



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

**"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 SARAGOZA Y
TARRAGONA. 1990-1991".**

PROVINCIA DE TARRAGONA



MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

R

34604

SUPER PROYECTO	AGUAS SUBTERRANEAS		Nº	9005
PROYECTO AGREGADO	ESTUDIOS DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS POR ACTIVIDADES AGRICOLAS, INDUSTRIALES Y URBANAS.		Nº	320
TITULO PROYECTO:				
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. 1990-91.				
Nº PLANIFICACION	238/90	Nº DIVISION AGUAS, G.A.	15/90	
FECHA EJECUCION	INICIO	18/06/90	FINALIZACION	18/12/90

INFORME (Título):	
PROVINCIA DE TARRAGONA	
CUENCA(S) HIDROGRAFICA(S)	EBRO Y PIRINEO ORIENTAL
COMUNIDAD(ES) AUTONOMA(S)	CATALUÑA
PROVINCIA(S)	TARRAGONA

I N D I C E

	<u>Pág.</u>
1.- <u>INTRODUCCION</u>	1
2.- <u>SINTESIS GEOLOGICA REGIONAL</u>	5
2.1.- LITOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA.....	8
2.2.- TECTONICA.....	17
3.- <u>ASPECTOS HIDROGEOLOGICOS LOCALES CONDICIONANTES</u> <u>DE LA INYECCION</u>	24
3.1.- ACUIFEROS SUPERFICIALES.....	25
3.2.- FORMACION RECEPTORA.....	29
3.3.- CONFINAMIENTO.....	31
3.4.- CALIDAD DEL AGUA.....	33
3.5.- CONTINUIDAD.....	34
4.- <u>DISEÑO CONCEPTUAL</u>	36
4.1.- SONDEO DE INYECCION.....	38
4.2.- SONDEO DE VIGILANCIA.....	38
4.3.- CONSIDERACIONES SEGUN LAS CARACTERISTICAS DEL RESIDUO.....	40
5.- <u>ENSAYOS Y CONSTRUCCION</u>	42
5.1.- PERFORACION Y ENSAYOS DEL SONDEO PILOTO.....	43
5.2.- ACABADO DEL SISTEMA DE INYECCION.....	44
6.- <u>PROBLEMATICA DE LAS AGUAS RESIDUALES EN EL AREA</u> <u>DE ESTUDIO</u>	45
7.- <u>SOLUCIONES PROPUESTAS</u>	53
7.1.- RECUPERACION DEL SONDEO REUS-1.....	54
7.2.- ELIMINACION DE AGUAS RESIDUALES EN EL AREA VILASECA-CAMBRILS-SALOU.....	55
8.- <u>RESUMEN Y CONCLUSIONES</u>	58
 ANEXO 1.- DATOS DEL SONDEO REUS-1	

1.- INTRODUCCION

Este estudio de viabilidad forma parte del programa de evaluación de las posibilidades de utilización de la inyección mediante sondeos profundos para la eliminación de residuos líquidos, que el Instituto Tecnológico GeoMinero de España lleva a cabo dentro del territorio peninsular.

En el área de la Depresión de Reus se asientan importantes núcleos urbanos e industriales en expansión. La necesidad de alternativas para la eliminación de cantidades crecientes de residuos de todos los orígenes, junto con los datos geológicos existentes, han llevado a pensar que la inyección mediante sondeos profundos podría ofrecer una alternativa para la eliminación de efluentes en la zona. Su aplicación no debe restringirse a residuos de origen industrial, estando especialmente indicada para el saneamiento de aguas residuales urbanas en zonas costeras. De este modo se evitarían los vertidos al mar en las zonas de playa, que frecuentemente comprometen la calidad sanitaria de las aguas para el baño.

El conocimiento actual de la geología profunda de esta zona se basa especialmente en los datos de prospección petrolífera, sobre todo, campaña sísmica y sondeo Reus-1 (APEX Co., 1976) y a su posterior reinterpretación para la elaboración del estudio de las posibilidades geotérmicas en el subsuelo de la Depresión de Reus (ENADIMSA, Marzo 1986). La existencia de un nivel carbonatado jurásico de elevada transmisividad recubierto por una potente serie confinante miocena, indica que la zona es potencialmente utilizable para la inyección de caudales importantes de líquidos. Los datos geológicos e hidrogeológicos

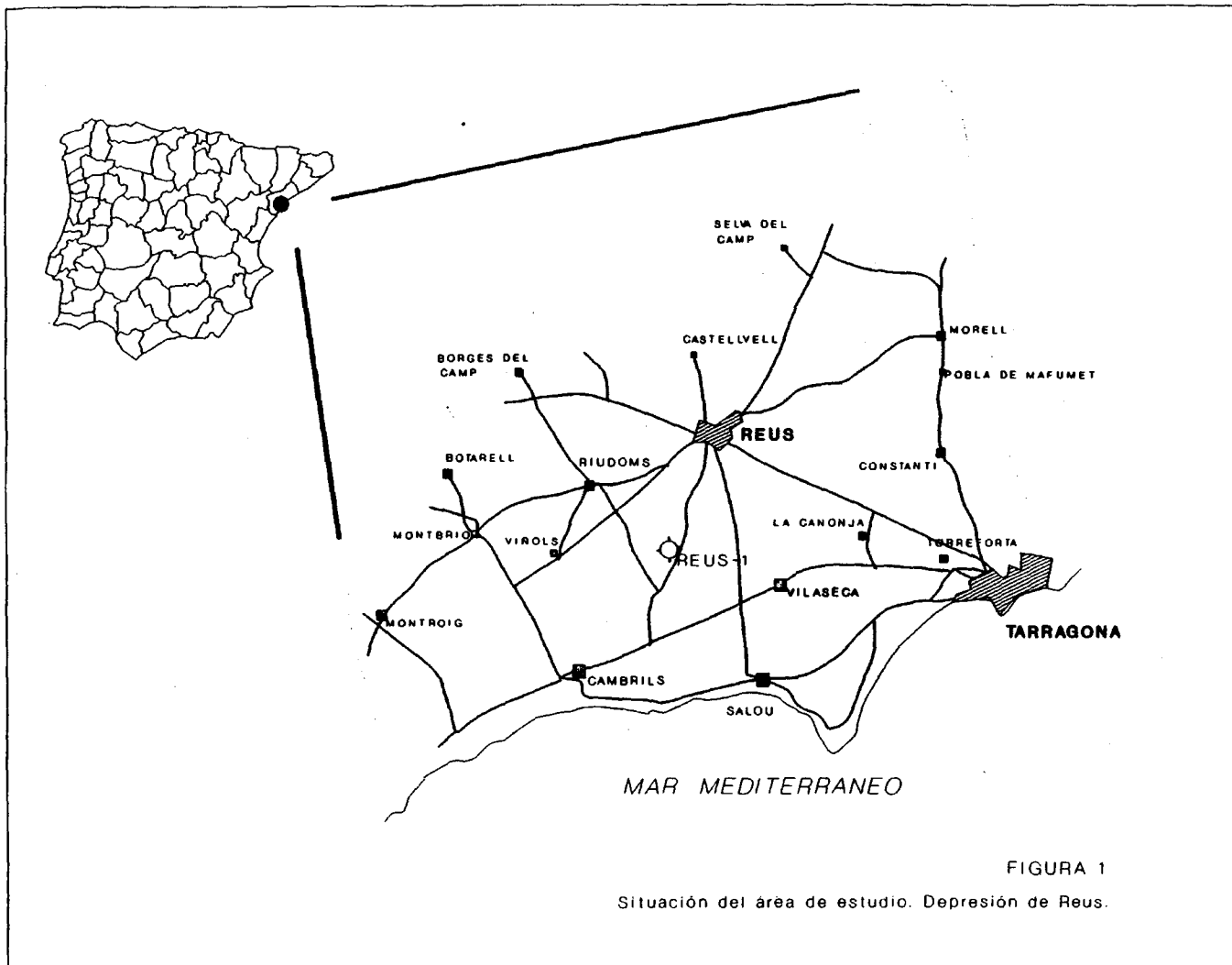


FIGURA 1

Situación del área de estudio. Depresión de Reus.

disponibles han sido revisados nuevamente para estimar las posibilidades de utilización de estas formaciones en la eliminación de residuos líquidos. La escasez de datos profundos a nivel regional y la complejidad tectónica del área, son factores que limitan el alcance de este estudio. La viabilidad de estas operaciones en zonas alejadas del sondeo Reus-1 deberá ser confirmada tras la perforación de un sondeo de investigación y el estudio preciso de la continuidad estratigráfica dentro de la depresión.

Este informe ha sido realizado por Tecnología y Recursos de la Tierra, bajo la supervisión del Instituto Tecnológico GeoMinero de España. En su ejecución han intervenido los siguientes técnicos:

Gerardo Ramos González. Ingeniero de Minas. Director del Proyecto. ITGE.

José Sánchez Guzmán. Ingeniero de Minas. Responsable del Proyecto. TRT.

Rafael Martínez Alvarez-Amandi. Ingeniero de Minas. TRT.

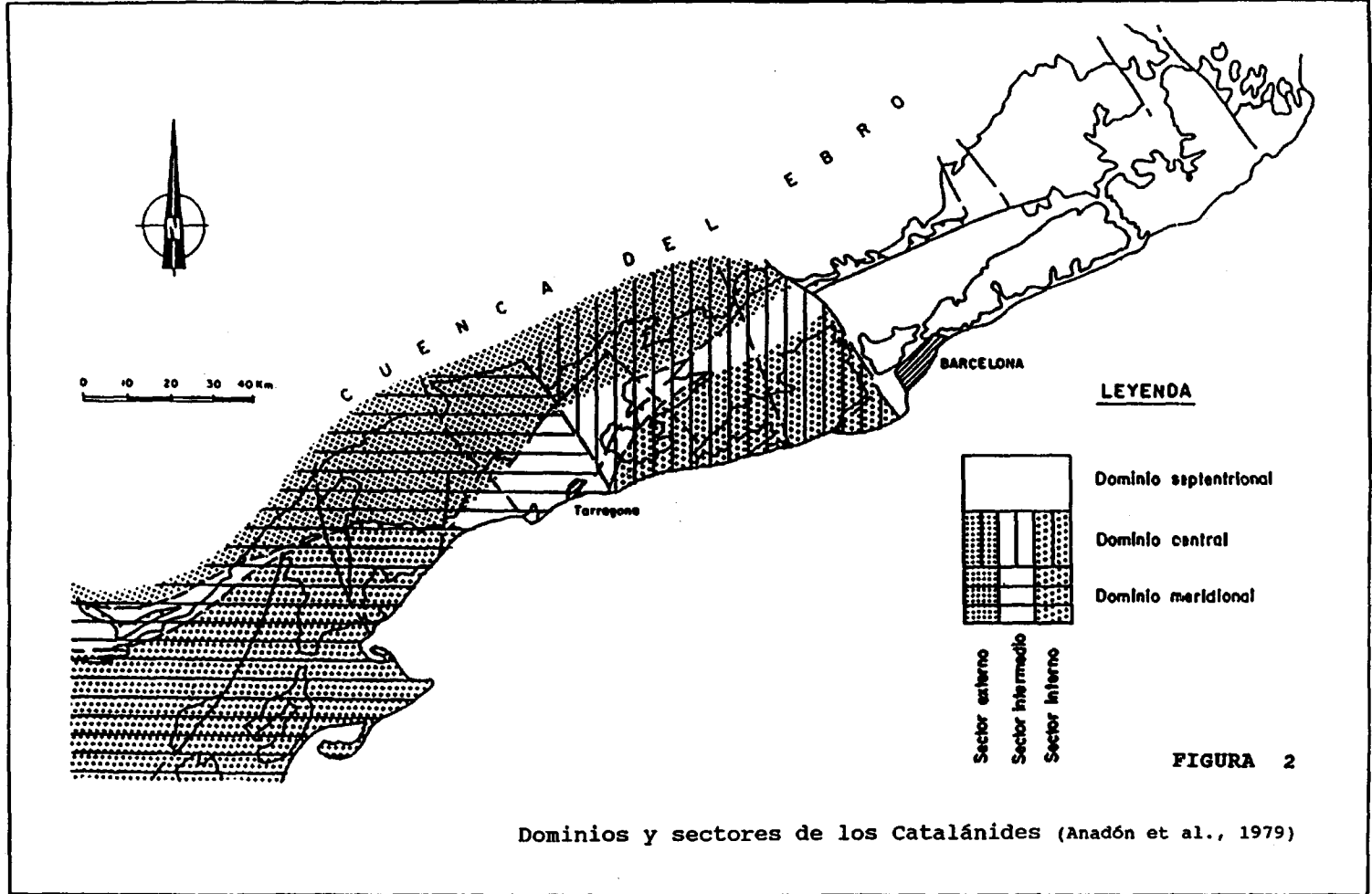
2.- SINTESIS GEOLOGICA REGIONAL

La Depresión de Reus es una de las múltiples fosas tectónicas neógenas de los Catalánides o Sistema Costero Catalán. En conjunto, los Catalánides constituyen una compleja unidad geológica que bordea el litoral catalán. Está conectada con las estribaciones ibéricas en la zona del Ebro y se extiende hacia el norte hasta el Pirineo, del que está separado por la Depresión del Ampurdán.

Su complicado modelado es producto de una historia alpina de tres etapas: preorogénica (desde el inicio de la sedimentación postherciniana), orogénica (de carácter compresivo, ocurrida durante el Paleógeno) y postorogénica (distensiva, abarcando desde el Neógeno hasta la actualidad). En la configuración tectónica actual existen dos sistemas principales de fracturas, aproximadamente longitudinales y transversales respecto a la orientación general de la cordillera. Estos sistemas han delimitado una serie de unidades geográficas que estratigráficamente se diferencian por el distinto desarrollo y características del Mesozoico, principalmente durante el Jurásico y el Cretácico. (Anadón et al., 1979)

Conforme a las variaciones estratigráficas y tectónicas se diferencian los dominios septentrional, central y meridional, subdivididos a su vez en los sectores interno, intermedio y externo, como se muestra en la figura 2 (Anadón et al., 1979).

La Depresión de Reus se encuentra en el sector



intermedio del dominio meridional. Forma parte de la fosa neógena de Reus-Valls, una de las principales formadas por la distensión postorogénica, que limita con el Macizo de Priorato y el Horst Priorato-Gayá en su borde NO, el Macizo de Bonastre en el extremo oriental y la costa mediterránea al sur. Dos fallas, la de Francolí y la de Alforja, delimitan la Depresión de Reus.

Su morfología es típica de los graben. Sucesivas fallas normales forman una profunda cubeta escalonada que alcanza unas dimensiones aproximadas de 34 km de longitud y 14 km de anchura. La fracturación postorogénica afecta a los sedimentos mesozoicos, sobre los cuales se depositaron los materiales terciarios rellenando la fosa mediante una potente serie sedimentaria.

2.1.- LITOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA

La estructura global de la Depresión de Reus consta de un zócalo (basamento cristalino y series paleozoicas), la cobertura mesozoica (depósitos mesozoicos preorogénicos) y el relleno neógeno postorogénico. La sedimentación mesozoica y terciaria ocurrió con sucesión de transgresiones y regresiones marinas y, en general, en la zona de estudio están representadas todas las secuencias sedimentarias, a excepción del Cretácico.

Basamento cristalino:

Los potentes depósitos sedimentarios que rellenan la Depresión de Reus descansan sobre un basamento ígneo formado por granitos y dioritas del plutón del Priorato. Aunque estas rocas no son visibles en los bordes inmediatos de la fosa de Reus,

afloran en las zonas de Falset, Alforja y Prades constituyendo los bordes del horst del Priorato-Sierra de Prades.

Las rocas ígneas aflorantes en este área tienen diferentes características petrográficas y de yacimiento, pero en general son granodioritas de tonos claros, con textura granuda porfídica holocristalina y de grano medio. Su composición media consta de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y biotita como minerales principales, conteniendo también opacos, apatito y circón.

Paleozoico:

Las series paleozoicas no fueron reconocidas en el interior de la depresión por el sondeo Reus-1. Sin embargo, los amplios afloramientos de su borde occidental confirman su presencia en el interior de la fosa, bajo los depósitos mesozoicos y terciarios. En esta zona del dominio meridional de los Catalánides, el Paleozoico está formado por series silúricas y carboníferas frecuentemente afectadas por metamorfismo de contacto e intrusiones ígneas.

El silúrico consta de dos niveles principales: (1) pizarras ampelíticas con graptolites a la base y (2) calizas negras carbonosas con continuidad en el Devónico, en la parte alta. La serie pizarrosa está formada por pizarras, filitas y sericitas con incipiente esquistosidad de flujo. Contiene graptolites que permiten situar las ampelitas en el Llandovery-Wenlock. Las pizarras pasan de forma progresiva a calizas gris azuladas, amigdaloides y facies tipo griotte. Estas calizas, denominadas Calizas de Orthoceras, son prácticamente inexistentes en la zona meridional.

El Carbonífero contiene la mayor parte de los

materiales paleozoicos aflorantes en las zonas limítrofes de la fosa de Reus. Estratigráficamente forma una potente serie (más de 1000 m) discordante con el Silúrico y el Devónico, que se caracteriza por tener una gran homogeneidad. Litológicamente, la serie carbonífera está integrada por grandes alternancias de pizarras finas de color gris negruzco, fácilmente exfoliables y areniscas de grano fino con granoselección. Completan la serie bancos intercalados de areniscas y microconglomerados de la "facies Culm". El contacto con el Buntsandstein presenta normalmente un suelo de alteración compuesto de arcillitas y areniscas de tonos grises y amarillentos.

Triásico:

La formación de una penillanura durante los periodos finales del Paleozoico, propició la sedimentación de materiales triásicos de facies germánicas, con gran continuidad en toda la región catalana. Actualmente constituyen la base de la cobertera mesozoica. Esta continuidad general está distorsionada en las proximidades de la Depresión de Reus por cambios de potencia y de facies en el Muschelkalk superior y Keuper.

El Buntsandstein está formado por las típicas facies detrítico-fluviales rojas y alcanza potencias comprendidas entre 70 y 140 metros. Se inicia con un nivel basal de conglomerados de cantos bien rodados y heterométricos, de cuarzo filoniano, rojos y matriz areniscosa escasa. El tamaño de los cantos aumenta hacia la base, alcanzando un máximo de 10 cm. Hacia la parte superior aumentan progresivamente los elementos finos hasta que predominan las arenas y areniscas rojas, ocasionalmente grises o amarillentas, frecuentemente cargadas de arcilla y con estratificación cruzada. Finaliza la serie con un tramo superior de arcillas rojas y verdes con débiles pasadas de areniscas.

El **Muschelkalk inferior** supone la primera intercalación marina triásica. Son depósitos costeros de relativa uniformidad de facies en todos los Catalánides, cuyas potencias varían entre 50 y 90 metros en las zonas próximas a la Depresión de Reus. Su litología es esencialmente carbonatada, formada por calizas microcristalinas gris azuladas, bioclásticas, con nódulos de chert, fucoides y secciones de ammonoideos y lamelibranquios. Es frecuente que estén irregularmente dolomitizadas formando dolomicritas. Normalmente se encuentran bien estratificadas en bancos de espesor no superior a un metro.

El **Muschelkalk medio** es un tramo regresivo detrítico de color rojizo similar al Bunt. Se atribuye a facies aluviales distales y ambientes de playa evaporítica. Es blando, plástico, de potencia variable entre 25 y 80 metros en el área de estudio, estructuralmente inestable y causante de frecuentes despegues de los niveles superiores. Litológicamente está formado por arcillas rojas con intercalaciones de arenisca arcillosa y bancos de yeso o anhidrita irregularmente dispuestos.

El **Muschelkalk superior** es un intervalo carbonatado de potencia variable parecido al Muschelkalk inferior, pero con influencia marina. Presenta un tramo basal de calizas y dolomías arrecifales, bioturbadas, de color gris a beige y grano muy fino. Su cementación es normalmente esparítica, lo que permite diferenciarlas de las del Muschelkalk inferior micrítico. Por encima se sitúa un tramo progresivamente más margoso de tránsito indefinido hacia el Keuper.

El **Keuper** en esta zona tiene potencia variable (35-150 m) debido a la erosión sufrida durante la deposición del Lías brechoide. Presenta sus facies típicas de arcillas rojas y versicolores, con yesos o anhidrita intercalados en paquetes irregulares. En ocasiones adquiere un carácter margoso

dolomítico de ambiente evaporítico.

Jurásico:

Está extensamente representado en el dominio meridional de los Catalánides. Forma un gran paquete carbonatado que, en algunos puntos próximos a la Depresión de Reus, llega a alcanzar unos 650 metros de potencia. En la macrosecuencia sedimentaria jurásica se han diferenciado tres secuencias que coinciden aproximadamente con el Lías, Dogger y Malm, aunque sus límites no están definidos por discontinuidades claras.

El Lías se sitúa generalmente discordante sobre un Triás parcialmente erosionado. Representa un periodo de transgresión marina que no supera los ambientes de plataforma dentro de los Catalánides. La base está constituida por una serie brechoide de cantos heterométricos, generalmente dolomíticos del tipo debris flow, de color rosado característico. A veces existen niveles de dolomía fina intercalados y bien estratificados. Superponiéndose a los niveles anteriores aparece una serie poco potente de calizas micríticas de color beige claro a blanquecinas. En la zona de tránsito al Dogger es frecuente un nivel de condensación estratigráfica, de un espesor máximo de 5 metros, formado por calizas margosas con puntos piritosos, desarrollo de hard-grounds ferruginosos y acumulación de nódulos de la misma naturaleza.

El Dogger supone el restablecimiento de la sedimentación marina distal, con facies de plataforma externa y profunda que tienen gran uniformidad en el dominio meridional. Litológicamente se compone de calizas margosas con intercalaciones de margas gris azuladas. Presenta niveles

variables de dolomitización que normalmente, aumentan hacia el este. A techo pueden aparecer niveles alternantes de calizas micríticas y margas con filamentos.

El **Malm** se superpone sobre el Dogger sin discontinuidad. Está formado por depósitos de plataforma abierta y profunda altamente dolomitizados. Litológicamente es un paquete de dolomías gris claro, vacuolares, muy porosas y frecuentemente karstificadas.

Cretácico:

En las zonas adyacentes a la Depresión de Reus la sedimentación cretácica es muy escasa y de carácter continental. Se reduce a depósitos del Albiense y del Cretácico superior. El sondeo Reus-1 tampoco cortó ningún material del Cretácico, cuya serie está probablemente ausente de toda la depresión, debido a discontinuidades deposicionales y a fenómenos erosivos. En la figura 3 se muestra esquemáticamente una sección de la cuenca catalánide. Puede observarse el acúfamiento de los sedimentos cretácicos en el sector intermedio que propició su falta de continuidad actual.

El **Albiense** aparece discordante sobre materiales jurásicos de diferentes edades. Sus litologías son arenas y arcillas rojas a ocres, limonitizadas, en las que son frecuentes costras y nódulos ferruginosos, cuarzos bipiramidados y jacintos de Compostela, junto con restos vegetales limonitizados. En las arenas existen frecuentes estratificaciones cruzadas.

El **Cretácico superior** muestra una nueva transgresión marina en las zonas próximas a la depresión de Reus, que dió lugar a los depósitos cenomanienses encontrados en la zona de Llavería. Son restos dolomíticos grises, de grano medio y escasa

SSE - NNW

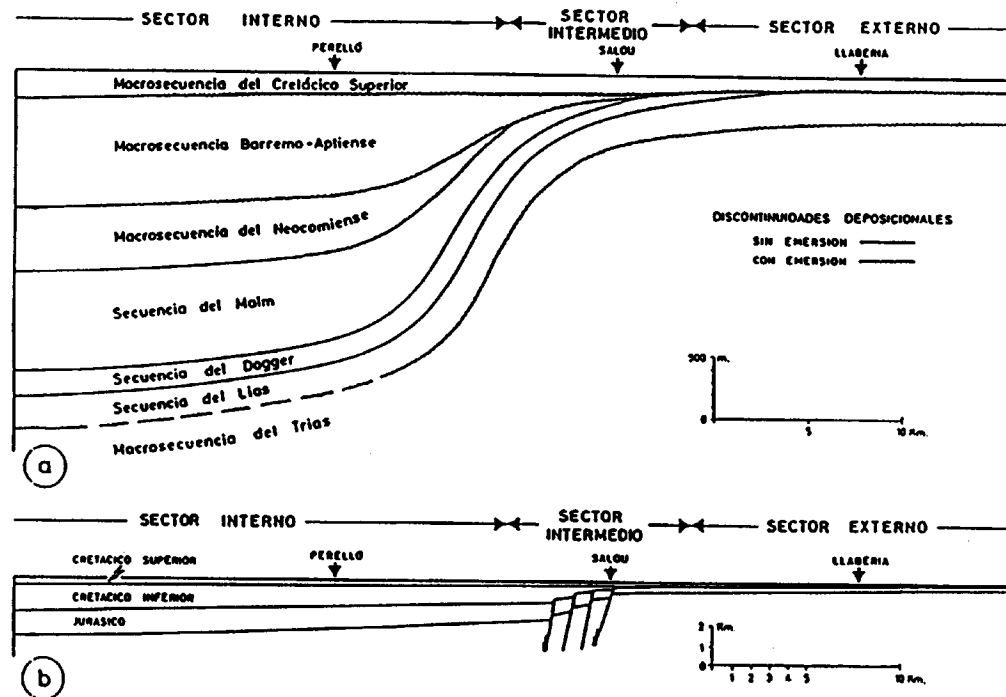


FIGURA 3

Sección esquemática transversal de la cuenca catalánide mesozoica
(Anadón et al., 1979)

potencia. Superpuestas aparecen unas calizas micríticas que pueden variar a calcarenitas colíticas, gravelosas, ocasionalmente con glauconia.

Terciario:

Durante el Terciario se produjo una intensa sedimentación que colmató las fosas de origen tectónico. Las acumulaciones de sedimentos neógenos postorogénicos en estas fosas pueden alcanzar los 4000 metros de potencia. Su estructura y distribución dentro de las depresiones es poco conocida debido a la falta de afloramientos y a la escasez de sondeos profundos.

El Paleógeno se caracteriza por una sedimentación irregular, con continuos cambios de facies propiciados por la actividad orogénica aún existente durante este periodo. En el dominio meridional hay ausencia de niveles marinos. Consta de un tramo inferior de litología compleja, formado por materiales detríticos finos, evaporíticos y carbonatados (Biarritziense), y de un tramo superior de materiales conglomeráticos (Biarritziense-Estampiense).

Durante todo el Neógeno, las fallas que delimitan las depresiones tectónicas permanecieron activas, provocando la acumulación de grandes masas de materiales detríticos (conos de deyección) junto a sus bordes. La sedimentación varía lateralmente a facies lacustres y evaporíticas hacia el interior de las cuencas, o bien, a facies arrecifales o de lagoon en las áreas de influencia marina. Los extremos meridionales de las cuencas estaban invadidos por el mar, por lo que existe una clara zonación en dominios continental y marino. En la Depresión de Reus-Valls la línea de costa está delimitada por la falla transversal del Francolí. Los materiales del Mioceno inferior son grandes masas de conglomerados brechoides de color rojo, a

los que se superpone un potente tramo de arcillitas y areniscas también rojas, correspondientes a aportes de conos de deyección. Lateralmente pasan a sedimentos lacustres y evaporitas, al alejarse de los bordes.

El Mioceno medio supone un nuevo periodo transgresivo en el que el ambiente marino se extendió hasta el río Francolí (límite de las fosas de Reus y Valls). Se caracteriza por la existencia de dos facies principales: (1) en los bordes exteriores, calizas y calcarenitas depositadas en ambientes de plataforma somera y arrecifales; (2) en las áreas interiores, facies de lagoon que dieron lugar a la sedimentación de margas grises arenosas.

El Mioceno superior es regresivo. Son características las facies arcillosas de las zonas de tránsito hacia la costa, formadas principalmente por arcillas con niveles de glauconitas y foraminíferos planctónicos de edad tortoniense.

El Plioceno es nuevamente transgresivo. En las zonas litorales dominan las facies marinas o de tránsito. Litológicamente está formado por margas, arcillas y arenas finas ferruginosas y yesíferas.

Cuaternario:

En el área de estudio, los terrenos cuaternarios son fundamentalmente piedemontes que cubren la práctica totalidad de la Depresión de Reus. Están constituidos por conglomerados heterométricos muy angulosos, en un 75% de origen paleozoico y el resto mesozoico y cenozoico. Carecen normalmente de cementación y están englobados en una matriz limo-arcillosa. Su potencia varía desde pocos metros hasta los 80 ó 100 metros.

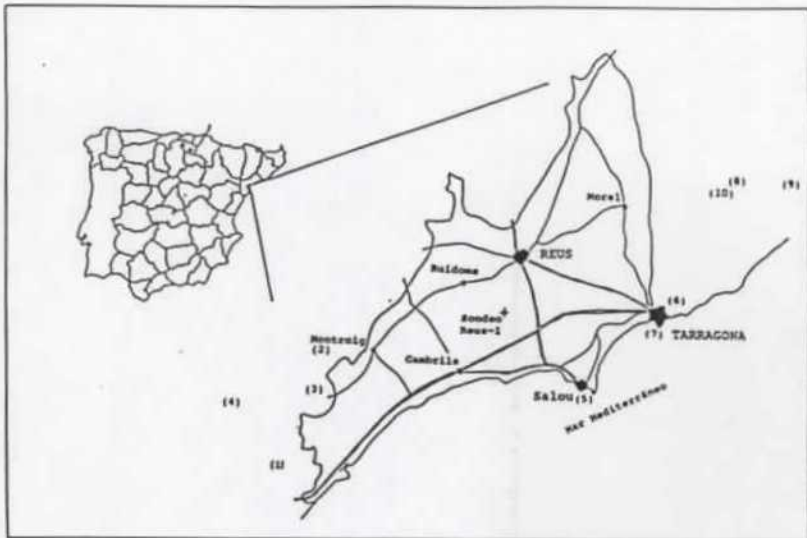
Existen también terrazas y aluviones cuaternarios junto a los cauces de los ríos actuales, formados por depósitos de gravas, arenas y limos.

En la figura 4 se muestra la correlación estratigráfica de la columna del sondeo Reus-1 con columnas de campo levantadas en diversos lugares próximos a la depresión de Reus (fuentes: I.T.G.E., Magna 1:50000; APEX Co., sondeo Reus-1).

2.2.- TECTONICA

La configuración morfoestructural de la Depresión de Reus-Valls se debe principalmente a la interacción entre sedimentación y tectónica durante el Neógeno. A partir del Oligoceno, durante un periodo distensivo que afectó a todo el Mediterráneo occidental, se formaron grandes fallas normales de dirección SO-NE provocando el hundimiento una serie de fosas a lo largo de la cordillera. La intensa denudación de las áreas marginales dió lugar a la rápida colmatación de las fosas con grandes acúmulos de sedimentos. Como consecuencia, la Depresión de Reus-Valls actual es una gran fosa tectónica con la morfología típica de bloques escalonados mediante fallas normales de gran desplazamiento, que afectan al basamento y sedimentos paleozoicos y mesozoicos. Sobre este fondo estructural se ha depositado una cobertera terciaria que llega a alcanzar espesores estimados del orden de los 1500 metros.

Su disposición es longitudinal respecto a la cordillera y ligeramente oblicua respecto a la línea de costa, por lo que está abierta al mar por su extremo meridional (figura 5). La fosa de Reus es la parte de la cubeta situada al lado sur de la gran falla de desgarre del Francolí, que separa



COLUMNAS

- (1) VANDELLOS
- (2) JOVE
- (3) RINCON DE DOBIA
- (4) CAPSANES
- (5) SALOU
- (6) TARRAGONA
- (7) ERMITA SALUD
- (8) SALOMO
- (9) MAS BORRAS
- (10) VESPELLA

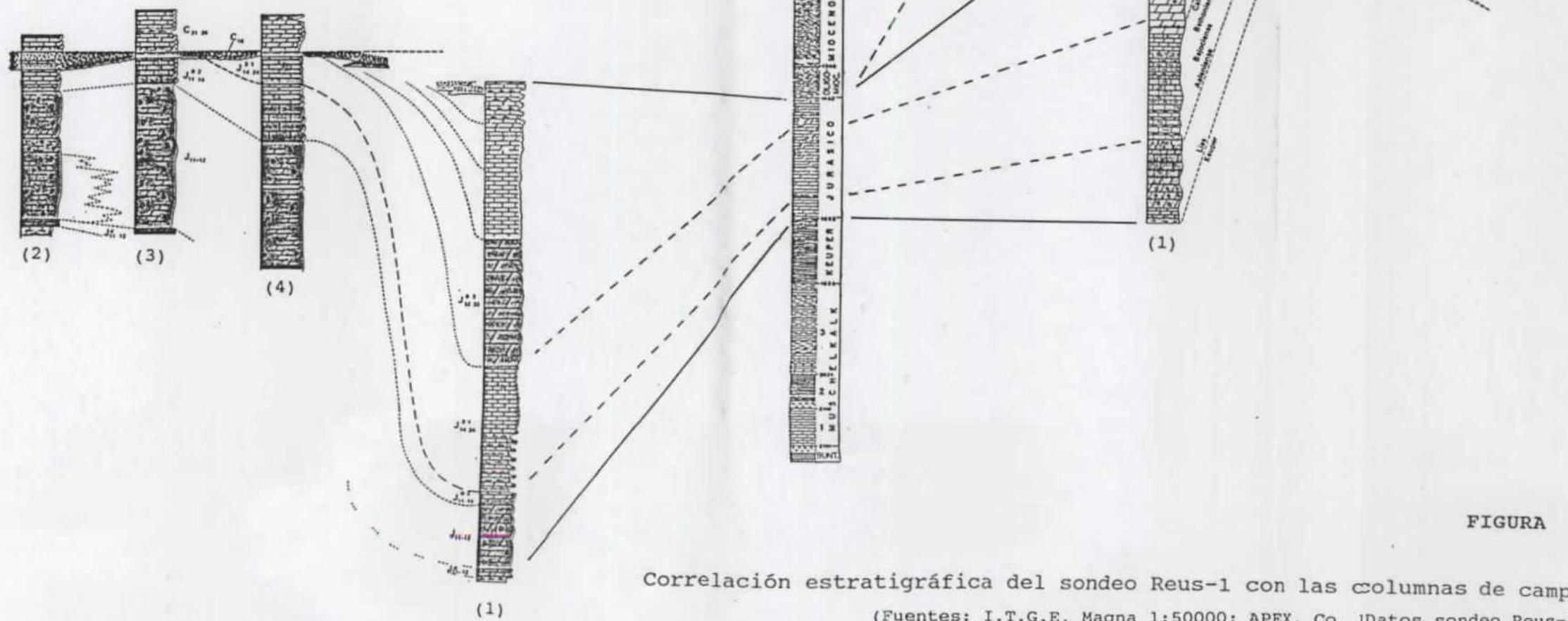
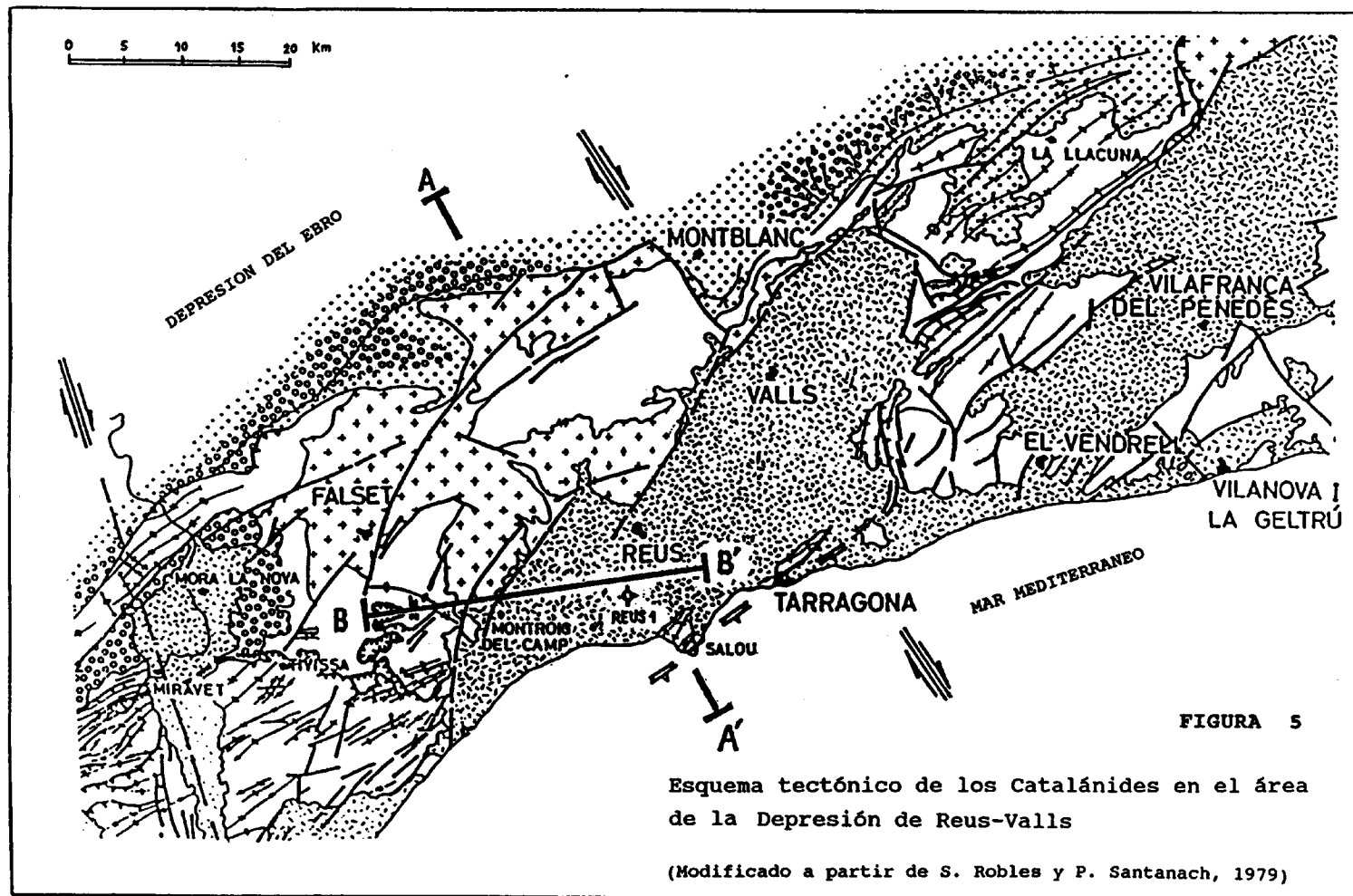


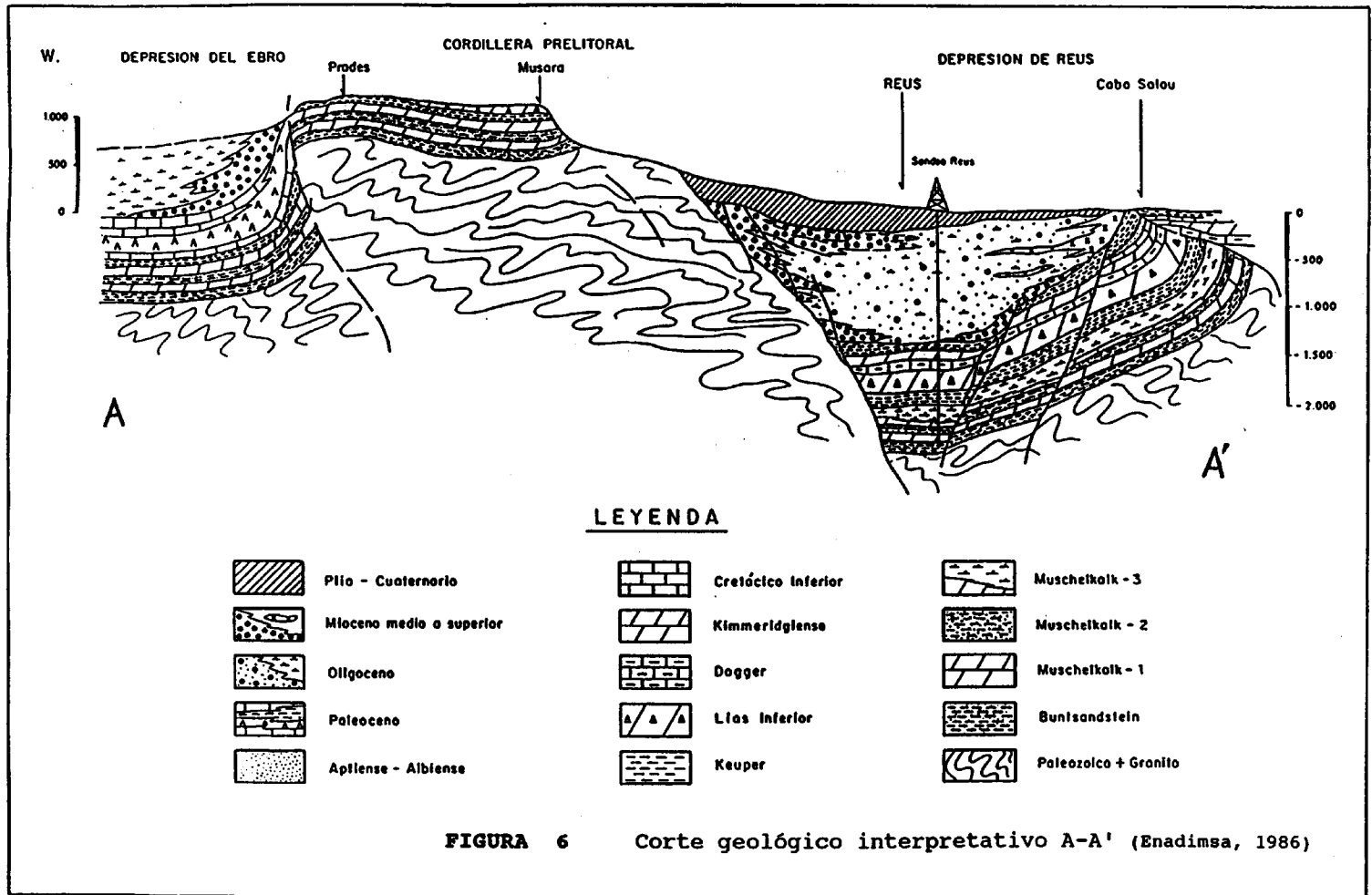
FIGURA 4

Correlación estratigráfica del sondeo Reus-1 con las columnas de campo
 (Fuentes: I.T.G.E. Magna 1:50000; APEX, Co. | Datos sondeo Reus-1)



las depresiones de Reus y Valls. Su morfología se muestra en los cortes geológicos interpretativos de las figuras 6 y 7. Ambas figuras reflejan la estructura en graben formada por el sistema de fallas normales de dirección SO-NE, anteriormente referido. La fosa está basculada hacia su borde interno (límite con el macizo del Priorato-Gayá), en donde se produce la mayor acumulación de sedimentos neógenos. Hacia el límite oriental o costero, el mesozoico se hace progresivamente más superficial, llegando a aflorar en el cabo de Salou.

Las fallas normales, por su gran desplazamiento, restringen la continuidad espacial de las series mesozoicas cortándolas en todo su espesor y enfrentando niveles de muy diferentes características hidráulicas. La cobertera terciaria pierde su continuidad lateral hacia las zonas marginales, al disminuir notablemente su potencia y aparecer facies de borde. Además del sistema principal de fracturas, existe una importante falla (falla de Alforja) de orientación subperpendicular (NO-SE), no observable en las secciones geológicas incluidas, que podría limitar la continuidad de la depresión longitudinalmente.



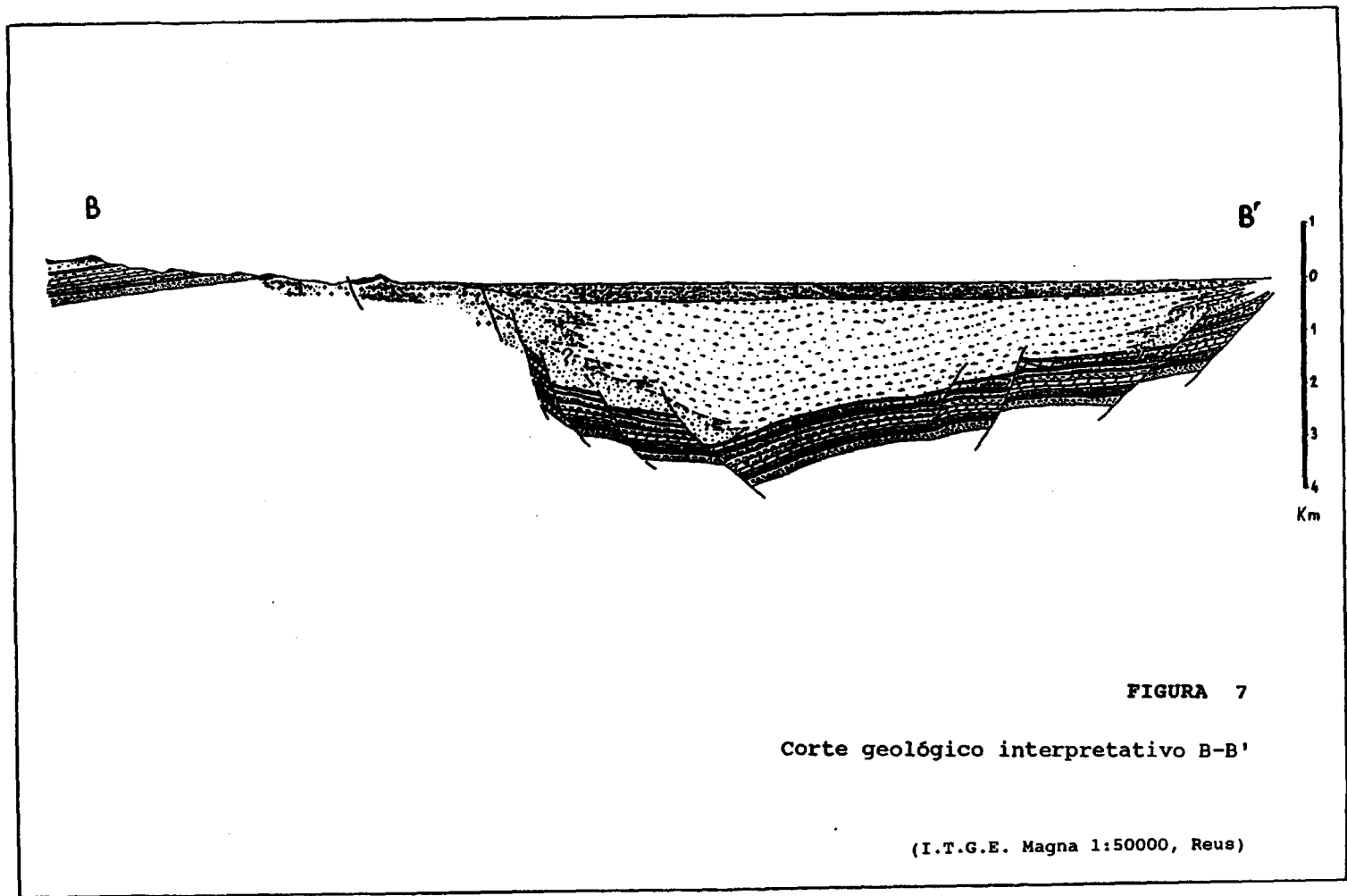


FIGURA 7

Corte geológico interpretativo B-B'

(I.T.G.E. Magna 1:50000, Reus)

3.- ASPECTOS HIDROGEOLOGICOS LOCALES

CONDICIONANTES DE LA INYECCION

La revisión de los datos geológicos e hidrogeológicos disponibles indica que la Depresión de Reus es una zona potencialmente utilizable para la inyección profunda de aguas residuales. El planteamiento hidrogeológico inicial de un sistema de inyección en este área supone la utilización de las series carbonatadas jurásicas como formación receptora de los efluentes inyectados. La potente cobertera terciaria protegería los dominios superficiales aportando el confinamiento necesario para evitar la migración vertical de los residuos.

Para estimar la viabilidad de un sistema de inyección concebido de este modo, se ha realizado un estudio detallado de los factores hidrogeológicos que permitan valorar las posibilidades de:

- Encontrar una formación receptora capaz de admitir los volúmenes de fluido inyectado en condiciones de operación seguras y rentables económicamente.
- Encontrar confinamiento que aisle permanentemente los fluidos inyectados, impidiendo su migración vertical hacia dominios superficiales.
- Garantizar la integridad de cualquier recurso subterráneo actual o futuro, en especial la calidad de las aguas subterráneas.

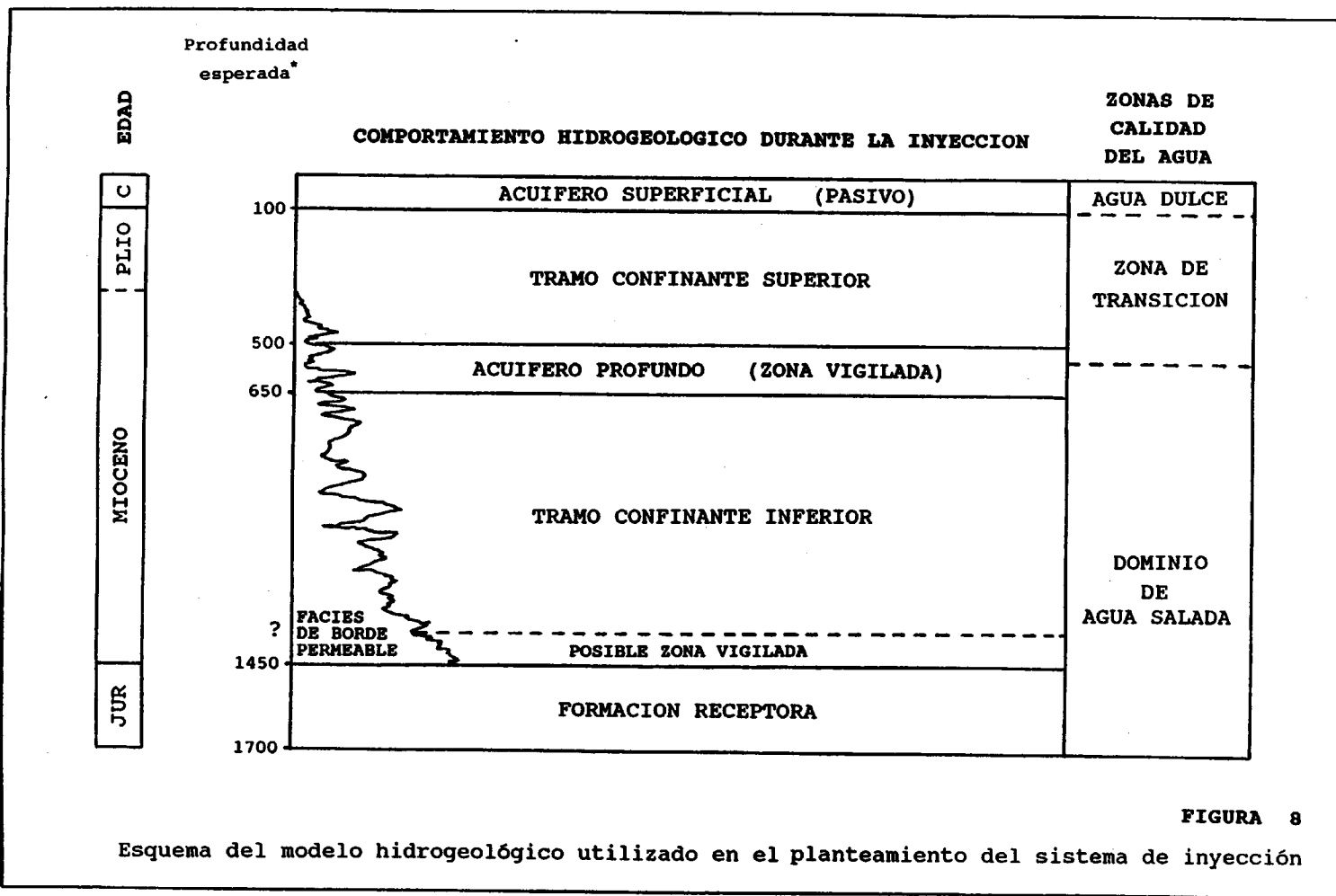
Se ha podido confirmar la presencia de un nivel de transmisividad, potencia y calidad de agua adecuadas para la

inyección, en la serie carbonatada altamente karstificada del Jurásico. Así mismo, existen tramos en la serie marga-arcillosa del Mioceno-Plioceno que tienen potencia e impermeabilidad suficientes para aportar un confinamiento adecuado. No ha podido confirmarse, sin embargo, la continuidad lateral (geométrica) de estas dos secuencias. Las frecuentes fallas normales características de la tectónica distensiva de la fosa de Reus, podrían limitar la capacidad de la formación receptora y la estanqueidad de la cobertera confinante. El sucesivo escalonamiento de bloques que conforman la estructura en graben de la fosa y la existencia de facies de borde en las zonas marginales, limitan las posibilidades de inyección a las zonas interiores en donde la profundidad de la formación almacén y el espesor del confinamiento sean adecuados.

Las características estructurales de la fosa de Reus constituyen la principal limitación de la inyección, en un área hidrogeológicamente muy favorable. La realización de un estudio tectónico local detallado, se hace imprescindible para la confirmación de la viabilidad de la inyección profunda en la zona. Adicionalmente, las características hidrogeológicas locales deberán de confirmarse mediante la perforación y ensayo de un sondeo exploración. En el capítulo 5 se describe el programa de perforación y ensayos recomendado durante la realización del sondeo piloto. Este programa, junto con el diseño conceptual de sistema de inyección, se han realizado en base a los resultados del análisis hidrogeológico que se expone a continuación, y se sintetiza en la figura 8.

3.1.- ACUIFEROS SUPERFICIALES

Considerando únicamente los niveles situados por encima de la formación almacén, dentro de la Depresión de Reus



*aprox. según datos de Reus-1

existen dos acuíferos con continuidad regional que se denominan corrientemente, acuífero superficial y acuífero profundo. El acuífero superficial está formado por los depósitos cuaternarios de gravas arcillosas tipo piedemonte. Su transmisividad es considerada media-alta en el conjunto regional, variando desde un mínimo de 10 a 50 m²/día, hasta valores máximos de 2000 a 3000 m²/día. El flujo tiene dirección preferencial perpendicular al litoral, excepto en las zonas donde el río Francolí y su aluvial drenan lateralmente el acuífero. En la actualidad está siendo intensamente explotado y en algunas áreas está afectado por la intrusión marina.

El acuífero profundo es el nivel permeable del Mioceno marino, generalmente formado por biomicritas, calizas bioclásticas y calcarenitas que pasan lateral y verticalmente a margas siltsas. Su funcionamiento es desconocido y sólo se tienen datos piezométricos de la zona costera. Este nivel debe ser ensayado durante la perforación del sondeo piloto para determinar sus características hidráulicas locales y la calidad del agua.

Además de los dos acuíferos regionales, puede encontrarse también un tercer tramo permeable. Se trata de un nivel conglomerático del Mioceno basal continental, cuyo espesor y continuidad son variables en el área de estudio. Tiene una elevada permeabilidad, con transmisividades que oscilan entre los 3000 m²/día y los 15000 m²/día.

Con vistas a planificar la perforación de un sondeo de ensayo ha de considerarse la posibilidad de encontrar los tres tramos permeables citados anteriormente, además de la zona de inyección (ver tabla 1). Aunque el Mioceno conglomerático no fue cortado por el sondeo Reus-1, debe tenerse en cuenta su posible presencia en la zona escogida para la inyección. Este intervalo suele tener permeabilidad alta y podría ser un importante nivel

TABLA 1. Características de las zonas permeables que pueden ser atravesadas por el sondeo piloto.				
Acuífero	Litología	Potencia (m) regional Reus-1		Permeabilidad
Piedemontes	Gravas arcillosas	5-100	66	Alta-media
Mioceno (1)	Calcarenitas y margas	50-300	150	Media
Mioceno (2)	Brechas y conglomerados arcillosos	20- 50	No	Alta
Jurásico	Dolomías karstificadas	250-300	261	Alta
Fuentes: I.T.G.E. Estudio de los recursos hídricos subterráneos del sistema hidrogeológico 74. Camp de Tarragona, 1986. APEX Co. Datos del sondeo Reus-1, 1976.				

de observación. También puede tener interés para el conocimiento preciso de la distribución de la calidad del agua con la profundidad, en el lugar de la inyección.

Los depósitos de piedemonte fueron cortados por el sondeo Reus-1 entre 0 y 66 metros de profundidad. Su descripción litológica y las diagraffias, reflejan un tramo de alternancia de gruesos y arcillas bien definido, con un alto nivel gamma indicativo de arcillosidad importante en todo el conjunto.

El nivel permeable del Mioceno margoso fue cortado por Reus-1 entre 495 y 645 metros. Se observa su estratificación en tramos alternantes de margas y arenas muy claramente definidos, con espesores que no superan normalmente los 20 metros. Las marcadas inflexiones de todos los registros geofísicos en los pasos de tramo margoso a arcilloso, reflejan no solamente variaciones litológicas, sino también variaciones de permeabilidad. Hacia la base, los logs de inducción y de resistividad normal (16") muestran un progresivo descenso de resistividad sin que se observen variaciones litológicas

sensibles, indicando una posible zona de degradación de la calidad del agua.

3.2.- FORMACION RECEPTORA

Se ha escogido como objetivo de la inyección la serie carbonatada jurásica. Está formada por un tramo basal de dolomías de grano fino y brechas dolomíticas, seguidas de dolomías o calizas parcialmente dolomitizadas con algunas intercalaciones margosas. Los niveles superiores están afectados por karstificación muy desarrollada e intensa fracturación, constituyendo un acuífero de transmisividad muy elevada. La serie está muy bien representada en todo el dominio meridional de los Catalánides y, en el área de la Depresión de Reus, tiene potencias comprendidas entre los 250 y 300 metros.

La información geológica disponible permite confirmar la continuidad de la zona de alta porosidad secundaria a nivel regional. Dentro de la fosa de Reus, la capacidad de la formación receptora podría estar limitada por la acción de las fallas normales que afectan a los sedimentos mesozoicos. Estas fallas pueden limitar la extensión del acuífero a dimensiones que harían inviable la inyección, a pesar de su elevada transmisividad. Este extremo debe confirmarse mediante un ensayo de inyección previo al acabado del sistema de inyección.

Las características regionales fueron también confirmadas en el interior de la Depresión de Reus. El Jurásico fue cortado por el sondeo Reus-1 entre 1432 y 1693 metros de profundidad. Todos los datos de perforación confirman su elevada transmisividad. El tramo se perforó sin retornos en toda su longitud (261 m), sufriendo frecuentes pérdidas de circulación, que llegaron a ser totales en la zona alta. Se recogieron dos

testigos, obteniendo porcentajes bajos de recuperación (20% en la zona fracturada).

Adicionalmente, el acuífero fue ensayado mediante DST entre 1432 y 1504 metros. Los resultados (Tabla 2) confirman la alta transmisividad de la formación en ese intervalo, pero no permiten obtener estimaciones cuantitativas. Se obtuvo agua con una salinidad de 31000 mg/l y se midió una temperatura de 55°C.

TABLA 2 Resultados de prueba de producción en la formación receptora.						
Intervalo Ensayado	Recup. (l)	T (°C)	Indice Product. (m ³ /d/kg/cm ²)	Presión Formación (kg/cm ²)	Altura Piezom. (mbnm)	Salinidad (mg/l)
1432 m 1504 m	11200 en 26'	55	4.67	132.7 @ 1436 m	35	31000
Fuente: ENADIMSA, Estudio de las posibilidades geotérmicas en el subsuelo de la Depresión de Reus, 1986.						

Los registros geofísicos confirman la existencia de porosidad secundaria y muestran tres intervalos con litologías bien diferenciadas: (1) un tramo superior de litología limpia muy constante con intensa fracturación a techo, localizado entre 1432 y 1500 metros; (2) entre 1500 y 1592 m, un tramo margoso con dos claras zonas de margas intercaladas, cuya fracturación disminuye hacia la base, y (3) un tramo final comprendido entre 1592 y 1693 metros, progresivamente más compacto con fracturación aislada.

Dadas las características litológicas de la formación receptora, se aconseja un acabado tipo *open-hole* en toda la extensión de la zona de inyección. Durante la perforación del

sondeo piloto deben evaluarse con precisión las características del tramo margoso intermedio. La presencia de niveles importantes de margas puede comprometer la estabilidad del sondeo y/o provocar problemas de compatibilidad en función de las características del residuo inyectado. En este caso es recomendable renunciar a la utilización del tramo permeable inferior, empleando únicamente el tramo superior de alta transmisividad como zona de inyección.

3.3.- CONFINAMIENTO

De acuerdo con el planteamiento hidrogeológico del sistema de inyección (figura 8), dos tramos de materiales impermeables del Mioceno y Plioceno aportan el confinamiento de la formación receptora. Ambos tramos están separados por un nivel de permeabilidad media conocido como el acuífero profundo. La potencia del conjunto de cierre es del orden de varios centenares de metros. Varía de unas zonas a otras de la cuenca, pudiendo alcanzar potencias estimadas de hasta 1500 metros. Las litologías dominantes son las margas y arcillas con frecuentes intercalaciones detríticas y calcáreas. Aunque no se dispone de datos de permeabilidad vertical, a priori, sus características confinantes son muy buenas.

La serie miocena situada inmediatamente por encima de la formación receptora podría comenzar por un nivel de conglomerados brechoides rojos de alta permeabilidad. Estos depósitos suelen aparecer en los bordes de cuenca (material detrítico grueso de los conos de deyección), siendo su presencia poco probable en las zonas internas de la depresión. En caso de existir, podría ser un excelente nivel de vigilancia y seguimiento de los fluidos inyectados, pero no debe incluirse en la zona de inyección.

El tramo confinante inferior está formado por arcillas con algunas intercalaciones de arenas y areniscas, sobre las cuales se superponen margas ligeramente arenosas. Este primer nivel confinante está limitado por el intervalo permeable de calcarenitas del Mioceno medio (acuifero profundo). En el sondeo Reus-1 alcanzó una potencia total de 780 metros. Presenta buena continuidad vertical, tan sólo alterada por pasadas arenosas que no superan los 7 metros de espesor. Los registros geofísicos confirman su homogeneidad mediante niveles gamma y de resistividad muy constantes en cada tramo.

El tramo confinante superior está formado por margas y arcillas del Mioceno superior y Plioceno, siendo frecuentes las intercalaciones arenosas. Aporta un cierre adicional que protege doblemente los niveles superficiales de agua dulce. En el sondeo Reus-1 tiene una potencia de unos 380 metros. Las diagraffias muestran variaciones litológicas alternantes, muy frecuentes y en niveles de escasa potencia, pero sin variación del rango de resistividades y niveles gamma.

El conjunto constituye una cobertera ideal desde el punto de vista litológico, con dos niveles de seguridad y una zona intermedia potencialmente válida para la vigilancia. Sin embargo, ha de considerarse siempre la posibilidad de una disminución de potencia hacia las zonas marginales de la cuenca, o la interrupción de su continuidad lateral por algún accidente tectónico. Sus características confinantes han de ser confirmadas durante la perforación del sondeo piloto mediante la toma de testigos y la realización de pruebas de permeabilidad, a diferentes profundidades. Los valores de permeabilidad vertical obtenidos mediante análisis de muestras de testigo, junto con los valores obtenidos en ensayos sobre la formación, permitirán la confirmación de las buenas características confinantes esperadas.

3.4.- CALIDAD DEL AGUA

Los datos de calidad de agua en las zonas profundas son muy escasos. A escala regional se sabe tan sólo, que los niveles profundos están conectados con el mar a través de la zona sur de la depresión, por lo que se les supone saturados de agua salada. El sondeo Reus-1 detectó una salinidad de 31000 ppm en las dolomías jurásicas consideradas como formación receptora.

El acuífero superficial contiene por lo general agua dulce y está actualmente en explotación. Existen datos que indican degradación de calidad en zonas urbanas e industriales, asociada a focos geotérmicos y por intrusión marina debida a sobreexplotación en las zonas costeras (I.T.G.E. Estudio de los recursos hídricos subterráneos del sistema hidrogeológico 74. Camp de Tarragona, 1986).

En general, dentro de la Depresión de Reus, se espera encontrar un dominio de agua dulce limitado al acuífero superficial y un dominio de agua claramente salobre por debajo del Mioceno medio. Separando ambas, puede esperarse una zona de transición irregular localizada en los niveles altos del Mioceno (probablemente nunca por debajo del tramo permeable que constituye el acuífero profundo). Su situación dependerá en gran parte, del grado de intrusión marina existente en cada área de la depresión.

La distribución en profundidad de estas zonas no podrá estimarse previamente a la perforación de un sondeo piloto, debido a las súbitas variaciones de profundidad impuestas por las múltiples fallas normales que dan forma a la fosa. Esta característica refuerza la importancia de ensayar los tramos permeables descritos con anterioridad, con el fin de conocer su comportamiento hidráulico y obtener muestras de agua representativas.

3.5.- CONTINUIDAD

La continuidad geométrica de las formaciones intervinientes en el sistema de inyección es el aspecto de la viabilidad que presenta una mayor incertidumbre. La compleja tectónica que da forma a la fosa de Reus es el principal factor limitativo de la inyección en esta zona. Manifestaciones tales como deformación de materiales plio-cuaternarios, existencia de aguas termales y registros sísmicos, son indicativos de actividad tectónica actual.

La discontinuidad lateral de las formaciones compromete la inyección en dos aspectos:

- Limita la capacidad receptora de la formación almacén.
- Limita las propiedades confinantes del cierre impermeable.

Las fallas normales distensivas afectan a la totalidad de la serie jurásica, reduciendo la extensión del almacén. Sin embargo, se estima probable la localización de bloques con extensión lateral suficiente para aceptar los volúmenes requeridos por la inyección. En este caso, las fallas normales podrían reforzar el confinamiento lateral entre bloques adyacentes, al enfrentar el almacén con materiales triásicos impermeables. La forma de la cuenca hace aconsejable plantear la inyección en las zonas internas, tratando de alcanzar la formación receptora a profundidades que garanticen una potencia de confinamiento adecuada y manteniendo la operación suficientemente alejada de las zonas de afloramiento.

La confirmación de la aptitud receptora local deberá realizarse mediante un ensayo de inyección, una vez terminada la perforación del sondeo piloto. Complementariamente, habrán de vigilarse las variaciones de inyektividad durante la operación.

La continuidad tiene especial importancia a la hora de caracterizar los niveles confinantes. Aunque la sedimentación neógena se realizó con posterioridad a la orogenia, debe confirmarse la integridad del confinamiento mediante un estudio tectónico detallado. La aparición de facies de borde en la serie miocena podría también limitar la extensión lateral de la cobertera impermeable. Desde este punto de vista, es preferible mantenerse alejado de las zonas marginales.

Aunque las circunstancias comentadas anteriormente no comprometen a priori la viabilidad de la inyección de residuos en la zona, se aconseja, en caso de eliminación de sustancias de carácter tóxico o peligroso, la realización de un estudio detallado específico para dicho caso teniendo en cuenta la naturaleza y características del residuo. Deberían excluirse en cuanto a la inyección los fluidos de marcado carácter ácido, ya que, la susceptibilidad de los materiales carbonatados de la formación receptora y algunos niveles de confinamiento al ataque químico por parte de sustancias de bajo pH, podría provocar el desarrollo de vías de migración del fluido inyectado.

4.- DISEÑO CONCEPTUAL

Se ha planteado el diseño preliminar de un sistema básico de inyección profunda a partir de los elementos hidrogeológicos confirmados regionalmente en la Depresión de Reus:

- Formación receptora.
- Intervalos confinantes.
- Acuíferos superficial y profundo.

El modelo hidrogeológico seguido es el representado en la figura 8. Las profundidades especificadas se han tomado aproximadamente a partir de los datos del sondeo Reus-1. Se ha supuesto que el residuo a inyectar no presenta problema alguno de compatibilidad físico-química con la formación receptora ni con los materiales del sondeo.

Una vez confirmada la viabilidad desde el punto de vista estructural, este diseño conceptual habrá de modificarse en sus detalles y especificaciones finales en función de:

- Resultados del sondeo piloto.
- Caudales máximo y medio esperados durante la inyección.
- Características del residuo.
- Exigencias regulatorias.
- Estándares industriales en el momento de la realización del proyecto.

4.1.- SONDEO DE INYECCION

El acabado final previsto para el sondeo de inyección consta de tres tuberías de acero cementadas hasta superficie, zona de inyección abierta a la formación (open-hole) y cabeza de sondeo. En la figura 9 se representa el acabado del sondeo por debajo del nivel del terreno.

El casing final se extiende desde la superficie del terreno hasta la base de las formaciones de cierre (aprox. 1450 m), aportando la integridad mecánica necesaria para mantener la estanqueidad del sondeo a través de todo el confinamiento. Su diámetro interior habrá de confirmarse según las necesidades concretas de eliminación. Para este diseño se ha escogido un diámetro nominal de 9^{5/8}", que corresponde a una capacidad máxima de inyección de 114.5 l/s.

Se ha previsto un casing intermedio de 13^{3/8}" de diámetro nominal entre 0 y 650 m, para proteger doblemente los acuíferos superficiales y dar estabilidad al sondeo. La zona de inyección se deja abierta a la formación en toda su longitud. En principio se ha planteado el uso de toda la potencia de la formación almacén (aprox. entre 1450 y 1700 m). Debe considerarse la posibilidad de limitarla al tramo superior de más alta transmisividad, en caso de que existan tramos margosos que puedan impedir su estabilidad a largo plazo.

4.2.- SONDEO DE VIGILANCIA

Inicialmente, dada la potencia de los dos intervalos confinantes y la distancia vertical de los tramos permeables a la formación receptora, se ha considerado solamente la vigilancia del nivel permeable más profundo, normalmente

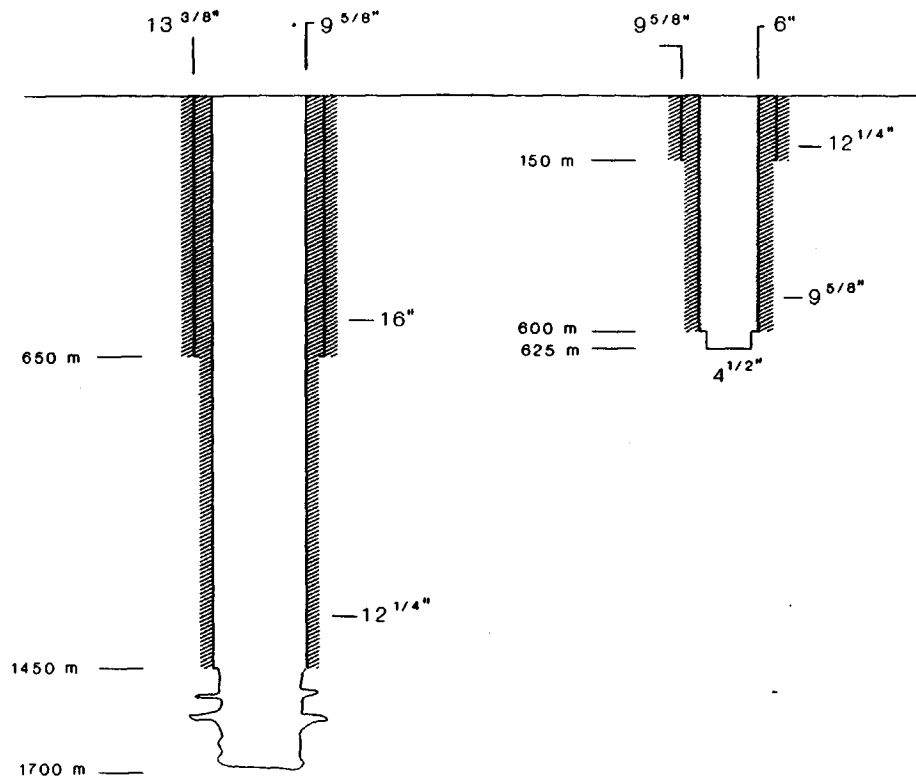


FIGURA 9

Diagrama de acabado del sistema de inyección.

conocido como el acuífero profundo. Este nivel espera encontrarse entre los 500 y 650 metros de profundidad, aproximadamente. La vigilancia se plantea en un tramo inferior de suficiente permeabilidad de unos 25 metros de longitud. Para el acabado de esta zona se prevé el uso de empaquetadura de grava contenida entre las paredes del sondeo de diámetro nominal de $9^{5/8}$ " y rejilla de 4.5". Sobre ella se ha especificado un casing final de 6" de diámetro desde la superficie del terreno hasta 600 m (ver figura 9). El acabado se completa con un casing de superficie de $9^{5/8}$ " de diámetro entre 0 y 150 m de profundidad.

El establecimiento de una zona de vigilancia más profunda se condiciona a la existencia de un tramo de suficiente permeabilidad en el Mioceno basal, lo que no es muy probable si se perfora en las zonas interiores de la cuenca.

4.3.- CONSIDERACIONES SEGUN LAS CARACTERISTICAS DEL RESIDUO

La inyección de un residuo de características físico-químicas especiales puede afectar al diseño del sistema de inyección en tres aspectos:

- Delimitación de la zona de inyección: la presencia de litologías margosas en el tramo medio de la formación receptora puede generar problemas de compatibilidad residuo-formación.
- Especificación del casing final: los materiales del casing final y el cemento utilizado en la zona inferior del sondeo han de evitar toda posible interacción residuo-sondeo.

- Replanteamiento de la vigilancia: puede ser de interés la observación en fracturas o en el mismo almacén.

5.- ENSAYOS Y CONSTRUCCION

La construcción del sistema de inyección se ha planteado en dos etapas: (1) perforación y ensayo del sondeo piloto y (2) acabado final de los sondeos de inyección y vigilancia.

Durante la primera etapa debe seguirse un programa de perforación, ensayos y muestreo bien diseñado, que permita obtener la información necesaria para confirmar la viabilidad, o en su caso, abandonar los trabajos al mínimo coste posible. En el caso de la Depresión de Reus, la litología blanda y/o pobremente consolidada característica de los depósitos terciarios condiciona el programa mediante dos factores: (1) la dificultad del ensayo de formaciones de muy baja permeabilidad y (2) la dificultad de introducción de herramientas en el interior de un sondeo de difícil sostenimiento.

5.1.- PERFORACION Y ENSAYOS DEL SONDEO PILOTO

- 1 - Acondicionar y construir acceso al área de trabajo.
- 2 - Construir plataforma de perforación.
- 3 - Movilizar el equipo necesario.
- 4 - Perforar sondeo piloto hasta aproximadamente 650 m.
- 5 - Realizar registros geofísicos.
- 6 - Efectuar ensayos hidráulicos a profundidades seleccionadas, sobre las zonas permeables profundas.
- 7 - Reperforar el sondeo hasta 650 metros aproximadamente,

instalar y cementar el casing de 13^{3/8}" ϕ .

- 8 - Perforar sondeo piloto hasta aproximadamente 1450 m.
- 9 - Realizar registros geofísicos.
- 10 - Realizar ensayos hidráulicos si se detectan zonas permeables potencialmente vigilables.
- 11 - Reperforar el sondeo hasta 1450 m aproximadamente, instalar y cementar el casing final.
- 12 - Perforar sondeo piloto hasta aproximadamente 1700 m
- 13 - Realizar registros geofísicos.
- 14 - Realizar ensayo de inyección.

5.2.- ACABADO DEL SISTEMA DE INYECCION

Sondeo de inyección:

- 1 - Realizar inspección del sondeo completo.
- 2 - Realizar ensayos de integridad mecánica interna y externa.
- 3 - Instalar la cabeza de sondeo.

Sondeo de vigilancia:

- 1 - Perforar sondeo hasta aproximadamente 150 m.
- 2 - Instalar y cementar casing de superficie.
- 3 - Perforar sondeo hasta aproximadamente 625 m.
- 4 - Realizar registros geofísicos.
- 5 - Instalar empaquetadura de grava y rejilla entre 600 y 625 metros, aproximadamente.
- 6 - Instalar casing final hasta aproximadamente 600 m.
- 7 - Limpiar y desarrollar sondeo.
- 8 - Instalar la cabeza de sondeo.

6.- PROBLEMATICA DE LAS AGUAS RESIDUALES

EN EL AREA DE ESTUDIO

Un total de catorce municipios de la provincia de Tarragona se encuentran en todo o en parte incluidos dentro del área de viabilidad de la Depresión de Reus. Según el Padrón Municipal del año 1989, el conjunto supone una población de 255911 habitantes, de los que un 76.7% se concentran en los municipios de Tarragona y Reus. En importancia siguen los municipios de Vilaseca i Salou (7.4%) y Cambrils (5.8%), siendo los restantes menores de 10000 habitantes (figura 10).

En la zona existen también importantes núcleos de desarrollo industrial, especialmente los de Tarragona y Reus. Entre las actividades industriales existentes se encuentran algunas de alto potencial generador de aguas residuales, tales como la industria química, refino de petróleo, fabricación de aceites y grasas alimentarias, industria del cuero, etc. En la tabla 3 se incluyen los datos de población y principales industrias de estos sectores, por municipios.

De acuerdo con las características socioeconómicas del área, se ha realizado una estimación de la producción de aguas residuales urbanas en función de la población. Para ello se ha supuesto un volumen de agua residual de 137 l/hab·día en los 14 municipios seleccionados, lo que supone un caudal total de 406 l/s, repartido según la distribución recogida en la figura 11. Las cargas contaminantes estimadas para los efluentes de cada municipio se incluyen en la tabla 4.

La distribución geográfica de industrias coincide con los principales polígonos industriales de la zona (figura 12).

DEPRESION DE REUS - VIABILIDAD ISP POBLACION POR MUNICIPIOS

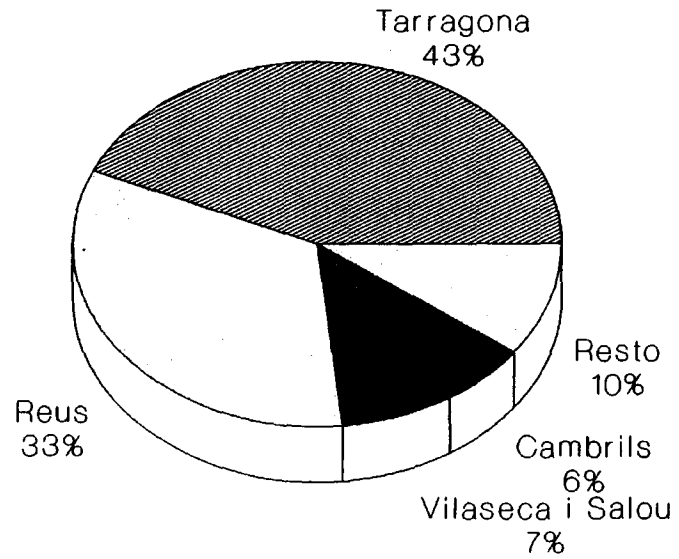


FIGURA 10

Reparto de población por municipios en el área de viabilidad

TABLA 3.- Datos de población e industrias en el área de la Depresión de Reus

MUNICIPIO	POBLACION	DATOS DE INDUSTRIAS					
		NOMBRE	C.N.A.E.	LOCALIDAD	SITUACION	POTENCIA	PERSONAL
Borges del Camp	1381						
Botarell	454						
Cambrils	14739						
Castellvell del Camp	766						
Constantí	5615	Invest. Químicas y Farmacéuticas	254100	Constantí	Ctr Tarrag-Alcover km6.7	128	33
		Gener de Vapor Foster Wheeler	311100	Constantí	Ctr Tarrag-Alcover km6.7	1421	-
		Química del Francolí	251300	Constantí	Polígono del Francolí	20	16
		Grasas Industriales Catalanas	412100	Constantí	Polígono del Francolí	22	6
Monbrío del Camp	1428						
Montroig del Camp	5119						
Morell	2262	Pauler empresa para la Ind Química	251000	Morell	Sector 2 Hospitals	6286	44
		Alcudia empr para la Ind Química	251400	Morell	Polígono Industrial	11500	83
Pobla de Mafumet	856	Empresa Nacional de Petróleo S.A.	130000	Pobla de Maf.	Afarsa S/N	92639	1034
		Calstrava S.A.	130000	Pobla de Maf.	Afarsa S/N	111627	910
		Calstrava S.A.	251100	Pobla de Maf.	Cir a Pobla km 2.5	12787	190
		Dow Chemical Ibérica S.A.	251100	Pobla de Maf.	Afarsa S/N	8240	116
		Corominas Agefto Tikko S.A.	253100	Pobla de Maf.	Ctr Pobla-Tarragona km 2	1365	18
Reus	85143	Tarragona Química S.A.	251100	Reus	CN 340 km 242	22591	397
		Vermel S.A.	251400	Reus	Nova Sant Josep 20	209	8
		Protesa Productos Tella S.A.	255100	Reus	Ctra Reus-Constantí	184	16
		Proteínas y Grasas S.A.	412100	Reus	Ctra Alcolea Pinar Km 514	2838	14
		Antónima Reusense Prep Alimenticios	412300	Reus	Avda San Bernardo Calvo	647	118
		Cartidos Reus S.A.	441000	Reus	S Francisco de Paula, 3	160	12
		Dura de la Cruz E	441000	Reus	S Francisco de Paula, 2	89	11
Riudoms	4801	S P Química SA Abens Calipe SA	254000	Riudoms	Ctra Reus-Viñola km 4,3	252	7
		Laboratorios Reveca S.A.	254200	Riudoms	Ctra Reus-Viñola km 4,3	167	71
La Selva del Camp	3386	Cerámicas del Francolí	241000	Selva del Camp	Ctra Reus-Monblu km 6.5	1199	33
Tarragona	110974	Distribuidora Industrial S.A.	130000	Tarragona	Polig Ind Entrevies 20	403	28
		Asfaltos Españoles S.A.	130000	Tarragona	Autovía de Salou S/N	4560	-
		Corominas Agefto Tikko S.A.	251000	Tarragona	Polig Ind Entrevies 20	696	4
		Industrias Químicas Asociadas S.A.	251100	Tarragona	Ctra de Valencia S/N	15021	474
		Dow Chemical Ibérica S.A.	251200	Tarragona	Autovía de Salou S/N	42600	305
		Baaf Española S.A.	251200	Tarragona	Polígono Ind CN-340 Km244	16163	493
		Hoechst Ibérica S.A.	251200	Tarragona	Autovía de Salou	3274	168
		Unión Explosivos Río Tinto S.A.	251200	Tarragona	Polígono Ind La Canonja	2943	51
		Azufra y Fertilizantes Pellaré	251300	Tarragona	Francisco Bastos S/N	1273	134
		Unión Explosivos Río Tinto S.A.	251300	Tarragona	Polig Ind Entrevies	11000	223
		Bayer Hispania Industrial S.A.	251400	Tarragona	Polígono Industrial S/N	22912	475
		Transformadora de Etileno S.A.	251400	Tarragona	Polig Ind La Canonja	29918	86
		Cepa Cía Esp de Product Aromáticos	255200	Tarragona	Ctra de Valencia Km 246.6	787	50
		Cía Indust de Abastecimientos S.A.	412100	Tarragona	Zona portuaria	1954	43
		Fertilizantes de Tarragona S.A.	252100	Torreforta	Polig Ind 19 Parcela 106	327	37
Vila-Seca i Salou	18987	Aiscondel S.A.	251100	Vilaseca	Ctra de La Pineda Km 1	10791	214
		Carburos Messer Griesheim Gisa	253100	Vilaseca	Autovía Tarragona-Salou	21480	31
Población Total:	255911					460473	5953

**DEPRESION DE REUS - VIABILIDAD ISP
AGUAS RESIDUALES URBANAS**

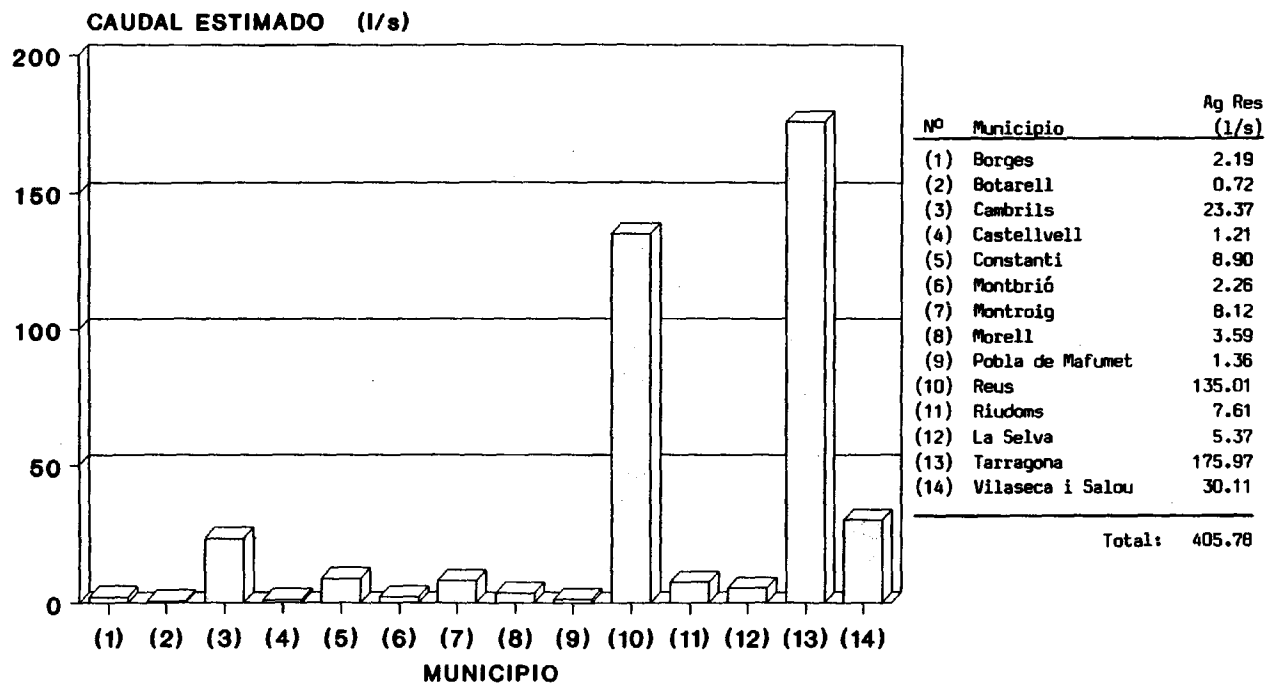
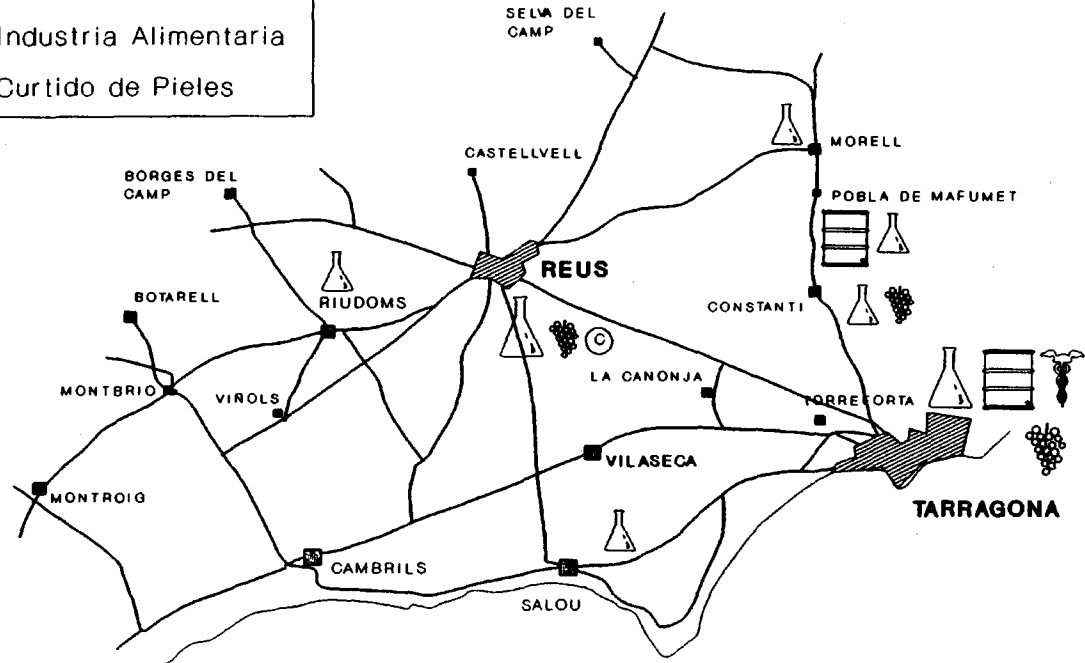
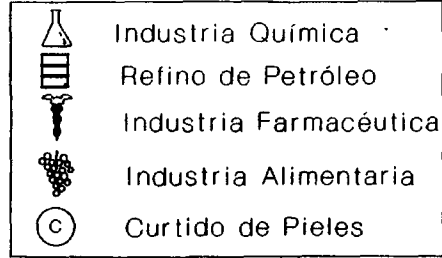


FIGURA 11 Caudales estimados de aguas residuales urbanas.

TABLA 4.- Cargas contaminantes estimadas para aguas urbanas

MUNICIPIO	POBLACION	TDS (Kg/día)	TSS (Kg/día)	DBO ₅ (Kg/día)	DQO (Kg/día)	N-tot (Kg/día)	P-tot (Kg/día)	Cl ⁻ (Kg/día)	ALCALIN (Kg/día)	ACETES -GRASAS (Kg/día)
Borges	1381	95	38	38	95	8	2	9	19	19
Botanell	454	31	12	12	31	2	1	3	6	6
Cambrits	14739	1010	404	404	1010	81	20	101	202	202
Castellvell	766	52	21	21	52	4	1	5	10	10
Constansí	5615	385	154	154	385	31	8	39	77	77
Montbrío	1428	98	39	39	98	8	2	10	20	20
Montroig	5119	351	140	140	351	28	7	35	70	70
Morell	2262	155	62	62	155	12	3	16	31	31
Pobla de Mafumet	856	59	23	23	59	5	1	6	12	12
Reus	85143	9915	4083	3499	11665	991	233	1168	2333	1750
Riudoms	4801	329	132	132	329	26	7	33	66	66
La Selva	3386	232	93	93	232	19	5	23	46	46
Taragona	110974	12923	5321	4561	15203	1292	304	1522	3041	2281
Vilaseca i Sakou	18987	1301	520	520	1301	104	26	130	260	260



MAR MEDITERRANEO

FIGURA 12

Situación de las principales concentraciones industriales en la Depresión de Reus.

Entre ellos, los más importantes son los de Tarragona, Reus, complejo petroquímico de Poble de Mafumet y Polígono industrial del Francolí.

No se dispone de datos sobre la calidad de los efluentes generados por las industrias regionales, por lo que no se pueden adelantar posibles problemas de compatibilidad. El hecho de que la formación objetivo sea carbonatada y con importante fracturación, facilita la *inyectabilidad* de la mayoría de los efluentes de base acuosa, siempre que se vigilen los niveles máximos de materia sólida en suspensión. La diversidad de sectores y tamaños de las industrias, hace interesante el planteamiento de la inyección de vertidos unificados de diferentes fuentes, para lo cual es necesario un estudio particular sobre unificación y pretratamiento de vertidos gestionables mediante inyección profunda.

7.- SOLUCIONES PROPUESTAS

La zona occidental de la fosa de Reus ofrece condiciones favorables para la implantación de sistemas de inyección profunda de aguas residuales. Dentro de este área, se han seleccionado dos propuestas que proporcionan una alternativa ventajosa desde los puntos de vista económico y medioambiental, en la gestión de las aguas residuales de diversos orígenes.

7.1.- RECUPERACION DEL SONDEO REUS-1

Las buenas condiciones de viabilidad encontradas por el sondeo Reus-1 abren la posibilidad de su remodelación para empleo como sondeo de inyección. El sondeo detectó excelentes características receptoras en el almacén, no lejos del importante núcleo industrial de Reus. Su recuperación supondría un sondeo de inyección sin los costes ni el riesgo de una perforación en lugar desconocido. La instalación podría dar servicio al área sur de Reus y alrededores del sondeo.

Tras reconocer los niveles objetivo y comprobar la ausencia de interés petrolero, el sondeo Reus-1 fue taponado y abandonado en noviembre de 1976. El acabado final del sondeo en el momento del abandono era el siguiente (ver croquis en apéndice):

- Tubería de 20" entre 0 y 144 m.
- Tubería de 13^{3/8}" entre 0 y 765 m.
- Tubería de 9^{5/8}" entre 0 y 1407 m.
- Liner de 7" entre 1367 y 1726 m
- Sondeo abierto de 6" e nominal entre 1726 y 2228 m

- Tapón de cemento entre 342 y 492 m en el interior de la tubería de 9^{5/8}".

La solución propuesta consiste en la conversión de este sondeo en un sondeo de inyección con casing final de 9^{5/8}" de diámetro hasta 1407 m, y zona de inyección tipo open-hole sobre el intervalo 1407-1685 m. Dada la antigüedad de la instalación, se considera adecuado limitar la velocidad máxima de descenso de fluido a 5/8 del máximo habitual, lo que supondría una capacidad máxima de inyección de 71 l/s.

7.2.- ELIMINACION DE AGUAS RESIDUALES EN EL AREA VILASECA-CAMBRILS-SALOU

Se propone la eliminación de aguas residuales unificadas procedentes de los núcleos de población contenidos en el triángulo Vilaseca-Cambrils-Salou. La zona forma parte de dos municipios, con un total de 33726 habitantes. Es, así mismo, importante centro turístico en la zona de costa.

La instalación de un sondeo de inyección entre las poblaciones de Cambrils y Salou resolvería la eliminación de las aguas residuales de toda la zona, evitando descargas al mar en puntos próximos a las zonas de baño. Además, las buenas características receptoras del Jurásico permitirían especificar un sondeo con capacidad superior a la demanda actual de la zona (estimada en unos 60 l/s), facilitando la optimización del diseño en función de las demandas futuras previstas.

Según se desprende del análisis estructural, un sondeo perforado entre Cambrils y Salou cortaría el almacén dentro de un bloque lateral del graben de Reus. En este punto se ha

estimado que el almacén sería alcanzado a una profundidad aproximada de 800 m, lo que redundaría en una notable reducción de coste en relación al modelo planteado con los datos del sondeo Reus-1. La presencia de niveles permeables profundos por encima del almacén, susceptibles de ser vigilados, habría de comprobarse durante la perforación del sondeo piloto.

El diseño conceptual para este sondeo (figura 13) se basa en el modelo de inyección anteriormente expuesto, por lo que solo se producen variaciones en las profundidades de los tramos. Se ha mantenido el mismo diámetro de casing final, por lo que la capacidad punta de inyección de este sondeo es de 114.5 l/s, suficiente para hacer frente a crecimientos futuros de la demanda.

Para la perforación se recomienda una máquina tipo Mayhew-2500 o similares, utilizando técnica rotary con circulación directa y lodo hasta la base del confinamiento; a partir de aquí, para la perforación del almacén, es recomendable utilizar circulación inversa con aire (reverse-air). El coste aproximado de construcción de un sondeo de estas características se estima en unos 110 MPts.

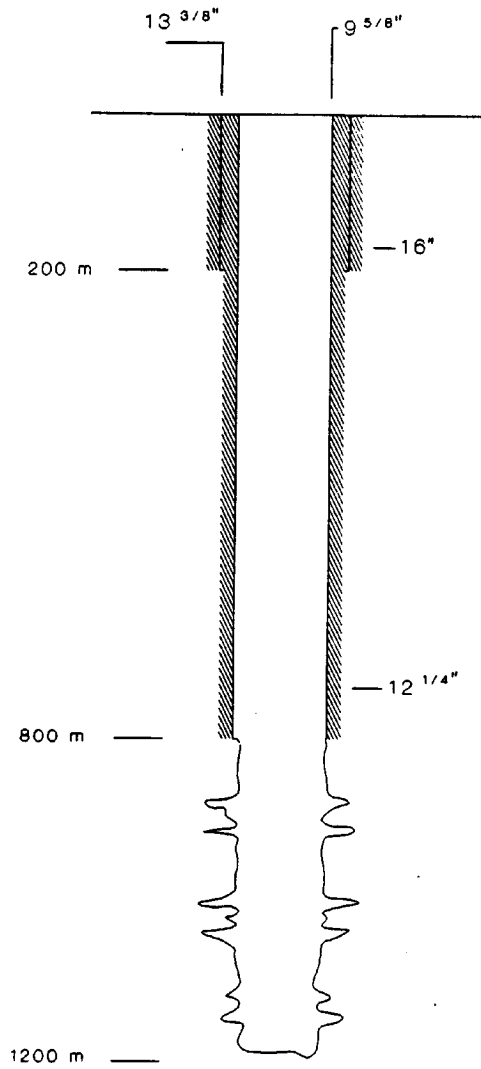


FIGURA 13

Diagrama de acabado del sondeo de inyección propuesto.

8.- RESUMEN Y CONCLUSIONES

El Instituto Tecnológico Geominero de España está llevando a cabo un programa de evaluación de zonas potencialmente utilizables para la eliminación de residuos líquidos mediante inyección profunda. Dentro de la provincia de Tarragona, el eje Reus-Tarragona se ha considerado área de interés por sus importantes asentamientos urbanos e industriales. La geología regional delimita el área favorable a la Depresión de Reus.

En rasgos generales, la Depresión de Reus es una fosa tectónica de gran extensión y profundidad rellena por depósitos de materiales sedimentarios neógenos que llegan a alcanzar espesores estimados de 1500 metros. En los niveles superficiales existen dos acuíferos que han sido explotados tradicionalmente. Estudios geotérmicos realizados en el interior de la cuenca indican que la posibilidad de aprovechamiento de este recurso es muy pequeña. En 1976 se perforó el sondeo de exploración petrolífera Reus-1, único en la fosa, con resultados negativos.

Se han estudiado las posibilidades de utilización de la serie jurásica para la eliminación de residuos líquidos, de forma que no comprometa ningún recurso subterráneo actual o futuro. La revisión de la información hidrogeológica disponible confirma la existencia de un nivel receptor y confinamiento adecuados para la inyección mediante sondeos profundos. Sin embargo, la complejidad estructural de la fosa y los signos de actividad tectónica reciente en la vertiente este, limitan la viabilidad a la localización de una zona con continuidad suficiente en la mitad occidental de la cuenca. Este factor es

determinante para la seguridad de un sistema de inyección. La viabilidad definitiva en un emplazamiento seleccionado deberá confirmarse mediante la caracterización precisa de las condiciones hidrogeológicas locales. Para ello es preciso realizar, al menos:

- Un estudio tectónico de detalle que confirme la continuidad de los niveles confinantes necesaria para garantizar el aislamiento del área afectada por la inyección.
- La perforación de un sondeo de ensayo que permita determinar las características hidrogeológicas locales de las formaciones atravesadas y la variación de la calidad del agua subterránea con la profundidad.

En cualquier caso, debido a la dificultad que presenta la detección de pequeñas fracturas a gran profundidad y la relativa actividad tectónica actual de la fosa, se aconseja, en caso de eliminación de residuos de carácter tóxico o peligroso, un estudio detallado y específico. Asimismo, no se considera conveniente la inyección de fluidos de marcado carácter ácido.

La reinterpretación de los datos del sondeo Reus-1 indica la existencia de un nivel de alta transmisividad en la serie carbonatada del Jurásico. Está formada por dolomías frecuentemente fracturadas y/o karstificadas con características hidráulicas y salinidad del agua adecuadas para ser una buena formación receptora. Consta de tres tramos con claras diferencias litológicas, con una potencia total superior a los 250 metros. El tramo intermedio, de litología margosa, podría causar problemas de estabilidad del sondeo o de compatibilidad residuo-formación. En este caso debe limitarse la longitud de la zona receptora al intervalo superior.

La formación almacén está confinada por depósitos terciarios de varios centenares de metros de potencia. En la

cobertera, formada por los sedimentos del Mioceno y Plioceno, las litologías dominantes son arcillas y margas de muy baja permeabilidad. Este potente recubrimiento impermeable aporta dos niveles de confinamiento separados por un acuífero de continuidad regional, denominado *acuífero profundo*. La existencia de un tramo permeable en entre las formaciones de cierre ofrece un nivel óptimo para la vigilancia de la inyección, permitiendo detectar posibles migraciones verticales mientras se mantiene una doble protección de los dominios superficiales.

Los datos existentes de calidad del agua subterránea indican que ésta se degrada rápidamente con la profundidad, siendo frecuente la salinización por intrusión marina. Se estima una zona de transición (10000 mg/l TDS) situada alrededor de los 600 metros de profundidad. En la formación almacén se ha medido una salinidad de 31000 mg/l.

El diseño conceptual de un sistema de inyección adaptado a estas condiciones hidrogeológicas está formado por un sondeo de inyección y de uno o más sondeos de vigilancia. El acabado del sondeo de inyección consta de dos tuberías cementadas hasta la superficie y zona de inyección tipo *open-hole*. La vigilancia se plantea mediante sondeos de zona única sobre el acuífero profundo. Para esta zona se sugiere un acabado con filtro y empaquetadura de grava, que se completa con dos tuberías a través de las formaciones superficiales.

Se ha preparado un programa de construcción estructurado en dos fases: (1) perforación y ensayo de un sondeo piloto y (2) acabado final del sistema de inyección, que incluye la terminación del sondeo de inyección y la construcción de un sondeo de vigilancia. Durante la perforación del sondeo piloto, el ensayo del confinamiento y de la capacidad receptora del almacén, serán los factores claves que, junto con el estudio de

salou podría evitar los vertidos al mar en puntos próximos a las playas de la zona.

continuidad lateral de ambas formaciones, determinarán la viabilidad final de la inyección profunda en la zona.

Se proponen dos aplicaciones de la ISP para la eliminación de aguas residuales en la zona. La primera de ellas consiste en la remodelación del sondeo petrolífero Reus-1, que permitiría la instalación a bajo coste de un sistema de inyección en un punto donde la capacidad receptora del almacén, confinamiento y calidad del agua ya han sido confirmadas. Adicionalmente se propone la eliminación de aguas residuales unificadas de los municipios de Cambrils y Vilaseca i Salou, mediante un sondeo de inyección de 1200 m de profundidad total aproximada. Su situación entre las poblaciones de Cambrils y Salou podría evitar los vertidos al mar en puntos próximos a las playas de la zona.

ANEXO 1

DATOS DEL SONDEO REUS-1



SITUACION SONDEO REUS-I
Escala 1:50.000

APEX Co. SUCURSAL ESPAÑOLA FICHA DE SUBSUELO 1:5000	Aparato: EMSCO J - 1100	Sondeo: REUS - 1 Contratista: SONPETROL 12.
	Área: Permiso Campo - Estado - País REUS	Comienzo: 19 / 7 / 1976 Fin: 23 / 10 / 1976
Tipo de sondeo: Exploración	X: 1.000.925 Long: 4° 46' 49" 94 M. Y: 734.542 Lat.: 41° 8' 57" 66 Zg: 74.26 m. Zms: 79.26 m.	Asociación: APEX Co - CAMPSA - SHELL Operador: American Petrofina Explorat. Co

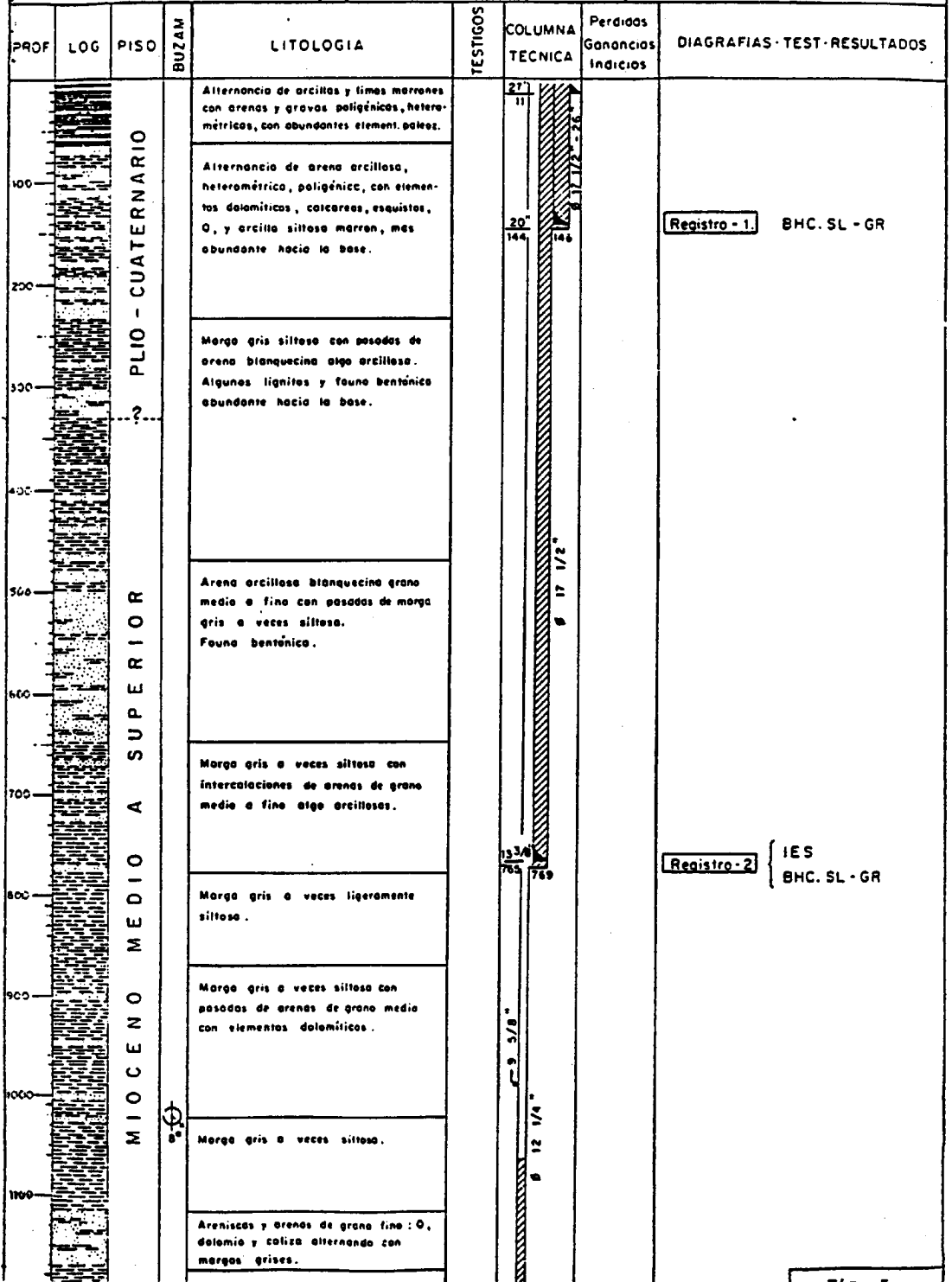
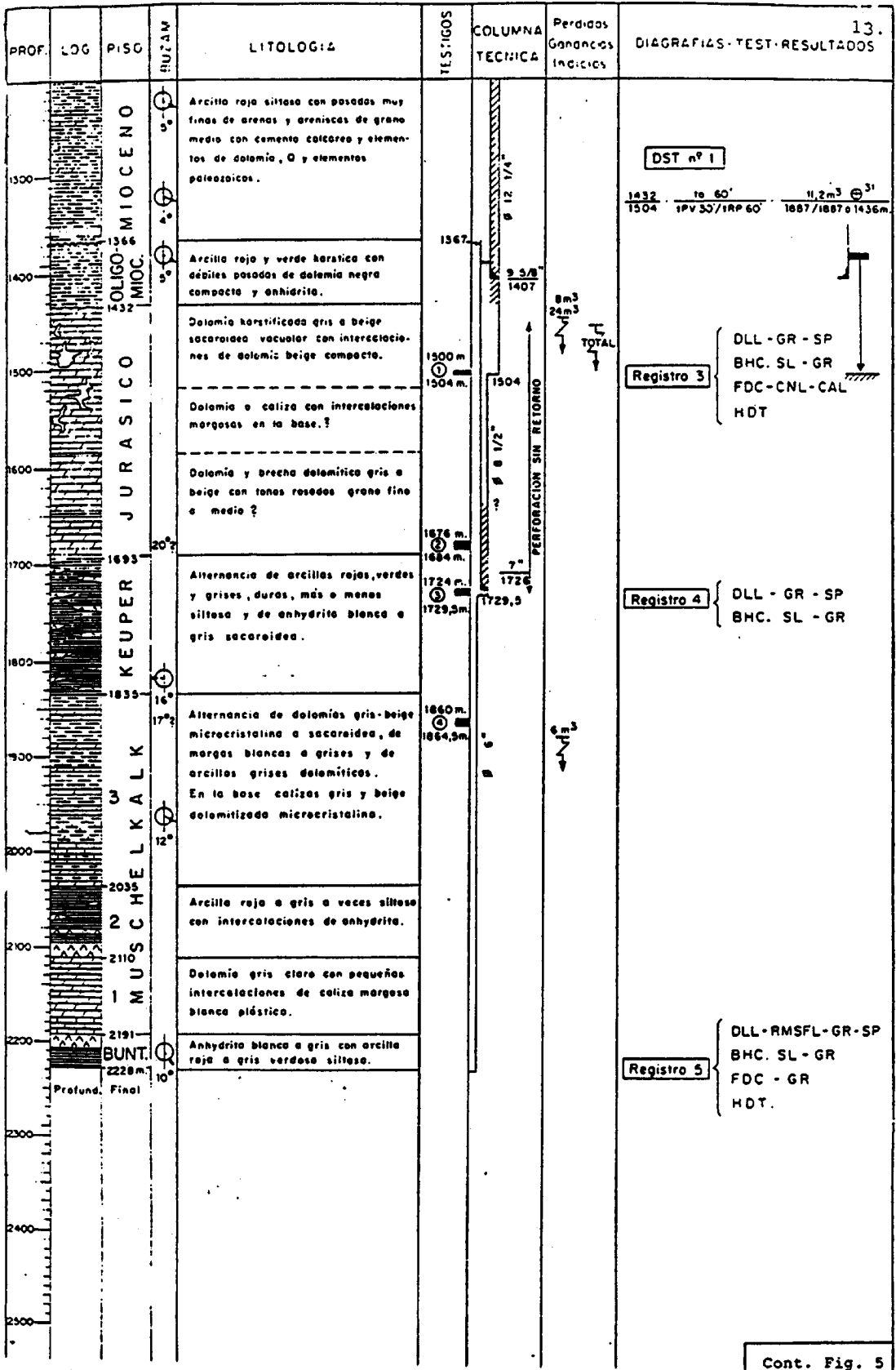
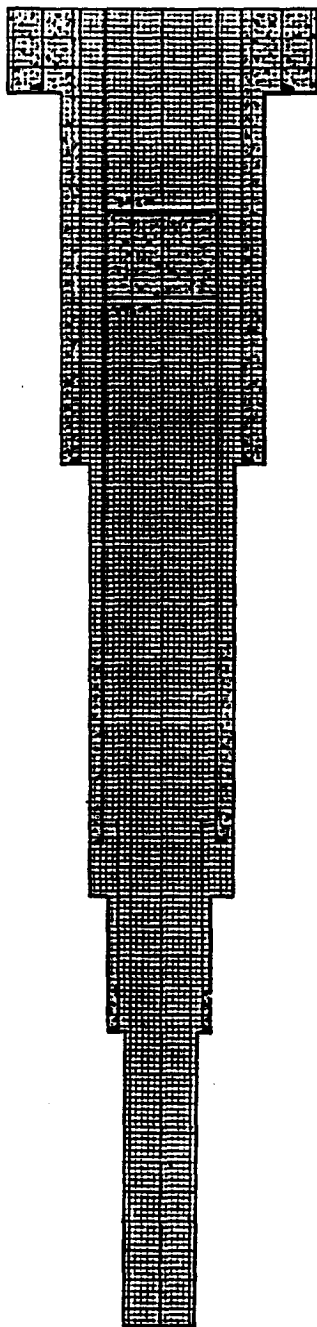
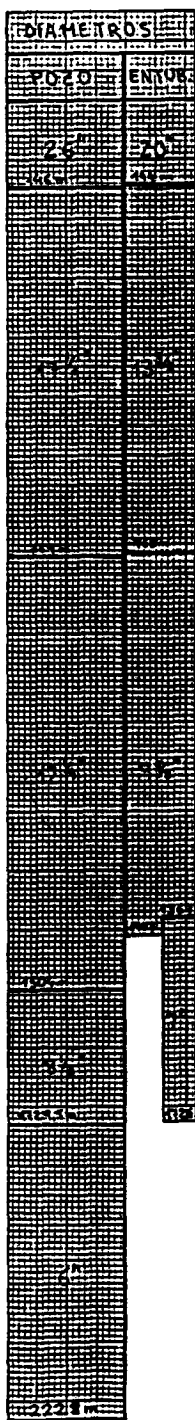


Fig. 5



Cont. Fig. 5

CROQUIS ABANDONO POZO



FICHA DE SONDEOS	Nombre: REUS - 1			N°
	EXPLORACION	X	EVALUACION	

Compañía APEX - CAMPSA - SHELL N.º Hoja mapa nacional 472
Operador American Petrofina Exploration Company Provincia TARRAGONA
Permiso REUS n.º oficial: 420 Localidad RIUDOMS
Cuenca REUS-VALLS Tipo de trampa mixta estructural y
estratigráfica
Método de definición utilizado Sísmica Objetivo principal
Jurásico bajo la discordancia
de base del Mioceno

Coordenadas

Longitud 4º 46'49"94 Madrid
" 1º 05'39"43 Greenwich
Latitud 41º 08'57"66

Elevación (m.s.n.m.): Suelo 74,26 m. KB. M.R. 79,26 m.
(origin de profundidad)

Contratista SONPETROL

Equipo de perforación EMSCO J-1100 Profundidad final: 2228 m.

Fecha de comienzo 19/7/1976 Fecha de terminación 23/10/1976

Entubados

Longitud m.	10,5	Diámetro pulg.	27
"	144	"	20 ₃
"	765	"	13 ₅ /8
"	1407	"	9 ⁵ /8
"	1726	"	7 (liner)

Estado Productivo abandonado suspendido
FIT DST PT EST.VEL.SISM.

REGISTROS ELECTRICOS

Escaia: 1/500 - 1/200		de 20	Escaia:	a 146 m.
BHC.SL-GR		144		766,5 m.
IES		144		764 "
BHC.SL-GR		765		1466 "
DLL-GR-SP		765		1470,5 "
BHC.SL-GR		765		1469 "
FDC-CNL-CAL-GR		765		1431 "
HDT		700		1382 "
DLL-GR-SP		1407		1718 "
BHC.SL-GR		1407		1494 "
DLL-RMSFL-GR-SP		1723,5		2220 "
BHC.SL-GR		1722		2216 "
FDC		1722		2220 "
HDT		1722		2220 "

PI = Prueba de producción con tubería

M.R. = Masa de rotación

KB = Bujes de arrastre

<u>Etapa Geológica</u>	<u>Techo (m.n.m.)</u>	<u>Potencia</u>	<u>Breve descripción litológica</u>
CUATERNARIO	superficie	300 ?	alternancia de gravas, arenas y arcillas
MIOCENO	300 ?	1066 ?	margas silteosas con intercalaciones de arenas finas
OLIGO-MIOCENO	1366	66	arcillas rojas
JURÁSICO	1432	261	dolomías, karstificadas en su parte superior
KEUPER	1693	142	arcillas rojas y anhidrita
MUSCHELKALK 3	1835	200	dolomías, margas, calizas
MUSCHELKALK 2	2035	75	arcillas rojas y anhidrita
MUSCHELKALK 1	2110	81	dolomía y caliza margosa
ZEITUN SANDSTEIN	2191	37	arcillas rojas y anhidrita

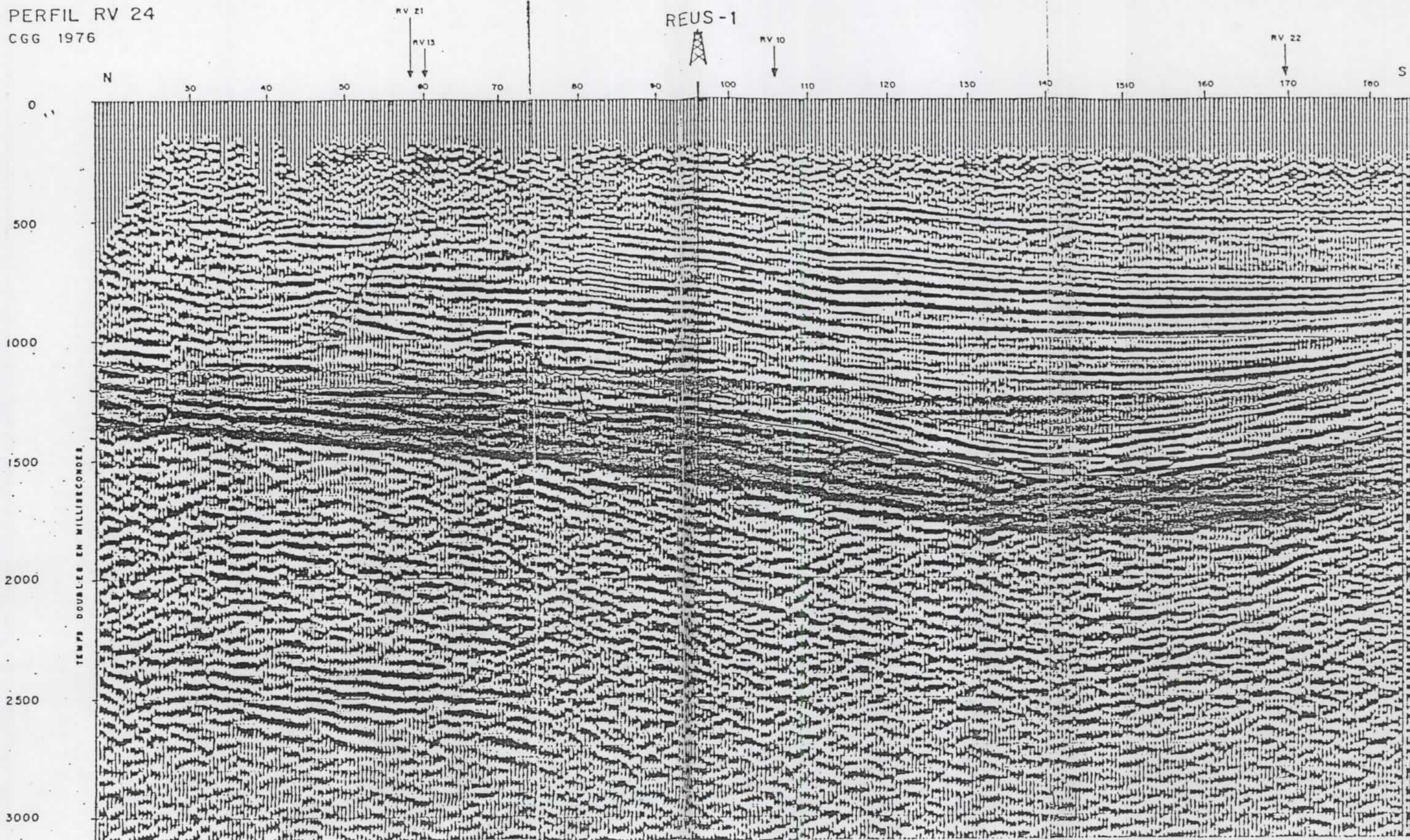
DESCRIPCION DE TESTIGOS

<u>Intervalo</u>	<u>Conv.</u>	<u>Let.</u>	
1500 - 1504 m	x		dolomía. Jurásico. recup. 20%
1676 - 1684 m	x		dolomía. Jurásico. recup. 50%
1724 - 1729,5 m	x		arcilla y anhidrita. Keuper. recup. 69%
1860 - 1864,5 m	x		dolomía y marga dolomítica. Muschelkalk 1. recup. 20%







DATOS SOBRE PRUEBAS

<u>Intervalo</u>	<u>Fluido</u>	<u>API</u>	<u>Caudal</u>	<u>Sal. agua.</u>	<u>Øm.</u>	<u>K</u>	<u>Indicios</u>
1432 - 1504 m	agua	-	11.200 l.	31 gr/l.			-

m.n.m. = metros nivel de referencia. (mesa de rotación)

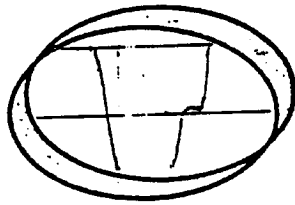


LEYENDA

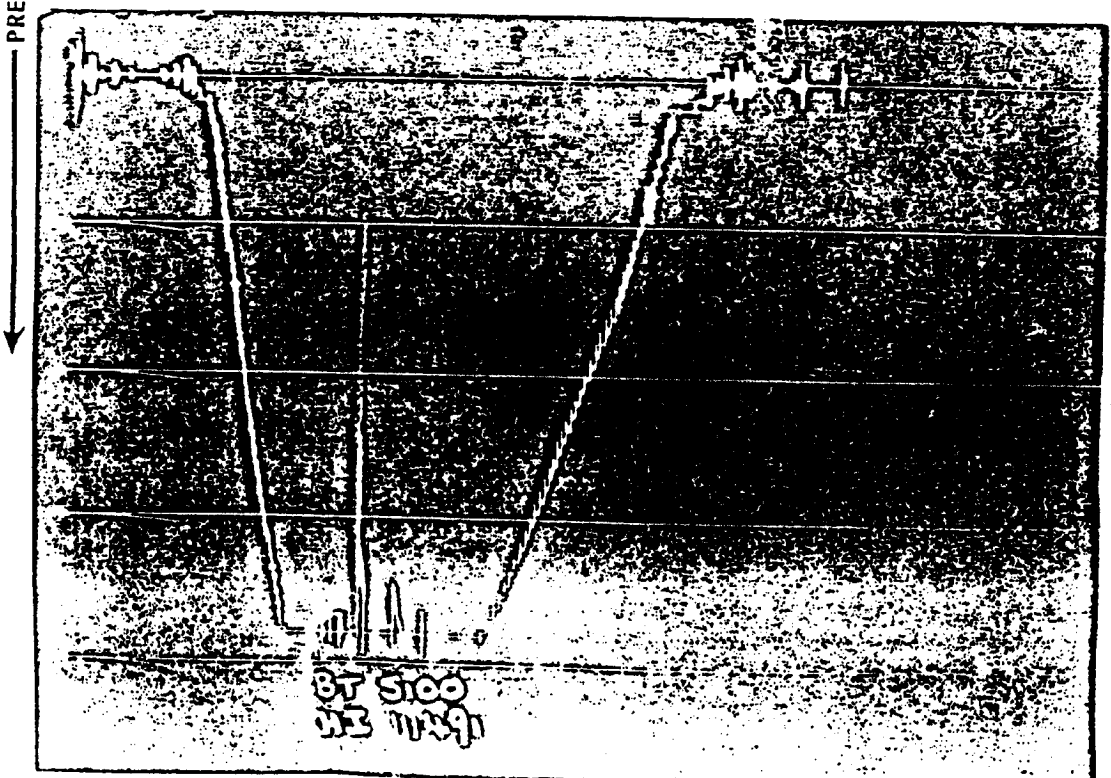
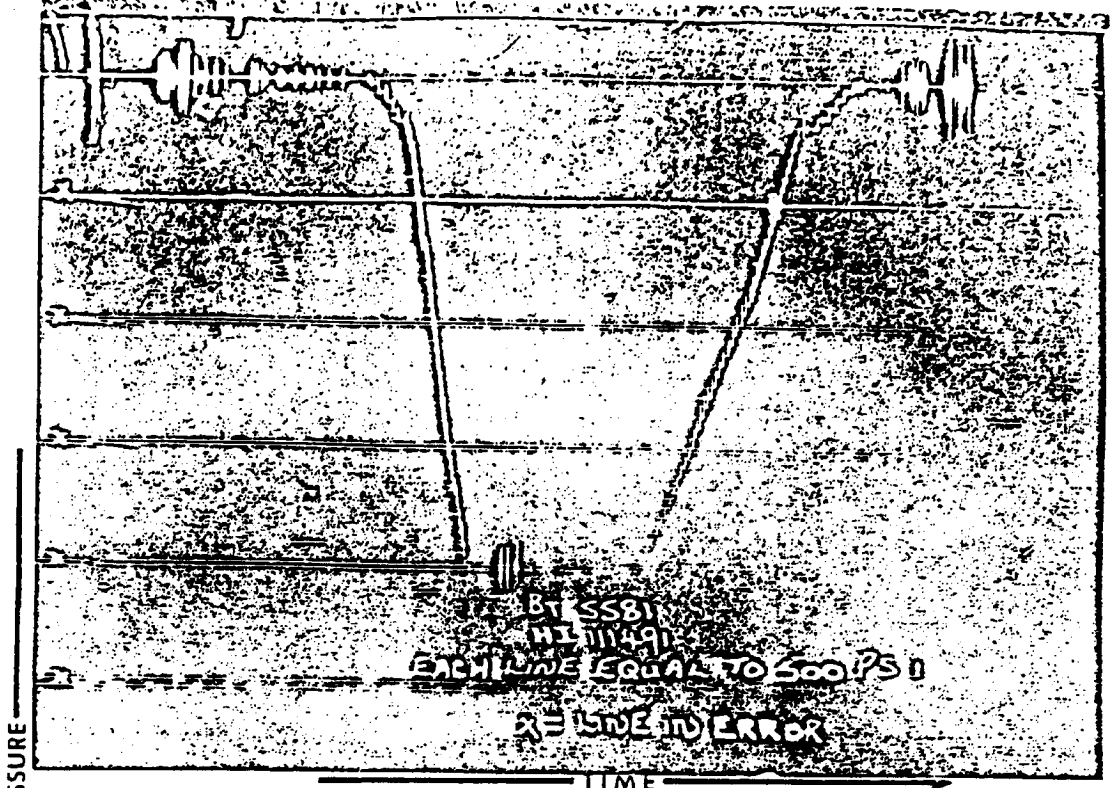
- | | | |
|---|---|--|
|  MIOCENO |  CRETACICO ? |  TRIASICO |
|  OLIGO - MIOCENO |  JURASICO |  PALEOZOICO |

REINTERPRETACION SEGUN RESULTADOS DEL SONDEO

Formation Testing Service



HALLIBURTON SERVICES
DUNCAN, OKLAHOMA



Each Horizontal Line Equal to 1000 p.s.i.

FLUID SAMPLE DATA				Date AUGUST 27th, 1976.		Ticket Number HI 111491			
Sampler Pressure _____ P.S.I.G. or Surface				Kind of Job		Halliburton District SPAIN			
Recovery: Cu. Ft. Gas _____				Tester		M. SALINAS Witness MR. FARINAS			
cc. Oil _____				Drilling Contractor					
cc. Water _____				SONPETROL					
cc. Mud _____				EQUIPMENT & HOLE DATA					
Tot. Liquid cc. _____				Formation Tested					
Gravity _____ * API @ _____ * F.				Mezozoico					
Gas/Oil Ratio _____ cu. ft./bbl.				Elevation					
RESISTIVITY _____ CHLORIDE CONTENT _____				80.37 mts Ft.					
Recovery Water _____ @ _____ * F. _____ ppm				Net Productive Interval					
Recovery Mud _____ @ _____ * F. _____ ppm				1430/1504 mts Ft.					
Recovery Mud Filtrate _____ @ _____ * F. _____ ppm				All Depths Measured From					
Mud Pit Sample _____ @ _____ * F. _____ ppm				K.B					
Mud Pit Sample Filtrate _____ @ _____ * F. _____ ppm				Total Depth					
Mud Weight _____ vis _____ cp				1504 mts Ft.					
				Main Hole/Casing Size					
				9 1/4" 47 lbs/ft Shoe 1404 mts					
				Drill Collar Length					
				136.14 mts I.D. 2 13/16					
				Drill Pipe Length					
				1234.19 mts 5" 16 lbs/ft					
				Packer Depth(s)					
				1379 mts Ft.					
				Depth Tester Valve					
				Hydrospring 1375 mts Ft.					
TYPE		AMOUNT		Depth Back		Surface		Bottom	
Cushion		No		Ft. Pres. Valve		Choke		Choke	
Recovered		136.14 mts of		Drill Collar with salt water (30 gr/lt.)					
Recovered		1144. mts of		Salt water					
Recovered		30 mts of		Salt water and mud					
Recovered		Feet of							
Recovered		Feet of							
Remarks Open tester valve with strong blow during 6 mins. Closed DCIP for 30 mins									
for first shut in. Open for second flow with strong blow coming down to									
stop after 20 min.									
* No Reading Possible									
TEMPERATURE		Gauge No. 5581		Gauge No. 5100		Gauge No.		TIME	
		Depth: 1436 mts Ft.		Depth: _____ Ft.		Depth: _____ Ft.			
Est. _____ * F.		24 Hour Clock		Hour Clock		Hour Clock		Tool	
		Blanked Off Yes		Blanked Off		Blanked Off		Opened 10.25 A.M.	
Actual _____ * F.		Pressures		Pressures		Pressures		By-pass 12.31 P.M.	
		Field Office		Field Office		Field Office		Reported Computed	
Initial Hydrostatic		1972.0 1983		187.0 1895				Minutes Minutes	
First Period Flow Initial		1972.0 1865		1214.0 *					
Flow Final		1972.0 1987		1719.0 *				6 23	
Closed in		1972.0 1987		1887.0 1896				30 30	
Second Period Flow Initial		1972.0 1987		1719.0 1721					
Flow Final		1972.0 1987		1876.0 1895				30 30	
Closed in		1972.0 1987		1887.0 1900				60 60	
Third Period Flow Initial									
Flow Final									
Closed in									
Final Hydrostatic		1972.0 1983		1887.0 1900					

Local Section

Sec. I.D. - Ring

Test No.

Field Area

REUS

County

TARRAGONA

State

SPAIN

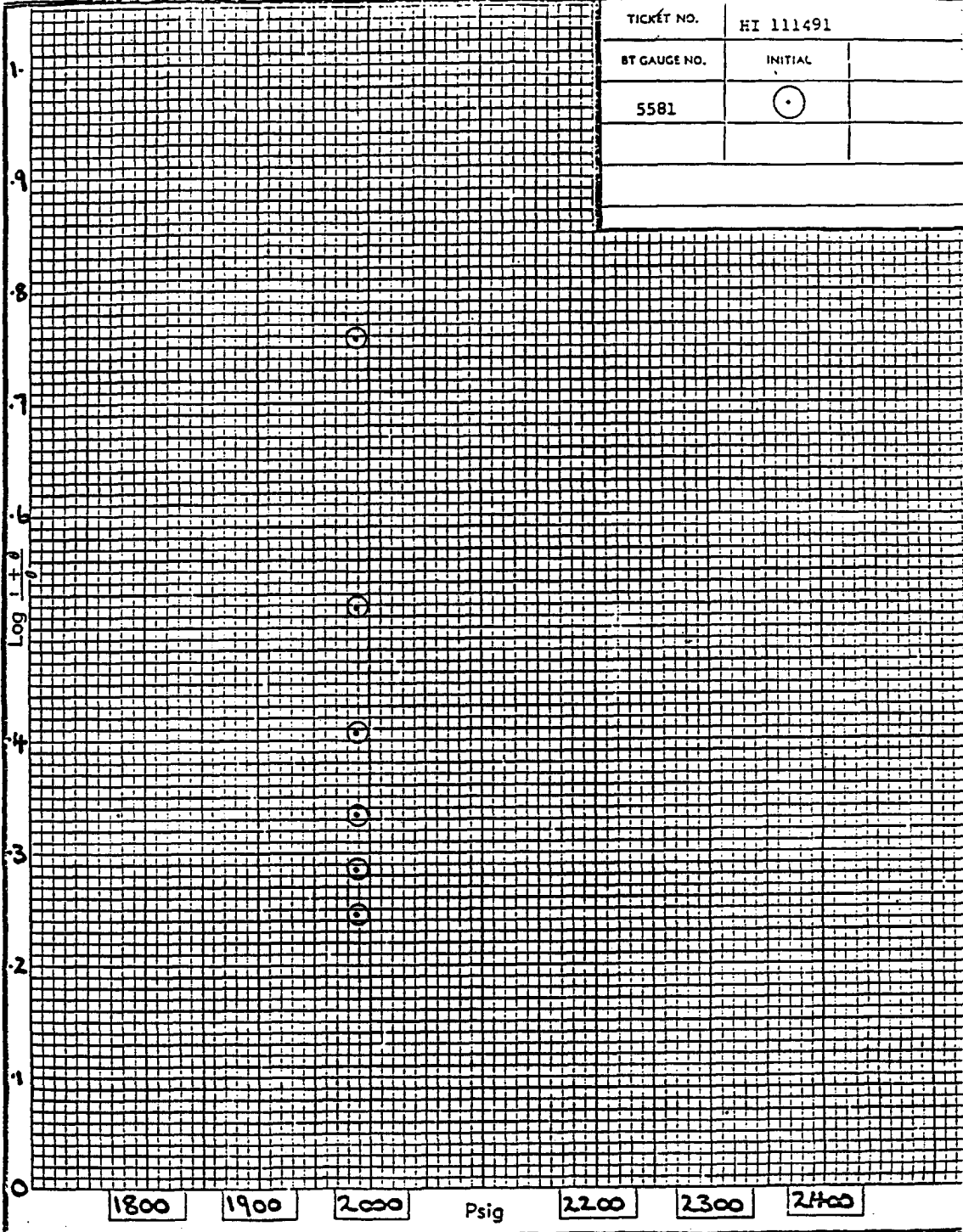
Well Name

LOGS

	O. D.	I. D.	LENGTH	DEPTH
Drill Pipe or Tubing				
Reversing Sub				
Water Cushion Valve				
Drill Pipe				
Drill Collars				
Handling Sub.....	5.87"	3"	1.42	1360.53
R. Sub.....	5"	2 1/4"	30	
Sub.....	4 1/4"	2 1/4"	20	
Dual CIP.....	5"	.87	1.48	
Sub.....	5"	2 1/4"	21	1363.69
Drill Collar.....			9.09	
Sub.....	5 1/4"	2 1/4"	24	
Hydrospring.....	5 1/4"	1 1/4"	1.53	
AP Running Case	5 1/4"	2 1/4"	1.26	1.375
Hydraulic Jar	5"	1"	1.00	
VR Safety Joint	5"	1"	.85	
SUD.....	5 1/4"	2 1/4"	.20	
Packer Assembly .. RTTS69	1378.31
Distributor .. RTTS95	1.379
Packer Assembly .. RTTS34	1379.95
Sub.....	6 1/4"	2 1/4"	.30	
Pressure Equalizing Tube Drill Pipe			46.95	
Blanked-Off B.T. Running Case	6 1/4"	3 1/4"	.25	1427.45
Drill Collars				
Anchor Pipe Safety Joint				
Packer Assembly				
Distributor				
Packer Assembly				
Anchor Pipe	5 1/4"	3 1/4"	9.65	1437.35
Side Wall Anchor				
Drill Collars				
Flush Joint Anchor				
Blanked-Off B.T. Running Case	5 1/4"		1.00	1438.35
Total Depth				

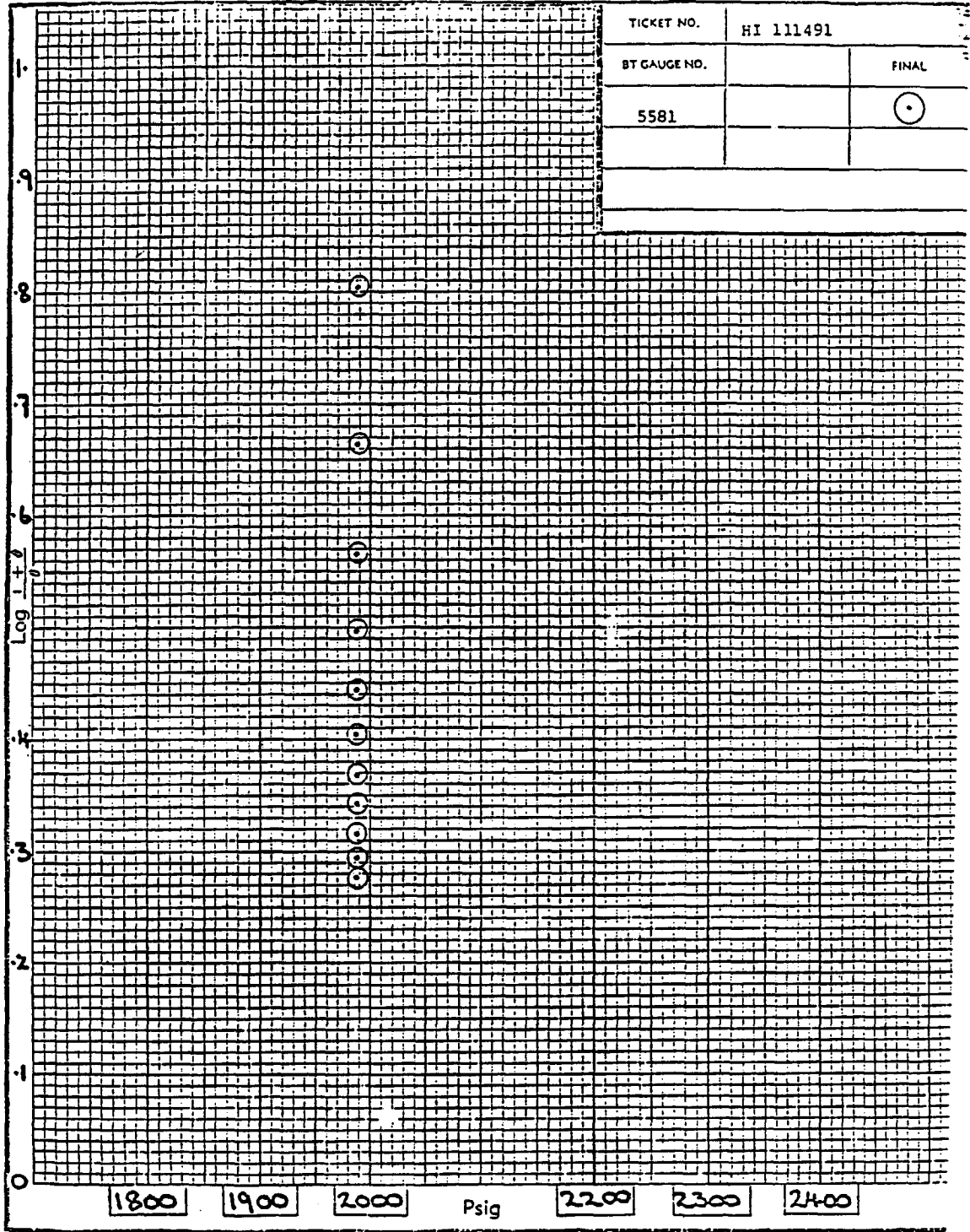
EQUIPMENT DATA

TICKET NO.	HI 111491	
BT GAUGE NO.	INITIAL	
5581	○	



EXTRAPOLATED PRESSURE GRAPH

TICKET NO.	HI 111491	
BT GAUGE NO.		FINAL
5581		⊙

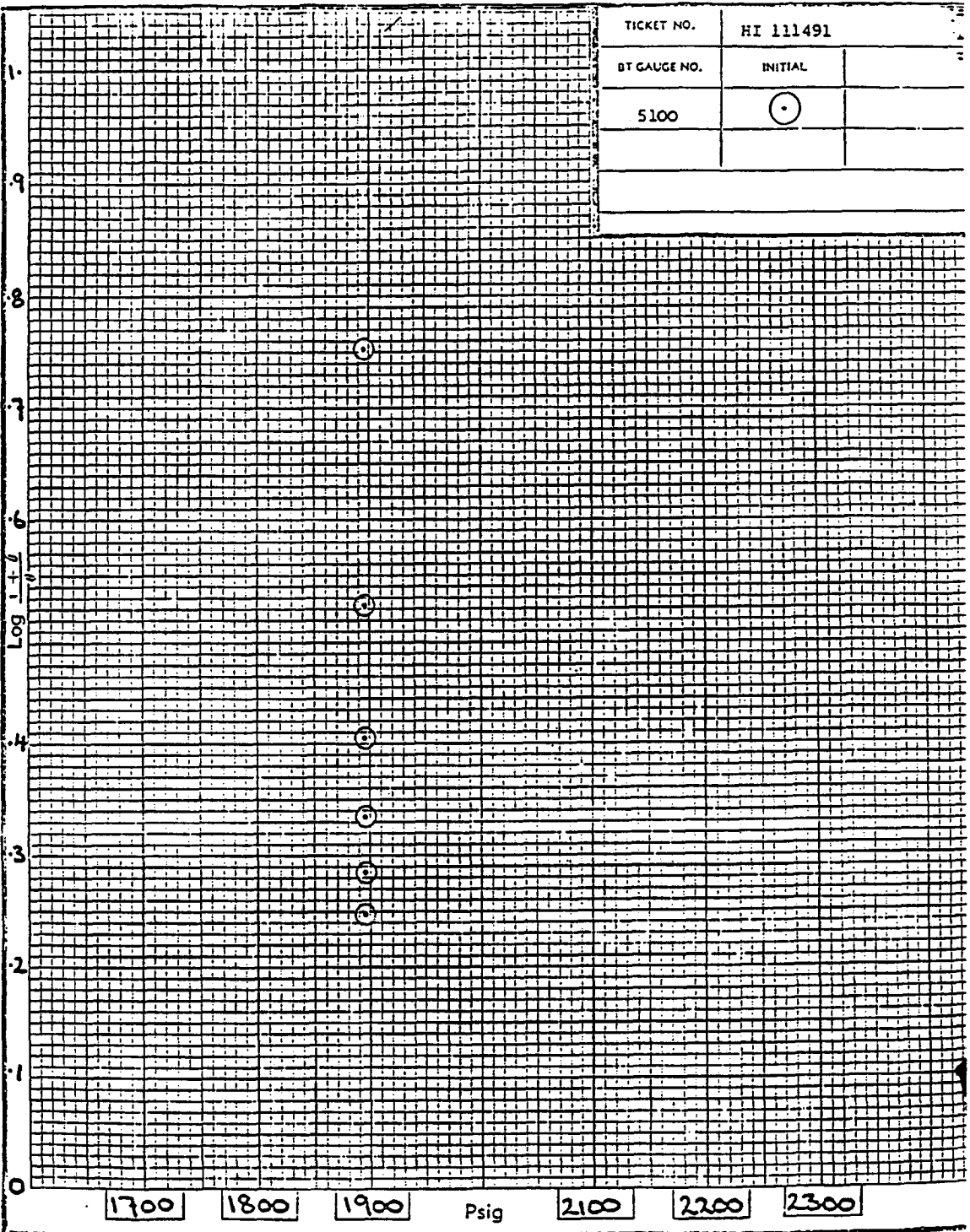


EXTRAPOLATED PRESSURE GRAPH

PRINTED IN U.S.A.

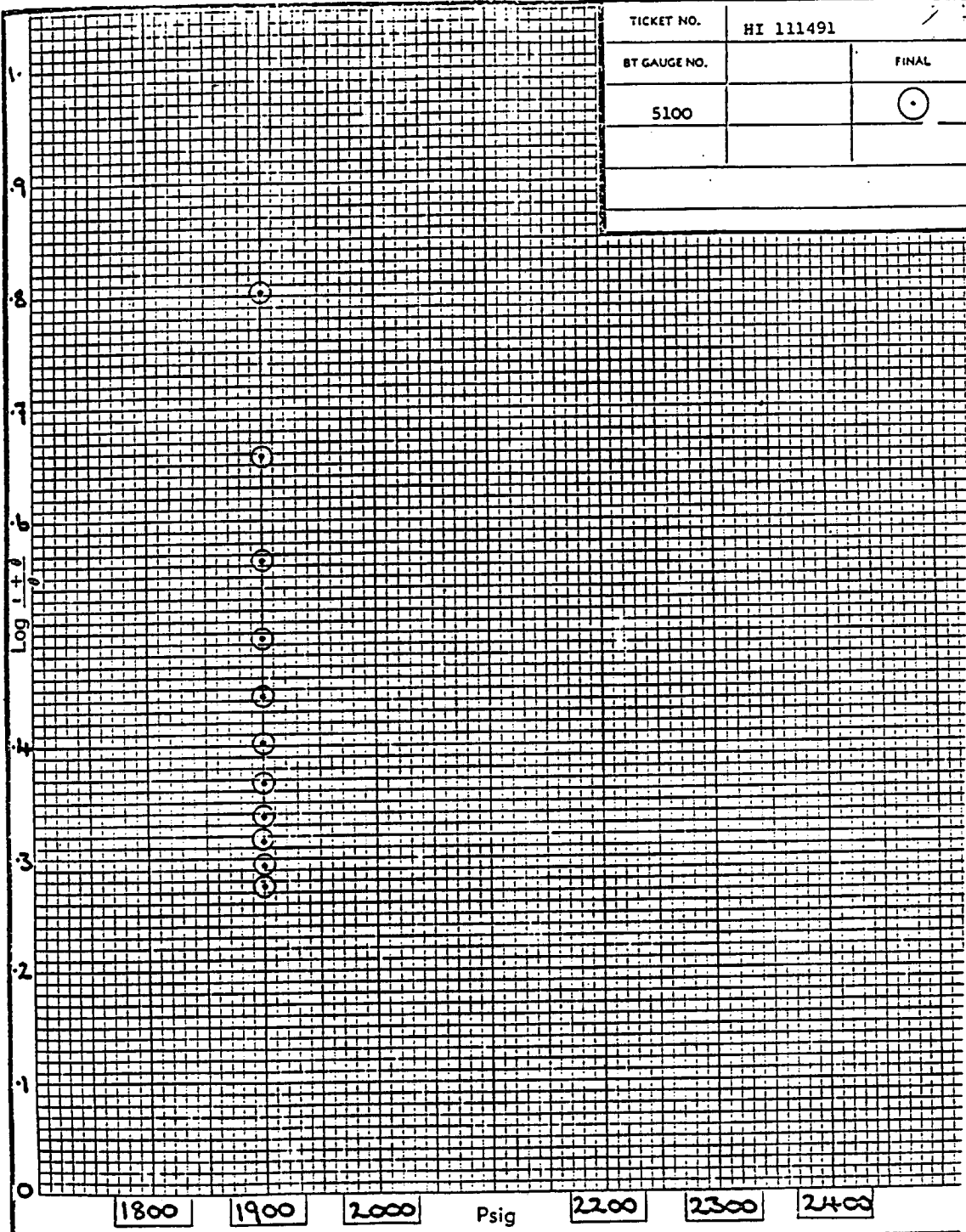
LITTLE B

TICKET NO.	HI 111491	
BT GAUGE NO.	INITIAL	
5100	○	



EXTRAPOLATED PRESSURE GRAPH

TICKET NO.	HI 111491	
BT GAUGE NO.		FINAL
5100		<input checked="" type="radio"/>



EXTRAPOLATED PRESSURE GRAPH

COMPANY: APEXCO SPAIN
TICKET NO: H111491
GAUGE NO: 5581

1ST FLOW

4. 5 MINUTE INTERVALS. LAST INTERVAL= 3 MINS.
TOTAL 23 MINUTES

	TIME		PRESSURE		
	MINUTES	INCHES DEFL.	INCHES DEFL.	PSIG	DELTA P
P0	0	.000	1.798	1865	0
P1	5	.016	1.914	1986	121
P2	10	.033	1.915	1987	1
P3	15	.049	1.915	1987	0
P4	20	.066	1.915	1987	0
P5	23	.076	1.915	1987	0

COMPANY: APEXCO SPAIN
 TICKET NO: H111491
 GAUGE NO: 5581

1ST CIP

5. 5 MINUTE INTERVALS. LAST INTERVAL= 5 MINS.
 TOTAL 30 MINUTES

	TIME		PRESSURE		DELTA P	LOG T+(0/0)
	MINUTES	INCHES DEFL.	INCHES DEFL.	PSIG		
P0	0	.000	1.915	1987	0	
P1	5	.016	1.915	1987	0	.7597
P2	10	.033	1.915	1987	0	.5189
P3	15	.049	1.915	1987	0	.4067
P4	20	.066	1.915	1987	0	.3327
P5	25	.082	1.915	1987	0	.2348
P6	30	.100	1.915	1987	0	.2455

COMPANY: APEXCO SPAIN
 TICKET NO: H111491
 GAUGE NO: 5581

2ND FLOW

5. 5 MINUTE INTERVALS. LAST INTERVAL= 5 MINS.
 TOTAL 30 MINUTES

	TIME		PRESSURE		DELTA P
	MINUTES	INCHES DEFL.	INCHES DEFL.	PSIG	
P0	0	.000	1.915	1987	0
P1	5	.016	1.915	1987	0
P2	10	.033	1.915	1987	0
P3	15	.049	1.915	1987	0
P4	20	.066	1.915	1987	0
P5	25	.082	1.915	1987	0
P6	30	.100	1.915	1987	0

COMPANY: APEXCO SPAIN
 TICKET NO: H111491
 GAUGE NO: 5581

2ND CIP

11. 5 MINUTE INTERVALS. LAST INTERVAL= 5 MINS.
 TOTAL 60 MINUTES

	TIME		PRESSURE		DELTA P	LOG T+(0/0)
	MINUTES	INCHES DEFL.	INCHES DEFL.	PSIG		
P0	0	.000	1.915	1987	0	
P1	5	.016	1.915	1987	0	1.0792
P2	10	.033	1.915	1987	0	.8016
P3	15	.049	1.915	1987	0	.6620
P4	20	.066	1.915	1987	0	.5643
P5	25	.082	1.915	1987	0	.4978
P6	30	.099	1.915	1987	0	.4437
P7	35	.115	1.915	1987	0	.4032
P8	40	.132	1.915	1987	0	.3680
P9	45	.148	1.915	1987	0	.3403
P10	50	.165	1.915	1987	0	.3153
P11	55	.181	1.915	1987	0	.2950
P12	60	.196	1.915	1987	0	.2783

COMPANY: APEXCO SPAIN
TICKET NO: H111491
GAUGE NO: 5100

1ST FLOW -----

4. 5 MINUTE INTERVALS. LAST INTERVAL= 3 MINS.
TOTAL 23 MINUTES

	TIME		PRESSURE		
	MINUTES	INCHES DEFL.	INCHES DEFL.	PSIG	DELTA P
P0	0	.000			
P1	5	.016	NO READINGS POSSIBLE		
P2	10	.032	1.810	1897	0
P3	15	.048	1.802	1889	8
P4	20	.064	1.802	1889	0
P5	23	.074	NO READINGS POSSIBLE		

COMPANY: APEXCO SPAIN
 TICKET NO: H111491
 GAUGE NO: 5100

1ST CIP -----

5. 5 MINUTE INTERVALS. LAST INTERVAL= 5 MINS.
 TOTAL 30 MINUTES

	TIME		PRESSURE			DELTA P	LOG T+0/0
	MINUTES	INCHES DEFL.	INCHES DEFL.	PSIG			
P0	0	.000					
P1	5	.016	1.809	1896			.7501
P2	10	.032	1.809	1896	0		.5202
P3	15	.048	1.809	1896	0		.4051
P4	20	.064	1.809	1896	0		.3337
P5	25	.080	1.809	1896	0		.2844
P6	30	.096	1.309	1896	0		.2482

COMPANY: APEXCO SPAIN
TICKET NO: H111491
GAUGE NO: 5100

2ND FLOW

5. 5 MINUTE INTERVALS. LAST INTERVAL= 5 MINS.
TOTAL 30 MINUTES

	TIME		PRESSURE		DELTA P
	MINUTES	INCHES DEFL.	INCHES DEFL.	PSIG	
P0	0	.000	1.642	1721	0
P1	5	.016	1.751	1835	114
P2	10	.032	1.801	1888	53
P3	15	.048	1.808	1895	7
P4	20	.064	1.808	1895	0
P5	25	.080	1.808	1895	0
P6	30	.096	1.808	1895	0

COMPANY: APEXCO SPAIN
 TICKET NO: H111491
 GAUGE NO: 5100

2ND CIP

11. 5 MINUTE INTERVALS. LAST INTERVAL= 5 MINS.
 TOTAL 60 MINUTES

	TIME		PRESSURE		DELTA P	LOG T(r)/O
	MINUTES	INCHES DEFL.	INCHES DEFL.	PSIG		
P0	0	.000	1.808	1895	0	
P1	5	.016	1.812	1900	5	1.0654
P2	10	.032	1.812	1900	0	.8002
P3	15	.048	1.812	1900	0	.6572
P4	20	.064	1.812	1900	0	.5630
P5	25	.080	1.812	1900	0	.4949
P6	30	.096	1.812	1900	0	.4426
P7	35	.112	1.812	1900	0	.4010
P8	40	.128	1.812	1900	0	.3670
P9	45	.144	1.812	1900	0	.3386
P10	50	.160	1.812	1900	0	.3144
P11	55	.176	1.812	1900	0	.2936
P12	60	.192	1.812	1900	0	.2754

NOMENCLATURE

b	= Approximate Radius of Investigation	Feet
b_1	= Approximate Radius of Investigation (Net Pay Zone h)	Feet
D.R.	= Damage Ratio	—
EI	= Elevation	Feet
GD	= B.T. Gauge Depth (From Surface Reference)	Feet
h	= Interval Tested	Feet
h_1	= Net Pay Thickness	Feet
K	= Permeability	md
K_1	= Permeability (From Net Pay Zone h)	md
m	= Slope Extrapolated Pressure Plot (Psi ² /cycle Gas)	psi/cycle
OF_1	= Maximum Indicated Flow Rate	MCF/D
OF_2	= Minimum Indicated Flow Rate	MCF/D
OF_3	= Theoretical Open Flow Potential with/Damage Removed Max.	MCF/D
OF_4	= Theoretical Open Flow Potential with/Damage Removed Min.	MCF/D
P_s	= Extrapolated Static Pressure	Psig.
P_f	= Final Flow Pressure	Psig.
P_{01}	= Potentiometric Surface (Fresh Water *)	Feet
Q	= Average Adjusted Production Rate During Test	bbls/day
Q_1	= Theoretical Production w/Damage Removed	bbls/day
Q_g	= Measured Gas Production Rate	MCF/D
R	= Corrected Recovery	bbls
r_w	= Radius of Well Bore	Feet
t	= Flow Time	Minutes
t_0	= Total Flow Time	Minutes
T	= Temperature Rankine	°R
Z	= Compressibility Factor	—
μ	= Viscosity Gas or Liquid	CP
Log	= Common Log	

* Potentiometric Surface Reference to Rotary Table When Elevation Not Given, Fresh Water Corrected to 100° F.

ANALISIS DE AGUAS

Muestra n°/ 12 Referencia FEUS-1, DST-9
 Procedencia SERVICIO DE LODOS C.T. N°/ 18620
 Cliente APRY CO.
 Fecha toma de muestra 27/8/1976 Fecha llegada Laboratorio 3-9-1976

temperatura	°C			
olor	mg/l Pt	<input type="checkbox"/>	Residuo seco 110°C	
		<input type="checkbox"/>	Residuo fijo 600°C	
torbidez	JTU	<input type="checkbox"/>	Sólidos en suspensión	
pH		<input type="checkbox"/>	Sólidos volátiles 600°C	
conductividad a 20°C	µΩ-cm ⁻¹	<input type="checkbox"/>	Materia orgánica	

- O₂ disuelto mg/l O₂
- Demanda química oxígeno DQO mg/l O₂
- Demanda biológica oxígeno DBO mg/l O₂
- Oxidabilidad MnO₄K al calor frío mg/l O₂

		mg/l.	me/l.	mg/l CO ₃ Ca	° f
Alcalinidad (CO ₃ =)	TA				
Alcalinidad total	TAC				
Carbonatos	CO ₃ =				
Carbonatos	CO ₃ H-				
Cloruros	Cl-	16.841,2	474,92		
Sulfatos	SO ₄ =	2.625,0	54,65		
Nitratos	NO ₃ -				
Sodio	Na+	9.300,0	404,26		
Potasio	K+	340,0	8,70		
Calcio	Ca++	2.035,0	101,55		
Magnesio	Mg++	86,0	7,07		
Dureza	TH				

Nitritos NO₂- mg/l Amoniaco NH₄⁺

Nitrogeno total N mg/l Fosfatos totales PO₄⁼

S.A.R.

ANALISIS DE AGUAS

Muestra n°/ 14 Referencia EDIS-1, DST no 1
 Procedencia SERVICIO DE LODOS C.T. N°/ 186
 Cliente AFEX CO.
 Fecha toma de muestra 27/8/1976 Fecha llegada Laboratorio 39-1.9

Temperatura / °C
 Color / mg/l Pt mc/
 Turbidez / JTU
 Conductividad a 20°C / $\mu\Omega\text{-cm}^{-1}$

- Residuo seco 110°C
- Residuo fijo 600°C
- Sólidos en suspensión
- Sólidos volátiles 600°C
- Materia orgánica
- O₂ disuelto
- Demanda química oxígeno DQO mg/l O₂
- Demanda biológica oxígeno DBO mg/l O₂
- Oxidabilidad MnO₄K al calor frío mg/l O₂

	TA	mg/l.	me/l.	mg/l CO ₃ Ca	° f
Alcalinidad (CO ₃ =)	TAC				
Alcalinidad total	CO ₃ =				
Carbonatos	CO ₃ H-				
Cloruros	Cl-	17.125,0	482,93		
Sulfatos	SO ₄ =	2.625,0	54,65		
Nitratos	NO ₃ -				
Sodio	Na+	9.700,0	421,76		
Potasio	K+	340,0	6,70		
Calcio	Ca++	1.850,0	92,32		
Magnesio	Mg++	211,0	17,35		
Acidez	TH				

Nitritos NO₂- / mg/l Amoniaco NH₄+
 Nitrógeno total N / mg/l Fosfatos totales PO₄=
S.A.R.

ANALISIS DE AGUAS

Muestra n°/ 17 Referencia REMS-1, ISC No 1
 Procedencia SERVICIO DE LODOS O.T. N°/ 1862C
 Cliente APSA CO.
 Fecha toma de muestra 27/8/1976 Fecha llegada Laboratorio 3-9-1976

temperatura	°C		
olor	mg/l Pt	<input type="checkbox"/>	Residuo seco 110°C
		<input type="checkbox"/>	Residuo fijo 600°C
arbidiez	JTU	<input type="checkbox"/>	Sólidos en suspensión
		<input type="checkbox"/>	Sólidos volátiles 600°C
nductividad a 20°C	μΩ-cm-1	<input type="checkbox"/>	Materia orgánica

<input type="checkbox"/>	O ₂ disuelto	mg/l O ₂
<input type="checkbox"/>	Demanda química oxígeno DQO	mg/l O ₂
<input type="checkbox"/>	Demanda biológica oxígeno DBO	mg/l O ₂
<input type="checkbox"/>	Oxidabilidad MnO ₄ K al calor frío	mg/l O ₂

		mg/l.	me/l.	mg/l CO ₃ Ca	° f
lcalinidad (CO ₃ =)	TA				
lcalinidad total	TAC				
arbonatos	CO ₃ =				
lcarbonatos	CO ₃ H				
loruros	Cl-	17.153,6	483,73		
ulfatos	SO ₄ =	2.615,0	54,44		
itratos	NO ₃ -				
odio	Na+	9.400,0	408,71		
stasio	K+	340,0	8,70		
licio	Ca++	1.765,0	88,07		
agnesio	Mg++	262,0	21,55		
greza	TH				

nitritos NO ₂ -	mg/l	<input type="checkbox"/>	Amoniaco NH ₄ +
itrogeno total N	mg/l	<input type="checkbox"/>	Fosfatos totales PO ₄ =
		<input type="checkbox"/>	S.A.R.