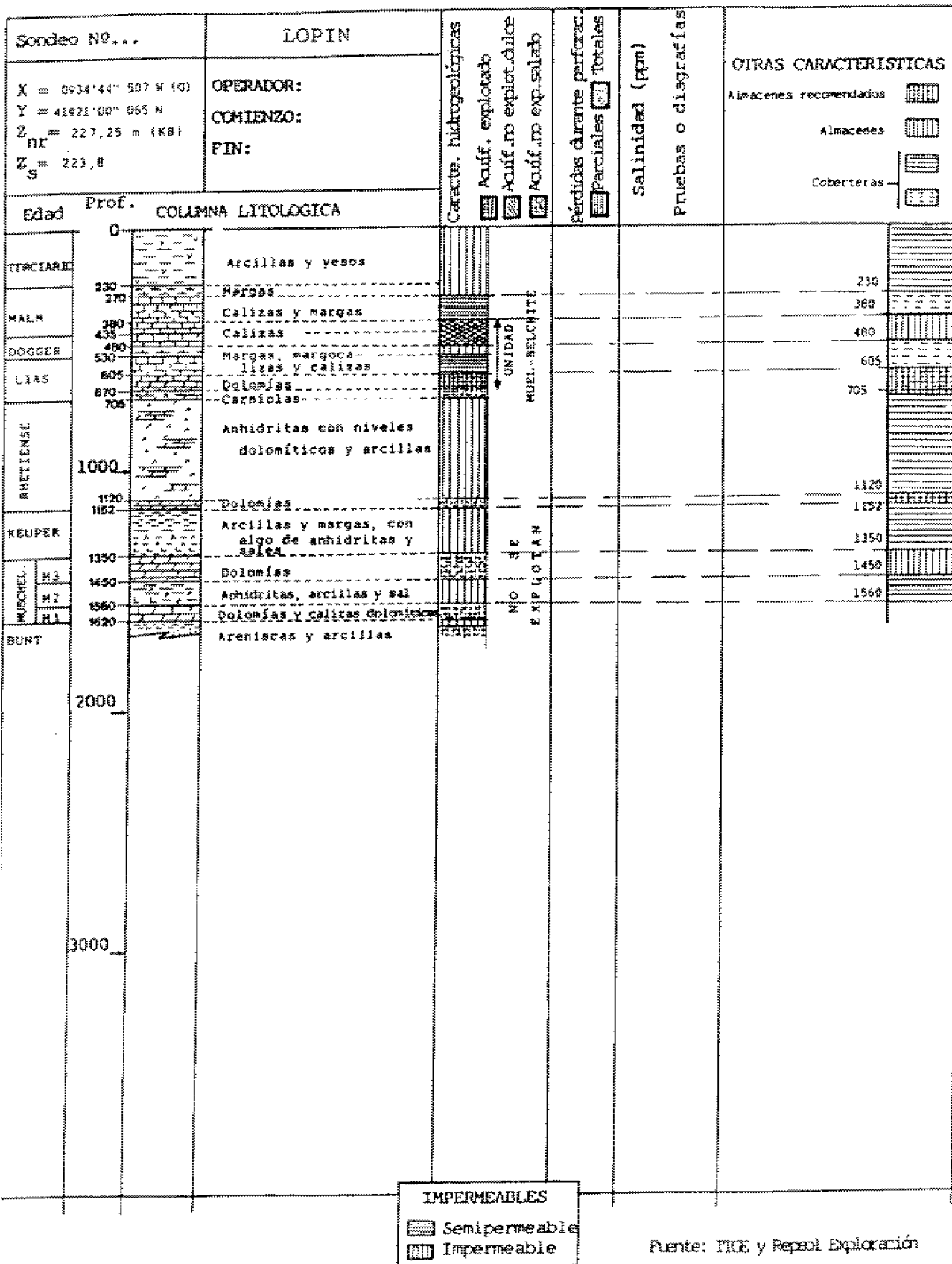


FIGURA 32.- FICHA RESUMEN SONDEO LOPIN.

- **Modelo Rhetiense**, constituido por un nivel de dolomías con anhidritas en la base del Rhetiense de 32 metros de espesor, con una cobertera de anhidritas con pasadas de dolomías de 415 metros de espesor de carácter prácticamente impermeable. El tramo almacén corresponde a la denominada Formación Imón, a la que se aludía en La Zaida.
- **Modelo carbonatado Muschelkalk superior**, está formado por el nivel de dolomías del M3, donde se distingue un tramo más permable de 100 metros de espesor, que tiene como cobertera las arcillas y margas abigarradas del Keuper, un material de gran impermeabilidad y extensión, con 198 metros de espesor.
- **Modelo carbonatado Muschelkalk inferior**, constituido por las dolomías con anhidritas del M1, de 60 metros de espesor, con una cobertera constituida por las arcillas y anhidritas del M2, que en el sondeo de Lopín presenta una potencia de 110 metros.

5.2.2.1.- Estratigrafía y Litología

A continuación se describen con detalle los materiales atravesados por el sondeo:

- * **MIOCENO-OLIGOCENO (DE 0 a 230 m.) -230 metros de espesor-**
 - 0- 230: Arcillas rojas y grises, poco compactas y yeso blanco masivo. Finas intercalaciones de areniscas de grano muy fino a medio, mal clasificadas y un nivel conglomerático de cantos de cuarzo.
- * **MALM (DE 230 a 435 m.) -205 metros de espesor-**
 - 230- 270: Marga gris oscuro con cierto carácter dolomítico (Kimmeridgiense Sup.).
 - 270- 380: Caliza gris-beige, tipo mudstone-wackestone, con

trazas de glauconita y pirita (Kimmerigiense Inferior).

380- 435: Calizas tipo mudstone/wackestone, con fracturas rellenas por calcita (Oxfordiense).

* DOGGER (DE 435 a 530 m.) -95 metros de espesor-

435- 480: Calizas, gris marrón, tipo wackestone/packstone, con abundantes filamentos.

480- 530: Margas y arcilla gris, con trazas de pirita.

* LIAS (DE 530 a 705 metros) -175 metros de espesor-

530- 605: Calizas margosas negras ligeramente dolomíticas con pirita, sin porosidad visible

605- 670: Calizas, calizas margosas y margas, con dolomías en la base (650-670).

670- 705: Dolomía con anhidritas (¿carniolas?).

* RHETIENSE (DE 705 a 1120 m.) -415 metros-

705-1120: Anhidritas masivas con delgadas intercalaciones de dolomías gris oscura o margas dolomíticas.

1120-1152: Dolomías de color beige (¿Formación Imón?).

* KEUPER (DE 1152 a 1350 m.) -198 metros de espesor-

1152-1273: facies típica de arcillas y margas abigarradas (rojizas, grisáceas y verdosas).

1273-1300: Sal.

1300-1350: Arcillas y sal.

* MUSCHELKALK (DE 1350 a 1450 m.) -100 metros de espesor-

1350-1450: Dolomía gris, tipo wackestone, sin porosidad visual y caliza gris-blancuzca ligeramente dolomítica. Corresponde al nivel Muschelkalk superior -M3-.

1450-1560: Anhidrita, arcillas gris y sal, es una facies muy similar al Keuper -Muschelkalk intermedio o M2-.

1560-1620: Dolomía gris-beige, tipo mudstone/wackstone y caliza ligeramente dolomítica. Corresponde a nivel Muscelkalk inferior o M1-.

* BUNTSANDSTEIN (DE 1620 --->)

1620-1652: Arenisca roja de grano fino, cemento calcáreo y matriz arcillosa, y arcilla gris moderadamente compacta.

5.2.2.2.- Estructura geológica

El sondeo está situado sobre una estructura anticlinal de dirección NW-SE, típicamente ibérica. Posiblemente esta estructura corresponda al anticlinal Puig Moreno-Mediana.

5.2.2.3.- Resultados de la interpretación de las diagrfías

Estos resultados se han reflejado en los gráficos de las figuras 33 a 35, donde, para cada unidad cronogeológica se han diferenciado los tramos almacén y cobertera, y los parámetros obtenidos de la reínterpretación de las diagrfías.

A partir de los datos que aparecen en los diagramas anteriores podemos calcular los parámetros porosidad real -- ϕ -- y contenido en arcillas -p-, para los tramos almacén.

Tramo	PROFUNDIDAD en metros		ESPESOR (m.)	EDAD GEOLOG	ϕ (%)	p (%)	Salinidad (SP) ppmClNa	T# (°C)
D	435	a 480	45	DOGGER	3	15	40.000	33,5
L1	610	a 632	65	LIAS	15	10	40.000	37
L2	670	a 674	4	LIAS	8	10	45.000	37,7
L3	686	a 690	4	LIAS	8	15	50.000	38
R	1120	a 1152	32	RHETI.	2	10	60.000	47
M3	1377	a 1422	45	M3	2	10	70.000	52
M1	1560	a 1620	60	M1	2	5	70.000	56

Cálculo de la Temperatura: $T^*(^{\circ}\text{C}) = 24,44 + 0,0198 \cdot H$ (H en metros)

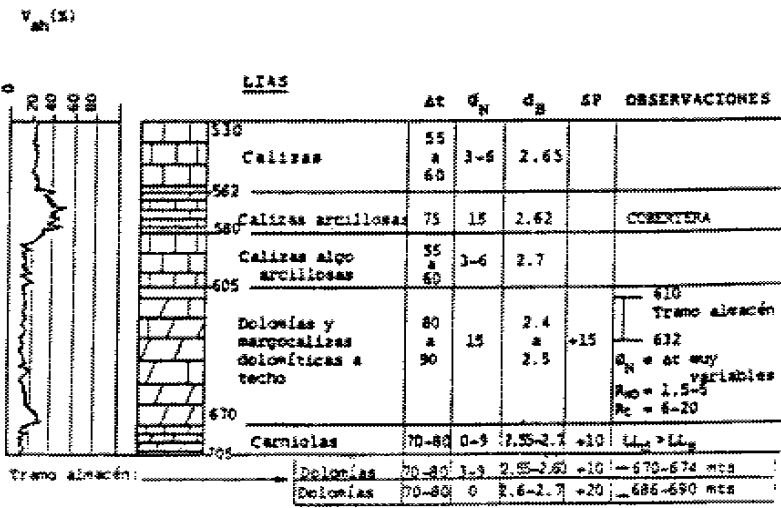
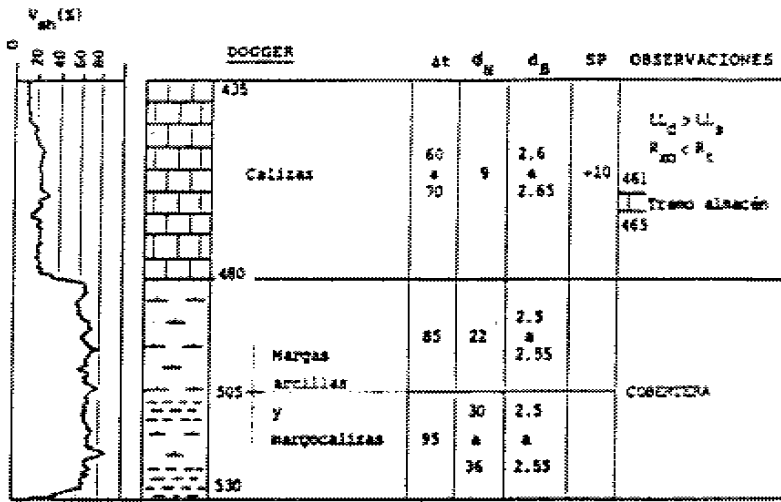


FIGURA 33.- INTERPRETACION DE DIAGRAFIAS. DOGGER Y LIAS.

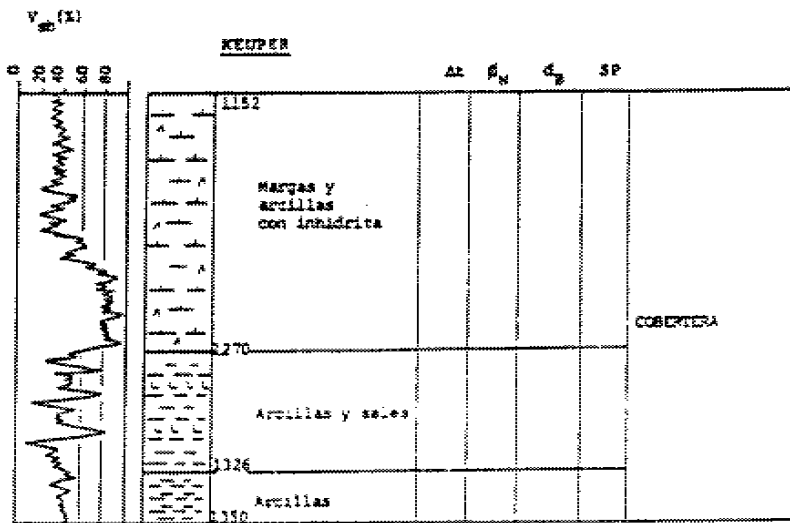
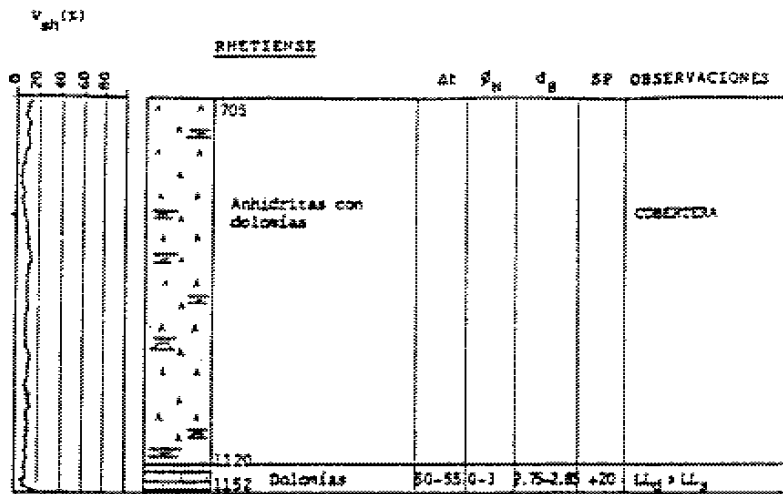


FIGURA 34.- INTERPRETACION DE DIAGRAFIAS. RHETIENSE Y KEUPER.

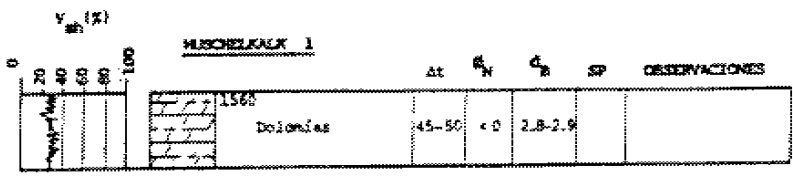
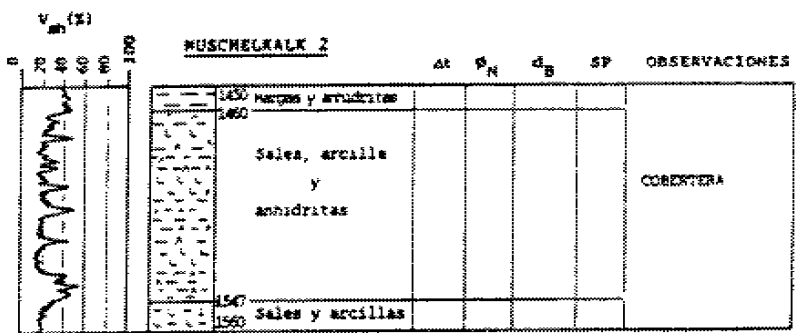
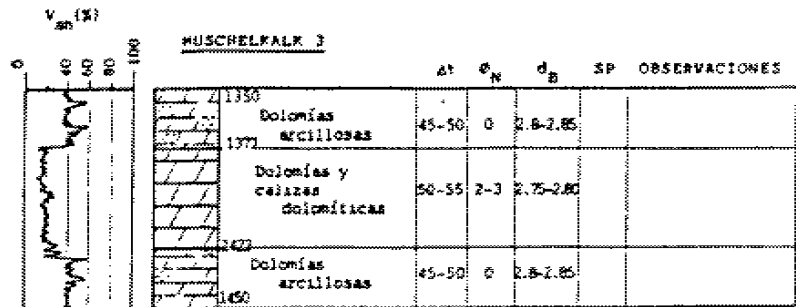


FIGURA 35.- INTERPRETACION DE DIAGRAFIAS. MUSCHELKALK.

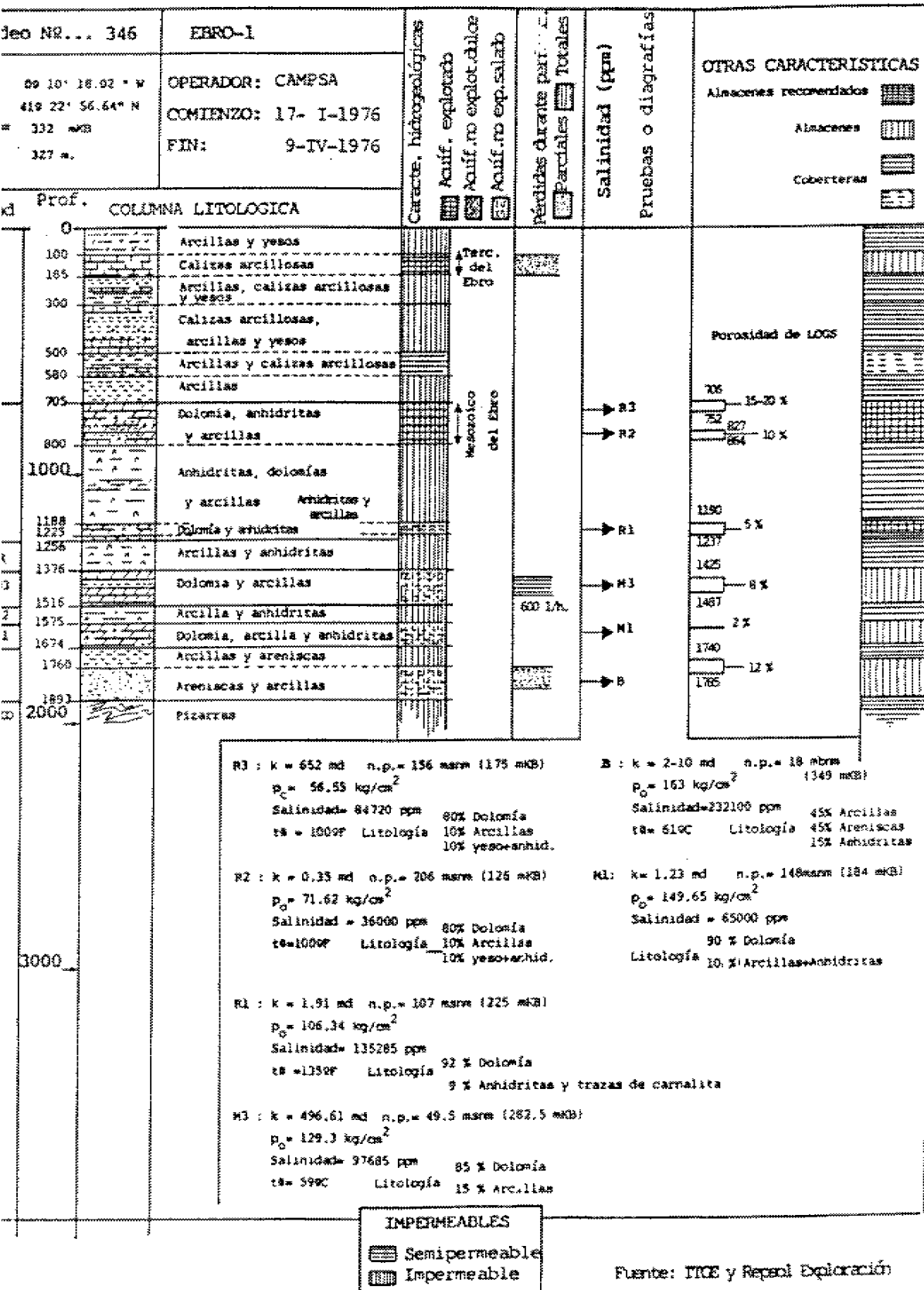
Este sondeo, por ser más moderno que el de La Zaida permite una mejor definición de los niveles almacén, aportando datos sobre los parámetros característicos. Asimismo los valores de salinidad aportados por este sondeo son similares a los calculados con los datos del sondeo de La Zaida. Siendo observable el salto de salinidad que se produce entre los almacenes del jurásico -Dogger+Lías-, con una salinidad media de 40 g-45 g/l, al definido en la base del Rhetiense -60 g/l-, y a los almacenes del Muschelkalk -70 g/l-.

5.2.3.- SONDEO EBRO-1

En la figura 36 se presenta la ficha correspondiente a este sondeo. En función a la columna estratigráfica cortada se pueden establecer los siguientes modelos de inyección:

- **Modelo Rhetiense superior**, constituido por unas dolomías con anhidritas y arcillas que aparecen a techo Rhetiense que podrían corresponder a las carniolas que se están incluyendo en la base del Lías. Sobre estas dolomías se sitúa el Terciario, que actúa como cobertera.
- **Modelo Rhetiense inferior**, se establece en base a unas dolomías con anhidritas que aparecen en la base del Rhetiense, como almacén, y las anhidritas con intercalaciones dolomíticas del mismo Rhetiense, como impermeable.
- **Modelo carbonatado Muschelkalk superior**, constituido por las dolomías del M3, como almacén, y las arcillas y anhidritas del Keuper como impermeable.
- **Modelo carbonatado Muschelkalk inferior**, constituido por las dolomías con arcillas y anhidritas del M1, como

FIGURA 36



almacén, y las arcillas y anhidritas del M2 como cobertera impermeable.

- Modelo Triásico inferior, al que correspondería como almacén las areniscas del Buntsandstein, y como cobertera las arcillas del techo del Buntsandstein.

5.2.3.1.- Estratigrafía y Litología

El sondeo Ebro-1 corta un conjunto de materiales cuya composición se pasa a describir con cierto detalle a continuación:

* Terciario (DE 0 a 705 m.) -705 metros de espesor-

- 0- 100: Arcillas con delgadas intercalaciones de yesos.
- 100- 185: Calizas arcillosas, arcillas y trazas de yesos.
- 185- 300: Arcillas, calizas arcillosas y trazas de yesos.
- 300- 500: Calizas arcillosas, arcillas y trazas de yesos.
- 500- 580: Arcillas, calizas arcillosas y trazas de yesos.
- 580- 705: Arcillas.

* RHETIENSE (DE 705 a 1256 m.) -551 metros de espesor-

- 705- 860: Dolomía, anhidrita y arcillas.
- 860-1188: Anhidrita masiva, dolomía y arcilla.
- 1188-1240: Dolomía y anhidrita.
- 1240-1256: Anhidrita y arcilla.

* KEUPER (DE 1256 a 1376 m.) -120 metros de espesor-

- 1256-1376: Arcilla y anhidrita.

- * MUSCHELKALK (DE 1376 a 1674 m.) -298 metros de espesor-
 - 1376-1516: Dolomía y arcilla.
 - 1516-1575: Arcilla y anhidrita.
 - 1575-1674: Dolomía, arcilla y anhidrita.

- * BUNTSANDSTEIN (DE 1674 a 1893 m.) -219 metros de espesor-
 - 1674-1760: Arcilla y arenisca.
 - 1760-1875: Arenisca y arcilla hasta los 1815 m., desde ahí arenisca pura.
 - 1875-1893: Microconglomerado y arcilla.
 - 1893-1973: Arcillas, limonitas, arenisca y vetas de cuarzo.

5.2.3.2.- Estructura geológica

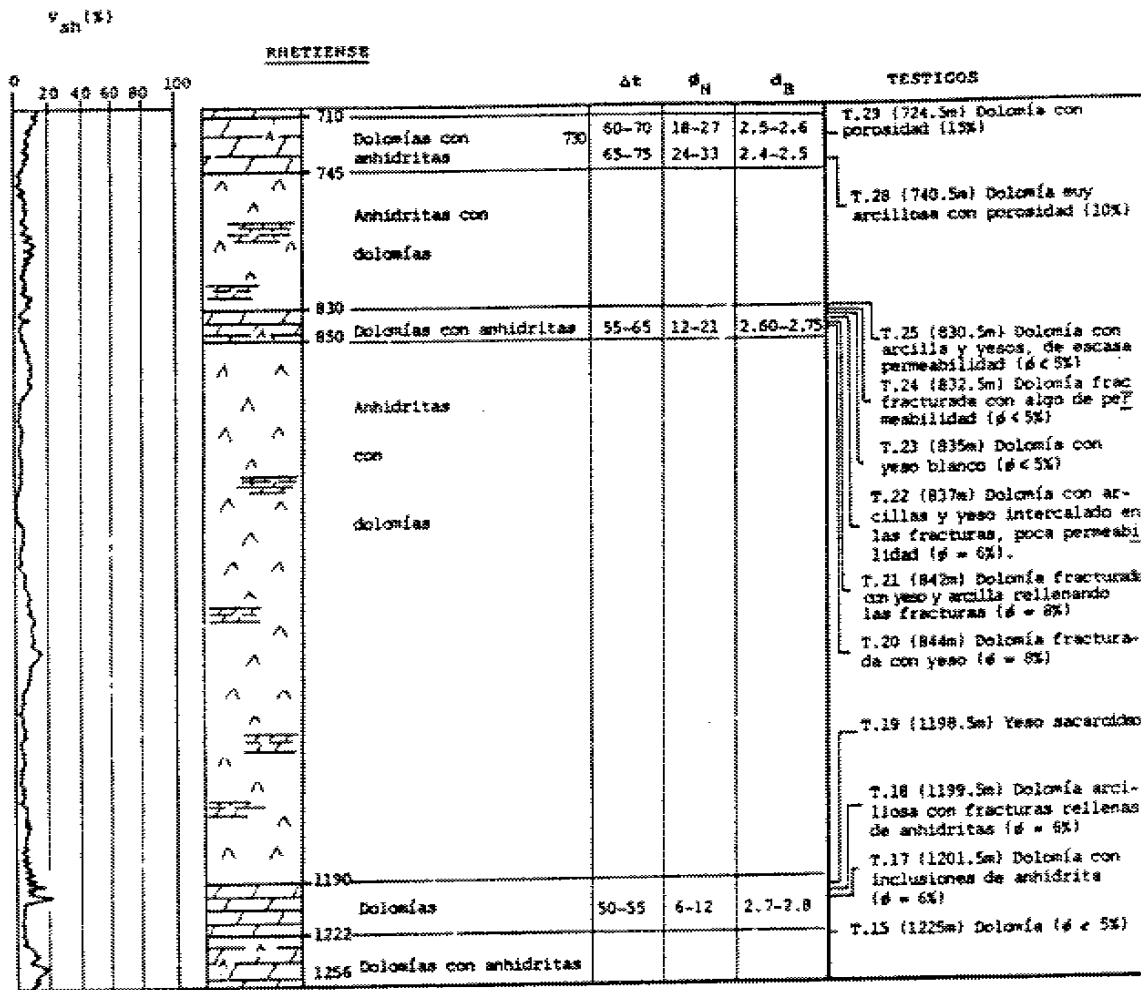
Este sondeo se sitúa sobre una estructura anticlinal fallada en su flanco sur, con cierres coincidentes a los niveles rhetiense y triásico.

La superficie cerrada por esta estructura se estimó en los estudios de detalle realizados por ENAGAS en 12 km², en el caso que la falla no sirviese de sello, y 28 Km² en el caso que esta garantizase el cierre de la estructura.

5.2.3.3.- Resultados de la interpretación de las diagráfias y pruebas

Los resultados del estudio de las diagráfias aparecen en las figuras 37 a 39.

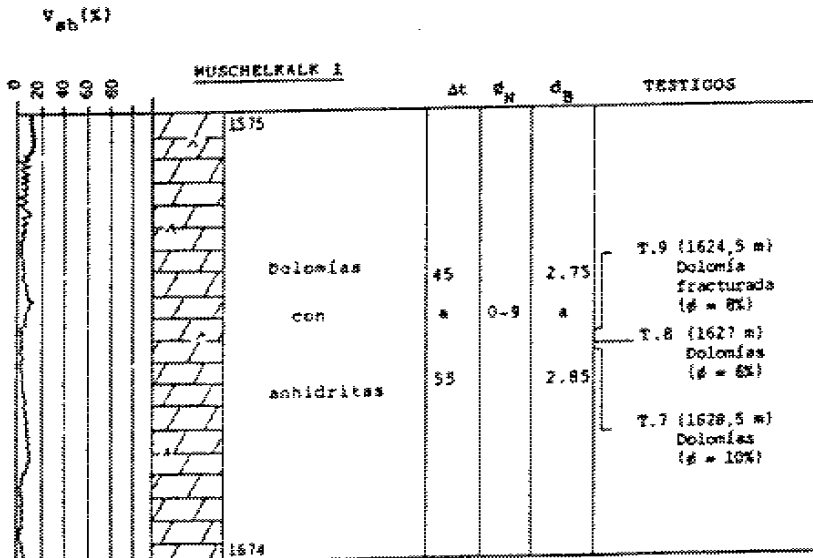
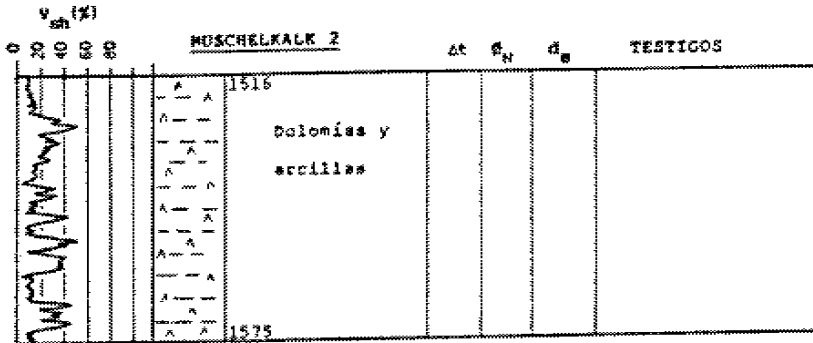
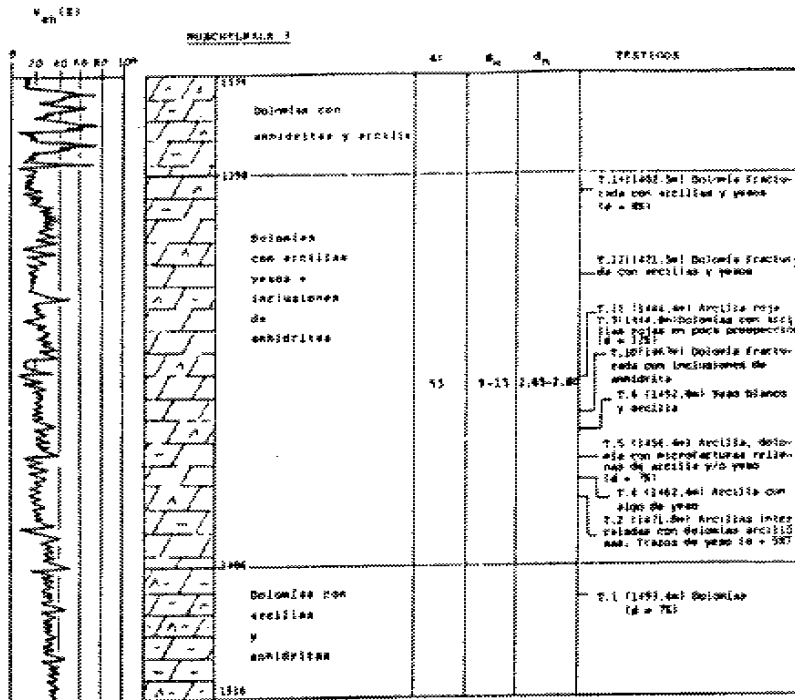
En la figura 37 aparecen los resultados de la reinterpretación de las diagráfias sobre los tramos permeables



Tramo (1198-1204 mts) → 55-60 / 12-18 / 2.6-2.7

FIGURA 37

FIGURA 38



V_s (2)

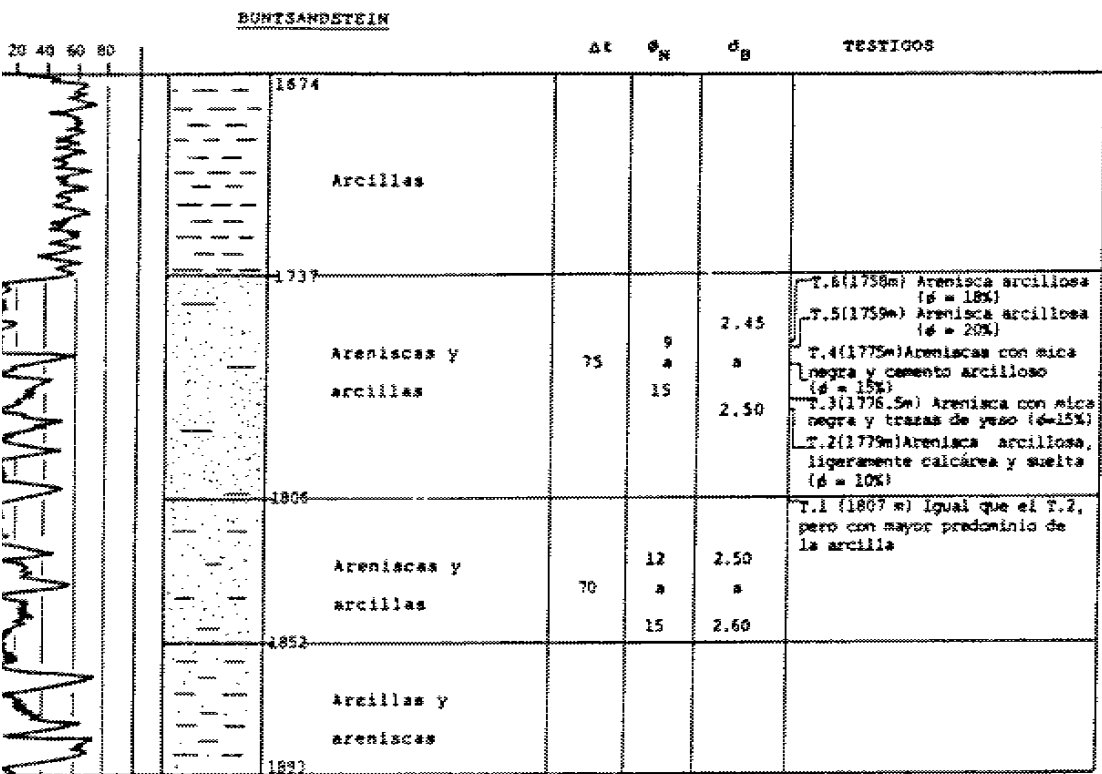


FIGURA 39

del Rhetiense. En la figura 38 se presentan los parámetros obtenidos para los tramos permeables del Muschelkalk. Y en la figura 39 los correspondientes al Buntsandstein.

En el Rhetiense se han definido tres tramos permeables que coinciden con los tramos investigados mediante los DST. Resulta ser el primer tramo -denominado R3- el que presenta mayor porosidad sobre testigo (10%), mientras el tramo intermedio -denominado R2- presenta valores de porosidad sobre testigo inferiores al 5% en la zona superior (830 a 835 m.), y entre 6 y 8% para la zona inferior. El tramo inferior -denominado R1- presentan valores de porosidad sobre testigo del 6% para la zona superior (1190-1222 m.), e inferiores al 5% para la inferior (1222-1256 m.).

En el Muschelkalk se han definido dos tramos permeables que coinciden con los tramos ensayados, el Muschelkalk superior o M3 y el Muschelkalk inferior o M1. Las dolomías con arcillas y yesos del M3 (1398-1486 m.) presentan porosidades sobre testigo 5-12%, mientras las dolomías con anhidritas del M1 (1575-1674 m.), presentan porosidades sobre testigo del 6-10%.

De entre los almacenes definidos para el Bunt, que aparecen en la figura 47, el tramo de areniscas y arcillas superior (1737-1806 m.) presenta porosidades sobre testigo, que oscilan entre 10-20%. Del resto de posibles almacenes no hay datos.

A continuación se detallan en unas tablas los resultados de la reinterpretación de diagráfias:

ZONA	Profundidad del techo	Espesor (m.)	Litología	Vsh (%)	Density g/cc	Sonic μ s/ft	ϕ CNL
1 R3	710	20	DOLOMIA	<20	2.5-2.6	60-70	18-27
2 R3	730	15	DOLOMIA	<20	2.4-2.5	65-75	24-33
3 R2	830	20	DOLOMIA	<20	2.6-2.7	55-65	12-21
4 R1	1198	6	DOLOMIA	10	2.6-2.7	55-60	12-18
5 R1	1190	32	DOLOMIA	<20	2.7-2.8	50-55	6-12
6 M3	1398	28	DOLOMIA	<40	-	-	-
7 M3	1426	60	DOLOMIA	20	2.6-2.8	55	9-15
8 M1	1575	99	DOLOMIA	<15	2.7-2.8	45-55	0-9
9 M1	1622	6	DOLOMIA	-	2.7	55	12
10 B	1737	69	ARENISCA	<50	2.4-2.5	75	9-15
11 B	1806	46	ARENISCA	<50	2.5-2.6	70	12-15

ESTUDIO DE DIAGRAFIAS

ZONA	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ / ϕ_p	ϕ / d_p	ϕ / ϕ_p	VALOR
1	15-18	15-18	10-20	15	5	5	15 10
2	20-25	15-15	15-25	20	5	15	10 15 10
3	8-12	12-15	5-12	10	5	3	10 8 5 5
4	9-12	10-15	5-10	10	2	3	10 8 8 8 5
5	2- 6	5-10	2- 5	5	5	-	- 2 5 5 5
6	-	-	-	-	-	-	- - - -
7	5-10	8-12	3- 7	8	5	2	5 4 5 5 5
8	0- 5	5- 8	0- 3	2	5	-	- 2 2 2 3
9	7-10	8-12	5	8	5	-	- 5 5 7 5
10	10-15	15	13-17	12	5	15	15 10 10 12 10
11	5-10	12	15-17	8	5	10	20 4 25 8 20

POROSIDADES EN TESTIGOS

Se puede observar como los valores obtenidos de la reinterpretación de las diagrafas son similares a los valores de porosidad en testigo.

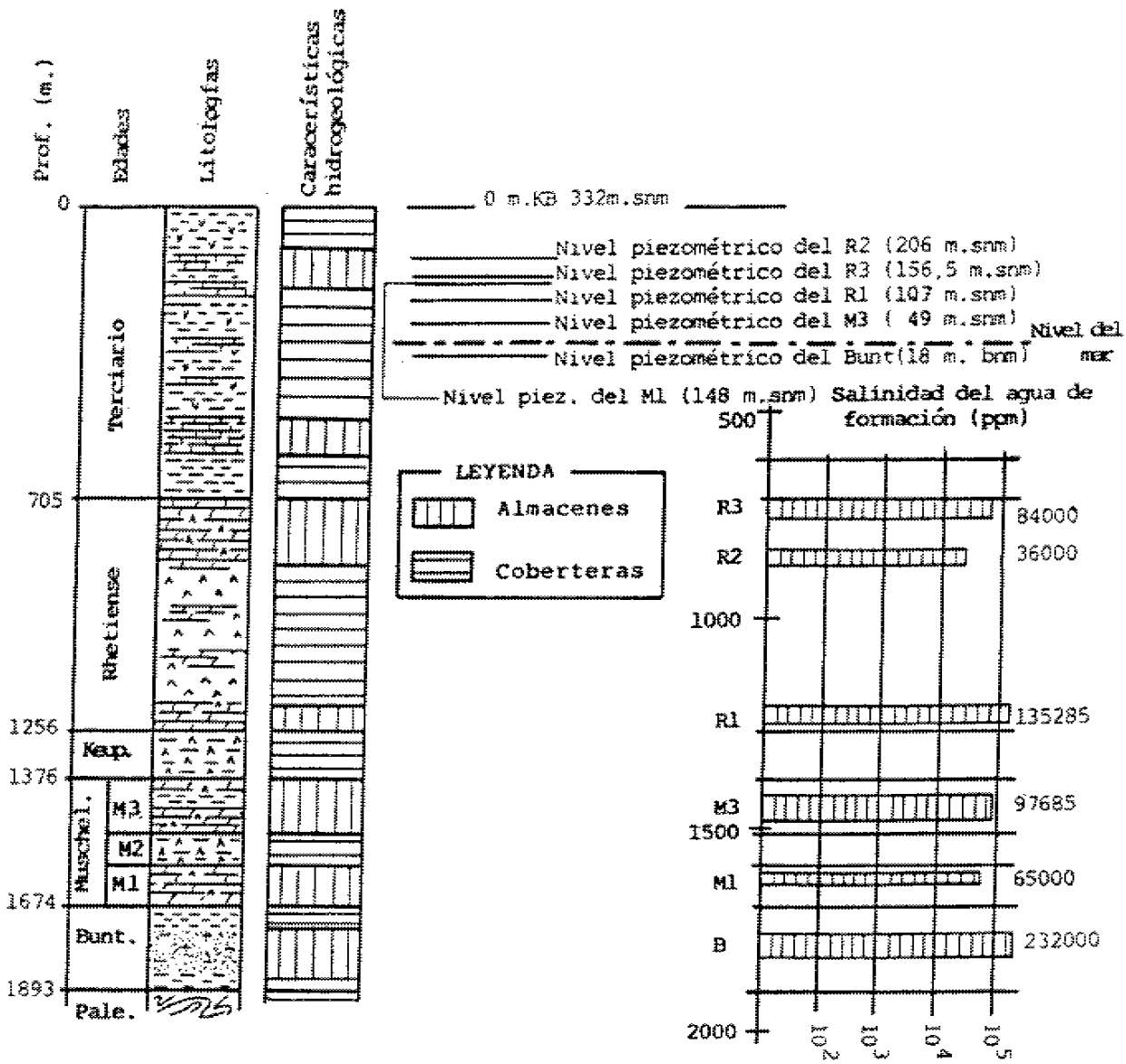
Los ensayos de DST permiten establecer ciertos parámetros hidrogeológicos con bastante exactitud, así como conocer la piezometría asociada a cada nivel permeable. En la tabla siguiente se exponen los resultados de estos ensayos de DST.

Almacenes	Densidad (g/cc)	T* (°C)	Permeabilidad (mdarcy)
R3	1.06	38	651.9
R2	1.02	38	0.35
R1	1.09	57	1.91
M3	1.07	59	496.6
M1	1.04	61	1.23
B	1.17	61	2.2

Estos datos ponen de manifiesto la bondad como almacén del tramo denominado R3 (permeabilidad de 540 m/día) y del M3 (412 m/día), los restantes tramos no presentan buenas condiciones de almacén.

Los cálculos efectuados a partir de los datos de presiones aportados por los ensayos DST permiten estimar los niveles piezométricos asociados a los distintos niveles almacén. En la figura 40 se ha esquematizado los resultados de los ensayos DST.

FIGURA 40



Almacenes	Profundidad (m. KB)	Litologías	K (md)	Densidad (20°C)	T ₁ (°C)	μ (cP)
B (Bunt.)	1750-1760 10 m.	45% arcillas 45% areniscas	2,2	1,27	41	1,2
M1 (Musch. L.)	1422-1428 6 m.	90% dolomita 10% arc. +anhid.	1,23	1,04	61	4,1
M3 (Musch. L.)	1420-1443 23 m.	85% dolomita 15% arcillas	484,6	1,07	59	9
R1 (Rhet. Inf.)	1224-1230 6 m.	52% dolomita 9% anhidrita, y traces de carnallita	1,61	1,09	57	6,3
R2 (Rhet. Sup.)	825-840 15 m.	80% dolomita 10% arcillas 10% pearsanhidrita	0,39	1,02	78	7,5
R3 (Rhet. Sup.)	710-745 35 m.	80% dolomita 16% arcillas 10% pearsanhidrita	491,9	1,08	58	13,7

5.2.3.4.- Ensayos DST realizados

Los ensayos realizados en el Ebro-1 y de los que se ha tenido información fueron:

Almacenes	Profundidad (m.)	Litologías	EDAD
R3 (Rhet. Sup.)	710- 745 35 m.	80% Dolomía 10% Arcilla 10% Yeso+Anhid.	RHETIENSE SUPERIOR (LIAS?)
R2 (Rhet. Sup.)	825- 860 35 m.	80% Dolomía 10% Arcilla 10% Yeso+Anhid.	RHETIENSE SUPERIOR (LIAS?)
R1 (Rhet. Inf.)	1188-1230 42 m.	92% Dolomía 9% Anhidritas y trazas de carnalita	RHETIENSE INFERIOR
M3 (Musch. Sup.)	1420-1463 43 m.	85% Dolomía 15% Arcilla	MUSCHELKALK SUPERIOR
M1 (Musch. Inf.)	1622-1628 6 m.	90% Dolomía 10% Arcilla + anhidrita	MUSCHELKALK INFERIOR
B (Bunt.)	1738-1786 48 m.	45% Arcillas 45% Arenisca	BUNTSANDST.

De los tramos investigados, el denominado R3 se sitúa sobre las carniolas -Formación Cortes de Tajuña- que se incluye en el Lias, el tramo R1 se situaría sobre la Formación Imón (Dolomías con anhidritas situadas en la base de Rhetiense evaporítico) y el tramo R2 correspondería a un nivel dolomítico intercalado entre las anhidritas rhetiense sin continuidad lateral importante.

5.2.4.- SONDEO GELSA

La columna estratigráfica ofrecida por el sondeo Gelsa (figura 41), permite establecer los siguientes modelos de inyección:

- **Modelo Malm**, estaría formado por paquetes de calizas, como almacén, y niveles de calizas margosas, margas e intercalaciones margo-yesíferas de edad Malm, o bien las calizas margosas con yesos o anhidritas de edad Terciaria, como impermeables.
- **Modelo Dogger**, constituido por las calizas permeables de edad Dogger como almacén (106 metros de espesor), y un paquete de margas (25 metros de espesor), existentes en el muro del Malm.
- **Modelo Liásico**, constituido por tramos calizos y dolomíticos, y dolomías con anhidritas (carniolas), como niveles almacén, y las calizas arcillosas y margosas del techo del Lias.
- **Modelo Rhetiense**, constituido por un nivel dolomítico con anhidritas existente en la base del Rhetiense (80 metros de espesor) -Formación Imón?- como almacén, y un potente paquete anhidrítico (456 metros de espesor), con intercalaciones dolomíticas, como cobertera.
- **Modelo carbonatado Muschelkalk superior**, en base al tramo de dolomías con anhidritas y arcillas del M3, como almacén, y las margas y arcillas abigarradas, con yesos, del Keuper, como cobertera. El paquete almacén presenta una potencia de 120 metros, y la cobertera 162 metros.

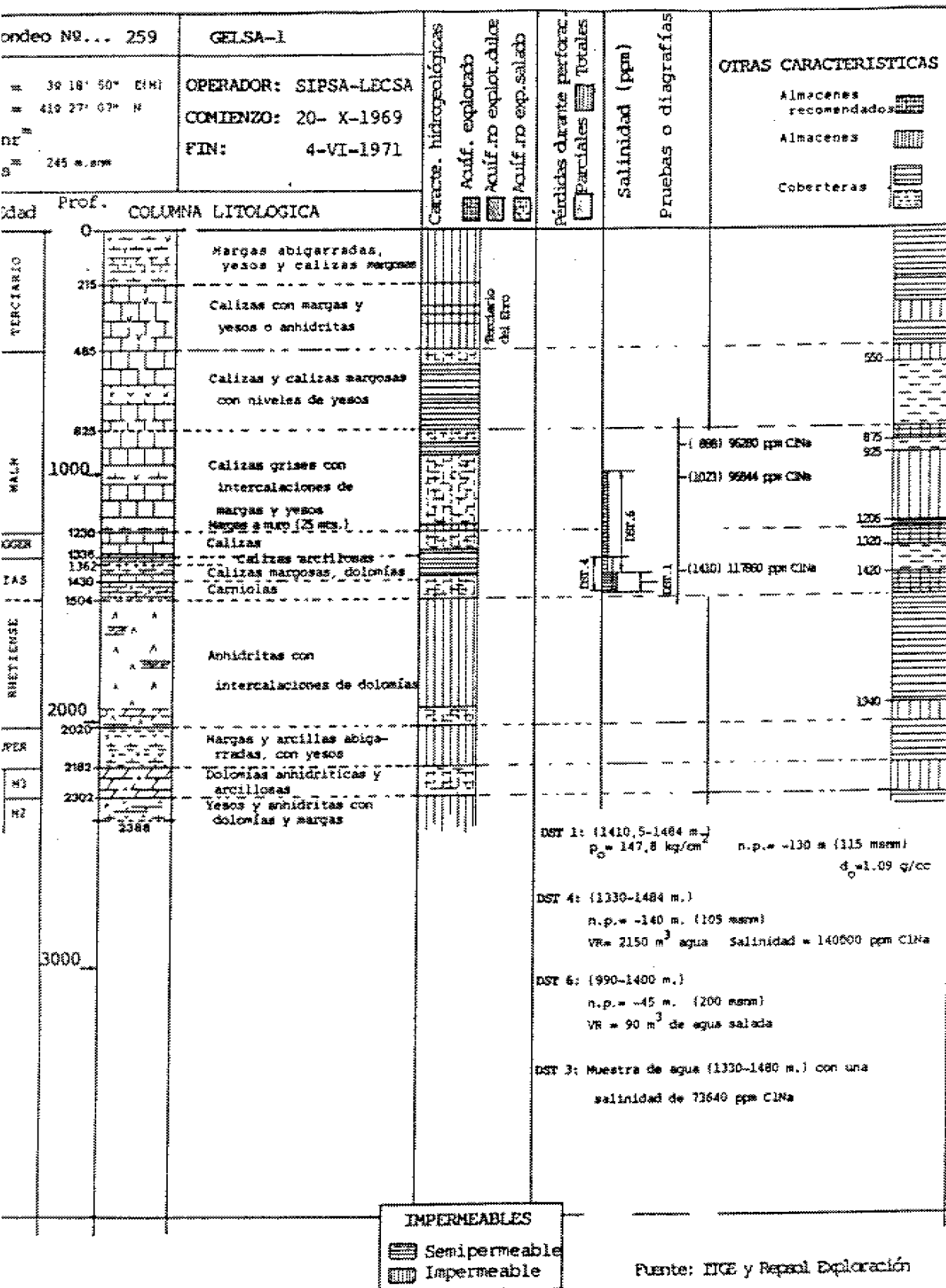


FIGURA 41

5.2.4.2.- Estratigrafía y Litología

A continuación se describen con detalle los materiales atravesados por el sondeo:

* **MIOCENO-OLIGOCENO (DE 0 a 485 m.) -485 metros de espesor-**

0- 215: Margas abigarradas finamente micáceas, en parte yesíferas y calizas margosas.

215- 485: Calizas en parte margosas o yesíferas en alternancia con margas abigarradas y yesos o anhidritas.

* **MALM (DE 485 a 1230 m.) -745 metros de espesor-**

485- 825: calizas gris oscuro o negras, a veces margosas y calizas margosas algo dolomitizadas, con intercalaciones de margas grisáceas, con presencia de yesos en algunos niveles.

825-1230: calizas grises-pardas, en ocasiones margosas y en algunos casos oolíticas, con intercalaciones de margas y arcillas, de dureza variable, y yesos. En los diez primeros metros aparecen yesos-anhidritas con dolomías, y los últimos 25 metros corresponden a margas.

* **DOGGER (DE 1230 a 1336 m.) -106 metros de espesor-**

1230-1336: Calizas homogéneas de color grisáceo.

* **LIAS (DE 1336 A 1504 m.) -168 metros de espesor-**

1336-1362: Calizas homogéneas que pasan a ser más margosas en la zona inferior.

1362-1430: Calizas margosas grisáceas, que hacia el muro pasan a ser dolomíticas.

1430-1504: Calizas dolomíticas y dolomías con anhidritas (carniolas).

* **RHETIENSE (DE 1504 a 2020 m.) -516 metros de espesor-**

1504-1960: Evaporitas en yeso-anhidritas, blanca a gris oscuro. De manera accesoria se intercalan

dolomías grisáceas, en parte algo arcillosas, que constituyen niveles de pequeño espesor.

1940-2020: Dolomías con anhidritas -Formación Imón?-.

* KEUPER (DE 2020 a 2182 m.) -162 metros de espesor-

2020-2182: Típica facies de arcillas y margas abigarradas, yesíferas.

* MUSCHELKALK (DE 2182 a 2388 m. -fin del sondeo-)

2182-2302: Dolomías grises frecuentemente anhidríticas y en parte arcillosas, con alguna intercalación de arcillas -este nivel corresponde al M3-.

2302-2388: Alternancia de yesos y anhidritas con dolomías anhidríticas, y margas grisáceas y rojizas.

5.2.4.3.- Estructura geológica

Los perfiles sísmicos han puesto de manifiesto la existencia de fallas entre el sondeo Gelsa y La Zaida. Asimismo parece existir una forma sinclinal de dirección Ibérica, que hacia el Este gira hacia dirección Catalanaide, que permite que existan ciertos "retazos" cretácicos asociados al eje de esta forma sinclinal.

Este sondeo se encuentra fuera de lo que hemos denominado macroestructura asociada a la "Falla Nor-Ibérica".

5.2.4.4.- Diagrafías y ensayos

En este sondeo no se efectuaron diagrafías. Si se llevaron a cabo pruebas DST que han sido reinterpretadas.

De las 6 pruebas DST realizadas sólo se han

reinterpretado cuatro, las cuales se definen en la siguiente tabla:

DST N°	PROFUNDIDAD		PISO GEOLOGICO	
1	1410	A	1484	LIAS
3	1330	A	1480	DOGGER-LIAS
4	1330	A	1484	DOGGER-LIAS
6	990	A	1400	MALM-DOGGER-LIAS

Los resultados obtenidos permiten establecer el siguiente cuadro:

DST N°	SALINIDAD (ppm)	VOLUMEN RECUPERADO (m ³)	NIVEL PIEZOMETRICO
1	117860	-	≈ 115 msnm
3	73640	-	-
4	140000	2150	≈ 105 msnm
6	-	90	≈ 200 msnm

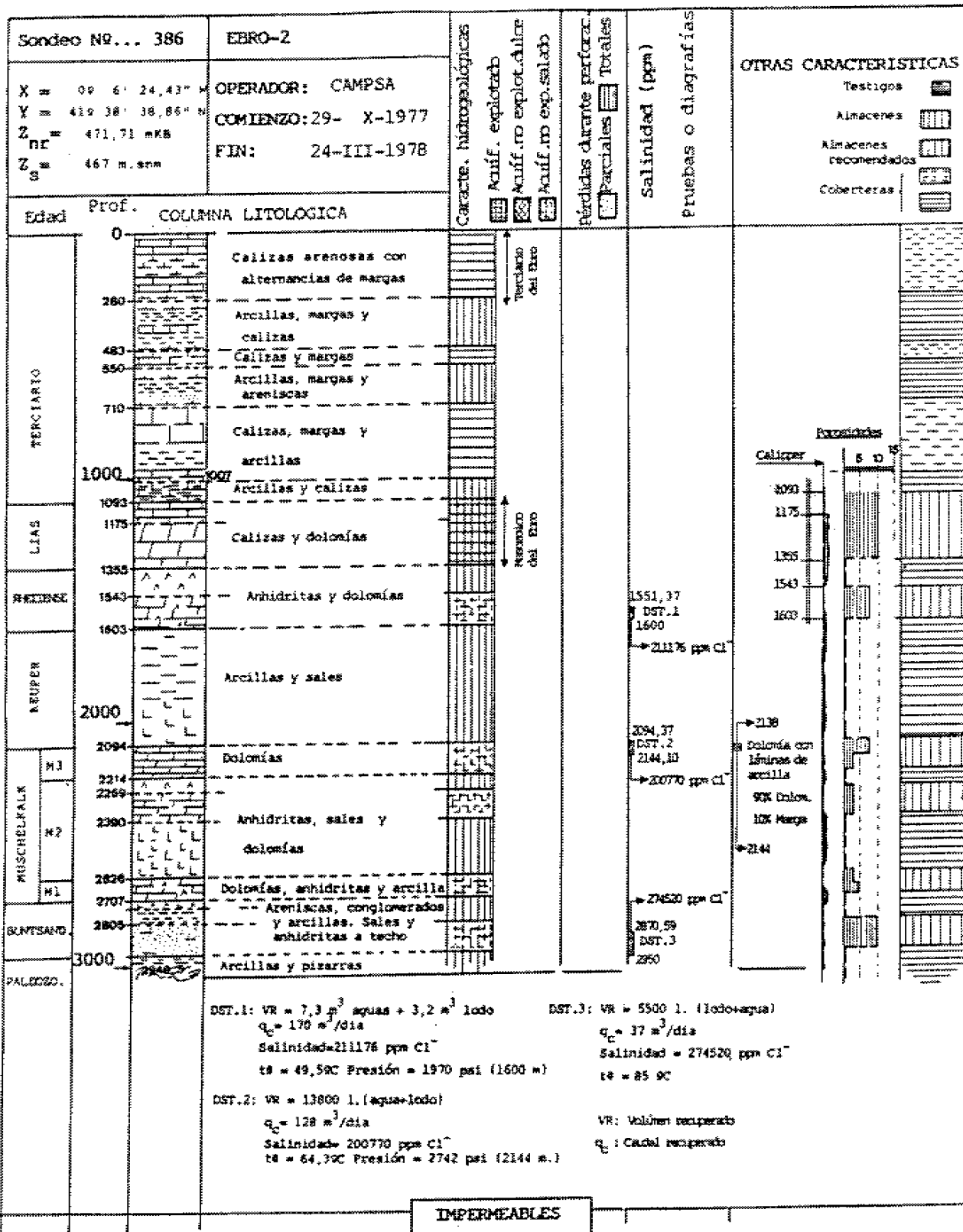
Los datos de las pruebas DST implican la posible existencia de conexión hidráulica entre los niveles jurásicos, pues los datos piezométricos inferidos son muy similares para los tramos investigados.

5.2.5.- SONDEO EBRO-2

Aunque este sondeo se encuentra situado fuera de la provincia de Zaragoza se ha creído conveniente su inclusión por la calidad de los datos que incluye, al tratarse de un sondeo no muy antiguo.

La estratigrafía que pone de manifiesto el sondeo Ebro-2 (figura 42) permite establecer los siguientes modelos de inyección para la zona donde este se sitúa.

- **Modelo carbonatado Terciario**, en base a una calizas de edad terciaria que aparecen a 710 metros de profundidad, con una cobertera constituida un paquete de arcillas, margas y areniscas de 160 metros de espesor. Este modelo tendría un interés muy local y es por ello que no se estudiará con detalle, aunque se ha querido reseñar su existencia.
- **Modelo Liásico**, en base a un paquete liásico constituido por calizas y dolomías de 262 metros de espesor, que queda cubierto por arcillas y calizas de edad terciaria:
- **Modelo Rhetiense**, que presenta como almacén unas dolomías con anhidritas de 60 metros de espesor, y como cobertera una anhidritas de 188 metros de espesor. En este sondeo el Rhetiense anhidrítico ha perdido potencia respecto a los restantes sondeos situados más al sur en la Depresión del Ebro.
- **Modelo carbonatado Muschelkalk superior**, en el que el almacén está constituido por las dolomías del M3, y como cobertera un potentísimo paquete (491 metros) de arcillas y sales de carácter muy impermeable (facies Keuper).
- **Modelo carbonatado Muschelkalk intermedio**, la aparición de un nivel dolomítico intercalado entre anhidritas y sales en el M2, permite establecer un modelo que presenta un interés local.
- **Modelo carbonatado Muschelkalk inferior**, en base a las dolomías con anhidritas del M1 y las anhidritas y sales del M2, como cobertera.



Fuente: ITGE y Repsol Exploración

FIGURA 42

- Modelo Triásico profundo, constituido por un tramo de areniscas del Bunt (135 metros de espesor), cubiertas por arcillas, sales y anhidritas del techo del Buntsandstein.

5.2.5.1.- Estratigrafía y Litología

En este apartado se describen con cierto detalle los materiales geológicos atravesados por el sondeo Ebro-2:

* Terciario (DE 0 a 1093 m.) -1093 metros de espesor-

- 0- 280: Alternancia de caliza gris claro arenosa, marga gris claro arcillosa y tramos arcillosos plásticos.
- 280- 483: Predominio de arcilla y marga, con calizas gris claro.
- 483- 550: Caliza beige a crema muy arcillosa y marga arcillosa a arcilla muy calcárea.
- 550- 710: Arcilla-marga, ocasionalmente limosa pasando a caliza arcillosa. Arenisca gris claro bien clasificada con matriz arcillosa. Trazas de glauconita, yeso y sílex.
- 710-1007: Caliza color crema, ocasionalmente algo dolomítica. Marga blanca-crema, blanda. Arcilla gris, ocasionalmente algo calcárea. Trazas de anhidrita y yeso.
- 1007-1093: Arcilla roja, gris verdosa, ocasionalmente naranja-marrón, limosa, n parte calcárea dolomítica. Caliza gris oscura. Trazas de anhidrita y yeso.

* LIAS (DE 1093 a 1355 m.) -262 metros de espesor-

- 1093-1175: Caliza gris oscuro a gris.
- 1175-1355: Dolomía gris con microvenillas y estiolitos.

* RHETIENSE (DE 1355 a 1603 m.) -248 metros de espesor-

- 1355-1543: Anhidrita blanca a gris claro y dolomía.

1543-1603: Dolomía gris, dura, con intercalaciones de anhidritas. Calizas dolomíticas oolíticas de color beige.

* KEUPER (DE 1603 a 2094 m.) -491 metros de espesor-

1603-1757: Arcillas versicolores, ocasionalmente calcáreas y/o dolomíticas.

1757-2094: Sal translúcida de color rosa.

* MUSCHELKALK (DE 2094 a 2707 m.) -613 metros de espesor-

2094-2214: Dolomía beige a gris compacta. Trazas de materia orgánica. Corresponde al nivel M3.

2214-2269: Anhidrita blanca a naranja. Sal naranja microcristalina.

2269-2390: Dolomía gris arcillosa, dura a muy dura.

2390-2626: Sal anaranjada microcristalina, translúcida.

2626-2707: Dolomía crema a gris, compacta. Presencia de arcilla roja y anhidritas al techo. A partir de los 2700 metros anhidritas. Corresponde con el nivel M1.

* BUNTSANDSTEIN (DE 2707 a 2940 m.) -233 metros de espesor-

2707-2734: Sal y anhidritas.

2734-2805: Arcilla roja muy dura.

2805-2924: Areniscas duras con cemento calcáreo.

2924-2940: Microconglomerados con granos de cuarzo.

* PALEOZOICO (2940 --->)

2940-1949: Arcillas y pizarras.

5.2.5.2.- Estructura geológica

Este sondeo se encuentra situado sobre la estructura

anticlinal de Sena. Esta estructura afecta de forma diferente a los materiales jurásicos y triásicos. De forma que para los materiales triásicos la estructuración es menos clara. Esta estructura se presenta como un anticlinal alargado de dirección NW-SE (dirección Ibérica), limitado por una falla paralela al eje de la estructura; pero con un pequeño cierre periclinal en ambos casos. Para los materiales triásicos esta estructura se encuentra fragmentada en bloques por numerosas pequeñas fallas.

Se estima, según datos de ENAGAS, que bajo el nivel Rhetiense la estructura tiene una superficie cerrada de 11 km², y a nivel del Muschelkalk de 15 km².

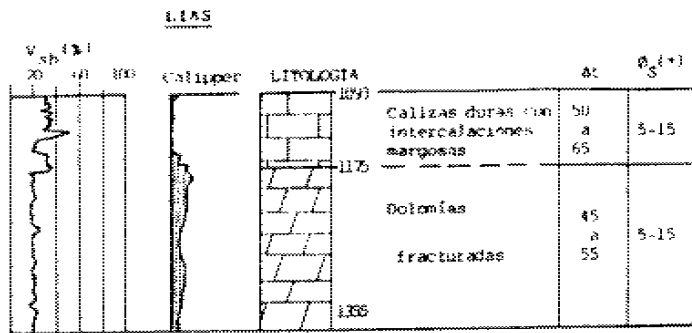
La existencia de un tramo dolomítico intercalado en el M2, que da lugar a establecer puntualmente un modelo de inyección, se explica por la existencia de una gran falla inversa, con un salto de unos 260 m., que a la profundidad de 2269 metros, repite la serie dolomítica del M1.

5.2.5.3.- Resultados de la interpretación de diagrfías

Los resultados del estudio de las diagrfías recopiladas se muestra en las figuras 43 a 45, donde se muestra los datos de porosidad calculados para los tramos almacén existentes.

Estos datos permiten valorar los parámetros porosidad real (ϕ) y contenido en arcillas (p), valores en porcentajes. Para el cálculo de estos parámetros es necesario hallar otra serie de parámetros tales como porosidad sónica, porosidad neutrónica o porosidad de densidad, los cuales se hallan por interpretación de las diagrfías.

También se señalan dos datos de interés como son el porcentaje relativo de arcillas (V_{sh}) obtenido del Gamma Ray, y



(*) La porosidad real es algo menor

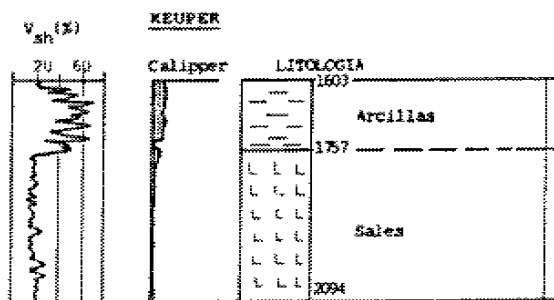
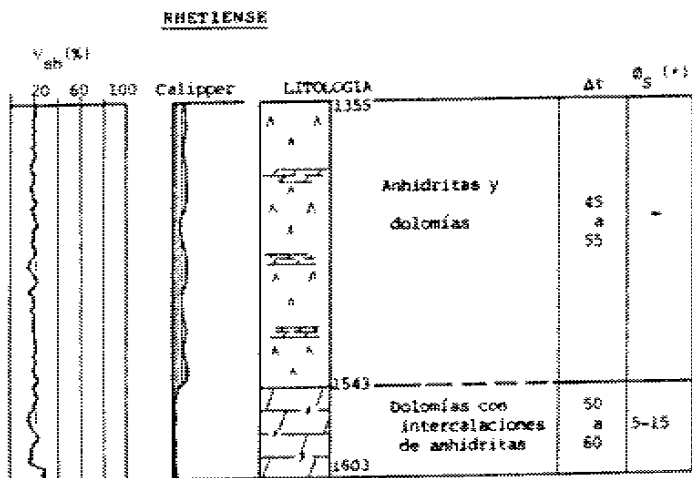
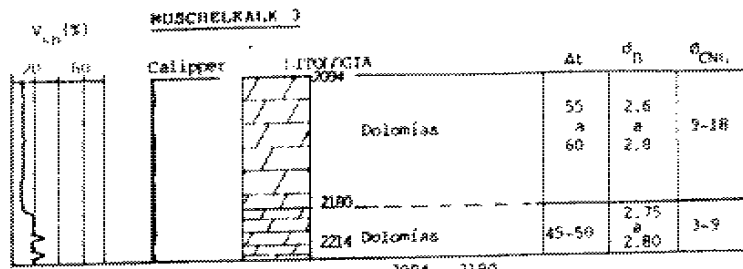


FIGURA 43



	2094 2180	2180 2214
ρ _D	5-15	4-6
ρ _S	10-15	5-7
ρ _N	5-10	0-3
ρ	8	3
p	5	7

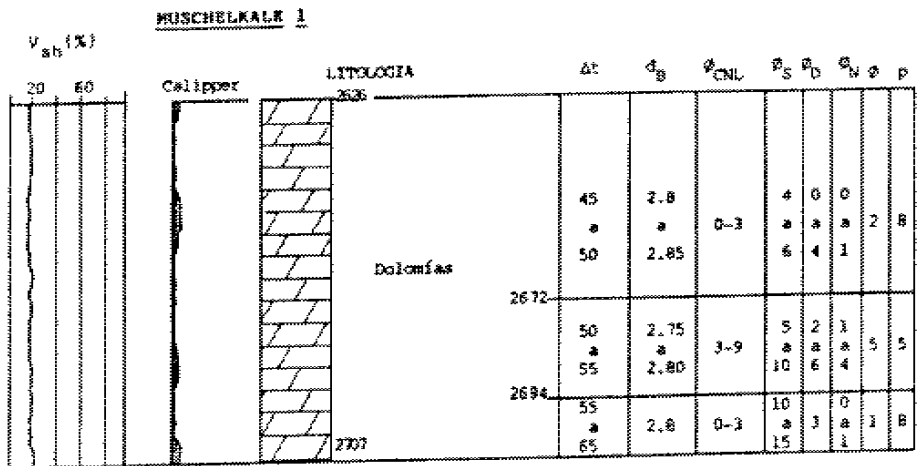
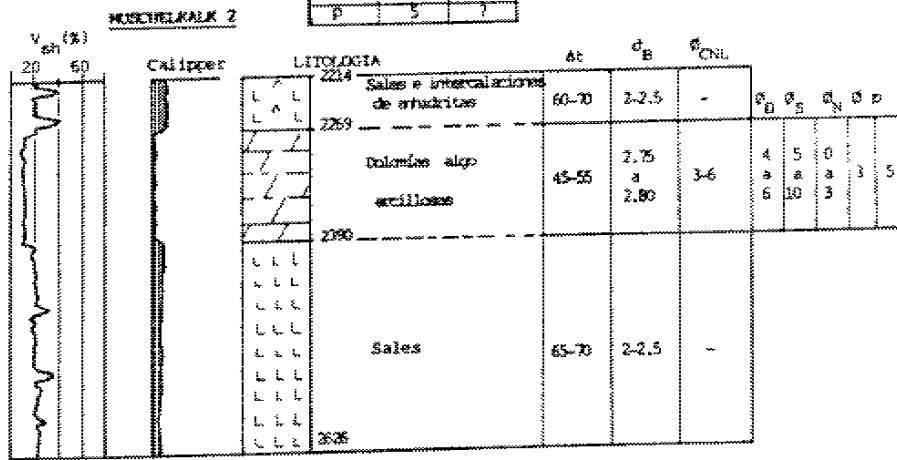


FIGURA 44

BUNTSANDSTEIN

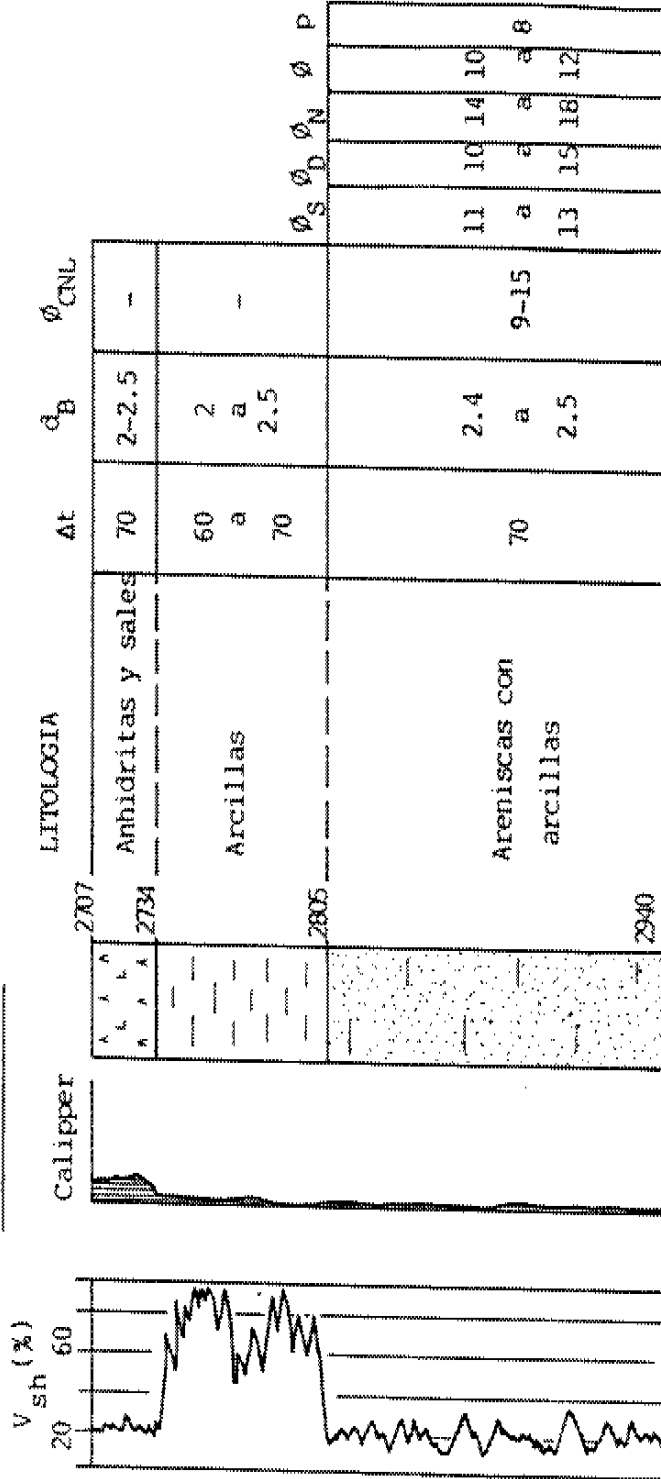


FIGURA 45

un esquema del CALIPPER, que indica la competencia del material atravesado.

5.2.5.4.- Ensayos de producción

Se han estudiado los resultados de tres ensayos efectuados según la siguiente tabla:

DST Nº	PROFUNDIDAD		PISO GEOLOGICO
1	1551	a 1600	RHETIENSE
2	2094	a 2144	MUSCHELKALK 3
3	2870	a 2950	BUNTSANDSTEIN

Aunque los resultados de los ensayos DST aparecen en la ficha del sondeo en las siguientes tablas se especifican estos datos:

DST Nº	VOLUMEN		CAUDAL	SALINIDAD (ppm)	Tª (°C)	PRESION kg/cm²	NIVEL PIEZOMETRICO
	LODO	AGUA					
1	3,2	7,3	170	211.176	49,5	138,5	82 msnm
2	13,8		128	200.770	64,3	192,9	29 msnm
3	5,5		37	274.520	85	-	-

(m³) (m³/día)

De estos datos se observa como son los tramos dolomíticos del Rhetiense inferior y M3 lo más favorables por sus características hidrogeológicas. Las aguas de formación asociadas a los niveles permeables estudiados resultar ser muy saladas, lo que implica que no existe lavado por aguas meteóricas, es decir, no existe comunicación con la superficie, la estructura resulta estanca.

5.2.6.- SONDEO CASPE-1

Teniendo en cuenta la estratigrafía cortada por el sondeo Caspe-1 (figura 46), se pueden establecer los siguientes modelos de inyección a priori:

- **Modelo carbonatado Muschelkalk superior**, que presenta como almacén unas calizas del Muschelkalk superior -M3-con una potencia de 87 metros, y una cobertera constituida por margas con anhidritas de la base terciaria.
- **Modelo carbonatado Muschelkalk inferior**, con unas dolomías y calizas como almacén del Muschelkalk inferior, que presentan un potencia de 104 metros, y un paquete de arcillas y anhidritas del M2 como cobertera.
- **Modelo Triásico profundo**, constituido por las areniscas y conglomerados del Buntsandstein como almacén, y las arcillas existentes a techo del Buntsandstein como cobertera.

5.2.6.1.- Estratigrafía y Litología

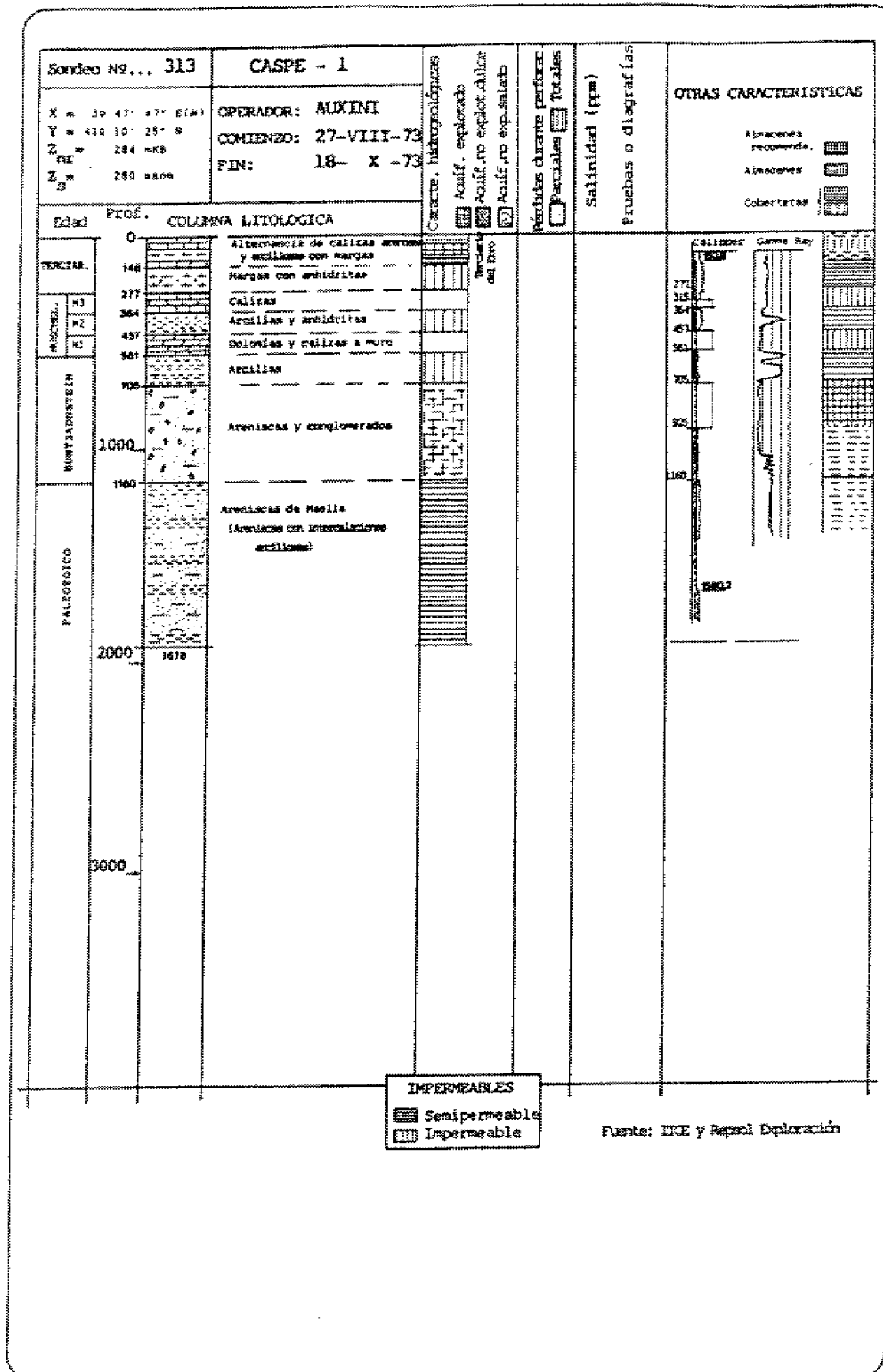
El sondeo Caspe-1 cortó una serie de materiales del Terciario y Mesozóico, terminando el sondeo en una potente serie limolítico-areniscosa del Paleozoico.

La descripción detallada de la litología de las diferentes formaciones atravesadas es la siguiente:

* **TERCIARIO (DE 0 a 277 m.) -277 metros de espesor-**

- 0- 148: Tramo calcáreo arenoso, constituido por alternancias de calizas arenosa y arcillosas, con intercalaciones de margas.

FIGURA 46



148- 277: Tramo margoso-evaporítico, formado por margas con intercalaciones de anhidritas, y ocasionalmente intercalaciones de calizas.

* MUSCHELKALK (DE 277 a 561 m.) -284 metros de espesor-

277- 364: Calizas beige a pardo del M3.

364- 457: Tramo margoso-evaporítico constituido, en su zona superior, por arcillas abigarradas y anhidrita, y en la base predominan arcillas plásticas con intercalaciones de anhidrita (M2).

457- 561: Dolomías gris a gris oscuro con intercalaciones de dolomías moteadas. Hacia la base predominan calizas grises con intraclastos (M1).

* BUNTSANDSTEIN (DE 561 a 1160 m.) -599 metros de espesor-

561- 705: Arcillas rojas muy plásticas con intercalaciones de areniscas con cemento calcáreo o ligeramente dolomítico.

705-1160: Areniscas grises o rojas. Los cantos son de cuarzo translúcido subangulares, el cemento dolomítico con inclusiones de materia orgánica. Hacia la base predominan los conglomerados con cantos cuarcíticos subangulosos o angulosos, rodados y presencia de sillex.

* PALEOZOICO (DE 1160 ---->)

1160-1810: Arenisca de Maella. Se trata de un paquete de areniscas grises con intercalaciones de limonitas arcillosas y arcillitas limoníticas, los cantos son de cuarzo. Restos de materia orgánica y mica. Hacia la base predominan niveles arcillosos.

5.2.6.2.- Estructura geológica

El sondeo Caspe-1 está asociado a una forma anticlinal situada en la parte Sureste de la Cuenca del Ebro, en el ángulo formado por la intersección de la Cadena Catalana y la Cordillera Ibérica, que definen los límites de este sector de la

Cuenca. El anticlinal de Caspe presenta un cierre estructural en formaciones del Terciario, aunque una discordancia está presente en la base del terciario.

5.2.6.3.- Resultados de la interpretación de las diagrfias y pruebas

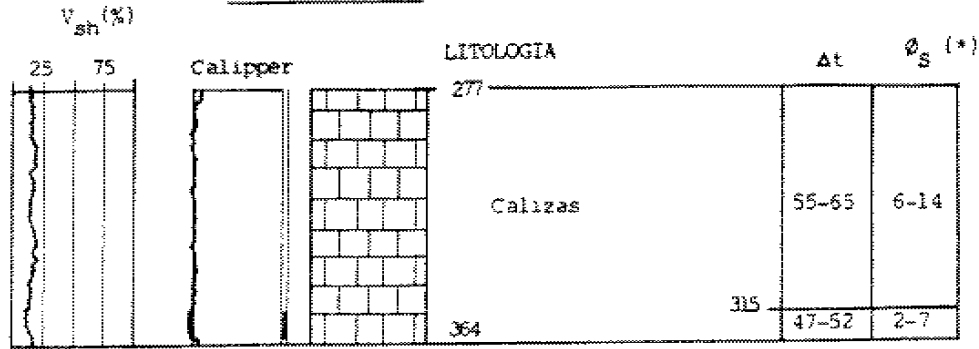
Los resultados de la reinterpretación de las diagrfias para los posibles tramos almacenes se muestra en la figura 47.

En esta figura se puede observar como los niveles carbonatados del M3 y M1 presentan bajos contenidos en arcillas (excepto el tramo inferior de calizas arcillosas del M1) y gran consistencia, lo que viene marcado por un calipper muy constante y próximo al diámetro del sondeo. En algunos tramos de estos paquetes se han formado costras que permiten pensar en la existencia de cierto carácter permeable, si bien los datos de porosidad sónica implican valores interesantes para el M1, pero bastante bajos para el M3.

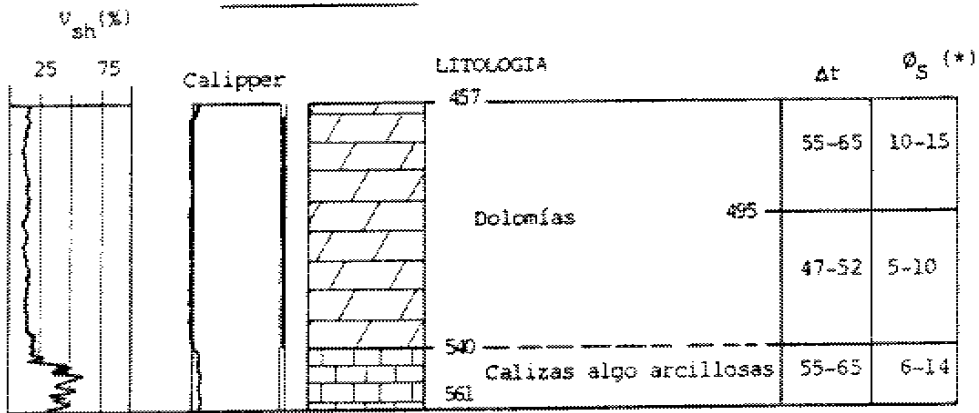
Las areniscas del Buntsandstein (705-925 metros) presentan valores interesantes de porosidad sónica, e importantes desarrollos de costras como demuestra el Calipper. El contenido de arcillas de este tramo es inferior al 15%.

La reinterpretación de los logs eléctricos se ha visto dificultada por una posible anomalía en el dato recopilado sobre la resistividad del lodo de perforación, del que se ofrecen dos datos muy diferentes en la información recopilada. De estos datos el que parece más verosímil permite calcular valores de salinidad en estos tramos almacén del Muschelkalk y el Bunt superiores a los 10 g/l.

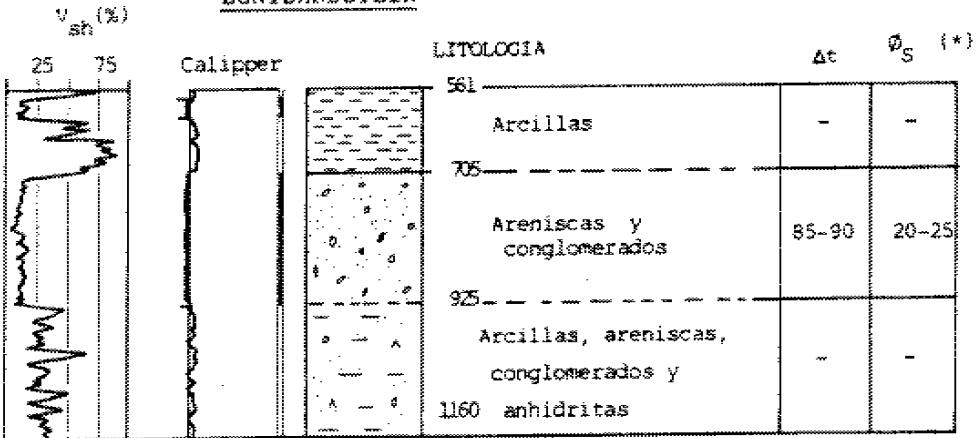
MUSCHELKALK 3



MUSCHELKALK 1



BUNTSANDSTEIN



(*) La porosidad sónica (φ_s) es siempre mayor que la porosidad real.

FIGURA 47

5.2.7.- SONDEO CHIPRANA-1

La estratigrafía asociada al sondeo Chiprana-1, según se muestra en la figura 48, permite establecer los siguientes modelos geológicos de inyección:

- **Modelo Dogger**, en base a las calizas basales del Dogger (50 metros de espesor), que presentan como cobertera unas calizas y margas del techo del dogger y las arcillas y evaporitas de la base Terciaria.
- **Modelo Liásico**, que está constituido por las calizas y dolomías del Lias como almacén, y unas margas del techo del Lias como cobertera.
- **Modelo Rhetiense**, que presenta como almacén unas dolomías de la base del Rhetiense (Formación Imón?), y como cobertera la importante formación anhidrítica del Rhetiense (403 metros de espesor).
- **Modelo carbonatado Muschelkalk inferior**, en base a las dolomías con anhidritas del M1 como almacén y a las arcillas y anhidritas del M2 como cobertera.
- **Modelo Triásico profundo**, constituido por las areniscas del Buntsandstein como almacén y las arcillas del techo de este mismo piso como cobertera.

5.2.7.1.- Estratigrafía y Litología

Los materiales atravesados por el sondeo Chiprana-1 corresponden a:

* **TERCIARIO (DE 0 a 718 m.) -718 metros de espesor-**

- 0- 110: Caliza mudstones arcillosa alternando con margas arenosas rojas.
- 110- 250: Arcilla roja y verde con alguna pasada de arenisca gris.
- 250- 405: Caliza mudstone beige arcillosa, presenta alguna pasada arcillosa y de yesos.
- 405- 580: Caliza mudstone con un tramo (470-500) con cierta permeabilidad, haciéndose más arcilloso en profundidad.
- 580- 670: Arcillas con pasadas de yesos.
- 670- 718: Brecha formada por cantos calizos mesozoicos y pasadas de areniscas, tramo con permeabilidad
- * DOGGER (DE 718 a 869 m.) -151 metros de espesor-
- 718- 763: Caliza mudstone gris, compacta con porosidad muy baja (<5%).
- 763- 800: Marga gris oscura con mucha fauna, que produjo cavernas durante la perforación
- 800- 819: Caliza mudstone compacta, porosidad <8%. Su función como roca almacén es pequeña, debido a que las calizas son compactas. Como roca cobertera es buena en base al tramo margoso que presenta.
- 819- 869: Caliza mudstone compacta, porosidad <3%, con cierta permeabilidad. La función como almacén es pobre por la ausencia de porosidad.
- * LIAS (DE 869 a 978 m.) -109 metros de espesor-
- 869- 886: Marga gris fracturable, e la perforación se han producido cavernas. Puede constituir una buena cobertera.
- 886- 928: Alternancia de calizas wackestone, mudstone, grises con margas oscuras, muchas fracturas rellenas de calcita, poca porosidad <4% y permeabilidad entre 10 y 20 milidarçy.
- 928- 930,5: Caliza grainstone gris con abundancia de oolitos y algunas vetas de calcita.
- 930,5- 978: Dolomía beige, fracturada con algo de anhidrita (Formación Cortes de Tajuña?).

* RHETIENSE (DE 978 a 1425 m.) -447 metros de espesor-

978-1400: Anhidrita masiva con ligeras intercalaciones de dolomías sin porosidad aparente. Durante la perforación produjeron cavernas con caídas de anhidritas.

1400-1425: Dolomías gris microcristalinas, con bajas porosidades y permeabilidades menores de 1 md, podría corresponder a la Formación Imón.

* KEUPER (DE 1425 a 1508) -83 metros de espesor-

1425-1508: Arcilla versicolor, principalmente roja, con yesos y anhidritas. Es una formación de baja porosidad y totalmente impermeable, pudiendo constituir una buena cobertera.

ZONA DE FALLA (DE 1508 a 1535 m.)

En este sondeo se pasó de la facies Keuper a la facies Muschelkalk medio. La presencia de una falla hace desaparecer la facies Muschelkalk superior, que si aparece en el sondeo Ebro-1, muy próximo. Estos 27 metros de anhidrita constituyen la milonita de falla.

* MUSCHELKALK (DE 1535 a 1707 m.) -172 metros de espesor-

1535-1605: Arcillas rojas y anhidrita gris. Presenta un marcado carácter impermeable.

1605-1707: Dolomía arcillosa con bastante anhidrita en fracturas. La porosidad es pobre y la permeabilidad casi nula. Existe un tramo interesante (1660-1670) con porosidades de hasta el 12% y permeabilidad de 10 md.

* BUNTSANDSTEIN (DE 1707 --->)

1707-1740: Arcilla roja.

1740-1770: Arcillas roja con alternancia de arenisca blanca.

1770-1830: Arenisca blanca. Con porosidades que alcanzan el 18% y permeabilidad de 240 md.

1830-1840: Arenisca blanca en alternancia con arcillas rojas.

5.2.7.2.- Estructura geológica

Esta estructura se encuentra encuadrada en la Cuenca del Valle del Ebro, que constituye una cuenca rellena de sedimentos mesozoicos y terciarios depositados sobre el zócalo hercínico. La serie mesozoica ha experimentado diversos cambios de facies tanto vertical como lateralmente. Una laguna estratigráfica separa el Mesozoico de la cobertera terciaria, dando lugar a una discordancia estratigráfica.

El Terciario, de facies lacustre continental, presenta una suave disposición monoclinal. El mesozoico presenta una estructura cerrada al Sur contra una falla de dirección E-W. El Buntsandstein parece no estar estructurado.

5.2.7.3.- Resultados de la interpretación de las diagráfias y pruebas

La reinterpretación de las diagráfias para los tramos incluidos en los modelos geológicos descritos aparecen en las figuras 49 a 51.

Los tramos almacén definidos a partir de las diagráfias se describen a continuación:

TRAMO	PROFUNDIDAD DEL TECHO	POTENCIA (m.)	EDAD	LITOLOGIA
D	840	10	DOGGER	CALIZAS
L	945	35	LIAS	DOLOMIAS
R	1403	22	RHETIEN.	DOLOMIAS
M1	1660	10	MUSC. INF	DOLOMIAS
B1	1740	12	BUNT	ARENISCAS
B2	1756	8	BUNT	ARENISCAS
B3	1777	68	BUNT	ARENISCAS

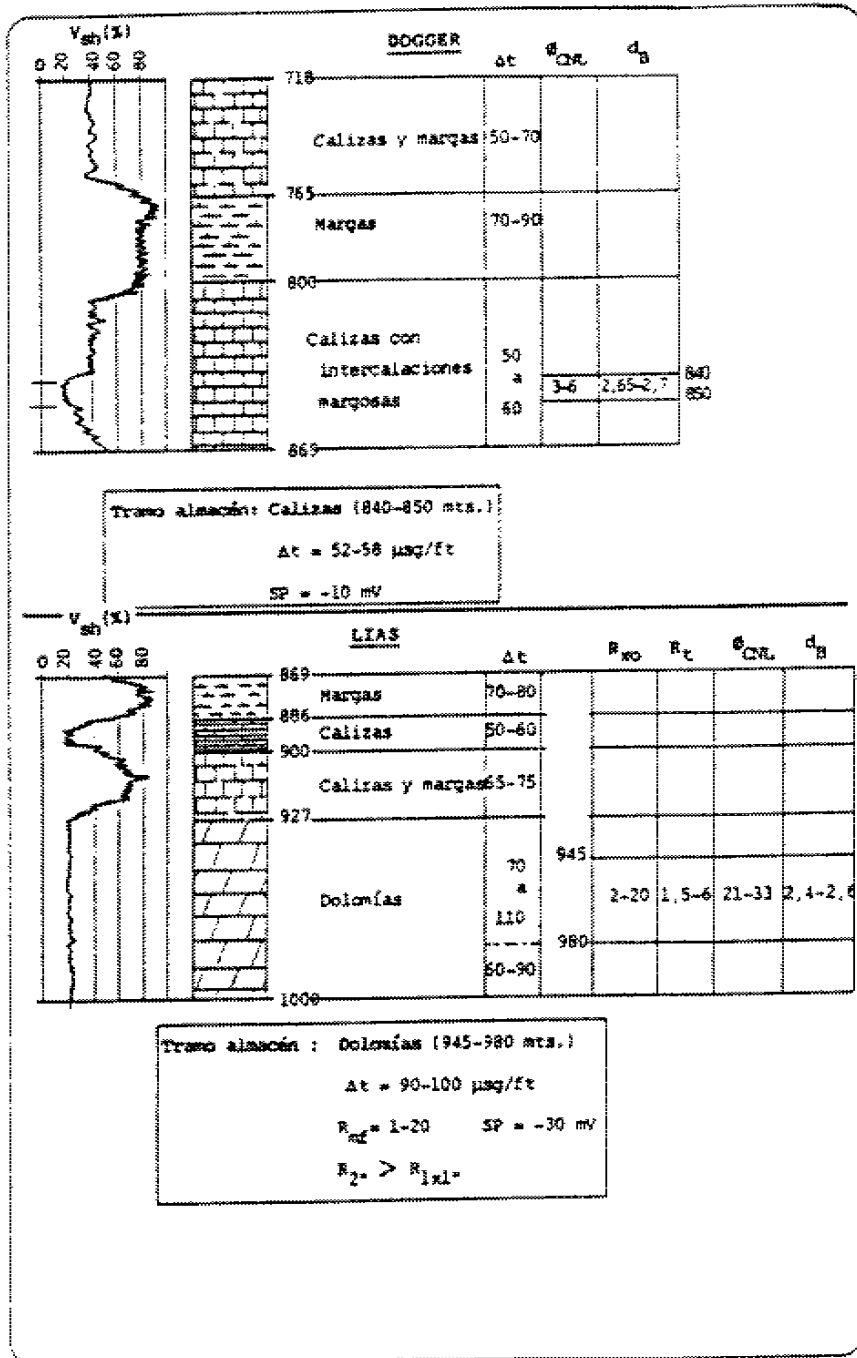


FIGURA 49

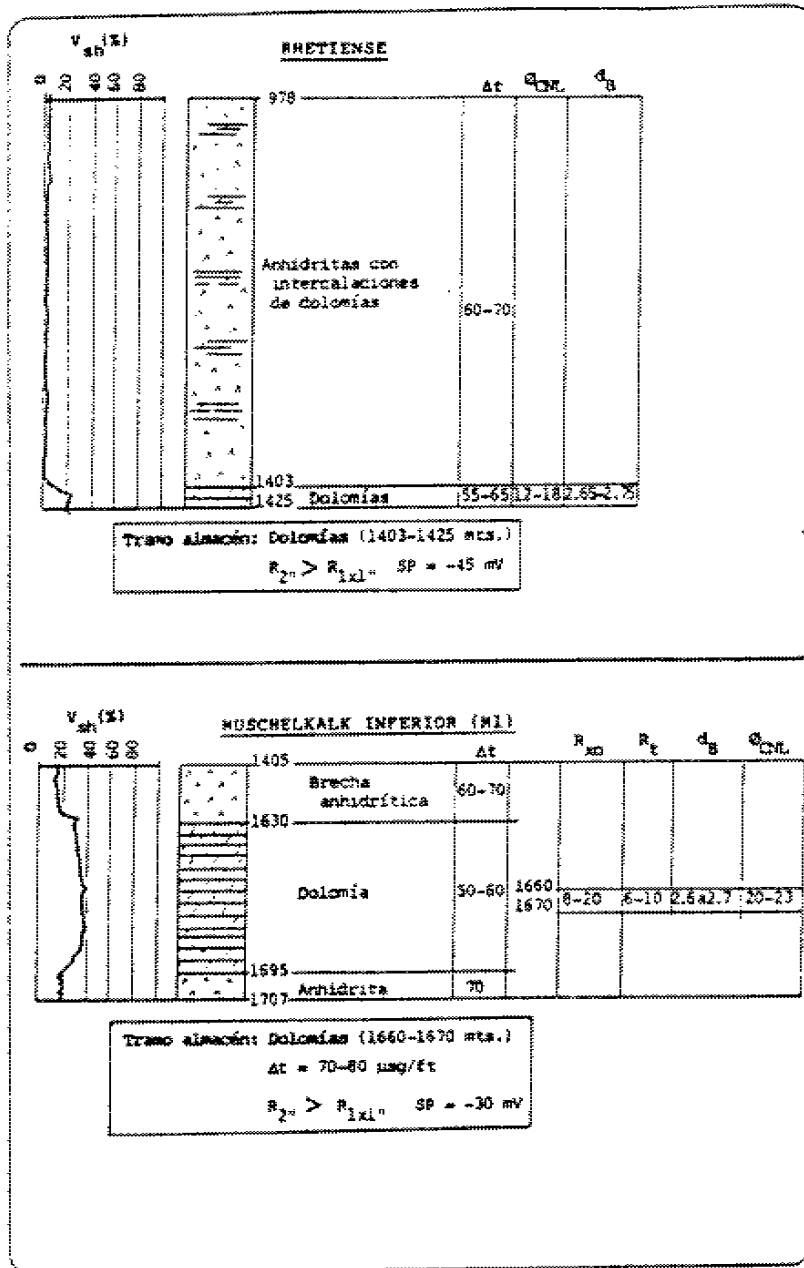


FIGURA 50

BUNTSANDTEIN

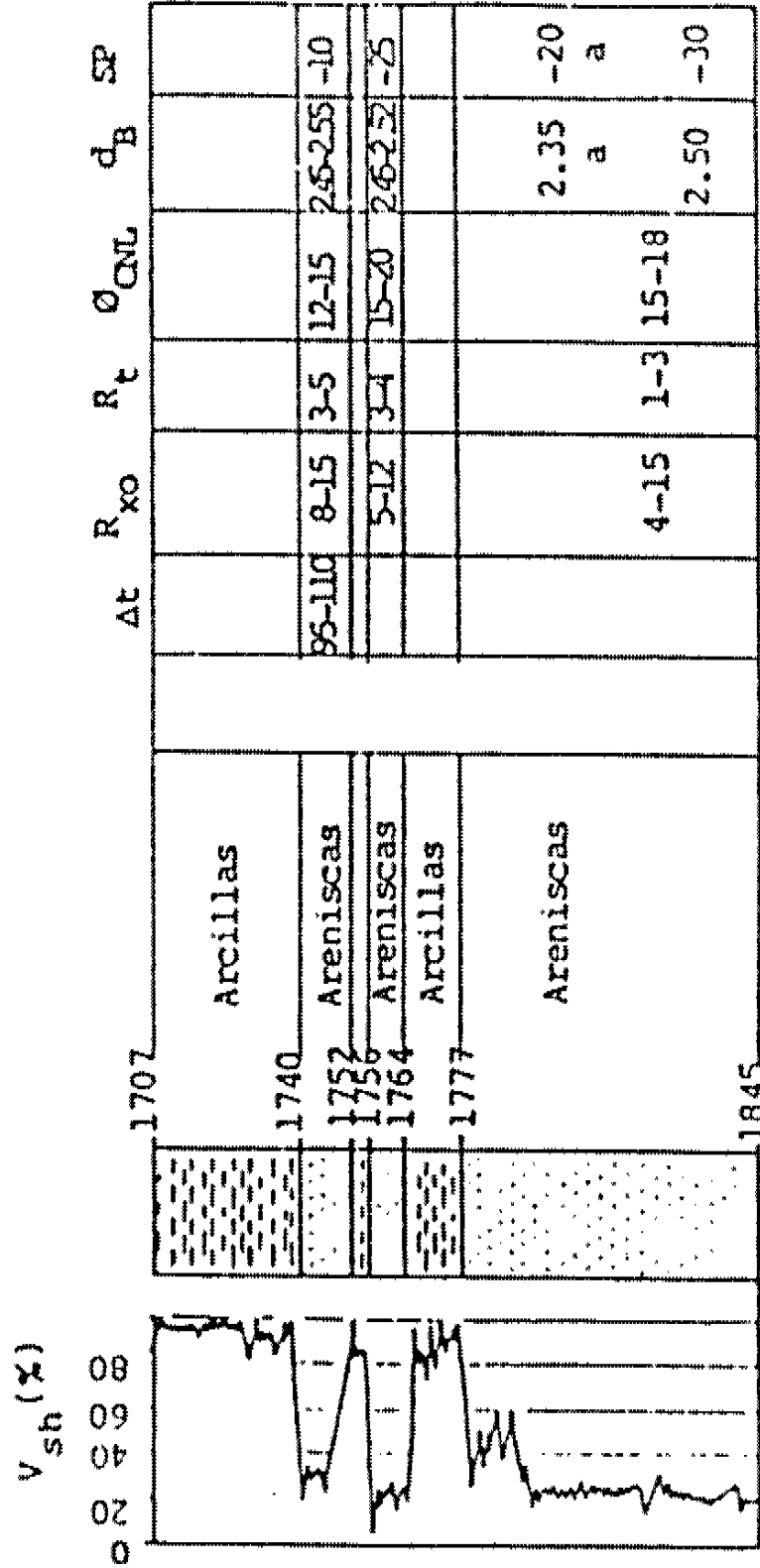


FIGURA 51

A partir de las diagrafas se han calculado los parámetros característicos de estos tramos -porosidad y contenido en arcillas-.

ZONA	ϕ		ϕ / ϕ		ϕ / d		ϕ / ϕ		VALOR		
	ϕ	ϕ	ϕ	p	ϕ	p	ϕ	p	ϕ	p	
D	1-5	5-10	3-6	3	8	-	-	2	5	3	5
L	15-25	20-30	15-25	20	5	15	20	15	5	15	5
R	7-12	10-15	5-10	8	8	-	-	8	5	8	5
M1	10-15	8-10	12-15	10	2	-	-	10	5	10	5
B1	6-12	35-45	15-20	10	45	12	15	5	25	10	20
B2	8-12	-	20-25	-	-	15	25	6	25	12	25
B3	20-28	-	18-22	-	-	18	10	-	-	15	10

Estos datos implican el buen carácter almacén del tramo liásico (L) con una porosidad calculada del 15%, del M1 (10%) y de las areniscas del Bunt (10-15%), y algo menor de las dolomías de la base del Rhetiense (8%). Las calizas del Dogger no presentan buenas condiciones de almacén.

Los resultados de los ensayos DST seleccionados se presentan en la siguiente tabla:

DST N°	PROFUNDIDAD (m.)	TRAMO	PRESION HIDROS. (Kg/cm ²)	COTA PIEZOM.	SALINIDAD (g/lt)
8	909,9	L	97,82	271msnm	45-50
12	1646,5	M1	200.14	78msnm	80-90
14	1697,8	M1	210.55	36mbnm	65
15	1755,7	B	212.87	91mbnm	50
16	1772,2	B	220.46	70msnm	140

B: Buntsandstein

La representación de los datos de presiones en función de la profundidad (ver figura 48), parece indicar una zona superior sobrepresionada (700-900 mts.) que corresponde a los

tramos Dogger-Lias, ya que estos tramos permeables se encuentran cerrados lateralmente por el Terciario, debido a la estructura anticlinal erosionada existente. Esta sobrepresión sobre el resto de las formaciones permeables más profundas, también indica una desconexión hidráulica entre estos y los almacenes del Rhetiense inferior, Muschelkalk y Bunt, en base a los impermeables que constituyen las anhidritas del Rhetiense, la facies Keuper y las arcillas-evaporitas del M2.

5.2.8.- SONDEO ZARAGOZA-1

La columna estratigráfica cortada por el sondeo Zaragoza-1 (figura 52) permite establecer los siguientes modelos de inyección.

- **Modelo Terciario profundo:** está constituido por la formación Brecha de Alcanar, que marca la discontinuidad terciaria-mesozoica, que se trata de una formación detrítica -brecha calcárea- con cierto carácter permeable. Presenta una potencia de 53 metros. Este almacén presenta una importante cobertera terciaria de arcilla calcárea, yeso masivo y sal, con una potencia de 1193 metros.
- **Modelo Jurásico-Malm:** en base a la existencia de posibles intercalaciones de niveles permeables de calizas en un medio de calizas muy arcillosas y arcillas calcáreas del malm.
- **Modelo Jurásico-Dogger:** constituido por un nivel de calizas de escasa potencia -24 metros- a techo de Dogger, con cierto carácter permeable, cubiertas por las calizas arcillosas y arcillas calcáreas del Malm.
- **Modelo Jurásico-lias:** por la existencia de un nivel de

calizas permeables a muro del Lias, con un espesor de 50 metros, cubiertas por arcillas margosas y calizas arcillosas del Lias.

5.2.8.1.- Estratigrafía y Litología

A continuación se describen con detalle los materiales atravesados por el sondeo:

* Terciario (DE 0 a 1730 m.) -1730 metros de espesor-

- 0- 37: calizas, gravas y yesos.
- 37- 342: yeso masivo.
- 342- 484: arcilla muy calcárea, intercalada con calizas.
- 484- 710: yeso, sal y arcilla calcárea.
- 710-1677: arcilla calcárea y yeso masivo.
- 1677-1730: Brecha calcárea -brecha de Alcanar-.

* MALM (DE 1730 a 1896 m.) -166 metros de espesor-

- 1730-1798: calizas grises muy arcillosas, algo micáceas con arcillas grises, carbonáceas.
- 1798-1896: arcillas grises, calcáreas, micáceas, carbonosas, con fracturas rellenas de calcita y anhidrita. Calizas arcillosas oscuras.

* DOGGER (DE 1896 a 2001 m.) -105 metros de espesor-

- 1896-2001: caliza parda, arcillosa, glauconítica, con pasadas de arcilla calcárea, piritosa, fosilíferas. Arcillas más abundantes en la base.

* LIAS (DE 2001 a 2107 m.) -106 metros de espesor-

- 2001-2090: arcillas gris oscuro margosas y calizas grises arcillosas.
- 2090-2107: calizas arcillosas.

* RHETIENSE (DE 2107 a 2252,8 m.)

2107-2252,8: dolomía beige y anhidrita blanca, más abundante hacia la base, con presencia de arcillas negras.

5.2.8.2.- Estructura geológica

En superficie está recubierta por niveles de margas con yesos del Oligoceno.

Esta estructura está formada por las formaciones superiores del Mesozoico sobre las que se encuentra discordante el terciario. Corresponde a una forma anticlinal de eje SW-NE. En base a la información aportada por la sísmica parece presentar cierres periclinales.

Asociadas a estas estructura anticlinal aparecen una serie de fracturas normales en el flanco sur de la estructura.

5.2.8.3.- Resultados de la interpretación de las diagrafas y pruebas

Los resultados de la interpretación de las diagrafas se han expuesto en la tabla que se presenta a continuación.

Hay que destacar de estos resultados la elevada salinidad calculada para las aguas de formación de los diferentes tramos analizados, lo que indica que estas formaciones, por otra parte a gran profundidad y con una cobertera terciaria muy impermeable de gran potencia, no han sido "lavadas" por aguas meteóricas, se trata de verdaderas salmueras que corresponden a las aguas intraformacionales, lo que es un claro indicio del aislamiento que presentan estas

formaciones permeables profundas.

EDAD	TRAMO		Vsh(%)	SP mV	T*(°C)	Rmfeg	Salinidad(ppm)
TERCI.	1677	1730	10	+ 25	62-63	0.030	50.000
MALM	1730	1775	40	+ 10	63-64	0.030	80.000
MALM	1790	1820	35	+ 5	65-66	0.029	100.000
MALM	1830	1875	45	+ 5	66-67	0.029	100.000
DOGGER	1900	1920	35	+ 5	68-69	0.028	105.000
DOGGER	1935	1970	35	+ 7	69-70	0.028	80.000
DOG-LI	1970	2001	50	+ 5	70-72	0.028	110.000
LIAS	2025	2075	30	+ 5	72-73	0.028	110.000
LI-RHE	2080	2150	20	+ 10	73-75	0.028	110.000

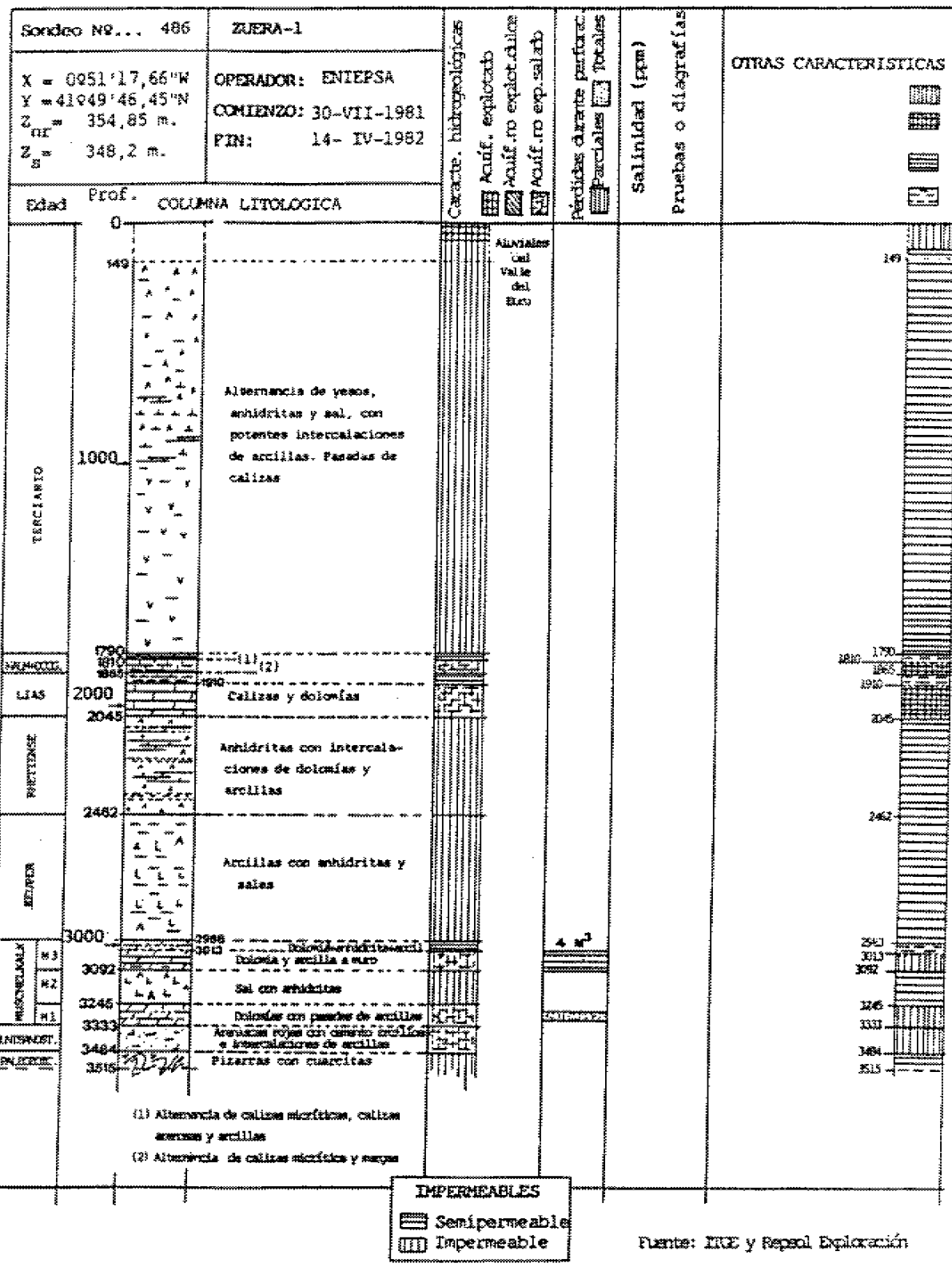
Gradiente térmico: 0.028 °C/m /-/ $T^* = 78 - [(0.028 * (2252,2 - H))]$ (H en metros)

Los resultados de los ensayos DST se muestran en la lámina correspondiente al sondeo -figura 52-, donde se ofrecen datos de volúmenes recuperados, presiones de formación y niveles piezométricos calculados para cada formación testada.

5.2.9.- SONDEO ZUERA

La columna estratigráfica correspondiente al sondeo Zuera-1 (figura 53) permite establecer los siguientes modelos de inyección:

- **Modelo Jurásico superior**, en base a unas calizas, calizas arenosas y margas de edad Malm-Dogger, que aparecen como techo del zócalo mesozoico y en contacto con la potente serie terciaria (1790 metros) de evaporitas y arcillas terciarias que servirían de cobertera.



Fuente: INGE y Repsol Exploración

FIGURA 53

- **Modelo Jurásico inferior**, se establece teniendo en cuenta las calizas y dolomías del Lias como posible almacén, y un paquete de margas existente a techo del Lias, de unos 45 metros de espesor y extensión lateral importante, pues aparecen también a techo del Lias en el sondeo Zaragoza-1.
- **Modelo Muschelkalk superior**, donde las dolomías del M3 actuarían como almacén y las arcillas y sales del Keuper (526 metros de potencia) como cobertera.
- **Modelo Muschelkalk inferior**, considerando las dolomías arcillosas del M1 como almacén y la sal con anhidritas del M2 como cobertera.
- **Modelo Triásico profundo**, en base a posibles niveles permeable de areniscas en el Buntsandstein.

5.2.9.1.- Estratigrafía y Litología

A continuación se describen con detalle los materiales atravesados por el sondeo:

- * **TERCIARIO (DE 0 a 1790 m.)** -1790 metros de espesor-
 - 0-1790: alternancia de yesos, anhidritas y sal, con potentes intercalaciones de arcillas. Pasadas de calizas.
- * **MALM-DOGGER (DE 1790 a 1865 m.)** -75 metros de espesor-
 - 1790-1810: alternancia de calizas, calizas arenosas y arcillas.
 - 1810-1865: alternancia de calizas micríticas y margas.
- * **LIAS (DE 1865 a 2045 m.)** -180 metros de espesor-
 - 1865-1910: margas.

1910-2045: calizas y dolomías.

* RHETIENSE (DE 2045 a 2462 m.) -417 m. de espesor-

2045-2462: anhidritas con intercalaciones de dolomías y arcillas.

* KEUPER (DE 2462 a 2988 m.) -526 metros de espesor-

2462-2988: arcillas con anhidritas y sales.

* MUSCHELKALK (DE 2988 a 3333 m.) -345 metros de espesor-

2988-3013: dolomías, anhidritas y arcillas (M3).

3013-3092: dolomías con arcillas en la base (M3).

3092-3245: sal con anhidritas (M2).

3245-3333: dolomías con pasadas de arcillas (M1).

* BUNTSANDSTEIN (DE 3333 a 3484 m.) -151 m. de espesor-

3333-3484: areniscas rojas con cemento arcilloso e intercalaciones de arcillas.

* PALEOZOICO (DE 3484 a 3515 m.)

3484-3515: pizarras con intercalaciones de cuarcitas.

5.2.9.2.- Estructura geológica

Los niveles almacenes propuestos en los modelos de inyección se sitúan por debajo de un importante paquete terciario que corresponde a una monótona alternancia de formaciones detríticas y evaporíticas con intercalaciones de caliza más o menos margosas. En cuanto a su posición tectónica, las formaciones aparecen subhorizontales en superficie, pero en profundidad se encuentran afectadas por suaves plegamientos, de intensidad creciente hacia los niveles más inferiores.

Bajo esta potente serie terciaria se encuentra un Mesozóico incompleto, con determinadas lagunas estratigráficas pero en el que faltan generalmente diferentes pisos, como consecuencia de procesos erosivos asociados a la tectónica alpina.

El contacto del Terciario con el Mesozóico es ligeramente discordante y la intensidad de sus pliegues poco considerable, no detectándose ningún sistema de fallas. El sondeo se encuentra situado sobre un pliegue anticlinal de dirección SW-NE, afectado por una serie de fracturas normales en los flancos del mismo.

Bajo el Mesozóico aparece el basamento hercínico de formaciones paleozóicas.

5.2.9.3.- Resultados de la interpretación de las diagramas y pruebas

La escasez de datos no permite obtener resultados para todos los posibles niveles almacén descritos en los modelos de inyección a priori.

Sólo se han podido obtener resultados para los niveles triásicos, que aparecen en la siguiente tabla:

TRAMO Nº	EDAD GEOLOGICA	INTERVALO	LITOLOGIA	V_{gh} (%)	Sonic $\mu s/ft$	ϕ_s (%)
1	Musch. 3	2988-3013	DOLO.+ARCI.	30-45	50-60	8-12
2	Musch. 3	3013-3085	DOLOMIA	15-25	47	5
3	Musch. 3	3085-3092	DOLO.+ARCI.	25-55	50-65	10-20
4	Musch. 1	3245-3333	DOLO.+ARCI.	15-30	45-55	5-10
5	Buntsandst.	3333-3484	AREN.+ARCI.	0-100	65-70	8-12

5.3.- CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DETALLADO DE LOS SONDEOS PROFUNDOS

Como resumen de los datos obtenidos del estudio detallado de los sondeos petroleros realizados en la provincia de Zaragoza, se pueden subrayar las siguientes conclusiones relativas a los almacenes seleccionados:

BUNTSANDSTEIN

Constituido por los niveles areniscosos permeables no presentan gran continuidad lateral.

El Buntsandstein está constituido por arcillas rojas con areniscas (facies Röt) a techo, arcillas y areniscas intercaladas, y en la base, arcillas, areniscas y limonitas e incluso microconglomerados. En algunos sondeos a techo del Bunt aparecen arcillas con yesos.

Su potencia media es de 160 mts, en el conjunto de sondeos que lo interceptan, oscilando entre 20 y 230 mts (si se exceptua el sondeo Calpe-1). Los valores de porosidad y contenido en arcillas obtenidos de la interpretación de las diagrañas se resumen en el siguiente cuadro:

SONDEO	φ (%)	p (%)
Ebro-1	8-12	10-20
Chiprana-1	10-15	10-25

Los valores de permeabilidad son muy variables, ya que se trata de niveles de areniscas heterogéneas, de forma que en ciertos sondeos se estiman valores de permeabilidad muy bajos (2 m/día en el sondeo Ebro-1), mientras que otros se

calculan valores de 340 m/día. Un término medio lo constituye el sondeo Chiprana-1 donde se obtienen valores medios de 83 m/día. La salinidad es muy alta, siempre por encima de 50 g/l.

La capa confinante de este almacén está constituida por las arcillas rojas con areniscas (facies Röt) del techo del Bunt.

MUSCHELKALK INFERIOR

El almacén está constituido por el paquete de dolomías y dolomías calcáreas, con arcillas y anhidritas del Muschelkalk inferior -M1-. La potencia media de este paquete es de 86 metros. Se trata de un nivel de gran continuidad y espesor constante (la potencia varía entre 62 y 102 mts.).

Según los informes analizados se detectaron pérdidas totales en Zuera y La Zaida, si bien los valores de porosidad y permeabilidad calculados no son muy elevados:

SONDEO	φ (%)	p (%)	K (m/día)
Ebro-1	2- 7	3- 5	1
Chiprana-1	10	5	-

La salinidad del fluido de formación es siempre superior a 65 g/l, estando totalmente desconectado de la superficie.

La capa confinante está formada por las arcillas, anhidritas y sales (ocasionalmente dolomías y margas) del Muschelkalk medio -M2-.

La potencia de este nivel es variable debido a lo plástico -incompetente- de estas formaciones. La potencia media es de 150 metros, oscilando entre 3 y 315 mts.

Tiene gran continuidad en toda la Depresión del Ebro, constituyendo una cobertera muy importante.

MUSCHELKALK SUPERIOR

El almacén está constituido por las dolomías, dolomías arcillosas y anhidríticas (calizas en el sondeo Caspe-1) del Muschelkalk superior -M3-, de gran continuidad y espesor constante. La potencia media es de 115 metros (variable entre 95 y 125 mts.).

Los parámetros calculados ofrecen los siguientes valores:

SONDEO	φ (%)	p (%)	K (m/día)	SALINIDAD g/lClNa
La Zaida-1	-	-	90	65
Ebro-1	2- 7	3- 5	1	65
Ebro-2	3- 8	-	-	200
Zuera-1	<7	-	-	-

Según esta tabla la porosidad es inferior al 8%, y el contenido en arcilla es bajo. La permeabilidad es variable, y la salinidad es siempre superior a 65 g/l. La formación confinante está constituida por las arcillas, margas abigarradas, anhidritas y sales del Keuper. Se trata de un paquete muy impermeable y de gran continuidad, potencia variable (potencia media de 219 metros, oscilando entre 86-491 mts.), dado su carácter plástico. Este carácter incompetente propicia la existencia de disarmonias entre los niveles cretácicos-jurásicos y los triásicos, más competentes.

MODELO RHETIENSE

El almacén se selecciona en base al nivel de dolomías con anhidritas situado en la base o muro del Rhetiense. Se trata de una formación dolomítica-anhidrítica (formación Imón) con carácter permeable y potencia media de 40 mts, si bien más al centro de la Depresión del Ebro han sido cortadas potencias para este nivel de 60 a 80 metros.

En la siguiente tabla se resumen los parámetros calculados para este nivel permeable en los diferentes sondeos:

SONDEO	φ (%)	p (%)	K (m/día)	SALINIDAD g/lClNa
La Zaida-1	-	-	100	55
Ebro-1	5- 8	5	1,6	135
Ebro-2	10	-	-	211
Chiprana-1	8	5	-	-
Lopín-1	2	10	-	60

Valores de porosidad entre 5 y 1 son normales, con bajo contenido en arcillas (<5 %) y permeabilidad variable, presentando mejores características hidráulicas en la zona de La Zaida. La salinidad siempre es superior a los 55 g/l.

Este almacén está sellado por la formación anhidrítica del Rhetiense, con una potencia media de 100 mts. en la zona de La Zaida, pero que aumenta de espesor hacia el centro de la cuenca, alcanzando valores superiores a los 400 mts. Este nivel anhidrítico con dolomías intercaladas de pequeño espesor relativo, presenta gran continuidad y potencia, constituyendo una importante cobertera.

LIASICO

El almacén está constituido por las dolomías y calizas, y dolomías anhidríticas de base (carniolas de la formación Cortes de Tajuña) de edad Rhetiense.

El paquete liásico, que presenta además de estos niveles permeables, una serie de intercalaciones (sobre todo a techo), de calizas arcillosas y margas de carácter semipermeable, presenta una potencia media de 185 metros, oscilando entre 150 y 260 mts., constituyendo un nivel de gran continuidad lateral.

Los parámetros calculados para estos niveles permeables en los diferentes sondeos presentan los siguientes valores:

SONDEO	φ (%)	p (%)	K (m/día)	SALINIDAD g/lClNa
Gelsa-1	-	-	-	>100
Ebro-1	15	10	540	-
La Zaida-1	-	-	-	35
Lopín-1	8-15	10	-	40-45
Chiprana-1	15	5	-	45-50
Zaragoza-1	3- 5	20-60	-	110

Se deduce de esta tabla que valores de porosidad de 10-15% son normales, y contenidos en arcillas de 5-10%, excepto en el sondeo Zaragoza-1, donde se calculan contenidos en arcillas oscilantes entre el 20% y el 60%, y se trata de un Lias más arcilloso que en la zona de La Zaida. La permeabilidad calculada en el sondeo Ebro-1 para la formación de carniolas del muro liásico es de 540 m/día, donde se estima un contenido en dolomía del 80%, 10% de

arcillas y 10% de yesos y anhidritas.

El confinante de este almacén está constituido por los niveles de calizas margosas y margas del techo del Lías. Si bien estos niveles semipermeables-impermeables no presentan continuidad, constituyendo un sello local.

En algunos casos pueden ser las calizas margosas y margas de la base del Dogger la cobertera de estos almacenes liásicos, o bien, el potente paquete de materiales terciarios, cuando estos se apoyen directamente sobre el Lias, en clara discordancia.

DOGGER

El almacén está seleccionado en base a las calizas y calizas arcillosas del Dogger. Este nivel presenta intercalaciones permeables junto a otras de carácter semipermeable-impermeable (margocalizas y margas) El conjunto presenta un potencia media de 85 metros, oscilando entre 80 y 145 mts.

Las intercalaciones permeables, sin gran continuidad lateral, presentan los siguientes parámetros:

SONDEO	φ (%)	p (%)	K (m/día)	SALINIDAD g/lClNa
Gelsa-1	-	-	-	70
La Zaida-1	-	-	-	40
Lopín-1	3	15	-	40
Chiprana-1	3	5	-	-
Zaragoza-1	4	35	-	80-100

No se han obtenido datos de permeabilidad, pues el único ensayo DST sobre esta formación se realizó en el sondeo La Zaida, sobre materiales del Malm-Dogger, en el que no se recuperó agua de la formación, lo que es un indicio claro de la baja permeabilidad de estos materiales del Jurásico superior.

Los bajos valores de porosidad y los altos contenidos en arcillas indican el escaso interés general de este nivel.

La misión confinante estaría realizada por los tramos de margocalizas y margas del Dogger, o bien por las margas y margocalizas del Malm, o por el potente paquete terciario de carácter semipermeable-impermeable, cuando este se apoye directamente sobre el Dogger.

MALM

El paquete almacén del Malm está constituido por intercalaciones de calizas, margas y margocalizas. El conjunto presenta un potencia media de 190 metros, oscilando entre 125 y 825 mts. (sondeo Gelsa).

No se obtuvieron datos sobre los diferentes parámetros asociados a estos niveles, sólo en el sondeo Zaragoza-1 se pudo calcular un valor de salinidad de 80-100 g/l para las calizas del Malm; y en el sondeo La Zaida-1, el ya citado ensayo DST sobre el Malm-Dogger en el que no se recuperó agua de la formación. La baja permeabilidad y discontinuidad de la formación le concede una pequeña importancia local.

El nivel sellante está constituido por las margas y margocalizas del Malm, o el potente paquete semipermeable-impermeable terciario, cuando se apoya directamente sobre

este en clara discordancia estratigráfica.

CRETACICO

El Cretácico es interceptado por un escaso número de sondeos, en zonas centrales de formas sinclinales del zócalo mesozoico. Normalmente está constituido por un nivel de calizas superior de edad Aptense que podría constituir un almacén de cierto interés, si bien la poca disponibilidad de datos no permite concretar más. El nivel inferior está constituido por margas y margocalizas de edad Neocomiense, que constituye un semipermeable-impermeable importante. Normalmente el Aptense está recubierto por el paquete Terciario que le sirve de cobertera.

TERCIARIO BASAL

El almacén podría estar constituido por el nivel de brechas calcáreas que aparece en el tránsito Terciario-Mesozoico en ciertas zonas (sondeos Ebro-1 y Zaragoza-1). Este nivel suele atribuirse por algunos autores al Cretácico, pero se ha denominado Terciario basal para intentar diferenciar el tramo almacén que lo define de las calizas compactas del cretácico y jurásico.

Este material brechoide puede presentar interesantes condiciones almacén de una manera muy localizada. Como cobertera actúa el paquete terciario.

En síntesis, aunque existan bastantes formaciones que pueden localmente actuar de almacén se pueden seleccionar con carácter general como objetivos para operaciones de inyección las siguientes por orden prioritario:

- Formaciones calcáreas del Lías, especialmente en su base.
- Dolomías con intercalaciones anhidriticas de la base del Rhetiense.
- Formaciones dolomíticas del Muschelkalk.

Geográficamente, la primera tiene mayor interés en la **ZONA DE ZARAGOZA CAPITAL**, ya que en la **ZONA DE LA ZAIDA** se encuentra bastante menos profundas. En esta zona tienen, sin embargo mayor interés las otras dos formaciones, especialmente por sus buenas condiciones hidráulicas.

Los almacenes del Rhetiense y Muschelkalk se encuentra en la **ZONA DE ZARAGOZA CAPITAL** a una excesiva profundidad, lo que podría complicar la viabilidad de una operación de inyección (mayor riesgo y mayor cuantía de las inversiones).

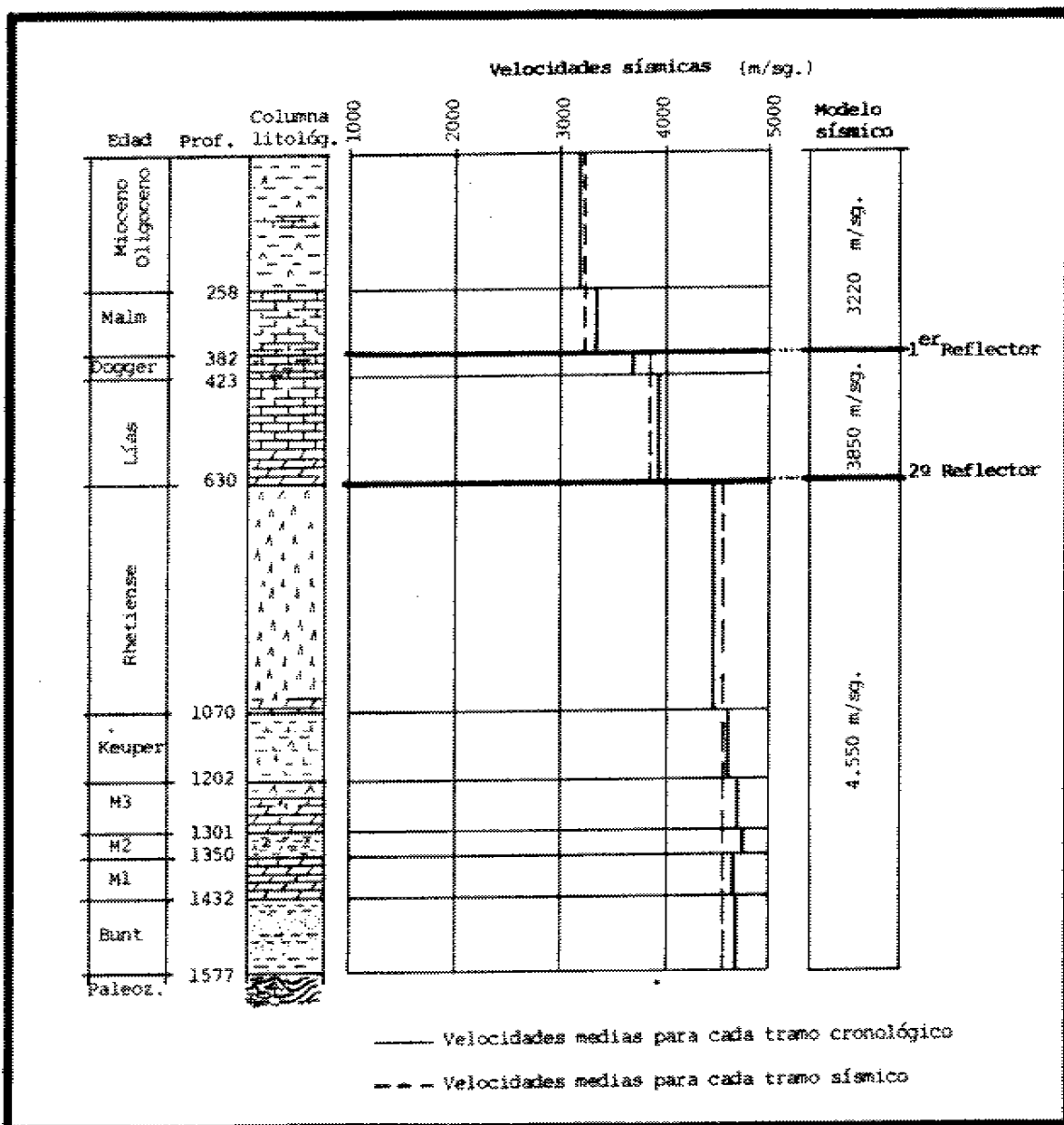
5.4.- ESTUDIO DE LA PROSPECCION SISMICA. CORRELACIONES.

La interpretación de perfiles sísmicos permite efectuar cortes interpretativos del subsuelo y correlaciones fidedignas entre sondeos. Para ello es necesario elaborar modelos sísmicos a partir de los Velocity logs existentes en la información de hidrocarburos.

En el presente estudio se han utilizado para la **ZONA DE LA ZAIDA**, los Velocity logs de los sondeos EBRO-1 (figura 54) y La Zaida (figura 55). Mediante ellos, ha sido posible diferenciar los reflectores correspondientes a los tránsitos Terciario-Mesozóico en general, Dogger-Lías, Lías-Rhetiense y Keuper-Muschelkalk-1.

FIGURA 55

Modelo sísmico construido a partir de los datos del LOG DE VELOCIDADES SISMICAS en el sondeo La Zaida.



Los reflectores del modelo han sido posicionados en función de cambios bruscos en la velocidad de propagación de las ondas.

Utilizando dicha información así como los datos de los sondeos ya expuestos anteriormente se han elaborado los cortes geológicos y correlaciones que se presentan en las figuras 56 a 64 y que abarcan además de la citada ZONA DE LA ZAIDA, la comprendida por los sondeos Ebro-1, Bujaraloz y Caspe-1, poniendo de manifiesto la deposición y estructuración del Mesozóico bajo el Terciario de la Depresión del Ebro, así como la situación de los almacenes seleccionados.

En estos esquemas se pone de manifiesto la existencia de estructuras muy favorables para la inyección en las zonas próximas a La Zaida, en donde, junto a confinamiento vertical pueden apreciarse buenos cierres laterales que evitaría la circulación de fluidos inyectados en dirección sur y suroeste. Asimismo se pone de manifiesto la desconexión estructural entre el Mesozóico profundo de la zona de La Zaida y los afloramientos de la Cordillera Ibérica que constituyen una zona de recarga.

Al objeto de especificar la geología estructural asociada a esta zona, por el interés que puedan tener estos niveles jurásicos como almacenes de inyección, y la necesidad de proteger el preciado recurso que constituyen las aguas subterráneas de la Unidad Muel-Belchite, se han utilizado todos los datos existentes sobre la geología del subsuelo para confeccionar un mapa estructural del mesozoico. Este se muestra en la figura 65. En él se ponen de manifiesto las dos grandes macroestructuras, la asociada al contacto con la Ibérica (denominada macroestructura "Falla Nor-Ibérica") y la asociada al contacto con el Sistema Catalánide.

Asimismo, se pone de manifiesto la existencia de pliegues volcados, e incluso fallados, de dirección Ibérica en la zona SW, con una serie de fracturas normales de orientación NE-SW, perpendiculares a las estructuras anteriormente citadas. Esta macroestructura provoca una compartimentación de los niveles superiores del Jurásico que podría dar lugar a cierres

FIGURA 56

CORTE GEOLOGICO SOBRE EL PERFIL SISMICO ZA-27 Y CORRELACION
 PARA LOS SONDEOS LOPIN-1 Y LA ZAIDA -1.

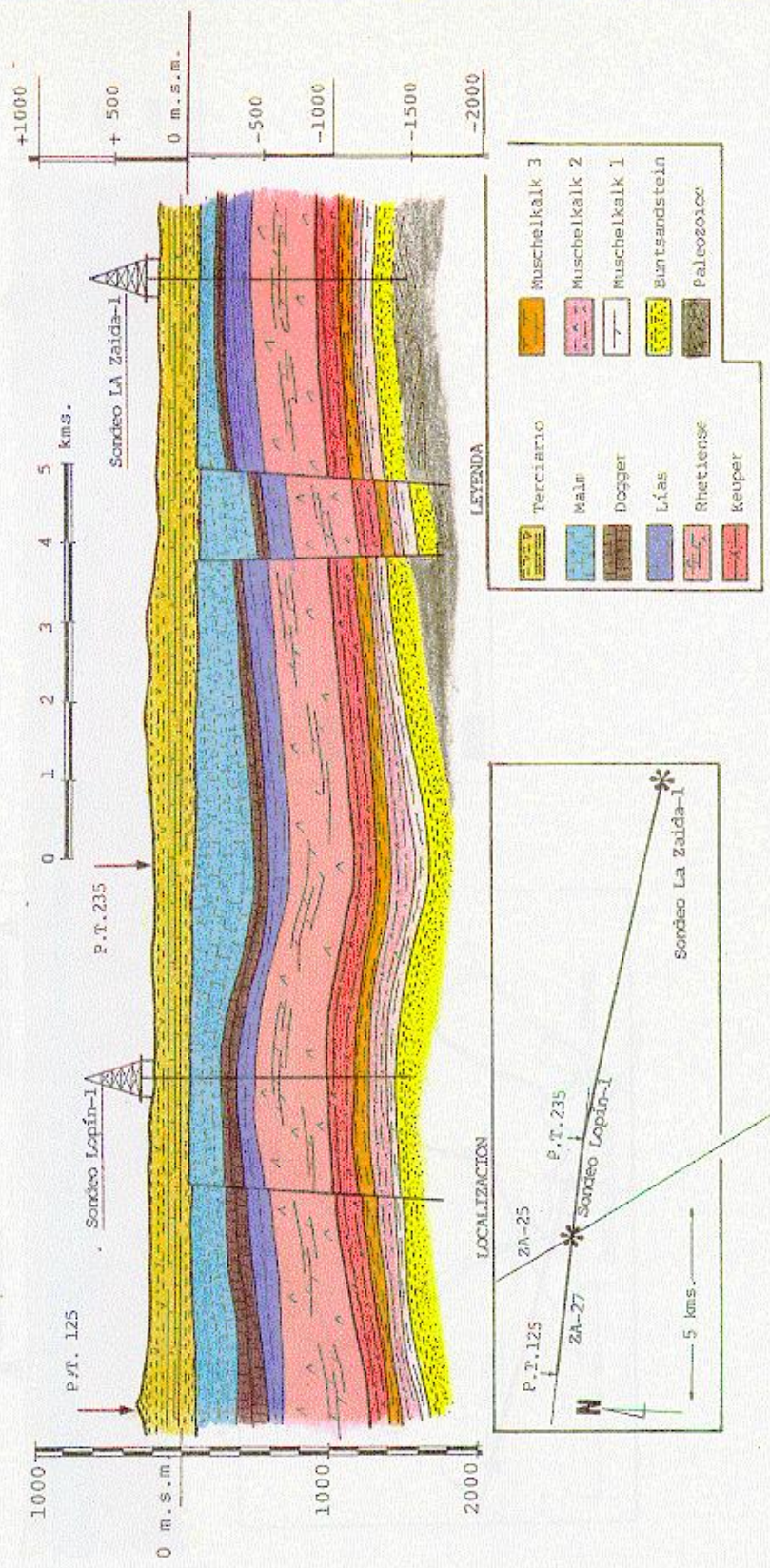
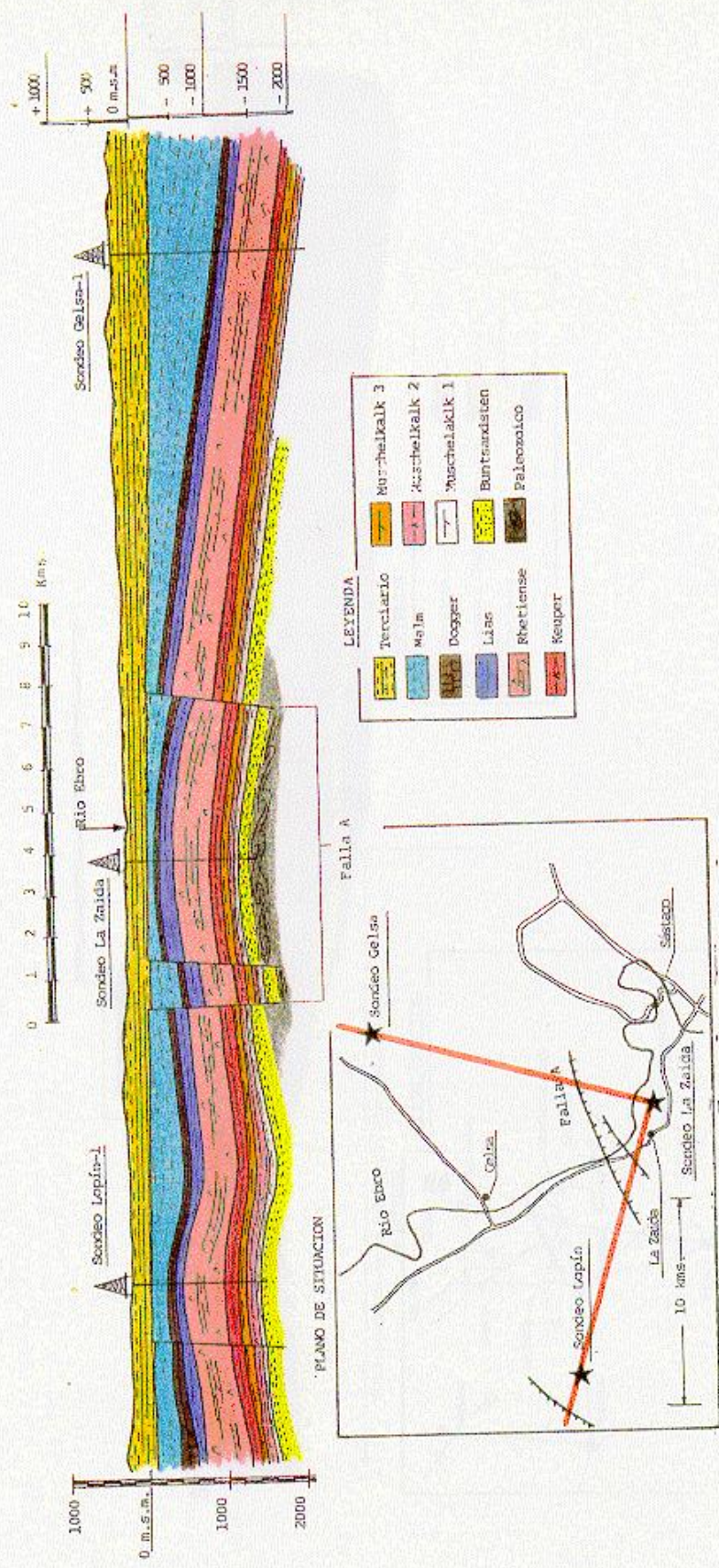


FIGURA 57

ENSAYO DE CORTE GEOLOGICO QUE PERMITE LA CORRELACION ENTRE LOS SONDEOS LOPIN-1, LA ZAIDA-1 Y GELSA-1.



LEYENDA

	Terciario		Murchelkalk 3
	Malm		Murchelkalk 2
	Dogger		Murchelkalk 1
	Liase		Buntsandstein
	Rhetienense		Paleozoico
	Keuper		

FIGURA 58

ENSAYO DE CORTE GEOLOGICO CON DIRECCION Norte-Sur PARA LA ZONA DE GELSA-LA ZAIDA-HIJAR

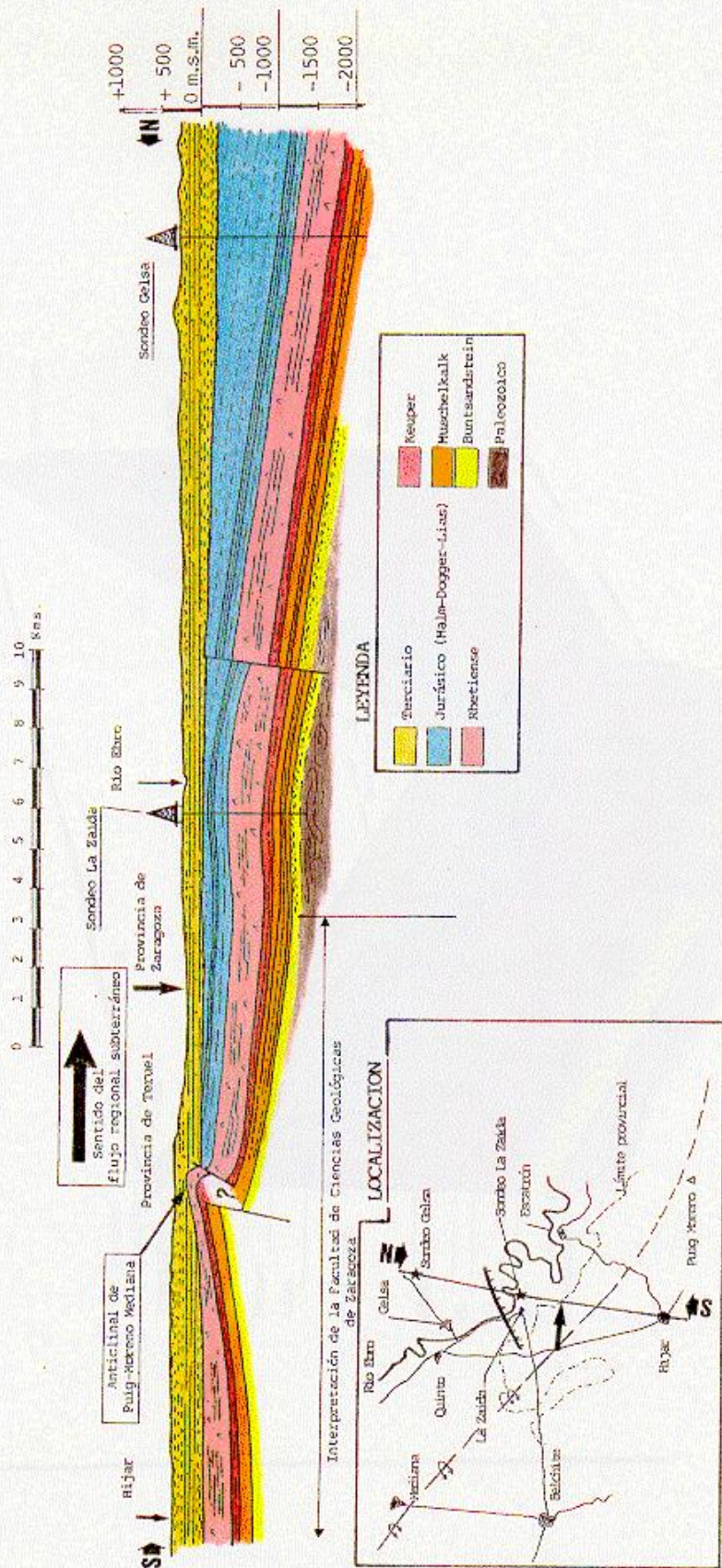
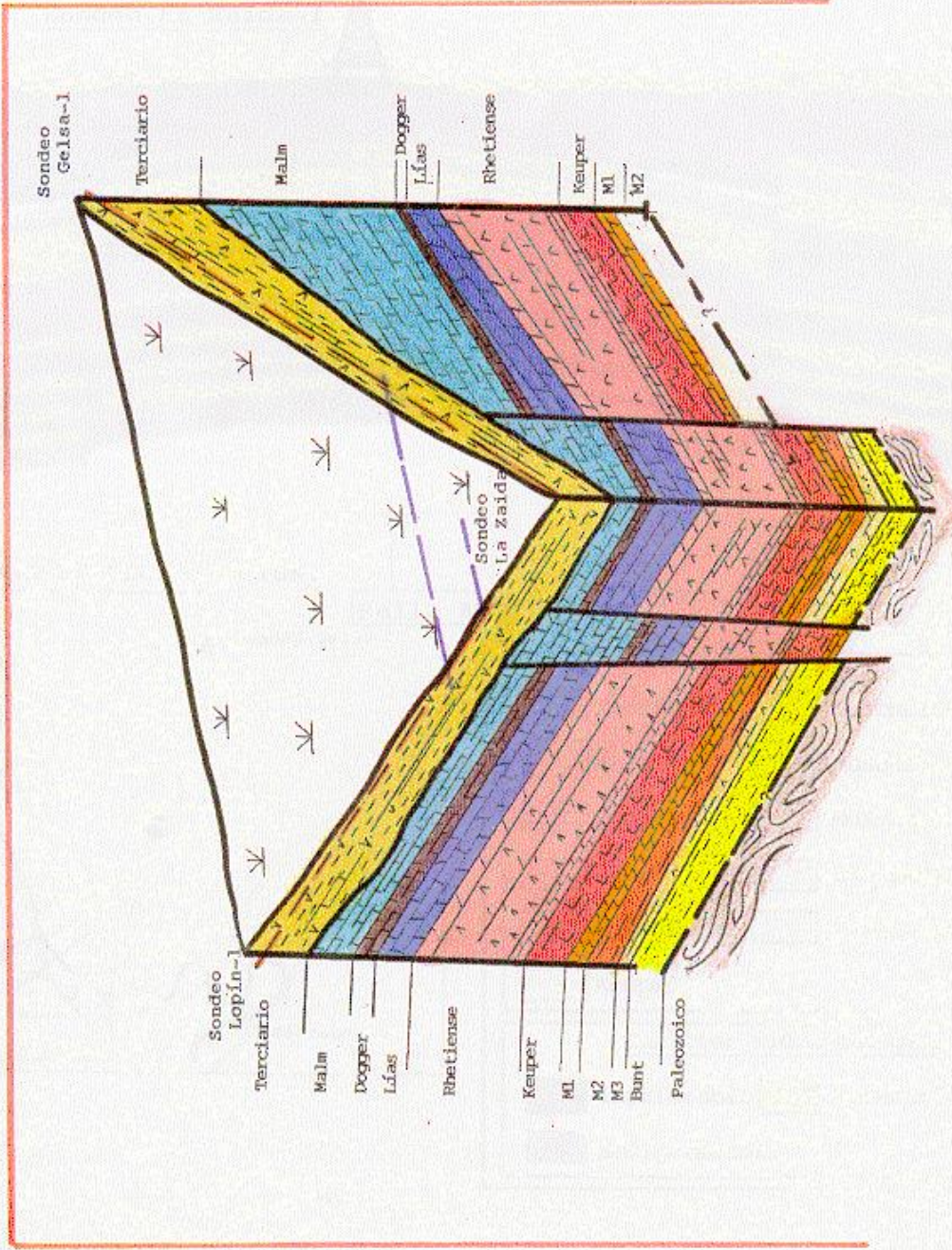
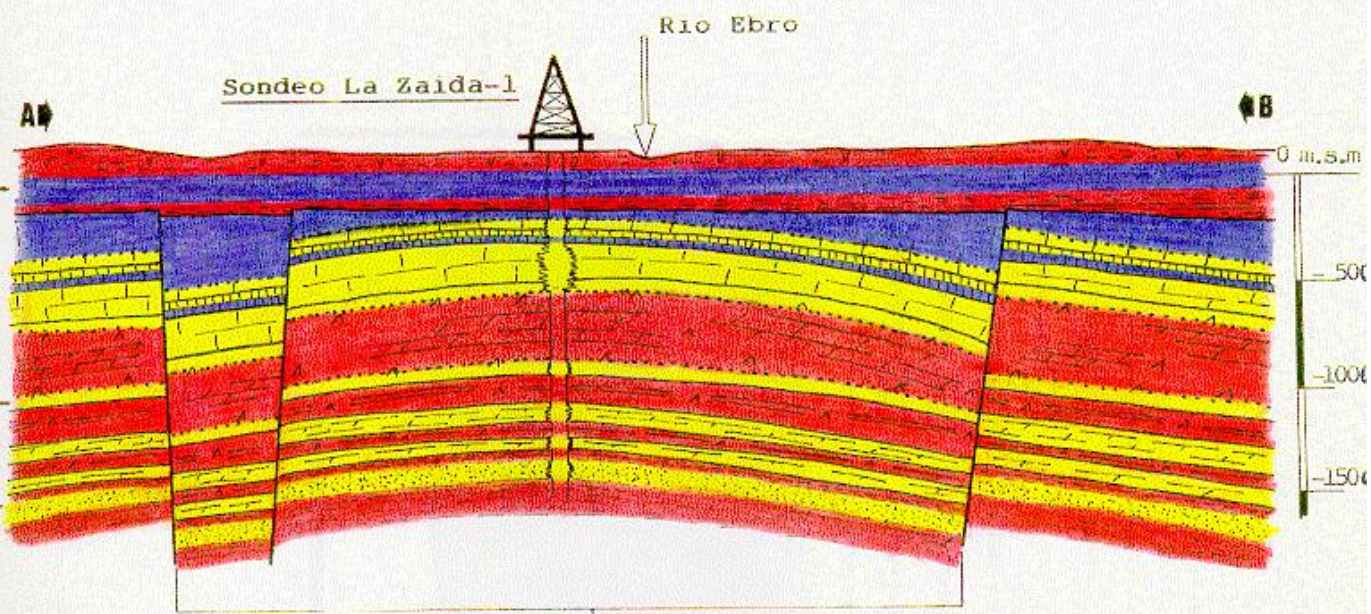
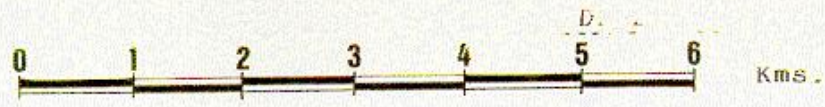
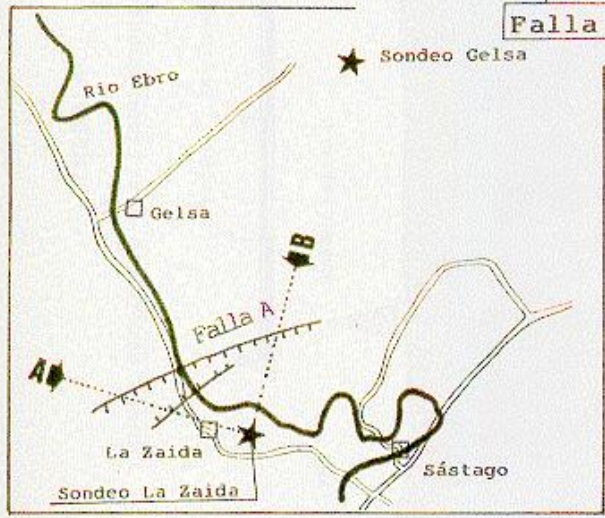


FIGURA 59
 CORRELACION GEOMETRICA PARA LOS SONDEOS
 GELSA-1 LA ZAIDA -1 Y LOPIN-1





PLANO DE LOCALIZACION:



LEYENDA :

Geología			
	Terciario		Muschelkalk 3
	Malm		Muschelkalk 2
	Dogger		Muschelkalk 1
	Lias		Buntsandstein
	Rhethiense		Paleozoico
	Keuper		

Carácter hidrogeológico			
	Impermeable		Permeable
	Semipermeable		

FIGURA 60.- RESULTADOS DEL ESTUDIO DE POSIBILIDADES DE INYECCION EN LA ZONA INDUSTRIAL DE LA ZAIDA

FIGURA 61

CORTE GEOLOGICO REALIZADO SOBRE EL PERFIL SISMICO ZA-25

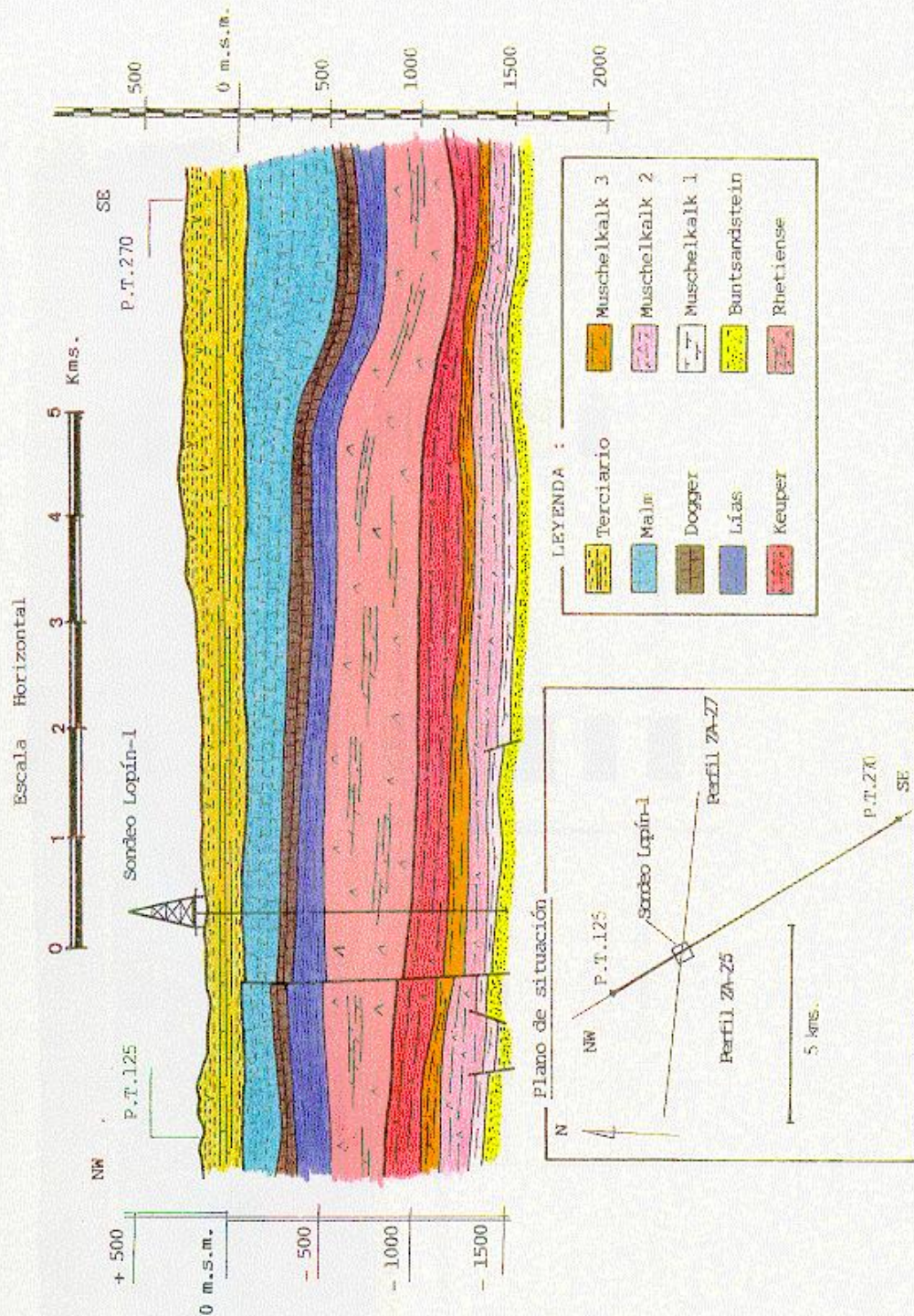
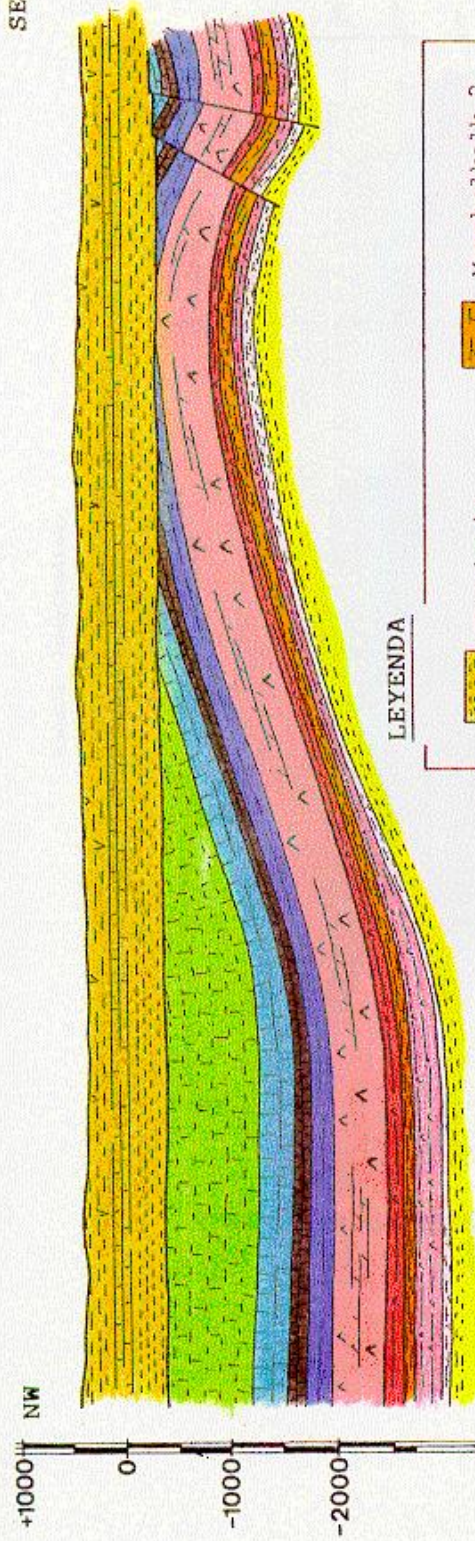


FIGURA 62.- CORTE GEOLOGICO SEGUN EL PERFIL SISMICO LM-2 (Permiso Los Monegros)

Escala horizontal en Kms.



LEYENDA

	Terciario		Muschelkalk 3
	Cretácico		Muschelkalk 2
	Malm		Muschelkalk 1
	Dogger		Buntsandstein
	Lías		Keuper
	Rhetiense		

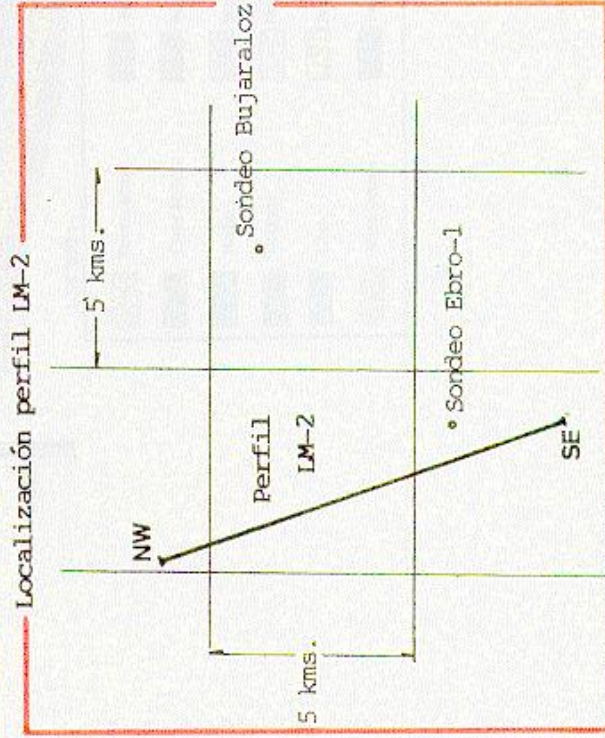


FIGURA 63
 PERFIL GEOLOGICO SOBRE EL PERFIL SISMICO LM-14

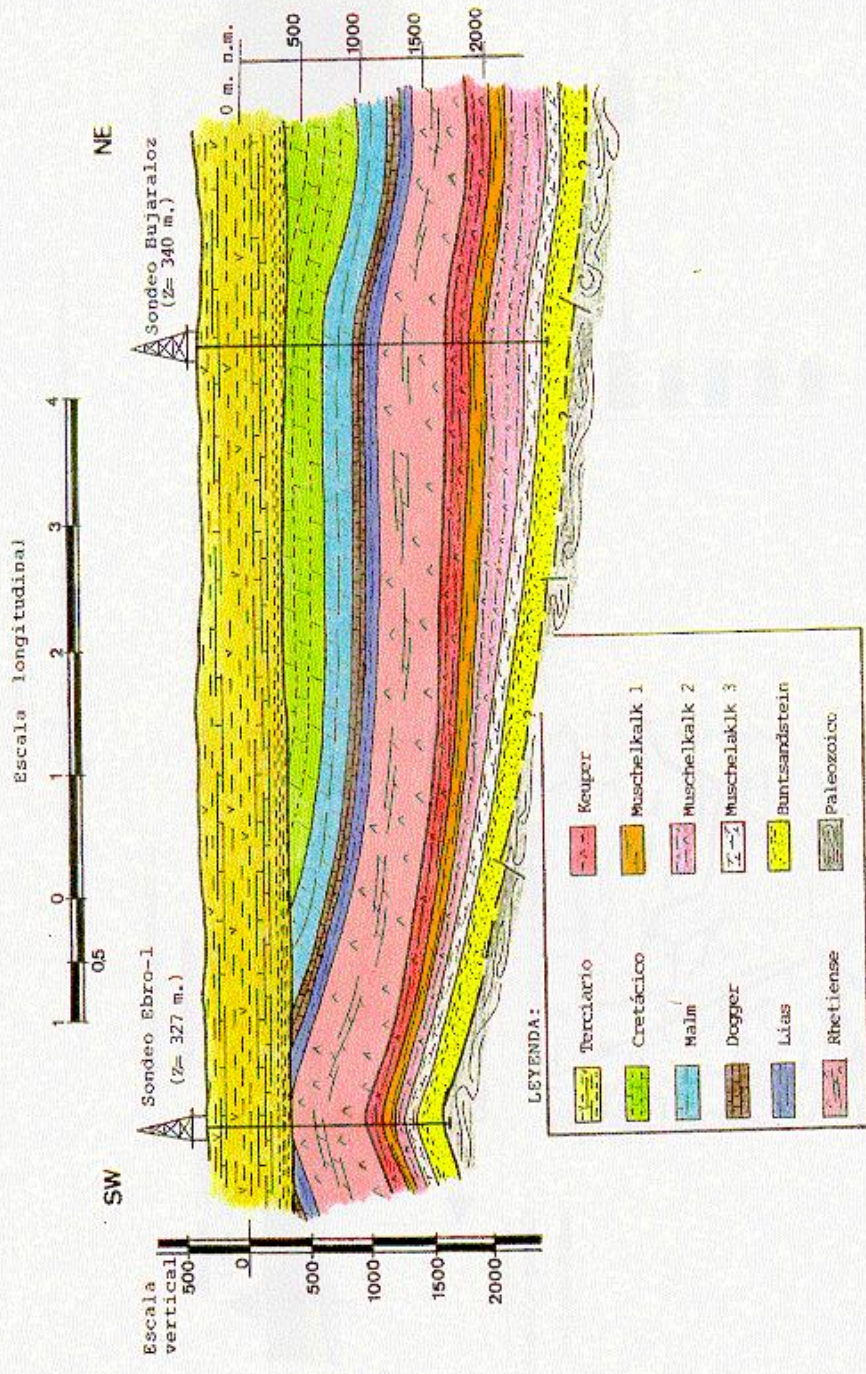
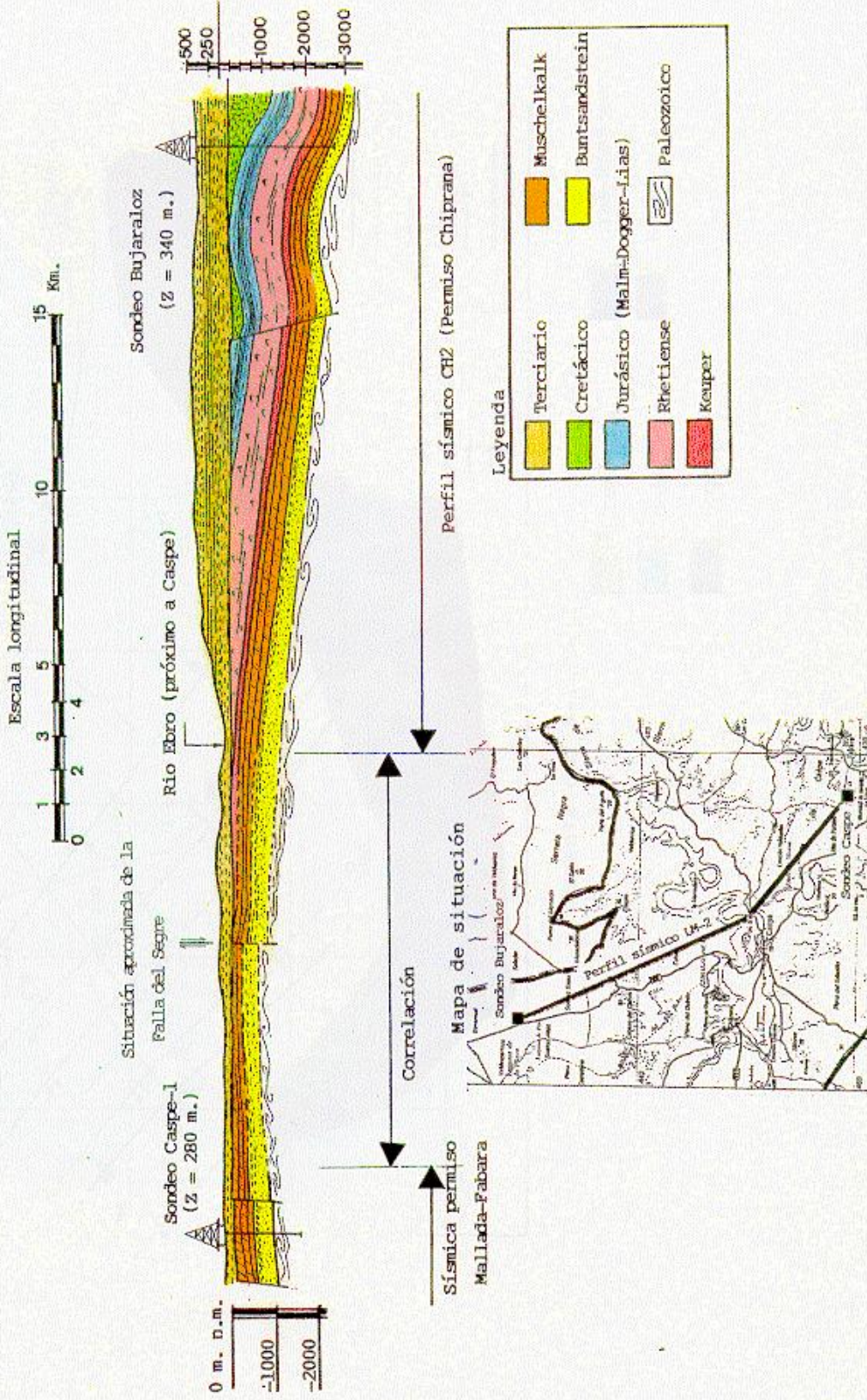
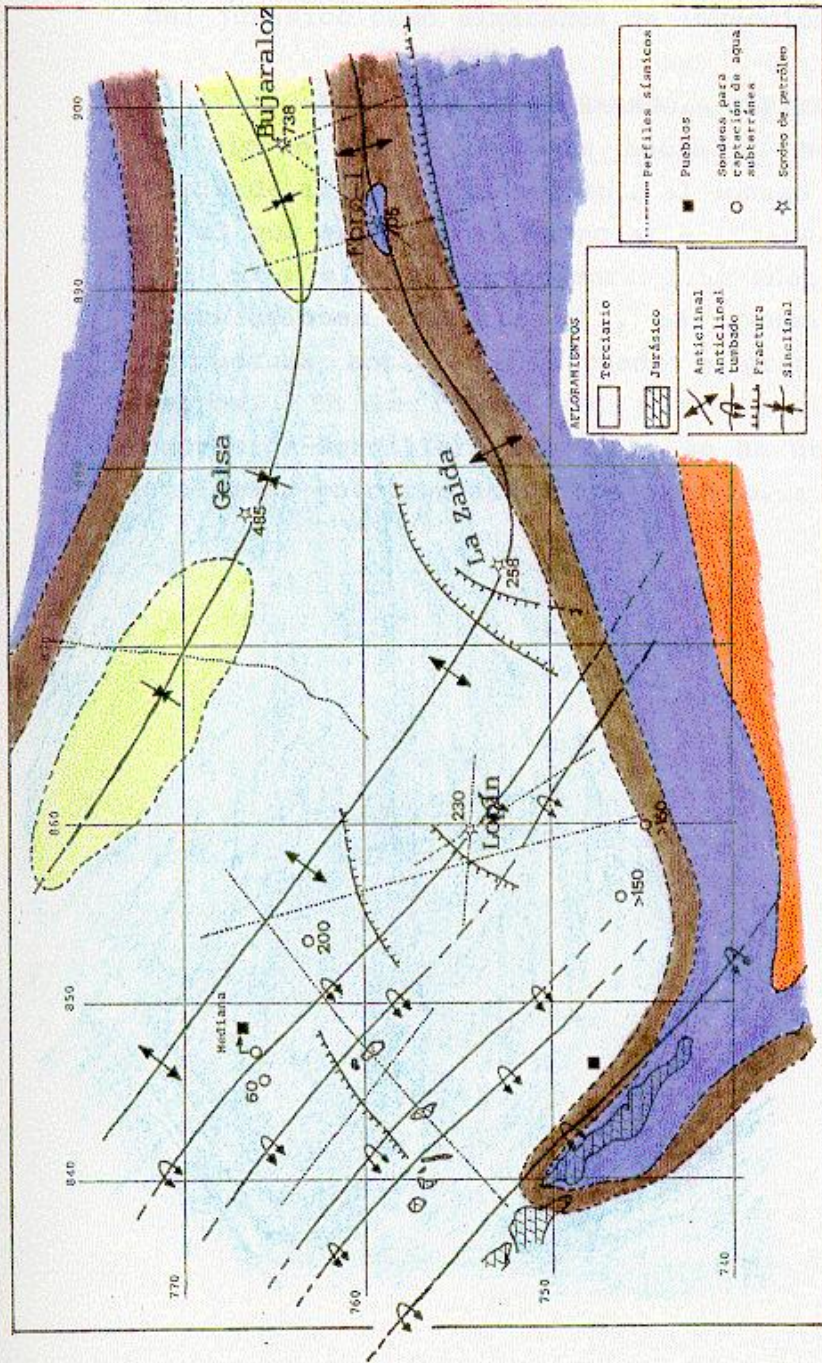


FIGURA 64

ENSAYO DE CORTE GEOLOGICO TRANSVERSAL AL RIO EBRO DESDE EL SONDEO BUJARALOZ-1
 HASTA EL SONDEO CASPE-1, PASANDO POR UN PUNTO PROXIMO A CASPE.





Yacente del Terciario



FIGURA 65

estructurales y desconexiones hidráulicas importantes que justifiquen la posibilidad de utilizar estos niveles permeables del jurásico como almacenes de inyección.

Para la **ZONA DE ZARAGOZA CAPITAL**, los datos utilizados se sitúan geográficamente hacia el Norte. El Velocity log empleado es el correspondiente al sondeo Zaragoza-1 (figura 66), en el que se puede diferenciar el tránsito Terciario-Mesozóico así como el correspondiente Lías-Rhetiense. Los perfiles y correlaciones (figuras 67 y 68) ponen de relieve la amplia estructura anticlinal situada a gran profundidad (≈ 2.000 metros). En la figura 68, para la zona suroeste (contacto Depresión-Cordillera Ibérica), se ha utilizado la información analizada en otros apartados anteriores.

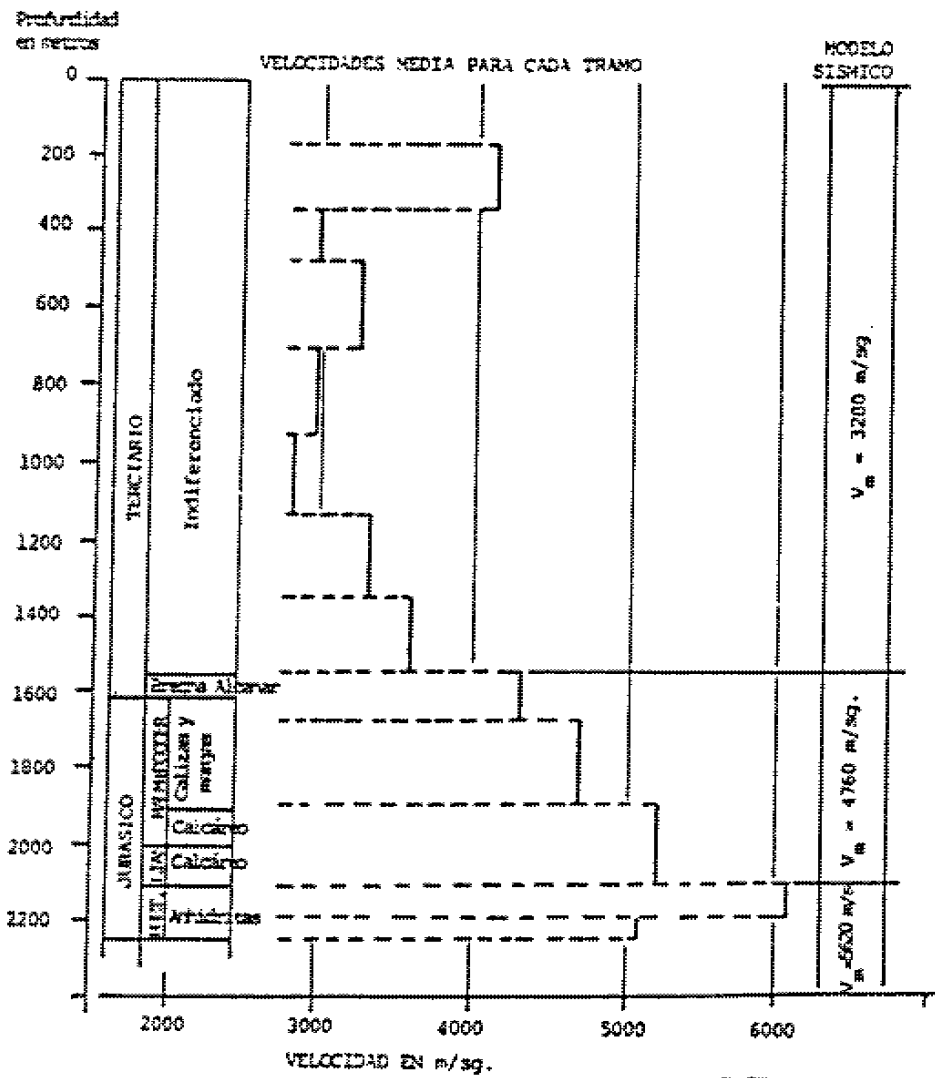
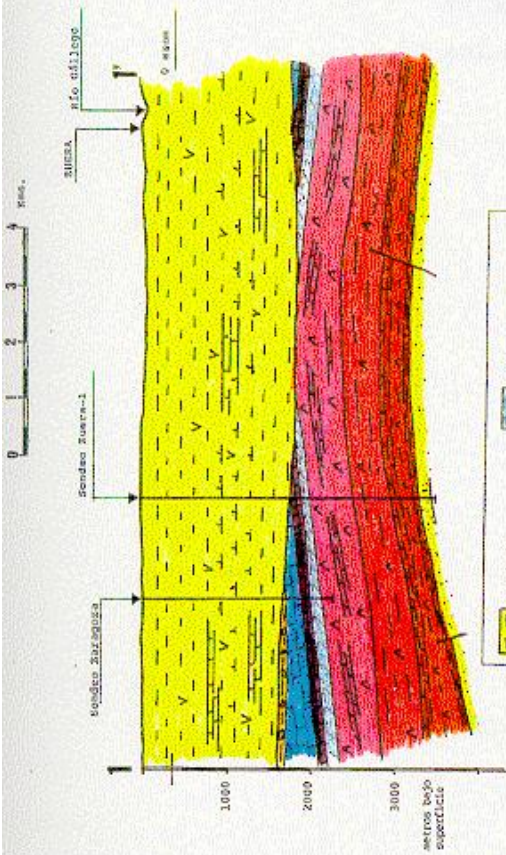


FIGURA 66



	Trascharro		Lido
	Saucha Alcorniz		Melicianas
	Malla		Kespet
	Dogger		Muschelkalk
			Sanandreasin



Punto de intersección con el corte 1-1'

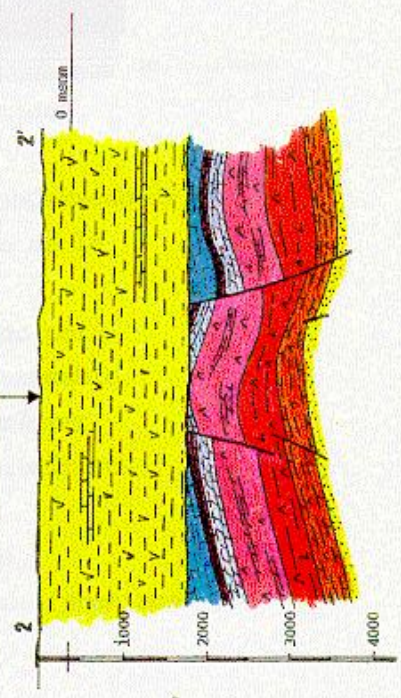


FIGURA 67
 Posición cortes geológicos en el
 permiso Zuera (ZONA NORTE DE ZARAGOZA)

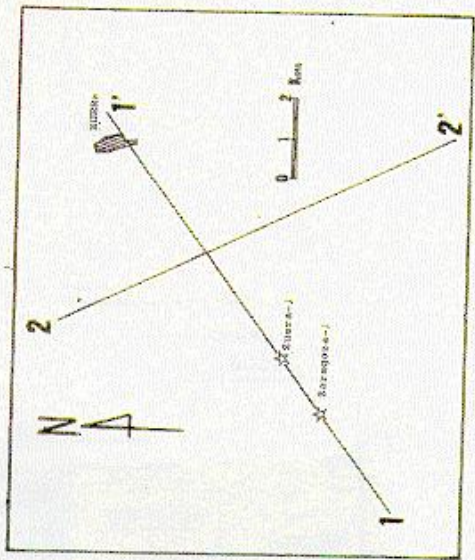
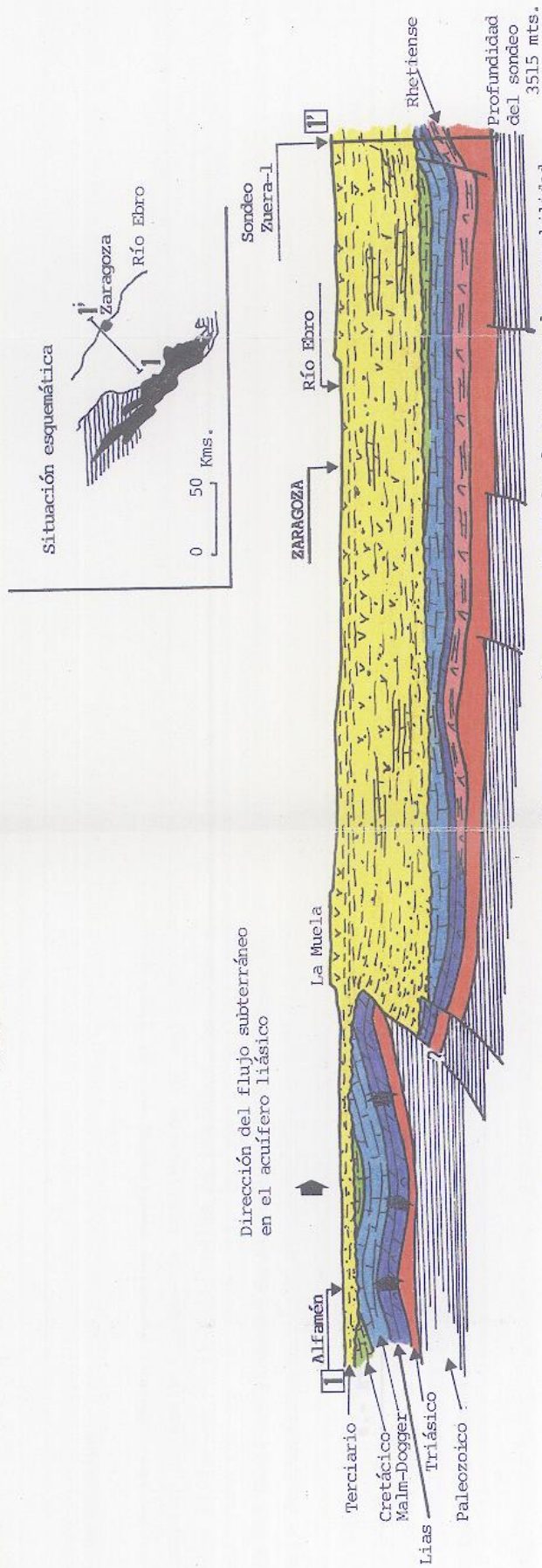


FIGURA 68



Terciario: conjunto de materiales arcillosos, evaporíticos y carbonatados de escasa a nula permeabilidad

Cretácico: calizas y margas

Malm-Dogger: conjunto margo calcáreo, donde se intercalan paquetes permeables, con semipermeables e impermeables

Lias: paquete calizo-dolomítico-evaporítico que constituye el nivel acuífero mesozoico en el Mesozoico de la Depresión del Ebro.

Rhetiense: nivel de gran extensión y potencia en la zona central de la Depresión del Ebro, constituido por anhidritas con niveles dolomíticos intercalados, que en conjunto constituye un potente impermeable, si bien las intercalaciones dolomíticas, siempre de pequeño espesor relativo, presentan carácter permeable. En el Mesozoico de la Depresión del Ebro se habla del Lias-Rhetiense o Lias dolomítico-evaporítico, por la menor importancia de este paquete eminentemente evaporítico.

Triásico: conjunto de materiales de facies Keuper (nivel arcilloso-salífero de gran impermeabilidad), niveles Muschelkalk (M3, dolomítico; M2, arcilloso-salífero y M1, dolomítico) y facies Bunt (areniscas y arcillas).

6.- EVALUACION DE RESIDUOS

6.1.- INTRODUCCION

En los primeros estudios realizados por el ITGE para la evaluación de posibilidades de utilización de estructuras geológicas profundas en la eliminación de residuos, se llevó a cabo una revisión de la producción de éstos, mediante el análisis del Registro Nacional de Actividades Industriales, del Ministerio de Industria.

En esta revisión se puso de manifiesto la concentración de industrias en dos áreas o zonas de la provincia de Zaragoza. La primera de ellas situada a lo largo del río Ebro en las inmediaciones de la ciudad de Zaragoza y su campo de influencia y la segunda concentrada en los alrededores de La Zaida.

Junto a esta concentración de instalaciones industriales que lógicamente producirán un caudal de residuos líquidos que puede llegar a ser importante, se consideró interesante analizar la actual estructura de producción y tratamiento de aguas residuales urbanas.

Hay que señalar las dificultades encontradas para la caracterización de los residuos de las diferentes industrias, debido a la actitud desconfiada de las mismas, por cuanto en la actualidad existe una gran sensibilización al tema de los vertidos en la población.

Como se verá más adelante, una excepción importante ha sido el caso de FORET en La Zaida, que ha colaborado

estrechamente en el proyecto suministrando los datos necesarios para el presente informe. Por ello, ha sido posible avanzar en dicho caso con la elaboración de un análisis teórico de compatibilidad entre residuo que se propone inyectar y formación almacén, y que se expondrá en un próximo capítulo.

6.2.- ZONA DE ZARAGOZA CAPITAL

6.2.1.- INDUSTRIAS

En la figura 69 se presenta la distribución de las principales industrias en los alrededores de Zaragoza. En el cuadro que acompaña al mapa se detallan el tipo y clase de actividad.

Desde el punto de vista de la inyección debería ser objeto de interés especial y, si la viabilidad geológica lo aconsejara, objeto de estudio detallado el siguiente grupo de industrias:

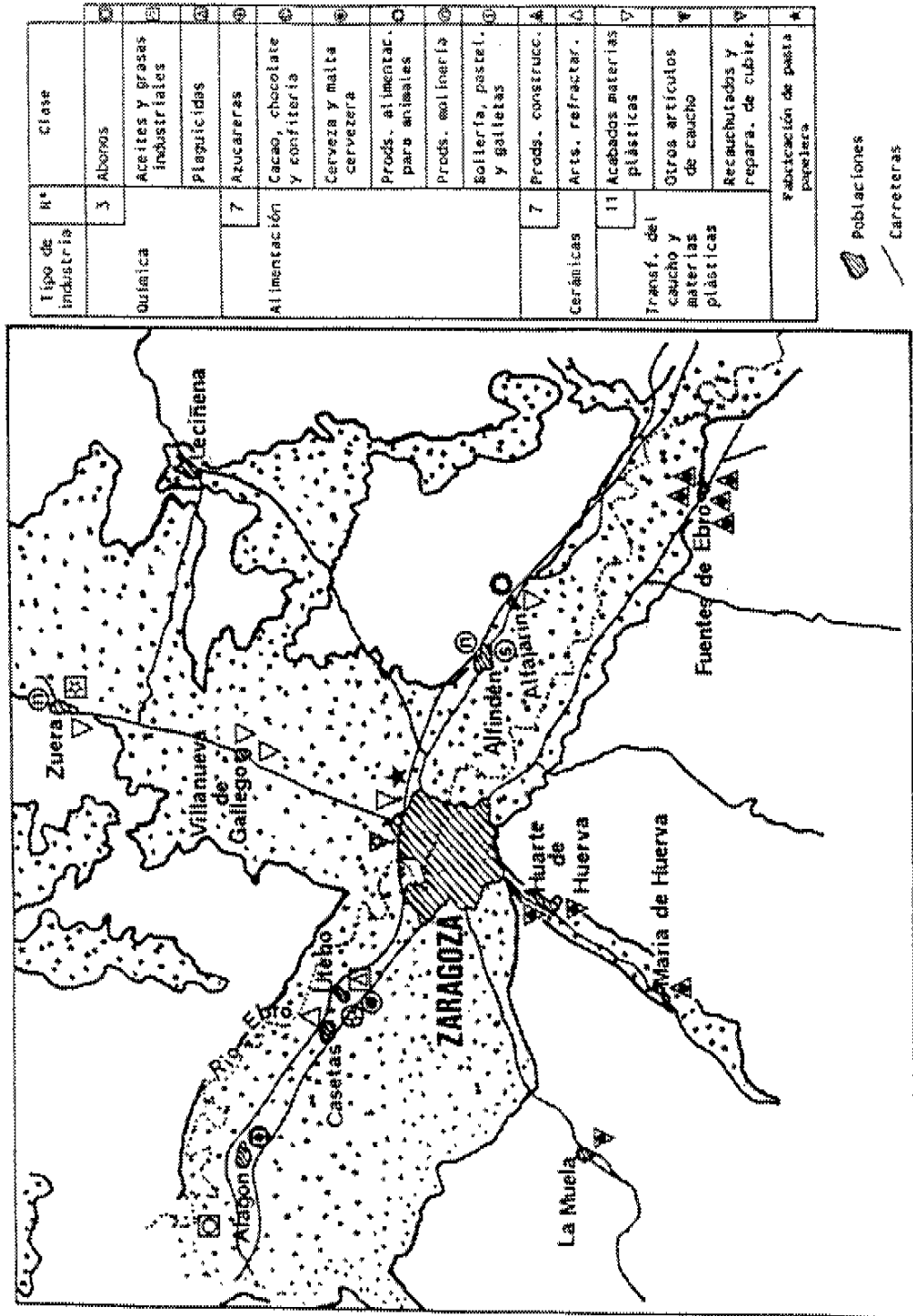
Química: abonos y plaguicidas.

Alimentación: azucarera y cervecera.

Papelera.

Se ha realizado un análisis bibliográfico de las características de residuos de industrias azucarera y papelera por ser los que en principio podrían plantear menos problemas de compatibilidad. En la figura 70 se presentan los cuadros de características para este tipo de industria.

Hay que destacar la necesidad de realizar en ambos un pretratamiento que incida fundamentalmente en DBO₅ y sólidos en suspensión, ya que con los contenidos expresados se podrían plantear a corto plazo problemas de colmatación de los sondeos.



Tipo de industria	N°	Clase
Química	3	Abonos
	7	Plásticos
Alimentación	1	Acidos y grasas industriales
	2	Alimentos
	3	Alimentos
	4	Alimentos
	5	Alimentos
	6	Alimentos
	7	Alimentos
	8	Alimentos
	9	Alimentos
	10	Alimentos
Cerámicas	11	Acabados materias plásticas
	12	Acabados materias plásticas
Industria del caucho y plásticos	13	Otros artículos de caucho
	14	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	15	Recuchutados y repara. de cubie.
	16	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	17	Recuchutados y repara. de cubie.
	18	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	19	Recuchutados y repara. de cubie.
	20	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	21	Recuchutados y repara. de cubie.
	22	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	23	Recuchutados y repara. de cubie.
	24	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	25	Recuchutados y repara. de cubie.
	26	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	27	Recuchutados y repara. de cubie.
	28	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	29	Recuchutados y repara. de cubie.
	30	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	31	Recuchutados y repara. de cubie.
	32	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	33	Recuchutados y repara. de cubie.
	34	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	35	Recuchutados y repara. de cubie.
	36	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	37	Recuchutados y repara. de cubie.
	38	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	39	Recuchutados y repara. de cubie.
	40	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	41	Recuchutados y repara. de cubie.
	42	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	43	Recuchutados y repara. de cubie.
	44	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	45	Recuchutados y repara. de cubie.
	46	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	47	Recuchutados y repara. de cubie.
	48	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	49	Recuchutados y repara. de cubie.
	50	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	51	Recuchutados y repara. de cubie.
	52	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	53	Recuchutados y repara. de cubie.
	54	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	55	Recuchutados y repara. de cubie.
	56	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	57	Recuchutados y repara. de cubie.
	58	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	59	Recuchutados y repara. de cubie.
	60	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	61	Recuchutados y repara. de cubie.
	62	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	63	Recuchutados y repara. de cubie.
	64	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	65	Recuchutados y repara. de cubie.
	66	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	67	Recuchutados y repara. de cubie.
	68	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	69	Recuchutados y repara. de cubie.
	70	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	71	Recuchutados y repara. de cubie.
	72	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	73	Recuchutados y repara. de cubie.
	74	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	75	Recuchutados y repara. de cubie.
	76	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	77	Recuchutados y repara. de cubie.
	78	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	79	Recuchutados y repara. de cubie.
	80	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	81	Recuchutados y repara. de cubie.
	82	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	83	Recuchutados y repara. de cubie.
	84	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	85	Recuchutados y repara. de cubie.
	86	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	87	Recuchutados y repara. de cubie.
	88	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	89	Recuchutados y repara. de cubie.
	90	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	91	Recuchutados y repara. de cubie.
	92	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	93	Recuchutados y repara. de cubie.
	94	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	95	Recuchutados y repara. de cubie.
	96	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	97	Recuchutados y repara. de cubie.
	98	Recuchutados y repara. de cubie.
Industria del caucho y plásticos	99	Recuchutados y repara. de cubie.
	100	Recuchutados y repara. de cubie.

Poblaciones
 Carreteras
 Areas con afloramientos permeables

FIGURA 69.- DISTRIBUCION DE LAS PRINCIPALES INDUSTRIAS EN LOS ALREDEDORES DE ZARAGOZA.

**RESIDUOS LIQUIDOS APROXIMADOS
DE UNA AZUCARERA**

PROCESOS	DBO ₅ ppm	SS ppm	CAUDAL m ³ /d
Transp. y lavado	210	900	7275
Cribado	910	1020	1166
Prensa pulpa	1700	420	520
Silo pulpa	7000	270	597
Lechada tortas	8600	120000	257
Agua condensadores	40	-	5950

Residuo final: 16.000 m³/día
640 ppm DBO₅
2470 ppm SS

SS: Sólidos en suspensión.

Fuente: Inventario Nacional Focos Industriales
Contaminadores de las Aguas (NOPI, 1981)

**VALORACION MEDIA DEL RESIDUO FINAL DE UNA PAPELERA
CON PROCESO DE FABRICACION DE PASTA KRAFT CRUDA**

Caudal	45-60 m ³ /Tm
DBO ₅	700-900 ppm 35-45 Kg/Tm pasta
SS	500-700 ppm 25-35 Kg/Tm pasta
pH	8 - 9
Color	25-70 KgPt/Tm pas.

Fuente: Inventario Nacional
de Focos Contaminantes

6.2.2.- AGUAS RESIDUALES URBANAS

La infraestructura de depuración de aguas residuales no es todavía hoy en día lo completa y efectiva que fuera deseable. Una parte muy importante del agua residual no es depurada.

Según las investigaciones realizadas, con independencia de las depuradoras industriales, sólo existen las siguientes instalaciones:

- Depuradora mixta LA ALMAZARA, que lleva 3 años funcionando y trata aguas residuales de industria y residencial. El volumen de agua tratada equivale aproximadamente a 80.000 hab. y está ubicada en el Polígono Industrial de Zaragoza.
- Depuradoras de pequeña entidad en diferentes urbanizaciones.

El objetivo de un futuro inmediato está contenido en el proyecto de depuradora de "La Cartuja", que todavía no ha empezado a construirse y que tendrá capacidad de tratamiento equivalente a 1.200.000 habitantes, con lo que depurará todas las aguas residuales de la ciudad de Zaragoza.

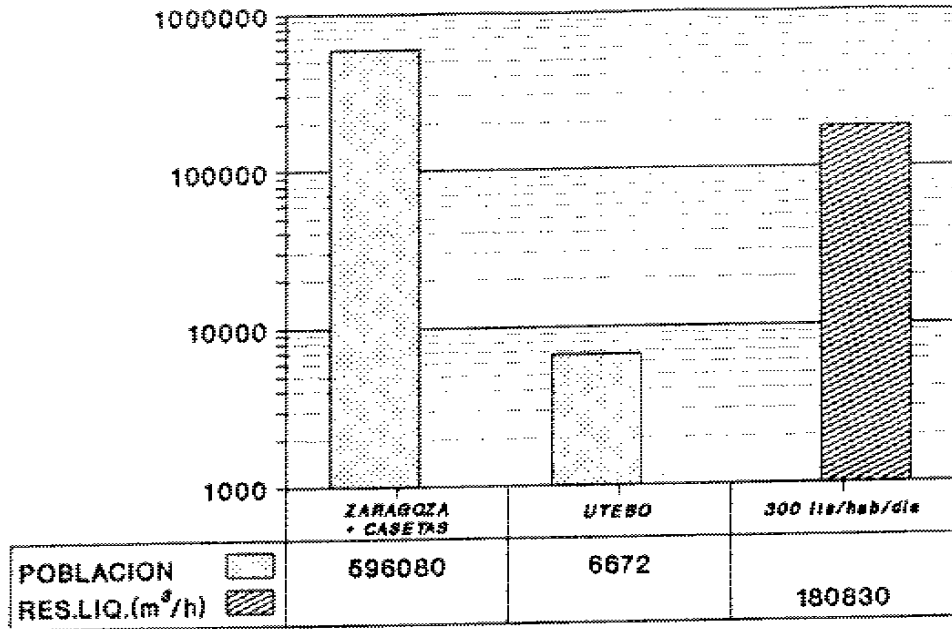
Se tiene constancia de la existencia de depuradoras industriales en los siguientes núcleos en Zaragoza:

- La Montañesa (Papelera)
- MercaZaragoza (Mayoristas)
- Nurel, S.A. (Textil, dedicada a seda y tejidos sintéticos)

Utilizando los censos del INE de 1986 se ha elaborado los gráficos de la figura 71 en los que se representan los volúmenes de producción de aguas residuales para diferentes

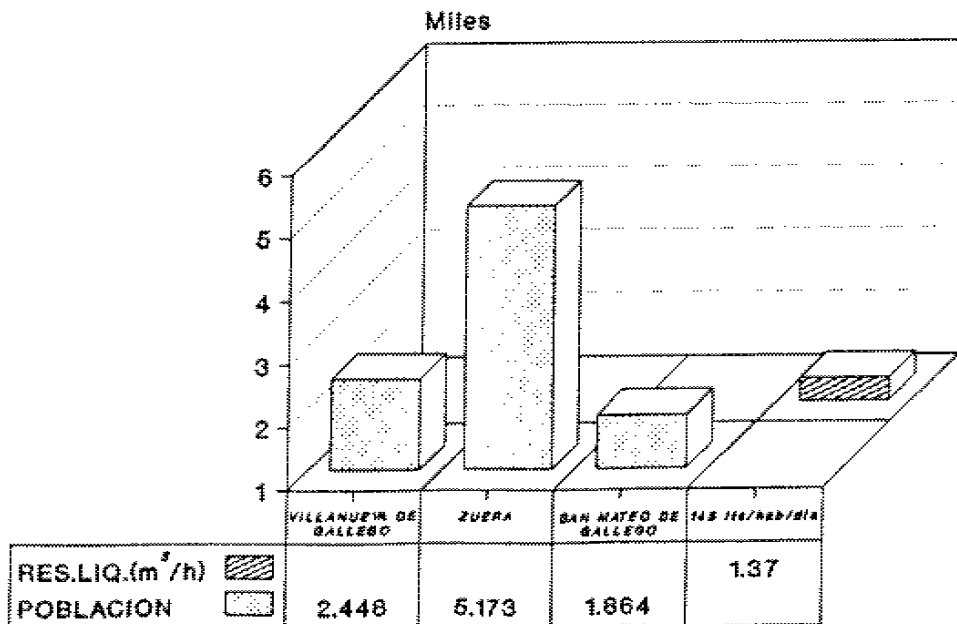
FIGURA 71

PRODUCCION DE RESIDUOS LIQUIDOS URBANOS - ZONA DE ZARAGOZA



Datos población: CENSO INE 1986

PRODUCCION DE RESIDUOS LIQUIDOS URBANOS - ZONA NORTE DE ZARAGOZA



Datos población: CENSO INE 1986

centros urbanos de los alrededores de Zaragoza y de la Zona de Zuera (Norte de Zaragoza).

En la figura 72 se presentan los cuadros con la composición media de las aguas residuales urbanas para diferentes tamaños de ciudades.

La inyección de aguas residuales urbanas no plantearía problemas especiales de compatibilidad en el tipo de almacén existente en Zaragoza, si dichos residuos son sometidos previamente a un tratamiento primario de decantación y filtrado. Sólo en el caso de núcleos importantes de ciudad, como Zaragoza, podría ser necesaria la utilización de una aireación previa y somera, anterior a la decantación con la finalidad de bajar los DBO_5 y DQO , a límites más compatibles con la inyección. Aunque, como ya se ha comentado no parece que esto fuera origen de problemas de inyectabilidad, debido al tipo de almacén contemplado.

6.3.- ZONA DE LA ZAIDA

6.3.1.- INDUSTRIAS

Para la **ZONA DE LA ZAIDA** comprendiendo los núcleos de Quinto, Gelsa, La Zaida y Sástago se ha preparado el esquema de situación y cuadro que se presenta en la figura 73. Desde el punto de vista de la inyección lo más notorio es la concentración de industrias de La Zaida, ligadas a FORET. En el capítulo siguiente se realizará un estudio más detallado de la composición de los residuos y su compatibilidad con la formación almacén. Básicamente son compuestos salinos inorgánicos (sulfatos, boratos y cloruros) y cantidades menos importantes de compuestos orgánicos (alcoholes). Las restantes industrias,

BAJA DENSIDAD DE POBLACION	
CONSTITUYENTE	CONCENTRACION ppm
Sólidos totales	350
Sólidos disueltos	250
Sólidos suspensión	100
Materia decantable	5
DBO ₅	100
DQO	250
Nitrógeno	20
Fósforo total	6
Cloruros	30
Alcalinidad(Como CO ₃ Ca)	50
Aceites y grasas	50

MEDIA DENSIDAD DE POBLACION	
CONSTITUYENTE	CONCENTRACION ppm
Sólidos totales	700
Sólidos disueltos	500
Sólidos suspensión	200
Materia decantable	10
DBO ₅	200
DQO	500
Nitrógeno	40
Fósforo total	10
Cloruros	50
Alcalinidad(Como CO ₃ Ca)	100
Aceites y grasas	100

ALTA DENSIDAD DE POBLACION	
CONSTITUYENTE	CONCENTRACION ppm
Sólidos totales	1.200
Sólidos disueltos	850
Sólidos suspensión	350
Materia decantable	20
DBO ₅	300
DQO	1000
Nitrógeno	85
Fósforo total	20
Cloruros	100
Alcalinidad(Como CO ₃ Ca)	200
Aceites y grasas	150

FIGURA 72

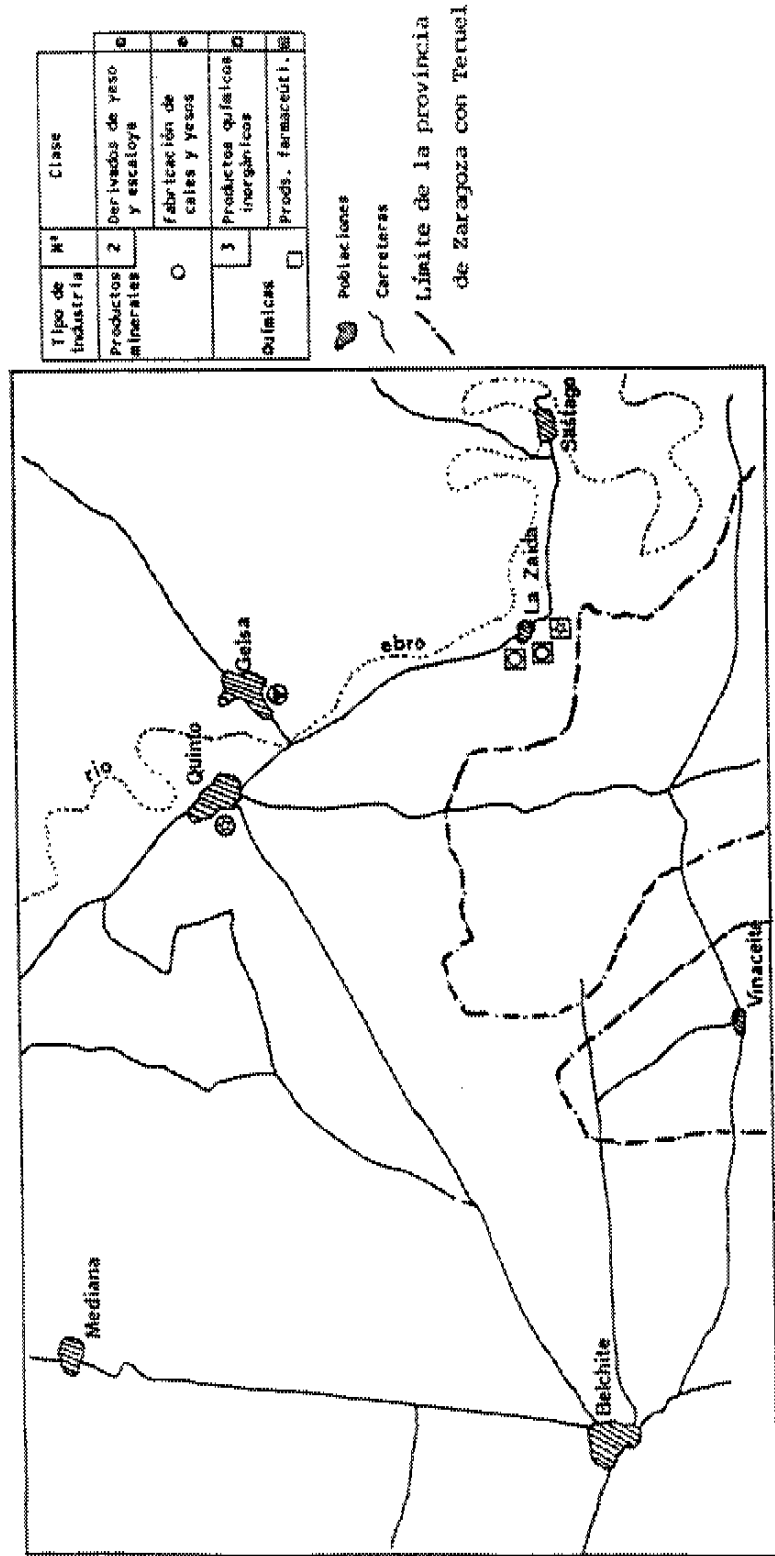


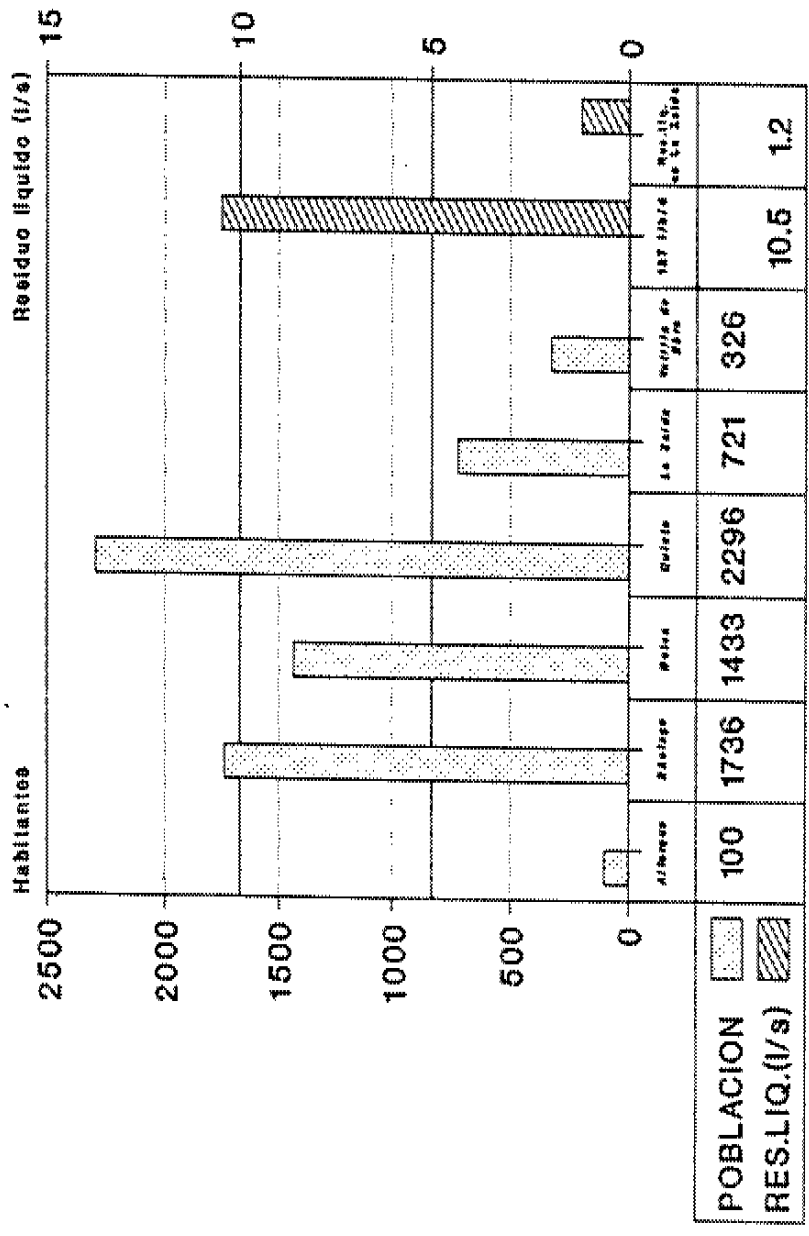
FIGURA 73

principalmente ligadas a productos de la construcción (cales y yesos) no se contemplan en el presente estudio.

6.3.2.- AGUAS RESIDUALES URBANAS

Para esta zona se ha preparado el gráfico de la figura 74 en el que se puede ver que la producción de aguas residuales es muy baja 10,5 l/s para todas las poblaciones, y 1,2 l/s para el caso concreto de LA ZAIDA.

La incorporación de estas aguas residuales al sistema de inyección de LA ZAIDA debería estudiarse detenidamente ya que puede suponer un aporte extra de materia orgánica que dificulte posteriormente el desarrollo de la operación de inyección.



Datos población: CENSO INE 1985

FIGURA 74

7.- ZONA DE LA ZAIDA. ANALISIS TEORICO DE

PROBLEMAS DE COMPATIBILIDAD

7.1.- GENERALIDADES

Confirmada la viabilidad de la inyección desde el punto de vista de los condicionantes geológicos e hidrogeológicos, en la zona de La Zaida queda por analizar la problemática de la compatibilidad entre los residuos que se desea inyectar y la formación almacén. Esta última está caracterizada tanto por la roca que la forma como el fluido natural contenido en la misma.

La tecnología de inyección de líquidos en formaciones geológicas profundas ha tenido un amplio desarrollo gracias a su uso y extensión en la industria petrolera, en la que es práctica habitual la reinyección, en su propio almacén, de la salmuera que acompaña al petróleo producido. En el caso de residuos producidos en procesos industriales existe una diferencia importante, ya que este residuo es completamente extraño a la formación en la que se desea introducir.

Antes de llevar a cabo una operación de inyección es, por lo tanto, necesario analizar qué puede ocurrir cuando se pongan en contacto fluido inyectado y roca almacén así como fluido inyectado y fluido natural del almacén.

Los problemas de incompatibilidad pueden ser de dos tipos: problemas relacionados con la roca almacén y sus características (denominados problemas de inyektividad) y problemas relacionados con el fluido a inyectar (denominados problemas de inyectabilidad). Esta diferenciación, posible al presentar los problemas en abstracto, se hace difícil de

identificar en la práctica, ya que existe una interdependencia real de los mismos; y factores que inciden al mismo tiempo en la formación almacén y en el residuo inyectado.

7.2.- FACTORES QUE INCIDEN EN LA COMPATIBILIDAD

7.2.1.- RESIDUOS

Generalmente es en el residuo y sus características, donde se encuentran las mayores dificultades para conseguir una inyección satisfactoria. El residuo ha de ser física y químicamente compatible con todos los materiales del sondeo, así como con la formación almacén y el fluido en ella contenido. La variedad de los problemas de compatibilidad que pueden presentarse, es muy amplia, sobre todo los de naturaleza química. Además estos problemas con frecuencia son complejos y difíciles de detectar dada la pequeña magnitud inicial de sus efectos, pudiendo pasar desapercibidos, al principio de la inyección, al nivel de control que se les puede someter.

El tratamiento e inyección de grandes volúmenes de residuo es un factor adicional, puesto que los efectos apenas detectables cuando se hacen ensayos sobre cantidades pequeñas, pueden dar lugar a trastornos importantes cuando se manejan grandes caudales.

El conocimiento previo de las propiedades del residuo y del conjunto fluido-roca de la formación almacén, es también imprescindible para estimar el destino a largo plazo de los residuos inyectados, tanto en alcance de la migración como en toxicidad.

La variedad de residuos que se pueden presentar en las operaciones de inyección es muy amplia, por lo que para su análisis se suelen dividir en dos grandes grupos atendiendo a si los residuos evacuados son de naturaleza orgánica o inorgánica.

Una característica importante de los residuos inorgánicos es que nunca desaparecen. Las únicas formas de disminuir su impacto son mediante dilución, aislamiento y, en algunos casos, mediante cambios en sus estados de oxidación. Su comportamiento en dominios subterráneos es más fácil de prever que el de los residuos orgánicos, puesto que todos los productos de reacción posibles para un determinado compuesto, son finitos y limitados en sus combinaciones con otras sustancias existentes en la zona de inyección. Las reacciones o transformaciones a que pueden dar lugar incluyen: precipitación, adsorción-desorción, intercambio iónico, formación de iones complejos, oxidación-reducción, etc.

Al contrario que los residuos inorgánicos los compuestos orgánicos pueden perder su poder contaminante mediante transformaciones moleculares. Procesos tales como intercambio iónico, oxidación, reducción, hidrólisis, ciclación y procesos biológicos son capaces de transformarlos en no peligrosos, aunque también pueden producir el efecto contrario. El número de posibles productos en las reacciones es en este caso muy superior a los residuos inorgánicos, con lo cual se hace mucho más difícil la previsión de la evolución de los residuos inyectados en el espacio y en el tiempo.

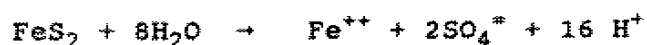
7.2.2.- ALMACEN

Como queda expresado anteriormente, los problemas de compatibilidad en la inyección de residuos son debidos no sólo al residuo mismo sino también a la formación almacén y fluido natural contenido en la misma.

En cuanto a la formación almacén, esquemáticamente son dos los factores que se deben considerar: composición de la roca que la constituye y características hidrogeológicas de la misma, especialmente tipo de permeabilidad.

La composición de la roca que constituye el almacén puede ser origen de una multitud de procesos que afectan a la compatibilidad residuo-almacén. A título solo indicativo se pueden citar algunos tipos de procesos. En rocas carbonatadas la reacción entre residuos ácidos y el carbonato puede dar lugar entre otros efectos a la neutralización del ácido (elevación del pH y consiguientes efectos de precipitación de compuestos que anteriormente se encontraban disueltos), así como a la producción de CO₂ (con el consiguiente efecto sobre la permeabilidad).

La existencia de pirita en un almacén puede dar lugar a la aparición de problemas con los hidróxidos de hierro, sin que precedentemente existieran cantidades notables de Fe⁺⁺ en el residuo ni en el agua de formación. Al variar las condiciones reductoras del almacén a un ambiente oxidante se produce la siguiente reacción:



y posteriormente el Fe⁺⁺ precipita en forma de Fe(OH)₃ en presencia de oxígeno.

La sílice de rocas silicatadas puede ponerse en disolución en presencia de fluidos de elevado pH, que tras migrar en los poros de la formación puede volver a precipitar por los cambios de condiciones en el fluido, taponando poros y disminuyendo la permeabilidad.

Por último son muy conocidos, por su abundancia en la bibliografía los procesos que pueden afectar a las arcillas de

formación y su posterior incidencia en el taponamiento de poros y huecos: hinchamiento de arcillas por fenómenos de adsorción e intercambio de cationes; lixiviación y producción de finos en la misma formación, que posteriormente se depositan, etc.

El tipo de permeabilidad es el otro factor fundamental asociado a la roca almacén. Básicamente se pueden distinguir tres tipos: permeabilidad por porosidad primaria, permeabilidad por fisuración y fracturación y permeabilidad por huecos de disolución.

El primer tipo es el más crítico por los problemas de colmatación que puede presentar. La utilización de un almacén de este tipo para inyección de residuos lleva consigo la necesidad de instalaciones de filtrado hasta tamaños tales que a veces hacen inviable económicamente la operación. Sin embargo, en almacenes fracturados o con huecos de disolución éste es un problema menos importante aunque siempre es necesario cierto nivel de filtración previo que impida la presencia de sólidos en el residuo.

7.2.3.- FLUIDO NATIVO

En cuanto al fluido contenido en la formación almacén, parece evidente que su composición es un factor tan importante como la composición del mismo residuo.

Si se piensa que una condición absolutamente necesaria para emprender una inyección es que el fluido contenido en el almacén no sea un recurso de agua utilizable, se llega a la conclusión que se tratará de un fluido con alta concentración de sales, que en el largo período geológico de su estancia en dicho almacén ha llegado a un equilibrio físico-químico con los minerales y arcillas presentes en el mismo. Las variaciones de condiciones del sistema (especialmente temperatura y

concentraciones) dan lugar a nuevos ajustes en el equilibrio, pudiendo producirse reacciones capaces de disminuir la permeabilidad de la formación. Los efectos de las reacciones más comunes entre el fluido natural de la formación y el residuo inyectado, son en general: la precipitación de alcalino-térreos (calcio, bario, magnesio) en forma de carbonatos, sulfatos, hidróxidos, ortofosfatos, etc.; la precipitación de metales (hierro, aluminio, cadmio y cromo) en forma de carbonatos, sulfuros, hidróxidos, etc.; o finalmente, la precipitación de productos de reacción de oxidación-reducción.

7.3.- DATOS DE LA ZAIDA

En el caso analizado en el presente capítulo, la composición del residuo que se desea inyectar es mixta, existiendo tanto compuestos inorgánicos: cloruros, sulfatos, boratos, carbonatos, hidróxidos, como compuestos orgánicos: fundamentalmente alcoholes y en cantidades prácticamente insignificantes aceites, aldehídos, aromáticos, etc. Por ello, el estudio de compatibilidad habría de comprender procesos que afectaran a uno y otro tipo de compuestos.

En cuanto a los datos relativos a la formación almacén no son suficientes para emprender un análisis concluyente de la problemática de la compatibilidad. Los datos de subsuelo, procedente de la información de sondeos profundos perforados con finalidad petrolera, revelan que los almacenes están constituidos por dolomías y anhidritas con bajos contenidos en arcillas (generalmente menor del 10%).

Sin embargo, no se conoce nada sobre la existencia de minerales secundarios así como los minerales que constituyen las arcillas, puntos ambos importantes para un estudio de compatibilidad.

El segundo factor ligado a la formación almacén es el tipo de permeabilidad existente en la misma. En La Zaida se conoce este aspecto del estudio ya que la formación seleccionada se trata de dolomías permeables por fracturación y muy probablemente por disolución. Como se pondrá de relieve más adelante, este es un factor importantísimo a la hora de predecir la viabilidad de la operación de inyección, ya que multitud de problemas de compatibilidad quedan solventados por la existencia de permeabilidad de fracturas, en las que la formación de precipitados no causan los problemas de colmatación que son factibles en almacenes de permeabilidad primaria.

Respecto al fluido contenido en la formación almacén, los datos disponibles son aún escasos ya que el único que se conoce es la salinidad de dicho fluido que sobrepasa los 50.000 p.p.m.

Dado que las formaciones en las que dicho fluido puede haber adquirido tal salinidad son las evaporitas del Valle del Ebro que se encuentran sobre la formación dolomítica, se puede suponer que dicha salinidad viene dada en forma de cloruros y sulfatos sódico y cálcico. Estos datos no son suficientes para el estudio de compatibilidad pero al menos permitirán plantear algunas hipótesis sobre el mismo.

7.4.- ANALISIS TEORICO DE COMPATIBILIDAD

Partiendo de la información disponible expuesta en los párrafos anteriores hay que señalar los siguientes puntos básicos como elemento de partida para el diagnóstico teórico de compatibilidad en la operación de inyección de La Zaida:

- Existe un denominado vertido global de la fábrica, que con un caudal del orden de 40 m³/hora tiene una concentración

de sólidos disueltos del orden de 5 g/l, compuesto fundamentalmente por cloruros y sulfatos, con cantidades irrelevantes de aceites, aldehidos, alcoholes, aromáticos, fenoles y nitratos.

- Existe otro posible vertido (actualmente no se produce), que con un caudal de 3 m³/h estaría constituido por una disolución al 6,5%, con una densidad de 1,06 y cuyos compuestos básicos serían borato, cloruro, carbonato y sulfato de sodio, con cantidades menores de hidróxido sódico y agua oxigenada.
- Se contempla la posibilidad de utilizar el sistema de inyección para eliminar, asimismo, las aguas residuales de servicios de fábrica y poblado anexo.
- Con las instalaciones actuales el vertido global se presenta después de un pretratamiento que incluye ajuste de pH, decantación y eliminación de materia orgánica.
- El almacén seleccionado para la operación de inyección está constituido por dolomías muy fracturadas con anhidritas y bajo contenido en arcillas. No se dispone de mayor detalle en cuanto a la constitución litológica y mineralógica de dicho almacén.
- En el sondeo petrolífero de La Zaida, se produjeron pérdidas totales en un punto de dicho almacén lo que es indicio de una elevada permeabilidad.
- El agua contenida en la formación almacén es una salmuera con una concentración en sales superior a 50.000 p.p.m., pero de la que no se conoce análisis químico detallado. No obstante, dado que la alta salinidad la ha adquirido por circulación en materiales evaporíticos, es lógico pensar en una composición predominante de cloruros o sulfatos sódico

y cálcico. Asimismo hay que pensar en contenidos significativos de otros compuestos o elementos ligados a sedimentación evaporítica como pueden ser los derivados del ácido bórico.

En base a estos datos ya se pueden marcar algunas pautas de lo que debe significar la introducción del residuo en el almacén estudiado.

7.4.1.- REACCIONES ENTRE RESIDUO Y MINERALES ARCILLOSOS DE LA FORMACION

No se tienen datos sobre la composición de las arcillas presentes, pero su escasez en el almacén unido a la alta salinidad del fluido nativo, permite pensar que el fenómeno de hinchamiento de arcillas no va a ser significativo. Por otra parte, la existencia de una alta permeabilidad por fracturación, minimizará aún más los posibles efectos de las reacciones de intercambio catiónico que se produzcan.

Por lo tanto, se puede diagnosticar que, en el presente caso no se producirá uno de los más graves problemas de incompatibilidad en operaciones de inyección.

7.4.2.- REACCIONES DE PRECIPITACION

En principio no se puede predecir el comportamiento del residuo ante estas reacciones. La composición misma del residuo no apunta elementos o compuestos que puedan dar lugar a estas reacciones, pero el fluido nativo sí podría contener cantidades significativas de hierro y manganeso que bajo un cambio en las condiciones reductoras del almacén originase la deposición de hidróxidos de dichos metales. Ello podría significar una reducción de permeabilidad. A este respecto es

importante el control del pH del residuo inyectado, especialmente su diferencia con el pH del fluido nativo. En general hay que evitar un contraste muy acusado.

7.4.3.- ACTIVIDAD DE MICROORGANISMOS

Un factor adicional que puede revestir importancia es la presencia de bacterias en la formación almacén. Estos organismos pueden actuar de muy diversa forma ante un cambio en las condiciones reductoras del almacén. Este es un punto importante a analizar cuando se emprenda la realización del proyecto ya que la presencia en el residuo de algunos componentes orgánicos podría dar lugar a multitud de reacciones.

En este sentido, una acción importante es el control de la materia orgánica y de la eficiencia de las instalaciones de separación.

Los estudios de laboratorio existentes ponen de relieve que la inyección de residuos orgánicos da lugar fundamentalmente a condiciones anaerobias, desarrollándose bacterias metanogénicas y sulfato-reductoras.

No obstante y a título meramente indicativo hay que señalar las ventajas en el caso de La Zaida, de contar con un almacén fracturado de elevada permeabilidad, que minimizaría los efectos colmatantes de los productos de precipitación.

También es necesario señalar que la ausencia de elementos o compuestos tóxicos en los residuos considerados es un factor más que disminuye el potencial efecto de la actividad de los microorganismos.

Un factor que puede ser importante para evitar problemas de este tipo es no incluir, en la presente operación

de inyección, la posibilidad de eliminar por el mismo sistema las aguas residuales del poblado anexo, ya que ello podría suponer una importante incorporación de materia orgánica que desencadenaría problemas en el almacén.

7.4.4.- OTRAS REACCIONES. CONCLUSION.

El problema de la reactividad entre residuo y fluido nativo puede ser tan extenso que no se alcanzaría a acotarlo totalmente en un informe de previabilidad. No obstante, es necesario resaltar que debe existir, en base a la hipótesis planteada en apartados anteriores una cierta similitud entre fluido nativo y la composición base del residuo. Los compuestos "extraños" se encuentran en el residuo en concentraciones muy bajas por lo que no es posible, al menos con los datos disponibles actualmente, que se planteen problemas relevantes de compatibilidad.

Hay que señalar que los estudios y ensayos de compatibilidad pueden alcanzar una importancia muy grande dada la variedad de reacciones que se pueden producir. Sin embargo, a pesar de la amplitud de todos estos estudios puede ocurrir que se produzcan reacciones y comportamientos no contemplados en los mismos. Existe experiencia muy amplia en este sentido.

Por todo ello, parece indicado realizar estudios concretos sobre los problemas más habituales y evidentes, dedicando para ello presupuestos razonables que no hagan inviable económicamente la operación. Al menos, en casos como el actual, en que la permeabilidad por fracturación minimiza o amortigua los problemas de compatibilidad.

8.- VIABILIDAD DE LA INYECCION.

ANALISIS DE PROPUESTAS.

8.1.- INTRODUCCION

El estudio detallado de los datos de sondeos de petróleo ubicados en la provincia de Zaragoza así como la interpretación y análisis de perfiles sísmicos ha permitido seleccionar una serie de formaciones geológicas permeables como posibles almacenes para inyección de residuos líquidos, y al mismo tiempo ha conducido a una limitación geográfica de las zonas más favorables para la utilización de dichos almacenes. Los almacenes seleccionados son, fundamentalmente, formaciones carbonatadas (calizas y dolomías) muy fracturadas y con permeabilidad por disolución, que pertenecen a tres niveles estratigráficos definidos:

- Liásico.
- Rhetiense.
- Muschelkalk Superior.

Las dos áreas en las que las posibilidades de utilización de dichos almacenes son más favorables son: A. Zona Norte de la Ciudad de Zaragoza, entre esta ciudad y Zuera; y B. Zona de La Zaida.

La selección de estas zonas como más favorables se debe, exclusivamente, al hecho de contar en ellas con mayor cantidad de datos, siendo por lo tanto el riesgo geológico menor. En principio los almacenes seleccionados reúnen buenas condiciones hidráulicas y podría utilizarse en toda la cuenca, pero el riesgo geológico, ligado a la transmisividad del almacén, es decir, permeabilidad y potencia del mismo, será

mayor en áreas con pocos datos contrastados.

Dentro de la **ZONA DE ZARAGOZA CAPITAL**, el almacén más propicio sería el Lías, ya que tanto Rhetiense como (sobre todo) Muschelkalk Superior se encuentran muy profundos.

En la **ZONA DE LA ZAIDA** los tres almacenes son interesantes, aunque quizás por seguridad y aislamiento sea aconsejable elegir Rhetiense o Muschelkalk. (Aunque como se ha puesto reiteradamente de manifiesto el Lías de esta zona está desconectado hidráulicamente del Lías de la Cordillera Ibérica, explotado por sondeos de agua).

Los datos para la **ZONA DE LA ZAIDA** están muy contrastados tanto por su densidad (nº de sondeos) como por la líneas sísmicas; por ello, para esta zona se realiza una propuesta muy concreta.

Para la **ZONA DE ZARAGOZA CAPITAL**, al existir menos datos de sondeos, la extrapolación de profundidades y espesores es menos segura, por lo que la propuesta es más general.

Por otra parte, el mayor interés está centrado, en estos momentos, en la **ZONA DE LA ZAIDA**, por la decidida actitud del grupo FORET de estudiar la inyección como una posible solución a la eliminación de los residuos.

8.2.- ZONA DE LA ZAIDA

8.2.1.- SISTEMA DE INYECCION Y VIGILANCIA PROPUESTO

La proximidad del sondeo de petróleo La Zaida, permite hacer una previsión bastante exacta de la geología que cortará

el sondeo de inyección. Seleccionando como objetivo las dolomías de base del Rhetiense, el perfil geológico será básicamente, el siguiente:

0 - 260 m.	TERCIARIO. Arcillas y yesos con alguna intercalación de calizas.
260 - 380 m.	JURASICO-MALM. Margas con calizas a techo.
380 - 425 m.	JURASICO-DOGGER. Calizas arcillosas.
425 - 525 m.	JURASICO-LIAS. Calizas y margocalizas.
525 - 630 m.	JURASICO-LIAS. Dolomías.
630 - 1040 m.	RHETIENSE. Anhidritas y arcillas.
1040 - 1080 m.	RHETIENSE. Dolomías.

Según este perfil los posibles almacenes o zonas de inyección se concretan en:

525 - 630 m.	Dolomías jurásicas en donde se obtuvo agua salada (>30.000 ppm) en un ensayo de formación. No se tienen datos de permeabilidad.
1040 - 1080 m.	Dolomías de la base del Rhetiense, en donde se obtuvo agua salada (>50.000 ppm) en un ensayo de formación. La permeabilidad deducida en dicho ensayo es de 100 milidarcies.

Con la realización del sondeo se tratará de estudiar ambos almacenes, pero en principio se propone el segundo como zona de inyección al presentar mejores condiciones de confinamiento como se puso de manifiesto en la exposición general, al tiempo que se introduce un factor de seguridad importante al ser la formación superior un almacén de salmuera.

Con este objetivo se propone el siguiente esquema de acabado del sondeo de inyección, figura 75.

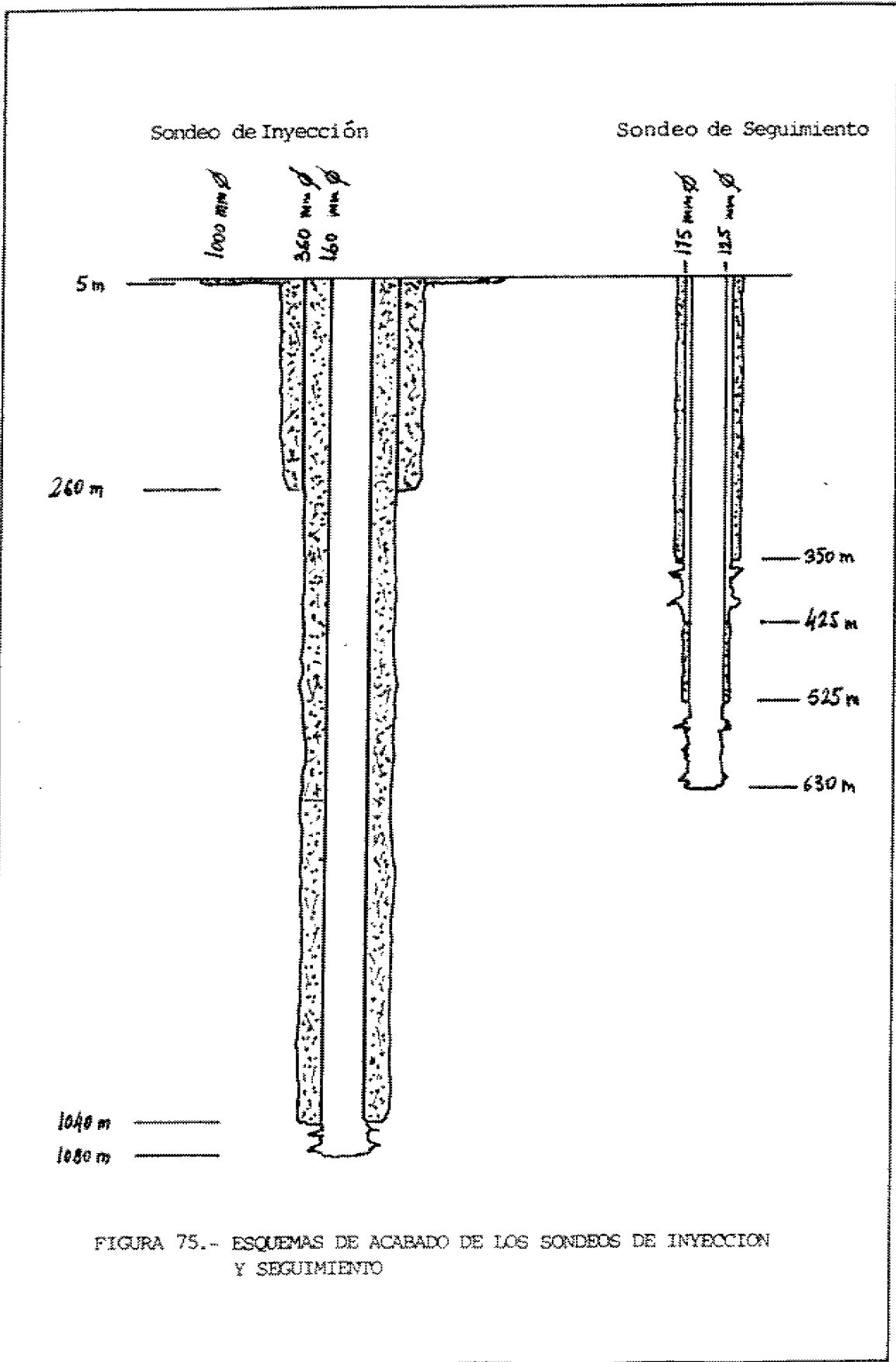


FIGURA 75.- ESQUEMAS DE ACABADO DE LOS SONDEOS DE INYECCION Y SEGUIMIENTO

<u>Profundidad (m)</u>	<u>Diámetro sondeo (mm)</u>	<u>Diámetro tubería (int) (mm)</u>
0-5	1.500	1.000
5-260	525	360
260-1040	350	160
1040-1080	155 (6%)	

Todas la tuberías cementadas hasta la superficie.

Dadas las características hidrogeológicas de la zona de ubicación de la posible futura operación de inyección, con ausencia de acuíferos superficiales de agua dulce explotados así como existencia de acuíferos con agua muy salada, absolutamente inutilizables, en las formaciones permeables jurásicas, se propone como sistema de vigilancia un único sondeo, que situado al SW del sondeo de inyección a una distancia de 150-200 metros, permita controlar las características de los mencionados acuíferos de agua salada. Estos acuíferos se encuentran aproximadamente a 350-425 m y 525-630 m de profundidad por lo que se propone el siguiente esquema de sondeo de control, fig.75

<u>Profundidad (m)</u>	<u>Diámetro perforación (mm)</u>	<u>Entubación (mm)</u>
0-350	250	175/160 (totalmente cementada)
350-525	155	125/114 (cementada entre 425 y 525)
525-630	105	pozo abierto

8.2.2.- PROGRAMA DE TRABAJOS

Para la realización del sistema de inyección se propone el siguiente programa:

SONDEO DE INYECCION

- Perforar un sondeo piloto en diámetro 155 mm o similar hasta 260 metros.
- Realización de diagrfías y estudio de las formaciones geológicas atravesadas (acuíferos, impermeables, etc.).
- Ensanchado del sondeo y entubación con tubería de 360 mm, cementando hasta superficie.
- Perforación en diámetro de 155 hasta 1040 metros, estudiando detenidamente las formaciones permeables (calizas y dolomías fracturadas), mediante diagrfías, ensayos de formación, etc., etc.
- Ensanchado del sondeo y entubación con tubería de 160 mm y cementar hasta superficie.
- Perforación de la fase final en 155 mm hasta 1080 metros.
- Realización de medidas y ensayos.
- Acabado del sondeo de inyección, ensayo de integridad. Instalación de cabeza de pozo.

SONDEO DE VIGILANCIA

- Perforar un sondeo en diámetro 250 mm hasta 350 metros de profundidad.
- Realización de diagrfías eléctricas.
- Entubación y cementación hasta superficie con tuberías de 175 mm.
- Perforación de 350 hasta 630 metros con diámetro de 155 mm.
- Realización de diagrfías y ensayos.

- Entubación con tuberías de 125 mm de diámetro, cementada parcialmente y taladrada en tramos permeables.
- Limpieza y desarrollo de sondeo.
- Instalación de cabeza de pozo y equipo de control.

8.2.3.- DATOS ECONOMICOS

La realización de las operaciones descritas en el apartado anterior requieren la dedicación de inversiones de cierta magnitud que sólo serán justificadas en el ámbito de un estudio de viabilidad económico detallado que contemple la comparación de varias alternativas para la eliminación del residuo. Este estudio económico comparativo debería contemplar por una parte inversiones necesarias en las instalaciones de las diferentes alternativas y por otra el coste anual de explotación y mantenimiento de instalaciones. Como norma general y basándose en la experiencia desarrollada en EE.UU., las operaciones de inyección requieren inversiones muy importantes, que pueden superar en determinadas situaciones las inversiones necesarias en plantas de tratamiento físico-químico. Sin embargo esta sobreinversión es ampliamente recuperada por la diferencia existente entre los costes de explotación y mantenimiento, que prácticamente siempre es muy favorable a los sistemas de inyección.

8.2.3.1.- Inversiones

La experiencia reciente en sondeos de las dimensiones de los propuestos en este estudio, tanto del de inyección como de seguimiento permite predecir las siguientes cifras para costes de estas instalaciones:

Sondeo de inyección: 140 M.P.
Sondeo de seguimiento: 40 M.P.

Estas cifras incluyen los siguientes capítulos:

- Proyecto de sondeo y sistema de inyección.
- Traslados y retirada de maquinas.
- Perforación.
- Tuberías.
- Triconos.
- Productos de lodos.
- Cementaciones.
- Diagrafías.
- Ensayos.
- Dirección Técnica e informes.
- Imprevistos.

Para instalaciones de pretratamiento de superficie, complementarias de las ya existentes de tratamiento, así como instrumentación de control se estima una cifra de otros 40 M.P.

De esta manera el montante total previsto de inversiones, al nivel de previabilidad del presente estudio se puede cifrar en 220 Millones de Pesetas.

8.2.3.2.- Costos de explotación y mantenimiento

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 partidas de mayor entidad, cabe citar como costes menores, la renovación de pequeño material, mantenimiento de instalaciones, revisión periódica de estado de válvulas e instrumentos, etc.

El cálculo de los costes de operación hay que hacerlo específicamente para cada caso concreto una vez conocido con mayor detalle datos de la operación de inyección como son características del fluido nativo, pretratamiento del residuo, presiones de formación, horas de funcionamiento al año, materiales requeridos, etc. No obstante, según las referencias bibliográficas de EE.UU., los costes anuales de mantenimiento y operación en sistemas de inyección varían estadísticamente en el orden de 6-8% del valor de las inversiones necesarias en instalaciones (incluyendo los sondeos de inyección y monitoring, pretratamiento, etc.).

En el presente caso y dada la incertidumbre de algunos datos se plantea que los costes de explotación se eleven al 10% de las inversiones lo que supondrá anualmente 22 M.P., e incluirían:

- Energía en estación de bombeo e instalaciones de pretratamiento.
- Mantenimiento de instalaciones de monitoring.
- Personal encargado de instalaciones.
- Reconocimiento periódico y tests de integridad en los sondeos (cada 2-3 años).
- Renovación de pequeño material.
- Inspección periódica de instalaciones de superficie.
- Consumos en instalaciones de pretratamiento.
- Mantenimiento general.

8.3.- ZONA DE ZARAGOZA CAPITAL

8.3.1.- SISTEMA DE INYECCION Y VIGILANCIA PROPUESTO

Como ya se ha citado anteriormente los datos disponibles para ZARAGOZA CAPITAL son menos precisos que los de La Zaida por lo que la solución propuesta es más general y no tan detallada.

La previsión de corte geológico bajo la ciudad de Zaragoza, marcando como objetivo el Lías calcáreo, se puede esquematizar como sigue:

0 - 1800 m	TERCIARIO. Arcillas, yeso y sal con intercalaciones de calizas.
1800 - 1900 m	JURASICO-MALM. Margas y calizas arcillosas.
1900 - 2000 m	JURASICO-DOGGER. Calizas y calizas arcillosas.
2000 - 2150 m	JURASICO-LIAS. Calizas y dolomías.

Con el citado objetivo y el corte previsto se propone el siguiente esquema de sondeo de inyección.

<u>Profundidad</u> <u>(m)</u>	<u>Diámetro sondeo</u> <u>(mm)</u>	<u>Diámetro tubería (int)</u> <u>(mm)</u>
0-5	1.500	1.000
5-450	350	230
450-2000	210	160
2000-2150	155	

Con todas las tuberías cementadas hasta superficie.

Dadas las características geológicas e hidrogeológicas de la zona se propone como único sondeo de vigilancia uno que controle la calidad de agua y evolución de la misma, en el conjunto del Aluvial del Ebro, en las proximidades del sondeo de

inyección y hasta una profundidad de 100-150 metros.

8.3.2.- DATOS ECONOMICOS

La realización de un sistema de inyección y vigilancia como el previsto, y su operación lleva consigo la asignación de unas inversiones importantes mientras que los costes de operación y mantenimiento son relativamente bajos. Por ello, la definitiva selección de este sistema de eliminación de residuo, deberá ser consecuencia de un determinado estudio comparativo entre inversiones y costes de las diferentes alternativas posibles. La experiencia existente en Estados Unidos, permite predecir un favorable resultado de dicho estudio para el sistema de inyección.

Aunque para un caso más concreto habría que especificar más los datos, inclusive realizando un perfil sísmico en la zona, a continuación se ofrece un avance de los datos estimados actualmente.

8.3.2.1.- Inversiones

La experiencia reciente en sondeos de las dimensiones de los propuestos permite predecir los siguientes presupuestos:

Sondeo de inyección:	320 M.P.
Sondeo de seguimiento:	15 M.P.

Estas cifras incluyen los siguientes puntos:

- Proyecto de sondeo y sistema de inyección.
- Traslados y retirada de maquinas.
- Perforación.
- Tuberías.
- Triconos.

- Productos de lodos.
- Cementaciones.
- Diagrafías.
- Ensayos.
- Dirección Técnica e informes.
- Imprevistos.

No se puede realizar estimación de inversiones para planta de pretratamiento por falta absoluta de datos en la actualidad.

8.3.2.2.- Costos de operación

Siguiendo el criterio establecido en el apartado 8.2.3.2. para la ZONA DE LA ZAIDA, en el presente caso, los costes de operación se elevarían a 35 M.P. en los que sólo se incluyen los relativos al sistema de inyección.