

**PRIMER ENSAYO DE GASIFICACION SUBTERRANEA  
DEL CARBON EN EL MARCO DE UNA  
COLABORACION COMUNITARIA**

CONTRATO Nº SF - 369/91-ES/BE/UK

**INFORME TECNICO  
OCTUBRE 1991 - JUNIO 1992**

**Grupo de Gestión**

- A. BAILEY (DIRECTOR)
- A. OBIS (SUBDIRECTOR - OPERACIONES)
- M. MOSTADE (SUBDIRECTOR - TECNICO)
- D. MARTINEZ (DIRECTOR DE ASUNTOS EXTERIORES)

**Underground Gasification Europe (UGE), AEIE**  
Calle Progreso, 16 - 3º  
44500 Andorra (Teruel), España

## I N D I C E

### Resumen

1. Introducción
  - 1.1 Antecedentes y objetivos
  - 1.2 Fases del proyecto
  
2. Selección y caracterización del lugar
  - 2.1 Geología general
  - 2.2 Geología de El Tremedal
  - 2.3 Selección del lugar
  
3. Pozo de investigación (ET1)
  - 3.1 Estrategia y diseño
  - 3.2 Operaciones
  - 3.3 Interpretación
  - 3.4 Ensayos de producción
  
4. Dirección del proyecto
  - 4.1 Administración
  - 4.2 Conferencias, publicaciones e informes
  - 4.3 Problemas/dificultades
  - 4.4 Cambios de estrategia técnica
  - 4.5 Trabajos futuros

## RESUMEN

La Agrupación de Interés Económico Europeo titulada "UNDERGROUND GASIFICATION EUROPE (UGE), A.E.I.E." está realizando el primer ensayo de campo de un programa de Gasificación Subterránea Europea del Carbón formulada por el Grupo de Trabajo Europeo sobre la GSC en 1989. Los miembros de la Agrupación son:

- o El Instituto Tecnológico Geominero de España (España).
- o The Institution pour le Développement de la Gazéification Souterraine (Bélgica)
- o The United Kingdom Atomic Energy Authority (Reino Unido)

El propósito general del programa es demostrar la posibilidad técnica y viabilidad comercial de la gasificación subterránea de los carbones europeos. La Comunidad Europea proporciona apoyo económico al primer ensayo en virtud del programa THERMIE. El ensayo se está realizando en una capa de carbón en el noreste de España en un lugar cerca del municipio de Alcorisa, en la provincia de Teruel.

El yacimiento seleccionado para el ensayo se conoce con el nombre de "El Tremedal", el cual contiene un carbón subbituminoso o lignito negro relativamente joven del que se posee ya cierta información como resultado de perforaciones exploratorias e investigaciones sísmicas anteriores. A una profundidad de 600 metros - profundidad prevista para el primer ensayo - se esperaba encontrar dos capas de carbón, de 3 a 6 metros de potencia.

La elección del lugar se realizó, tras el análisis de la información existente de las perforaciones de investigaciones anteriores, por evaluación de la probabilidad de la continuidad de la capa de carbón (ausencia de fallas) y la consideración de los costes de adquisición del terreno, acceso al lugar y preparación del mismo.

Se negociaron con los propietarios acuerdos para la adquisición o renta de 5 parcelas de terreno necesarias para el ensayo, y las solicitudes de permiso para perforar el primer pozo de investigación del ensayo se sometieron a las autoridades pertinentes.

Los trabajos de ingeniería civil para el acceso y la preparación del lugar en que se iba a practicar el primer pozo de investigación se hicieron en marzo/abril de 1992, perforándose el pozo en abril/mayo de 1992. Los resultados confirman que hay carbón a la profundidad prevista, aunque la capa superior es más gruesa de lo que se suponía y la inferior más delgada.

El análisis completo de los resultados del primer pozo de investigación se realizó en junio de 1992. Debido a las variaciones de espesor de la capa en relación con lo que se preveía y a la importancia de la regularidad y continuidad de esa capa para los subsecuentes trabajos de perforación, se decidió modificar la programación de perforaciones llevando a cabo la de un pozo de control para obtener información adicional sobre la situación de la capa de carbón y sus condiciones en la proximidad del pozo de producción.

Para reducir al mínimo los trabajos de ingeniería civil, se decidió realizar los necesarios para preparar el lugar de ensayo antes de practicar el pozo de control. El diseño de los trabajos de ingeniería civil ya se ha completado, y estos trabajos, junto con la perforación del pozo de control, constituirán las actividades principales de la segunda mitad de 1992. El diseño y

planificación del pozo desviado de inyección de la capa de carbón se realizarán paralelamente a estas actividades para evitar el retraso del programa de perforaciones.

## 1. INTRODUCCION

### 1.1 ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

El proyecto es el primer ensayo de campo del programa europeo de desarrollo de la GSC propuesto a la CEC en abril de 1989 por el Grupo de Trabajo Europeo sobre la GSC. El ensayo se realizará en un lugar próximo a la localidad de Alcorisa en Teruel, España. El coste estimado del proyecto es de 2.470 millones de pesetas, y su duración unos 4 años.

El objetivo principal del proyecto es demostrar la posibilidad técnica de la GSC a una profundidad intermedia aproximada de 600 metros - incremento de profundidad significativo sobre los anteriores ensayos norteamericanos, realizados con éxito, de la GSC mediante perforaciones en la capa de carbón. El ensayo tiene varios objetivos técnicos, entre los que se incluye la demostración de la perforación de pozos largos en la capa de carbón a la indicada profundidad mediante perforación desviada desde la superficie, la construcción de un circuito adecuado de flujo de gas entre los pozos de inyección y producción, y la demostración de la adecuada conversión del carbón.

El programa del proyecto previsto comprende tres fases principales: actividades de preparación, gasificación y post-combustión. Las operaciones de estas fases son como sigue:

- o Fase preparatoria. Durante esta fase, se someterán a evaluaciones detalladas la geología e hidrología del lugar elegido y se hará un análisis del carbón y de los estratos contiguos. Las principales actividades de esta fase (perforación, conexiones, ultimación de los pozos de sondeo e instalación del equipo de superficie) sólo se realizarán si las investigaciones iniciales confirman las previsiones.
- o Actividades de gasificación. La etapa de gasificación permitirá determinar la influencia de las distintas configuraciones de pozos y comparar los diferentes escenarios de gasificación (gasificación en canal y por filtrado). Durante un ensayo de larga duración, se determinarán ciertos parámetros, como la vida útil del reactor, los mecanismos de crecimiento de la cavidad, el rendimiento de barrido y la calidad del gas.
- o Actividades de post-combustión. Durante la fase de post-combustión, las actividades consistirán fundamentalmente en el análisis de los datos obtenidos para validar y, si es necesario, modificar los modelos de gasificación. Estas actividades se complementarán con perforaciones hechas después de la combustión para verificar la forma de la cavidad. Finalmente, con los informes correspondientes y el restablecimiento del lugar, se terminarán los trabajos del ensayo de campo.

Los pozos a practicar para el ensayo incluyen los de investigación, proceso y el control. La configuración de los pozos permitirá la sucesiva realización de los dos escenarios de gasificación antes mencionados:

- o un primer ensayo, a lo largo de un canal en la capa de carbón,
- o un segundo ensayo, por filtrado entre el pozo lateral de inyección y la zona previamente gasificada.

## 1.2 FASES DEL PROYECTO

Las fases operacionales del proyecto incluyen lo siguiente:

- o Enlace final. Se ha previsto que la conexión final en los pocos metros que hay entre el pozo desviado de inyección, en la capa de carbón, y el de producción vertical se haga por hidrofracturación y/o combustión inversa. En la hidrofracturación se inyectaría agua a alta presión a través del pozo en la capa de carbón. La combustión inversa, se iniciaría con una zona de combustión en la base del pozo de producción y, por inyección de aire, se retraería hacia el pozo en capa para mantener la reacción.
- o Operaciones CRIP. La técnica de Retracción Controlada del Punto de Inyección (en inglés "Controlled Retraction of Injection Point") será la que se utilice en el pozo de inyección en la capa de carbón para ampliar el canal de inyección, garantizando el crecimiento de las zonas de combustión corriente arriba modificando los puntos de encendido/inyección a lo largo del pozo en la capa de carbón. A este fin se instalarán en toda la longitud del pozo de inyección un tubo enrollable.
- o Gasificación en canal. La finalidad de esta operación será producir un gas de poder calorífico medio por gasificación a alta presión con oxígeno/agua. La máxima potencia calorífica será de 10-15 MW con un consumo de oxígeno de 1000-1500 m<sup>3</sup>/hora. La relación molar m<sup>3</sup> de H<sub>2</sub>O/O<sub>2</sub> inyectada será baja, tal vez 1-1,5/1, debido al elevado contenido de agua del carbón. En condiciones normales, la presión de trabajo en el pozo de producción se mantendrá cerca de la presión efectiva hidrostática y por debajo de la resistencia mínima de los estratos.
- o Pirólisis/combustión inversa. El propósito de esta operación es formar una zona de alta permeabilidad por pirólisis/combustión inversa entre el pozo vertical transversal de inyección y la zona creada antes por gasificación en canal. La inyección de los reactivos de gasificación se transferirá progresivamente desde el pozo desviado de inyección al segundo de inyección (vertical). Si se pudiera formar una gran zona semicarbonizada, se probaría el concepto de gasificación por filtrado.
- o Gasificación por filtrado. La finalidad de esta fase es gasificar el carbón en la zona creada durante la previa operación de pirólisis/combustión inversa. Si esta fase da buenos resultados, se evaluaría la duración del reactor, los mecanismos de crecimiento de cavidad y la eficiencia y calidad del gas.

- o Extinción de incendios. Se detendrán las reacciones y se dará fin al ensayo haciendo circular nitrógeno por el gasificador. Al cabo de unos pocos días, se llenarán de agua todas las cavidades subterráneas.
- o Control ambiental. Se desarrollará un programa de control ambiental teniendo en cuenta las condiciones antes, durante y después del ensayo. El sistema subterráneo se purgará continuamente para reducir al mínimo el posible transporte de contaminantes a estratos adyacentes y elevar la afluencia de agua subterránea para enfriamiento adicional.

## **2. SELECCION Y CARACTERIZACION DEL LUGAR**

### **2.1 GEOLOGIA GENERAL**

#### **2.1.1 Estratigrafía**

Las tres cuencas hulleras de Teruel, Andorra (Foz Calanda, Castellote y Utrillas) y Aliaga se formaron entre los períodos Aptiense superior y Albiense medio. Las zonas carboníferas quedan dentro de la Formación Escucha definida en los años sesenta por Oriol Riba y otros, que dividieron la formación en tres miembros que posteriormente se clasificaron como M1, M2 y M3.

- M1: Depositadas fundamentalmente en un medio "parálico". Las capas de carbón de este miembro aparecen entre calizas marinas someras. Las capas de carbón N<sup>os</sup> 3, 4, 5 y 6 en Utrillas y las P, Q, R y S en el valle de Ariño pertenecen a este miembro.
- M2: Medio de "lagoon", capas de carbón entre arcillas fosilíferas y arenas con abundantes raíces, "linsen" muy frecuentemente. Las capas de carbón N<sup>os</sup> 1 y 2 de Utrillas y la 0 del valle de Ariño son buenos ejemplos.
- M3: Medio fluvial, carbón entre arcilla y arena. No hay carbón en Utrillas, capa de carbón N en el valle de Ariño.

Finalmente, por encima del anterior miembro M3, aparece la formación de Utrillas, un depósito fluvial continental que puede encontrarse en toda la Cordillera Ibérica. Esta guía geológica está constituida por típicos cuerpos de arcilla y arena multicolores (paleocanales). La arena puede haber erosionado los estratos subyacentes.

#### **2.1.2 Tectónica**

Los movimientos en el Jurásico tuvieron un papel importante en la sedimentación Cretácica. Los levantamientos de la fase Neokimérica provocados por fallas, y la posterior erosión, dividieron la zona en diferentes subcuencas cretácicas que condujeron a una gran variación en los espesores de los sedimentos.

Las primeras fases del movimiento pirenaico desempeñaron un importante papel en la base del período Albiense (Formación Escucha), siendo las responsables de muchas de las perturbaciones en la zona carbonífera. Durante la etapa de sedimentación del carbón, se produjeron pequeños movimientos en muchos

lugares, de tal forma que la sedimentación y/o erosión condujo a la desaparición de algunas capas de carbón. A veces estos débiles movimientos reactivaron fallas jurásicas. Este efecto ha sido detectado claramente en las cuencas carboníferas de Ariño-Andorra y Castellote.

## **2.2 GEOLOGIA DE EL TREMEDAL**

En la zona de El Tremedal, lo mismo que en la contigua Foz Calanda, no se hacen claramente evidentes los tres miembros M1, M2 y M3, habiéndose definido una nueva formación, la de "Val de la Piedra". Esta formación se extiende en toda la zona de El Tremedal con un espesor medio de 16-20 m.

La Formación "Val de la Piedra" (Aptiense-Albiense) se asienta discordante sobre el Jurásico bajo la Formación de Utrillas. En general, hay dos capas de carbón, separadas por algunos metros de arcilla fosilífera y/o caliza. La capa superior puede desaparecer, erosionada por la arena suprayacente, en tanto que la inferior puede encontrarse prácticamente sobre todo El Tremedal. En toda la zona de El Tremedal se pueden encontrar una o ambas de estas dos capas.

La Formación Utrillas alcanza un espesor aproximado de 100 m y consta esencialmente de cuerpos de arena y arcilla. En la parte inferior, inmediatamente encima de la capa superior, hay un nivel arenoso (paleocanal erosivo) que varía entre 2 y 30 m de espesor, y que podría ser la causa de la variación de espesor de la capa de carbón superior.

## **2.3 SELECCION DEL LUGAR**

El Grupo de Trabajo Europeo sobre Gasificación Subterránea del Carbón vio que era aceptable la oferta hecha por ENDESA en noviembre de 1990 considerando "El Tremedal" como posible lugar para el ensayo de campo.

En El Tremedal se eligió el lugar teniendo en cuenta lo siguiente:

- o Confianza en que había carbón en él.
- o Confianza en la geotectónica.
- o Espesor, profundidad y calidad del carbón.
- o Topografía apropiada.
- o Reducción al mínimo del número de propietarios para la ocupación del terreno.

La zona del lugar se ilustra en la figura 1. Antes ENDESA había examinado con cierta extensión las posibilidades de El Tremedal para la explotación convencional en profundidad del mismo, y la información existente comprendía algunas líneas sísmicas, en 1979, y pozos de investigación en 1974. Partiendo de esta información, se hizo evidente que la capa superior era más gruesa (7,4 m) en el pozo de investigación T7 y que la inferior tenía un espesor de 2 m de carbón de buena calidad en la zona de los pozos de investigación T6 y T7.

Después de estudiar la información facilitada por ENDESA, se eligió una zona situada entre los pozos de investigación anteriores T6 y T7 para el establecimiento del lugar de ensayo basándose en las siguientes consideraciones:

- o Un elevado nivel de confianza en la presencia de una buena capa, como mínimo, para la gasificación. (Fundamentándose en la

información de los pozos de investigación T4bis, T6, T7, T9, 24E y 27E, todos dentro de 1 km de distancia).

- o Buenas probabilidades de ausencia de fallas.
- o Espesor, profundidad y calidad apropiados.
- o Topografía no excesivamente difícil para el acceso al lugar y preparación del mismo.
- o Escaso número de propietarios de terreno implicados en las operaciones de acceso y ocupación.

En diciembre de 1991 se evaluaron con más detalle tres opciones de lugares distintos, dentro de la zona de interés, que habían sido identificados en julio de 1991, al objeto de finalizar la selección del lugar.

Cabía esperar que las capas de carbón estuviesen situadas a la profundidad preferida de 600 m a lo largo de una línea Este-Oeste de 100 m al Norte del pozo de investigación T7. El espesor del carbón disminuye hacia el Oeste, alcanzando su mayor valor en T7 (capa superior 7,4 m). También se ha observado que en el T7 la capa de arena siempre presente sobre la capa superior alcanza el menor espesor (2m); esta capa de arena va aumentando en todas las direcciones (parece ser una excepción el antiguo pozo 27E, en el que no se aprecia capa superior de carbón ni arena?).

De acuerdo con la interpretación sísmica, la zona elegida se situó entre dos fallas transversales, F12(A), que es una muy clara, y F6, ya no tanto, con una separación aproximada de 400 metros entre ambas. Sobre esta base, el lugar más probable de ausencia de fallas podría estar a mitad de distancia entre ambas posibles fallas, en un lugar aproximadamente a 200 metros de una y otra. En este punto se evidenciaron dos inconvenientes: primero, que harían falta grandes trabajos de ingeniería civil para preparar el lugar debido a dificultades del terreno (arenisca y conglomerado terciarios grandes) y segundo, falta de claridad de las reflexiones sísmicas.

En tales circunstancias, pareció prudente considerar otros lugares, como a) al Este, en la dirección de T7, o b) al Oeste, más allá de T7.

La alternativa a) tenía la ventaja de que, posiblemente, la capa de carbón era más gruesa y que la arena sobre esa capa, más fina. La alternativa b) tenía el inconveniente de unas reflexiones sísmicas más débiles (de las calizas) que las de a) y el estar más cerca de la falla F12(A), potencialmente más importante que la F6. En vista de estos factores, se eligió la posición más oriental como punto primero de lugar para los ensayos.

### **3. POZO DE INVESTIGACION (ET1)**

#### **3.1 ESTRATEGIA Y DISEÑO**

En diciembre de 1991 se estableció la posición exacta del lugar, y en enero de 1992 se diseñó el pozo de investigación ET1.

El objetivo del pozo de investigación era hacer un sondeo vertical por métodos convencionales para obtener información sobre la naturaleza, espesor y profundidad de las dos capas de carbón, y sobre la composición y secuencia de los estratos de recubrimiento.

Se precisaba extraer testigos de las propias capas de carbón, de sus techos y muros, y de determinadas secciones elegidas del recubrimiento. También habría que llevar a cabo un amplio programa de registros para obtener más información sobre la naturaleza del carbón y de los estratos adyacentes para:

- o La perforación de los posteriores pozos desviados en capa.
- o Los parámetros de control del proceso GSC.
- o El análisis del rendimiento y el modelado.

El pozo de investigación se ubicó de forma que pudiera obtenerse una información precisa sobre el punto de entrada en la capa del posterior pozo de inyección desviado. La figura 2 ilustra una sección transversal de la configuración del pozo del proceso. Para obtener información sobre el comportamiento hidrogeológico del carbón y de los estratos adyacentes, habría que realizar también ensayos hidrogeológicos tales como "Drill Stem Testing", "build up" y fall off.

Basándose en esta estrategia, en febrero/marzo de 1992 se presentó la siguiente secuencia de operaciones para que las distintas compañías hiciesen sus ofertas:

- o Obras civiles.
  - Ampliación y mejora de un camino rural
  - Nuevo camino de acceso al lugar de los pozos
  - Preparación del lugar/equipo de perforación
  - Instalación del antepozo/tubo guía
- o Operaciones de perforación y extracción de testigos.
  - Perforación de 12 $\frac{1}{4}$ "
  - Perforación de 9-5/8" y ensanchamiento
  - Perforación de 8 $\frac{1}{2}$ " y ensanchamiento
  - Extracción de testigos de 4"
  - Entubación de 7"
  - Operaciones del equipo de perforación para testificación geofísica/ensayos
- o Operaciones de testificación geofísica y perforación
  - Registro combinado geofísico
  - Registro del inclinómetro/registro geométrico
  - Registro de la unión con cemento (CBL)
  - Perforación de una ventana de 1 m en el nivel del carbón y de la arena
- o Operaciones de cementación.
  - Cementación de la tubería de revestimiento de 7"
  - Suministro de equipos de cementación/accesorios
- o Exámenes de Ensayo del Contenido de la Formación. (DST)
  - Ensayos de producción de la capa de carbón
  - Ensayos de producción de la capa de arena
- o Suministro de equipos de perforación.
  - Tubería de revestimiento de 9-5/8"
  - Tubería de revestimiento de 7"
  - Otros (obturador, tubos de unión, etc.)
- o Levantamiento de un mapa del lugar y establecimiento de puntos de referencia.

Basándose en las ofertas recibidas, se seleccionaron 8 contratistas para las operaciones del pozo de investigación, y las obras civiles se iniciaron el 23 de marzo de 1992.

## 3.2 OPERACIONES

### 3.2.1 Acceso al lugar y preparación del mismo (COMERCIAL DE SONDEOS)

Las obras civiles se realizaron entre el 23 de marzo y el 10 de abril de 1992.

El acceso al lugar de ensayo tiene lugar por un camino rural de 2,6 km de longitud que se desvía de la carretera principal Andorra-Alcorisa. Ese camino estaba en muy malas condiciones, tenía insuficiente anchura para el acceso del equipo de perforación y camiones pesados de suministro, y requería la ejecución de mejoras considerables para garantizar un acceso sin problemas a todo el tráfico durante las etapas de perforación del pozo de investigación y las posteriores de ensayo. Los trabajos incluían la eliminación de la capa superior de arcilla existente de 10-40 cm, la colocación de una nueva cimentación en una anchura de 3,5 m y 2 etapas de colocación de grava, aplanamiento y compactación.

Se construyó un nuevo camino de acceso de 200 m de longitud a partir del camino rural antes citado que iba hasta el lugar del pozo y se prepararon aproximadamente 2.500 m<sup>2</sup> de terreno de cultivo para las operaciones en dicho lugar. Parte del lugar del pozo de investigación se utilizará posteriormente para la futura instalación del sistema inyección destinados a la gasificación y, en consecuencia, se consideró esencial una superficie de buena calidad. Para estabilizar el suelo de arcillas y prepararlo para el tráfico pesado, se precisaban numerosos trabajos. En algunas zonas había que levantar más de 50 cm de la capa superior de arcilla y sustituirla por una profundidad igual de grava compactada.

Se determinó finalmente el lugar exacto del pozo de investigación teniendo en cuenta los límites y nivel del lugar para reducir en cuanto fuera posible la extensión de las obras civiles, satisfaciendo al mismo tiempo las necesidades operacionales de los contratistas de perforación y de servicio. Se construyó una plataforma de hormigón para recibir la estructura de perforación y se preparó el antepozo para recibir el tubo guía previo a la perforación. La excavación de un foso de lodo de 300-400 m<sup>3</sup> y el vallado perimétrico del lugar representaron las últimas obras civiles previas a los trabajos de perforación.

### 3.2.2 Levantamiento del mapa del lugar, puntos de referencia y coordenadas en el plano (TASA, CADIC)

En primer lugar, se hizo un vuelo aéreo a escala 1/3500. Después de esto y partiendo de las fotografías, se levantó un mapa topográfico a escala 1/500 de la zona de ensayo de campo con curvas de nivel a 0,5 m. Finalmente, se establecieron 5 puntos de referencia topográfica para los posteriores trabajos de perforación y construcción de las plantas de superficie. Uno de estos puntos se halla situado en la superficie de la plataforma de hormigón del pozo de investigación y los otros en puntos elevados desde cuya proximidad se puede ver toda la zona de ensayo de campo. El pozo de investigación (ET1) se halla situado a 164,5 m del anterior de investigación T7 (coordenadas UTM X = 4532524.81 m; Y = 718653.57 m; cota = 666,2 m) que se había practicado en 1974. Las coordenadas UTM del nuevo pozo de investigación ET1 son las siguientes:

o X	:	4532660.39 m
o Y	:	718560.38 m
o Cota	:	653,3 m

### 3.2.3 Operaciones de perforación (IBERICA DE SONDEOS)

Se movilizó el equipo de perforación Mayhew 2500 (véase la figura 3), que llegó al lugar el 20 de abril de 1992. Este equipo, la bomba mezcladora de lodos/tanques, el sacudidor de lodos, el desarenador, etc. se instalaron definitivamente para iniciarse la perforación (12 $\frac{1}{4}$ " el 26 de abril de 1992. Se alquilaron una cabina para su utilización temporal como oficina de UGE y un contenedor para el almacenamiento de testigos que se instalaron poco después de iniciarse las perforaciones.

Entre el 26 de abril y el 24 de mayo de 1992 se realizaron las siguientes operaciones:

o Perforación	12 $\frac{1}{4}$ "	0 - 39 m	26 abril-27 abril
Entubado y cementación	9-5/8"	0 - 38 m	
o Perforación	8 $\frac{1}{2}$ "	39 - 450 m	28 abril-8 mayo
o Extrac. testigos	4"	450 - 557,5 m	9 mayo-16 mayo
o Ensanche 8 $\frac{1}{2}$ " prof. total			17 mayo-23 mayo
Registro con el pozo no revestido		38 - 555 m	
Entubado y cement.	7"	450 - 550 m	
Registro de la calidad de cementación		70 - 528,9 m	
Perfor. capa super.		529,4 - 530,4 m	
Perfor. capa arena		516,5 - 517,5 m	
o Trabajos ensayo produc.			22 mayo-24 mayo

La tabla I muestra un resumen de la distribución de los tiempos de trabajo.

El lodo utilizado para la fase de perforación de 8 $\frac{1}{2}$ " fue Bentonita con CMC, sosa cáustica y Spersene de 1,11 - 1,15 kg/l de densidad, viscosidad 34-36 cP, pérdida de filtrado 10-13 cm<sup>3</sup>/30 min, pH 9-9,5. El desarenador se utilizó continuamente para eliminar el importante contenido de arena. La velocidad del lodo fue siempre inferior a 200 pies/min.

A intervalos, se midió la desviación del pozo mediante medidas de inclinación TOTCO y se vio que era menor de 1° respecto a la vertical en la mayor parte del pozo, aumentando a 2° en la última sección.

Los trabajos de cementación que se realizaron fueron dos:

- o 9-58" - 40 lb/pie - tubería de revestimiento N80 (0-38 m)
- o 7" - 29 lb/pie - tubería de revestimiento N80 (0-550,4 m)

El primer trabajo de cementación se realizó con el equipo de perforación estándar y se utilizaron 1.300 l de lechada de 1,65 kg/l de densidad. El segundo trabajo de cementación lo llevó a cabo una compañía de cementación especializada (HALLIBURTON). El programa de cementación fue:

- o Cemento Clase "G" : 15 tons
- o Microsílice para la integridad de

- o la lechada : 800 l
- o Halad-361A para el control del gas : 750 l
- o Despumador NF-3 : 15 l
- o Agua (360 l/ton) : 5.400 l
- o Densidad : 1,9 kg/l
- o Agua libre : 1%
- o Tiempo de inyección del cemento : 25 min
- o Tiempo de desplazamiento del lodo : 35 min

No se experimentaron grandes dificultades durante las fases de perforación, extracción de testigos y ensanchamiento; sólo hubo pequeños problemas con la bomba principal y con el cabezal de perforación. El único problema importante con que se tropezó fue la incapacidad de perforar los tapones para la cementación después de la cementación de la tubería de revestimiento de 7". Aunque la parte superior de este tapón (530,9 m) estaba cerca del muro de la capa superior de carbón (532,05 m), no impidió la perforación a nivel de la capa superior y así se pudo adoptar una configuración alternativa para los trabajos de producción en el carbón y la arena. La presencia del tapón, sin embargo, podría afectar la facultad de utilizar el pozo de investigación con subsecuentes fines de control, sobre todo si se seleccionase para gasificación la capa inferior de carbón.

La tabla II muestra la composición de la tubería de revestimiento de 7" y la figura 4 ofrece un esquema de la situación actual del pozo de investigación ET1.

### 3.2.4 Operaciones de testificación geofísica y perforación (SCHLUMBERGER)

Se hicieron los siguientes registros (38 - 555 m) con el pozo sin revestir antes del entubado:

- o Registro de litodensidad (LD). Las funciones principales son el análisis de la porosidad y la determinación litológica.
- o Registro de neutrones compensado (CNL). Las funciones principales son el análisis de porosidad, la identificación litológica, el análisis de las arcillas y la detección de gas.
- o Registro "microlog" (ML). Las funciones principales son la identificación de zonas permeables, la definición de límites de estratos, una cuenta detallada de la arena y una indicación del espesor del "cake".
- o Registro de rayos gamma (GR). Las funciones principales son el control de profundidad, localización de los niveles de arcillas, registro de base para la correlación con el pozo entubado y la detección de minerales radiactivos.
- o Registro de diámetro. Las funciones principales son el cálculo del volumen del pozo y la definición de los límites de los estratos.
- o Inclinómetro stratigráfico de alta resolución (SHDT). Las funciones principales son la determinación del buzamiento estructural, el cálculo del buzamiento stratigráfico, el análisis stratigráfico, la identificación de las fracturas y la geometría y trayectoria de la perforación.

Las 5 primeras herramientas (LD, CNL, ML, GR, Diámetros) se incorporaron en una sonda combinada, haciéndose de una vez los registros para ahorrar tiempo y dinero. El principal inconveniente de esta herramienta combinada es el de que, debido al apilado vertical de los sensores, los superiores pueden no cubrir una sección apreciable ( $\pm 14$  m) del pozo en el fondo del pozo.

Una vez colocada la tubería de revestimiento de 7" y hecha la cementación, se utilizaron las siguientes herramientas de registro y perforación:

- o Herramienta para la calidad de cementación (70 - 528,9 m). Las funciones principales son la evaluación del cierre del cemento en el espacio anular formación-tubería de revestimiento, situación de la tubería y la correlación de profundidad con los registros antes hechos en el pozo sin revestir.
- o Sarta de disparo de alta densidad. Esta sarta fue diseñada para hacer disparos de doble ventana con un único cable de acero. Las características de la sarta fueron dos ventanas de 1 m, de 5" de diámetro exterior, densidad 12 SPF y ángulo de fase de 120°. La primera ventana se hizo frente a la capa superior de carbón (529,4 - 530,4 m), la segunda frente a una capa de arena situada por encima de la de carbón (515,5 - 516,5 m). La ventana de la capa de arena se seleccionó tomando como base el análisis de los testigos extraídos y de los registros.

### 3.3 INTERPRETACION

#### 3.3.1 Litología (a partir de los cortes de perforación, extracción de testigos y registro)

La litología del pozo de investigación ET1 (véase la figura 5) puede dividirse como sigue:

- o Terciario (0-368 m). Esta zona se compone de arcillas, conglomerados, margas y algunas arenas de alta porosidad. Las arenas se atravesaron a los niveles de 115-126 m, 192-213 m y 248-262 m. El registro de diámetros en esta zona indica tamaños del orificio generalmente mayores que el diámetro de 8 $\frac{1}{2}$ " del trépano. Se midieron diámetros de hasta 11" en las zonas arcillosas. Las zonas arenosas presentaban diámetros de 8 $\frac{1}{2}$ " - 9" con "cake" reducido.
- o Cretácico-Cenomanense (368-418 m). Esta zona comprende margas impermeables de color marrón/rojo con una capa pequeña ( $\pm 1$  m) de caliza. La velocidad de penetración durante el sondeo fue muy lenta (4-5 veces inferior a la de sondeo en el Terciario). Las características de registro de esta zona fueron la baja resistividad y baja emisión de gamma natural, la porosidad próxima a cero con resistividad baja y densidad casi constante de unos 2,4 g/cc. Las zonas con calizas mostraron un aumento de emisión gamma y de porosidad aparente, y una reducción de la densidad. No se observaron cavidades en esta zona y los diámetros fueron de un valor similar al del trépano.
- o Cretácico - Albiense/Aptiense (418-544,1 m). En la sección superior, esta zona comprende una serie sucesiva de distintas capas de arcilla y arena (Formación Utrillas de 418 m a 528,3 m, techo de la capa de

carbón superior). La sección inferior (Formación "Val de la Piedra") comprende dos capas de carbón separadas por una de calizas densas. Las zonas de arcilla de la sección superior son impermeables y separan las capas de arena en acuíferos independientes. La zona total puede subdividirse en las siguientes subzonas para un análisis más detallado:

- Subzona A (422-433 m). Esta zona se compone de las arenas más limpias de la zona del Cretácico con una alta permeabilidad y baja emisión gamma.
- Subzona B (433-457 m). Esta zona se compone esencialmente de arcilla plástica/arena de colores múltiples y arcilla de muy baja permeabilidad.
- Subzona C (457-488 m). Esta zona consta, fundamentalmente, de arena gris/arena arcillosa con inserciones de mica blanca y de pirita. A 472,5 m de profundidad aparecen fragmentos de carbón ( $\pm 10$  cm) con un elevado contenido de pirita ( $>20\%$ ) y las arenas tienen una elevada porosidad y un grano muy fino.
- Subzona D (488-514 m). Esta zona se compone, esencialmente, de arcillas negras/grises (algunas veces de colores variados). Pueden observarse apariciones esporádicas de carbón, pirita y mica blanca.
- Subzona E (514-528 m). Esta zona se compone esencialmente de arena/arena arcillosa que constituye el techo de la capa de carbón superior. En general, esta zona no pareció tan permeable como las A y C. Se identificó una capa de arena a 516-518 m de profundidad como apropiada para posterior perforación con entubado y ensayos de producción.
- Subzona F (528,3-532,2 m). Esta zona corresponde a la capa de carbón superior de la formación de "Val de la Piedra". La capa de carbón es 4,8 m menos potente que en el pozo de investigación anterior T7. La presencia de fragmentos de carbón dentro del techo inmediato de arena del carbón sugiere la erosión de la capa superior de carbón. El carbón está bien consolidado sin presencia de fallas, y es de buena calidad (bajo contenido de cenizas). La densidad del carbón oscila entre 1,2 y 1,6 g/cc y su porosidad es mayor del 50% (véase la tabla III). Se decidió también perforar una ventana al nivel de la capa superior de carbón para realizar posteriores ensayos de producción.
- Subzona G (532,2-539,3 m). Esta zona está constituida por calizas compactas sin fisuración aparente. Las partes con "characae" presentan mayor porosidad, pero el "microlog" no indicó la existencia de una zona muy permeable. Las estimaciones de porosidad del registro indican mayores valores que los visualmente aparentes.
- Subzona H (539,3-544,1 m). Esta zona corresponde a la capa de carbón inferior de la formación "Val de la Piedra". Esta capa de carbón es 1,6 m más potente, aproximadamente, que en el anterior pozo de investigación T7. La parte superior ( $\pm 1,2$  m) de la capa

se compone de argilita carbonífera de baja calidad, y la inferior ( $\pm 3,6$  m) es de un carbón consolidado de buena calidad, con bajo contenido de cenizas, sin señales de fisuración. La parte inferior indica también una emisión gamma muy alta (hasta 300 API), lo cual podría ser una buena señal para subsecuente correlación geológica (véase la tabla IV).

- o Jurásico (544,1-557,45 m). El Jurásico comienza en el suelo de la capa inferior de carbón y se compone de calizas grises con fuerte fracturación. Las fracturas están rellenas de arcilla negra y, aunque su orientación es vertical o subvertical, no se ha observado intrusión de carbón. En la parte superior de la zona, las fracturas dentro de las calizas apenas han experimentado desplazamiento. En la parte inferior de la zona, la fracturación es menos intensa y los estratos más compactos con muchos oolitos. A todo lo largo de esta zona se han observado distintas zonas de permeabilidad abierta.

### 3.3.2 Análisis del carbón

Para obtener información sobre la naturaleza del carbón a fin de hacer subsecuentes interpretaciones con vistas a la GSC, se enviaron testigos de las 2 capas de carbón al Instituto de Carboquímica de Zaragoza para que hiciese un análisis inmediato y otro elemental que permitiese la identificación del grado de madurez, contenido de azufre, cenizas y humedad, y el poder calorífico. También se realizarán con muestras seleccionadas ensayos adicionales como, por ejemplo, el del índice de hinchamiento, la determinación del  $C^{13}$  y un análisis petrográfico.

### 3.3.3 Inclinómetro

La función primaria de este instrumento es medir la magnitud y dirección del buzamiento de los sedimentos atravesados por el pozo, es decir, el buzamiento estructural, el estratigráfico y la identificación de fallas/fracturas. El dispositivo permite también hacer medidas de la geometría del pozo de sondeo, incluida la desviación (inclinación con respecto a la vertical) y el azimut.

El registro del SHDT se procesó en el centro de cálculo de SCHLUMBERGER, de París, con un programa básico de correlación "Mean Square Dip" (MSD) (Buzamiento medio cuadrático), que determina la "mejor adaptación" que satisface todas las posibles correlaciones cruzadas.

Estos resultados se utilizaron para detectar anomalías estructurales y estratigráficas en las formaciones atravesadas: Terciario, Cretácico y Jurásico.

El buzamiento estructural del terciario es casi constante entre 60 y 370 metros, siendo su valor de 32-36° al Sur.

La interpretación del buzamiento estructural del Cretácico es menos clara debido a la importancia de la estratificación cruzada:

<u>Profundidad (m)</u>	<u>Buzamiento</u>
465	28° Sur
520	35° Sur
535	30° Sur

También se observaron en el Cretácico, por debajo de los 460 m de profundidad, algunos cambios bruscos de la sedimentación de los cuerpos de arena, desde los de arcilla pura a arena, y al revés. Este tipo de sedimentación podría explicarse por sedimentación en paleocanales y "lagoon" inductora de importantes estratificaciones cruzadas. Algunos estratos buzcan al S-SO y SE y no tienen relación con el buzamiento estructural, y otros buzcan con ángulos mayores o menores que el buzamiento estructural ( $\pm 30-35^\circ$ ) dentro de las unidades de arena cruzadas del Cretácico, generalmente en longitudes inferiores a 5 metros.

El análisis del perfil del buzamiento permite localizar dos pequeñas fallas normales posibles:

- En el terciario a 365 m de profundidad
- En el Cretácico a 544 m de profundidad, correspondiente al suelo de la capa de carbón inferior.

### **3.3.4 Registro de la calidad de cementación**

Este registro indica la calidad de cementación de la tubería de revestimiento de 7" en la sección inferior del pozo (460 m hasta la profundidad total):

La cementación es de menor calidad en la sección superior del pozo, principalmente dentro del Terciario. La razón de esto podría ser la canalización durante la cementación en zonas de diámetro de corona anular sobredimensionada (a 11").

### **3.4 ENSAYOS DE PRODUCCION**

Debido al tiempo y a la dificultad experimentada al intentar perforar el tapón superior de cementación, situado aproximadamente a 530,9 metros de profundidad, se decidió modificar el programa como sigue:

- Registro de la calidad de la cementación (CBL) hasta la profundidad total para comprobar la integridad del cemento y para confirmar la medida de profundidad hecha por la compañía perforadora.
- Perforación de dos ventanas de 1 metro al nivel de la capa superior de carbón (529,4 - 530,4 m) y al nivel de una capa de arena situada aproximadamente 11 m por encima de la capa superior de carbón (516,5 - 517,5 m).
- Ensayos de producción al nivel de la capa de carbón con un solo "packer" (en lugar de dos) para aislar la capa de carbón.
- Ensayos de producción al nivel de la capa de arena con dos "packer" para aislar la capa de arena.

Los ensayos de producción los realizaron conjuntamente BAKER HUGHES (DST) y GEOSERVICES (Calibre de Cuarzo con Memoria en fondo de pozo (MQG) y Datos de Transmisión sin Cable (sistema WTD)).

### 3.4.1 Ensayos de la capa de carbón

Los ensayos de producción se iniciaron a las 21 horas 36 minutos del día 22 de mayo de 1992. El tiempo requerido para la instalación de la herramienta fue muy largo debido a la necesidad de montar sus muchos componentes. La composición del conjunto DST se relaciona en la tabla V.

La secuencia de operaciones fue la siguiente:

22/5/92	21 h 36 min	Ejecución del DST en el pozo con MQG + WTD
23/5/92	1 h 07 min	Colocación del "packer"
	1 h 43 min	Apertura de válvula - Primera producción (limpieza)
	2 h 11 min	Cierre de válvula - Primer "build up"
	3 h 21 min	Apertura de válvula - Segunda producción
	12 h 33 min	Cierre de válvula - Segundo "build up"
24/5/92	8 h 17 min	Desmontaje del obturador
	8 h 51 min	Extracción
	10 h 36 min	Herramientas en la superficie - Fin de los ensayos de producción

El segundo período de acumulación se interpretó con el software WISE de validación de la compañía GEOSERVICES.

El período de producción previo al segundo "build up" duró 10 h 41 min con un flujo de producción aproximado de 5 l/h.

Los resultados principales de la Interpretación Horner (Figura 6) y de la Interpretación del Gráfico de Derivadas (Figura 7) son los siguientes:

Permeabilidad	:	2 mD
Efecto superficial	:	38
P* (techo de la capa de carbón)	:	48,4 bar

### 3.4.2 Ensayos de la capa de arena

Los ensayos de producción empezaron a las 15 h 35 min del 24 de mayo de 1992. La composición del conjunto DST se relaciona en la tabla VI.

La secuencia de operaciones fue la siguiente:

24/5/92	15 h 35 min	Ejecución del DST en el pozo con MQG + WTD
	17 h 30 min	Colocación del "packer"
	18 h 06 min	Apertura de válvula - Primera producción (limpieza)
	18 h 12 min	Cierre de válvula - Primer "build up"
	18 h 59 min	Apertura de válvula - Segunda producción.
	19 h 09 min	Cierre de válvula - Segundo "build up"
	20 h 41 min	Desmontaje de los "packers"
	21 h 08 min	Extracción
	22 h 32 min	Herramientas en la superficie - Fin de los ensayos de producción

En este ensayo, el segundo período de producción fue corto (9 min) en comparación con el de acumulación (92 min). En estas condiciones, se puso especial cuidado para definir la producción con el historial de presiones registradas con el manómetro. Finalmente, se definieron seis períodos de

caudal: período de limpieza, primer "build up" y cuatro caudales decrecientes antes de llegar al "build up" principal.

La validación con el software WISE de GEOSERVICIOS se hizo basándose en los datos del segundo período de acumulación. La figura 8 muestra los gráficos de derivadas y presiones. Puede observarse que los registros de presión y de derivadas siguen una línea recta de pendiente 0,5 al principio de la acumulación con una relación de 2:1 entre ambas. Este comportamiento no se corresponde con un efecto de almacenamiento en el pozo durante la primera fase de la acumulación; más probablemente se relaciona con el comportamiento de estratos fracturados, efecto que aún justifica más la significativa cantidad de arena que se encontró en la sarta de perforación después de la extracción de ellos ( $\pm 20$  l de arena dentro de la primera varilla de perforación). Después de poco menos de 1 hora, la curva de derivadas pasa a ser horizontal, pudiendo interpretarse como un flujo radial estabilizado. Una mejor interpretación de este período es la que dan los Gráficos de Superposición, figura 9; la adaptación de una línea recta a los puntos finales da los valores siguientes:

Permeabilidad	:	18 md
Efecto superficial	:	-5

Este último es negativo, de signo opuesto al del carbón, lo que indica un pozo fracturado, de acuerdo con las observaciones hechas durante la primera fase del "build up".

#### 4. DIRECCION DEL PROYECTO

##### 4.1 ADMINISTRACION

La escritura de constitución de Underground Gasification Europe AEIE fue firmada el 1 de octubre de 1991 en Madrid ante un notario español; se nombraron directores de la UGE y los primeros miembros del equipo del proyecto ocuparon un espacio de oficina temporal, relativamente pequeño, facilitado por ENDESA el 30 de octubre de 1991. El período hasta fin de diciembre de 1991 se invirtió en la adquisición de oficinas temporales, instalación de mobiliario, teléfono y fax, y administración general para poner en marcha el proyecto. La Comisión convino en que los primeros informes del proyecto deberían cubrir el período hasta fin de junio de 1992.

Hoy hace falta un mayor espacio de oficinas para atender al aumento de personal previsto durante la segunda mitad de 1992. En el lugar de los trabajos es difícil encontrar oficinas adecuadas y que puedan ocuparse de una forma inmediata, por cuya razón será necesario adquirir espacio para después convertirlo. Actualmente se está en negociaciones para alquilar estos lugares de alojamiento y proceder a la conversión necesaria.

El equipo está en la actualidad constituido por 5 personas trabajando en dedicación completa, incluida una secretaria. En junio de 1992 se publicaron en la prensa anuncios solicitando más ingenieros y personal técnico para cubrir las necesidades del programa. Se prevén algunas dificultades para conseguir el personal necesario porque la situación relativamente aislada del lugar no resulta atractiva para un personal experimentado/ cualificado.

#### **4.2 CONFERENCIAS, PUBLICACIONES E INFORMES**

En el XV Congreso Mundial de Minería celebrado en mayo de 1992 en Madrid se presentó una ponencia titulada "Proyecto Europeo Conjunto de Gasificación Subterránea del Carbón en España". Esta monografía abarcaba los antecedentes, objetivos y planificación del proyecto e iba acompañada de un informe de situación.

En la reunión del Contratista THERMIE, que tuvo lugar en Saarbrucken el 10-11 de junio de 1992, se le presentó un informe de la situación del proyecto.

La UKAEA preparó una hoja de distribución publicitaria del proyecto que se tradujo al español a fines, como se indica, de publicidad/información en España.

Los informes preparados por los contratistas incluyen un análisis de perforación/geología del pozo de investigación ET1 hecho por E.N. ADARO S.A., y una interpretación, realizada por GEOSERVICES, de las permeabilidades de las formaciones de carbón y arena mediante el análisis de los ensayos DST.

#### **4.3 PROBLEMAS/DIFICULTADES**

El único problema importante hasta la fecha fue el que se encontró durante la perforación del pozo de investigación ET1 cuando no se pudo eliminar un tapón de cementación a perforar después de la cementación de la tubería de revestimiento de 7". Aunque la parte superior de este tapón estaba cerca del muro de la capa superior de carbón, no impidió la perforación al nivel de dicha capa y se pudo adoptar una configuración alternativa para los ensayos de producción DST en el carbón. La presencia del obturador, sin embargo, podría afectar la posibilidad de utilizar el pozo de investigación para subsecuentes fines de control, especialmente si se elige para gasificación la capa inferior de carbón.

#### **4.4 CAMBIOS DE ESTRATEGIA TECNICA**

Aunque el carbón del pozo de investigación ET1 apareció a la profundidad prevista, los espesores de las capas son distintos de lo que se suponía, siendo menor de lo previsto la capa superior y más gruesa la inferior. Como es importante disponer de información sobre la regularidad/continuidad de las capas para operaciones subsecuentes, particularmente para la perforación del pozo desviado de inyección, se ha decidido modificar ligeramente el programa de perforaciones, llevando a cabo la perforación de un pozo de control para confirmar la situación y condiciones de las capas en la vecindad del pozo de producción (extremo de la sección, dentro de la capa, del pozo de inyección). El diseño de dicho pozo de inyección se realizará paralelamente a esta actividad para evitar retrasos en el programa de perforaciones.

#### **4.5 TRABAJOS FUTUROS**

Los trabajos que se proyectan realizar en el semestre próximo incluirán la perforación de un segundo pozo de investigación/control, las obras civiles para casi la totalidad del lugar de los ensayos y el diseño de un pozo desviado de inyección dentro de la capa. Se establecerán contactos con contratistas de perforación desviada controlada a fin de determinar los méritos técnicos que puedan tener para proporcionar los servicios que requiere

este pozo, así como con contratistas de ingeniería para un diseño detallado de la planta de superficie antes de abrir concurso para tales servicios.

**FIGURA 1. SITUACION DEL LUGAR**

- 1 Escala
- 2 A Zaragoza
- 3 A Teruel
- 4 A Reus, Tarragona
- 5 A Andorra
- 6 A Alcorisa
- 7 Lugar de los ensayos
- 8 Zona de El Tremedal
- 9 Pozos de investigación

**FIGURA 2. SECCION TRANSVERSAL VERTICAL DE LA CONFIGURACION DEL POZO DEL PROCESO (ANGULO ESTIMADO DE BUZAMIENTO, 35°)**

- 1 Pozo de inyección
- 2 Pozo de investigación
- 3 Pozo de recuperación
- 4 Arena
- 5 Arcilla
- 6 Carbón
- 7 Caliza

**FIGURA 3. EQUIPO DE PERFORACION (MAYHEW 2500)**

**FIGURA 4. TERMINACION DEL POZO DE INVESTIGACION ET1 (PROFUNDIDAD EN METROS BAJO EL NIVEL DE LA PLATAFORMA)**

- 1 Tubería de revestimiento de 7", 32 lb/pie (3 uniones)  
Tubería de revestimiento de 9-5/8", 40 lb/pie (3 uniones)  
Pozo sin entubar 12 $\frac{1}{4}$ "
- 2 Tubería de revestimiento de 7", 29 lb/pie  
Pozo sin entubar 8 $\frac{1}{2}$ "
- 3 Perforación 516,5/517,5
- 4 Perforación 529,4/530,4
- 5 Tapón superior 530,9
- 6 Varilla flotante
- 7 Zapata de flotación
- 8 Arena y arcilla
- 9 Carbón
- 10 Caliza

**FIGURA 5. LITOLOGIA DEL POZO DE INVESTIGACION ET1 (PROFUNDIDAD EN METROS BAJO EL NIVEL DE LA PLATAFORMA)**

- 1 Terciario
- 2 Cretácico
- 3 Jurásico
- 4 Albiense
- 5 Cenomanense
- 6 Alternancia de arcilla, margas y algunas capas finas de caliza.
- 7 Cenomanense, margas marrones/rojas con pequeñas capas (1 metro) de calizas.
- 8 Albiense, varias capas de arcilla y arena, areniscas gruesas entre 458 y 490 m.
- 9 Albiense, carbón.
- 10 Albiense, caliza, gris/beige, compactado e impermeable.
- 11 Caliza, gris, fracturada, fracturas llenas de arcilla negra/argilita.

**FIGURA 6. INTERPRETACION DEL GRAFICO HORNER DE LOS ENSAYOS DE PRODUCCION DE LA CAPA DE CARBON**

- 1 Informe Wise
- 2 Interpretación Horner
- 3 Cliente
- 4 Campo
- 5 Pozo
- 6 Nombre de la compañía
- 7 Fecha del informe
- 8 Página
- 9 Presión
- 10 Tiempo Horner

**FIGURA 7. INTERPRETACION DEL GRAFICO DE DERIVADAS DE LOS ENSAYOS DE PRODUCCION DE LA CAPA DE CARBON**

- 1 Informe Wise
- 2 Interpretación del gráfico de derivadas
- 3 Cliente
- 4 Campo
- 5 Pozo
- 6 Nombre de la compañía
- 7 Fecha del informe
- 8 Página
- 9 Capacidad
- 10 Tiempo Delta (horas)

**FIGURA 8. GRAFICOS DE DERIVADAS Y PRESION DE LOS ENSAYOS DE PRODUCCION DE LA CAPA DE ARENA**

- 1 Informe Wise
- 2 Gráfico de derivadas
- 3 Cliente
- 4 Campo
- 5 Pozo
- 6 Nombre de la compañía
- 7 Fecha del informe
- 8 Página

**FIGURA 9. INTERPRETACION DEL GRAFICO DE SUPERPOSICION DE LOS ENSAYOS DE PRODUCCION DE LA CAPA DE ARENA**

- 1 Informe Wise
- 2 Interpretación de superposición
- 3 Cliente
- 4 Campo
- 5 Pozo
- 6 Nombre de la compañía
- 7 Fecha del informe
- 8 Página
- 9 Presión

**TABLA I. DISTRIBUCION DEL TIEMPO DE OPERACION DEL POZO DE INVESTIGACION ET1 (HORA.MIN)**

- 1 Día
- 2 Sondeo
- 3 Detención/mantenimiento
- 4 Maniobra del equipo de perforación
- 5 Preparación/circulación del lodo
- 6 Colocación de la tubería de revestimiento
- 7 Cementación
- 8 Extracción de testigos
- 9 Ensanchamiento
- 10 Registro
- 11 Ensayos de producción

**TABLA II. COMPOSICION DE LA TUBERIA DE REVESTIMIENTO DE 7" (PROFUNDIDAD EN RELACION CON LA PLATAFORMA)**

1	Descripción de los elementos
2	Longitud de los elementos (m)
3	Profundidad del elemento de fondo (m)
4	Tubería de revestimiento de 7" (.. lb/pie)
5	Varilla flotante
6	Zapata

**TABLA III. DATOS DE REGISTRO DE LA CAPA SUPERIOR DE CARBON (UNIDADES API)**

1	Intervalo (m)
2	Rayos gamma
3	Factor piezoeléctrico
4	Densidad (g/cc)
5	Porosidad (neutrones)
6	Litología
7	Porcentaje de recuperación de testigos
8	Arena arcillosa
9	Carbón
10	Arcilla/caliza

**TABLA IV. DATOS DE REGISTRO DE LA CAPA INFERIOR DE CARBON (UNIDADES API)**

1	Intervalo (m)
2	Rayos gamma
3	Factor piezoeléctrico
4	Densidad (g/cc)
5	Porosidad (neutrones)
6	Litología
7	Porcentaje de recuperación de testigos
8	Caliza
9	Argilita carbonífera
10	Argilita carbonífera/carbón
11	Carbón
12	Caliza fisurada

**TABLA V. CONJUNTO PARA LOS ENSAYOS DE PRODUCCION DE LA CAPA DE CARBON SUPERIOR (PROFUNDIDAD RESPECTO A LA PLATAFORMA)**

1	Componente del conjunto
2	Longitud (m)
3	D.E. (plg)
4	D.I. (plg)
5	Profundidad del componente del fondo (m)
6	1 Tubo de unión
	1 Tubo de unión
	53 Varillas de perforación
	2 Lastrabarrenos de perforación
	1 Unión tubular inversa
	1 Reductor
	1 Válvula de cierre
	1 Muestreador
	1 Espaciador (Calibre de cuarzo con memoria de GEOSERVICES)
	1 Registrador interior
	1 Reductor
	1 Espaciador (Calibre WTD de GEOSERVICES)
	1 Reductor
	1 Percusor hidráulico
	1 Junta de seguridad
	1 Bomba
	1 Tamiz
	1 "Packer" superior
	1 Elementos del "packer"
	1 "Packer" inferior
	1 "Port sub"
	1 Registrador exterior
	1 Tubo de unión ciego
	1 Resorte
7	(Calibre 1-11/16")

**TABLA VI. CONJUNTO PARA LOS ENSAYOS DE PRODUCCION DE LA CAPA DE ARENA  
(PROFUNDIDAD RESPECTO A LA PLATAFORMA)**

1	Componente del conjunto
2	Longitud (m)
3	D.E. (plg)
4	D.I. (plg)
5	Profundidad del componente del fondo (m)
6	1 Varillaje de perforación
	1 Tubo de unión
	51 Varillaje de perforación
	2 Lastrabarrenos de perforación
	1 Unión tubular inversa
	1 Reductor
	1 Válvula de cierre
	1 Muestreador
	1 Espaciador (Calibre de cuarzo con memoria de GEOSERVICES)
	1 Registrador interior
	1 Reductor
	1 Espaciador (Calibre WTD de GEOSERVICES)
	1 Reductor
	1 Percusor hidráulico
	1 Junta de seguridad
	1 Bomba
	1 Tamiz
	1 "Packer" superior
	1 Elementos del "packer"
	1 "Packer" inferior
	1 "Port sub"
	1 Registrador exterior
	1 Espaciador
	1 "Packer" superior
	1 Elementos del "Packer"
	1 "Packer" inferior
	1 Resorte
7	(Calibre 1-11/16")

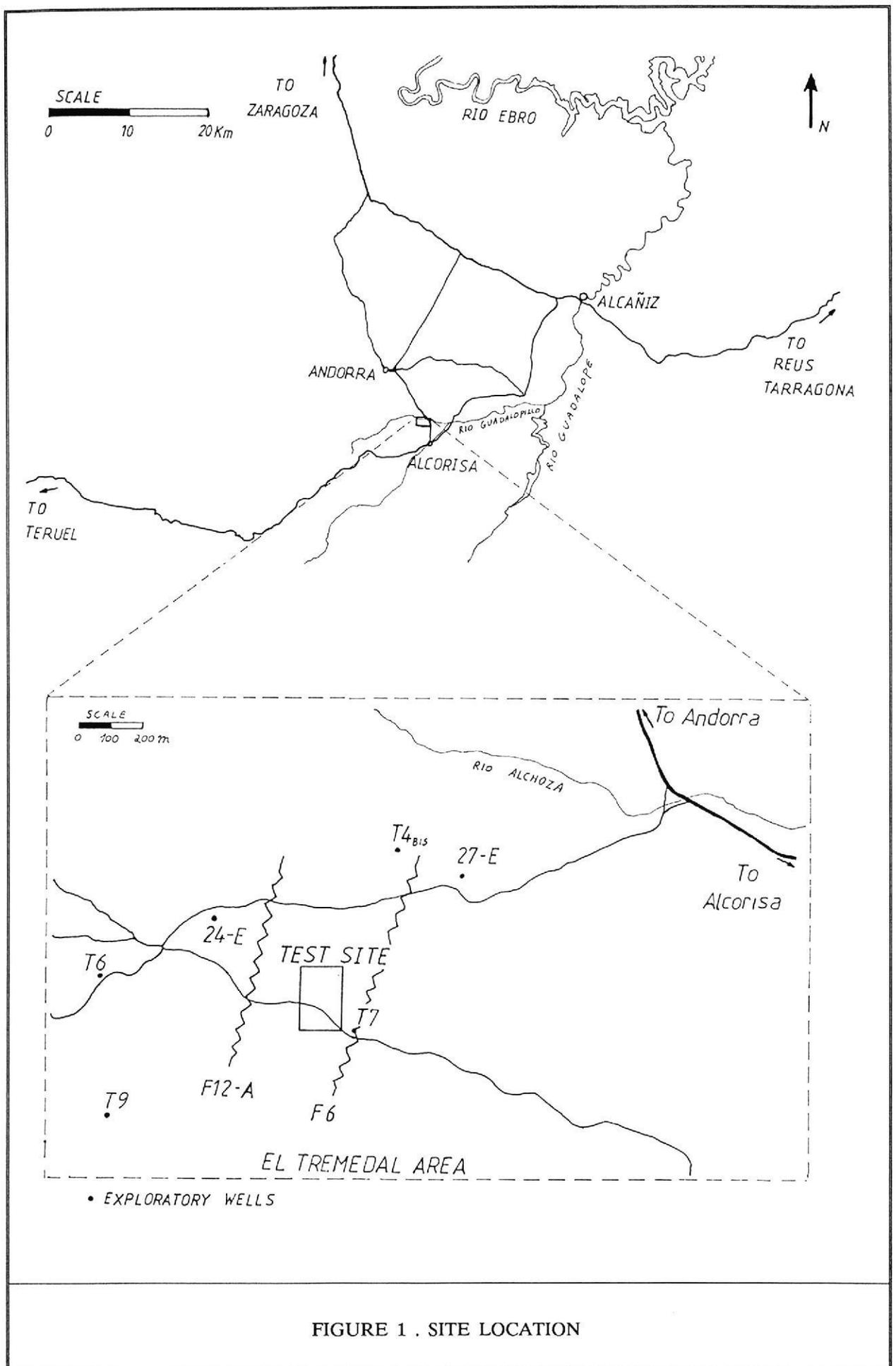


FIGURE 1 . SITE LOCATION

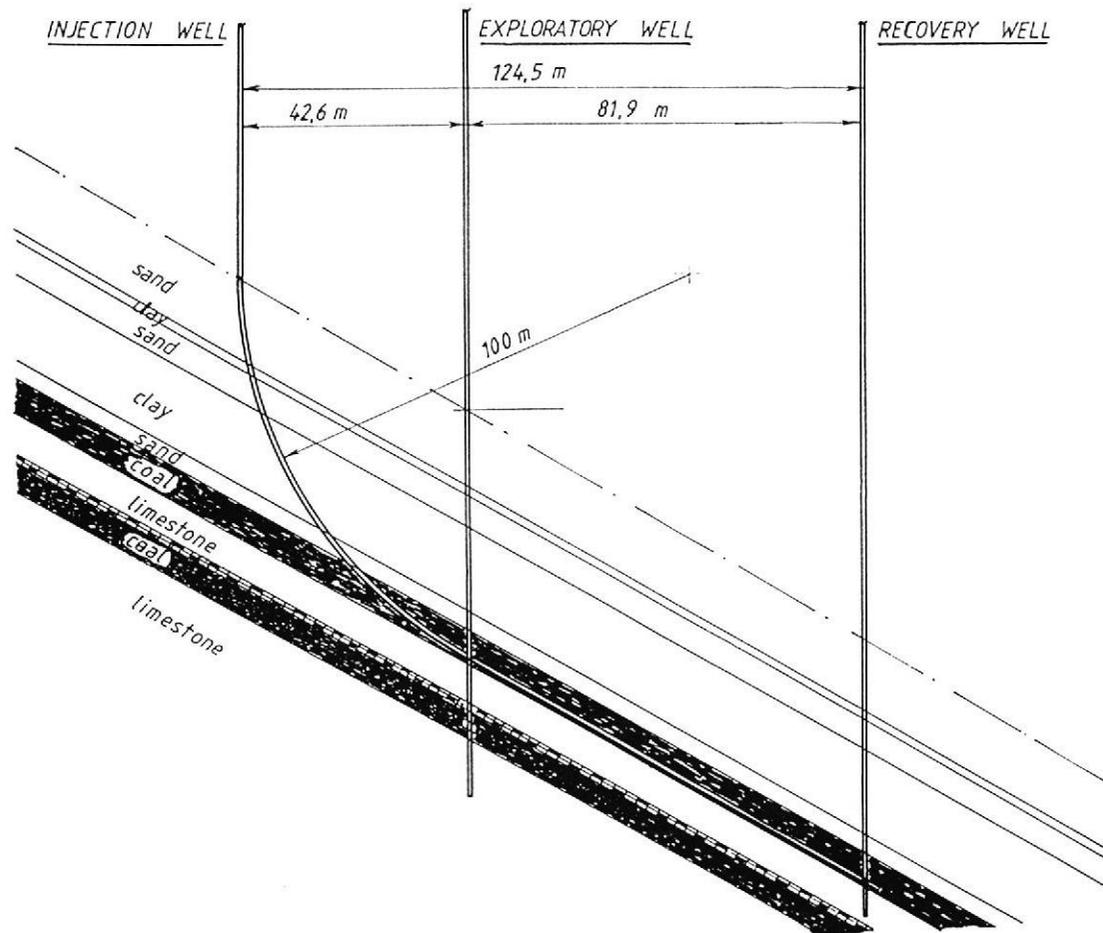


FIGURE 2 . VERTICAL CROSS - SECTION OF PROCESS WELL LAYOUT  
 (ESTIMATED DIP ANGLE 35°)

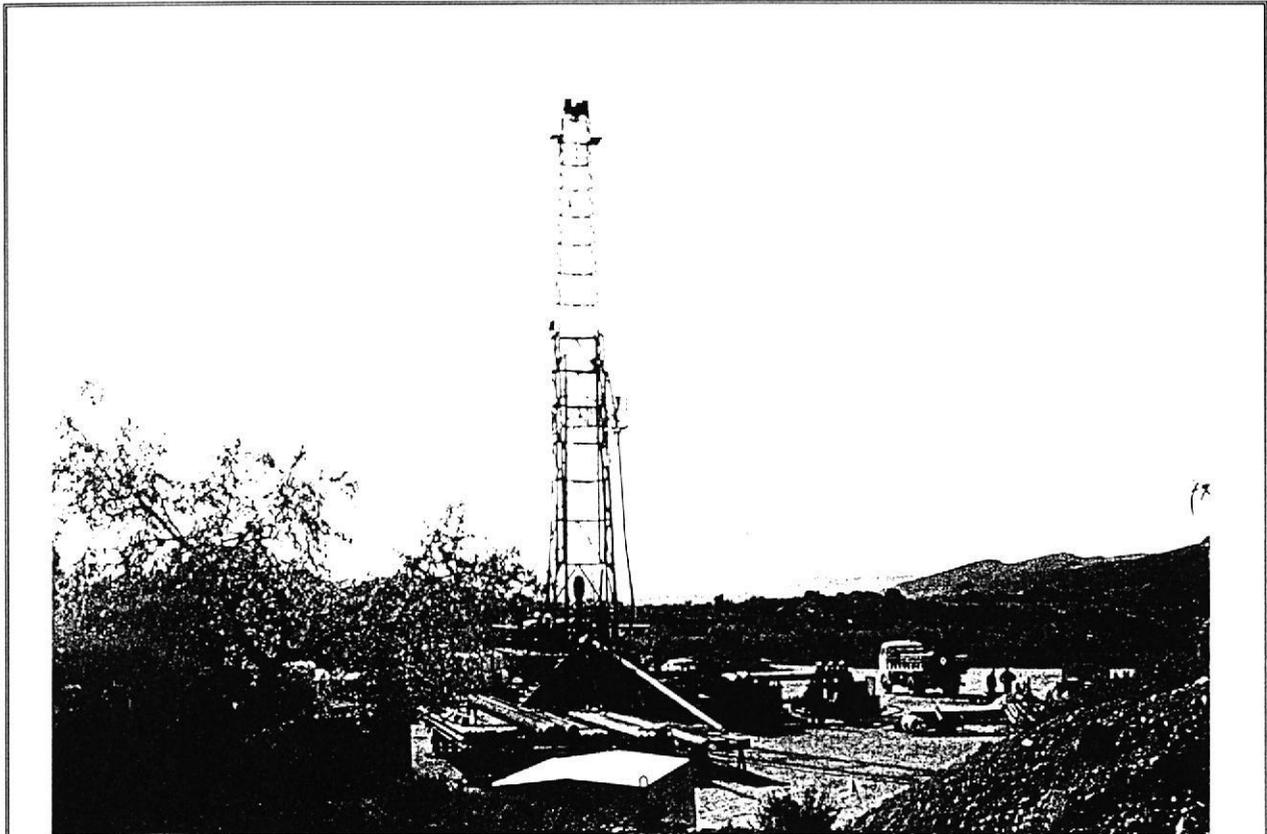


FIGURE 3 . RIG VIEW(MAYHEW 2500)

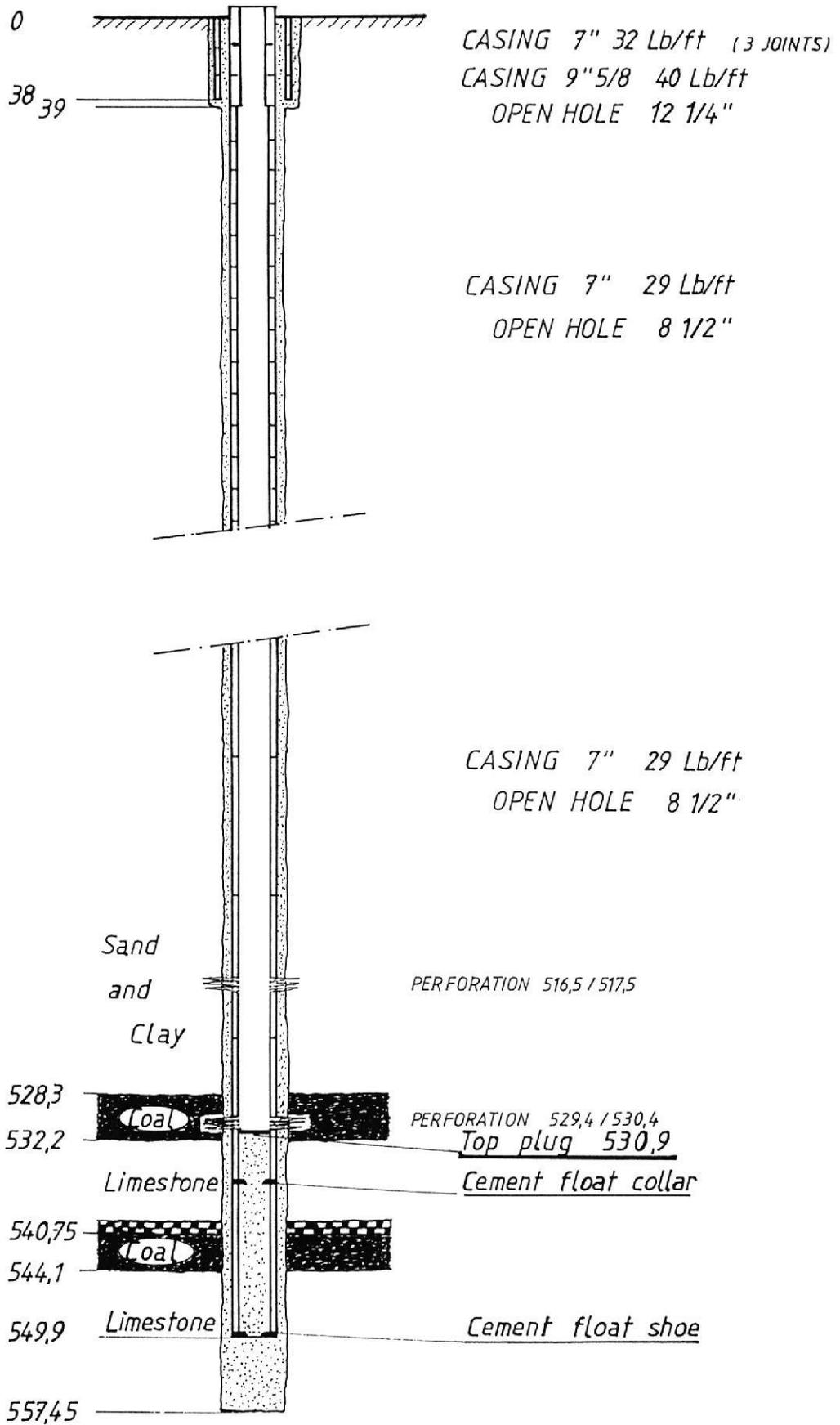
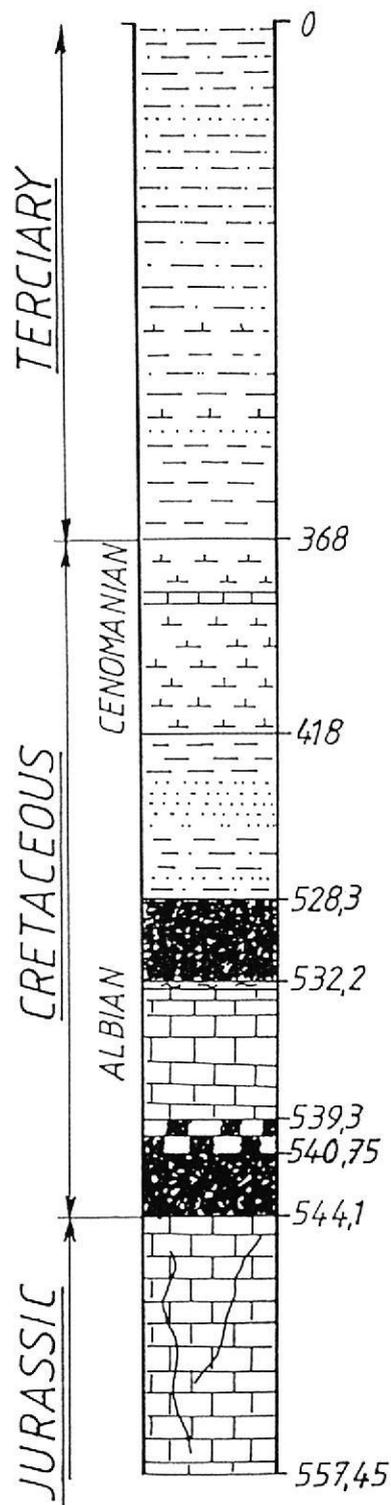


FIGURE 4 . EXPLORATORY WELL ET1 COMPLETION  
 (DEPTH IN METRES BELOW PLATFORM LEVEL)



*Alternation of clay, marls and some thin layers of limestone.*

*Cenomanian, brown/red marls with minor layers (1m) of limestones.*

*Albian, various clay and sand layers, thick sandstones between 458 and 490 m.*

*Albian, coal.*

*Albian, limestone, grey/beige, compacted and impermeable.*

*Albian, coal.*

*Limestone, grey, fractured, fractures filled with black clay/mudstone.*

FIGURE 5 . EXPLORATORY WELL ET1 LITHOLOGY  
(DEPTH IN METRES BELOW PLATFORM LEVEL)

HORNER INTERPRETATION

CLIENT : U.G.E.  
FIELD : EL TREMEDAL  
WELL : TRL1 DST#1

OPERATORS NAME : DAUTREME  
REPORT DATE : 22/05/92  
PAGE : 1

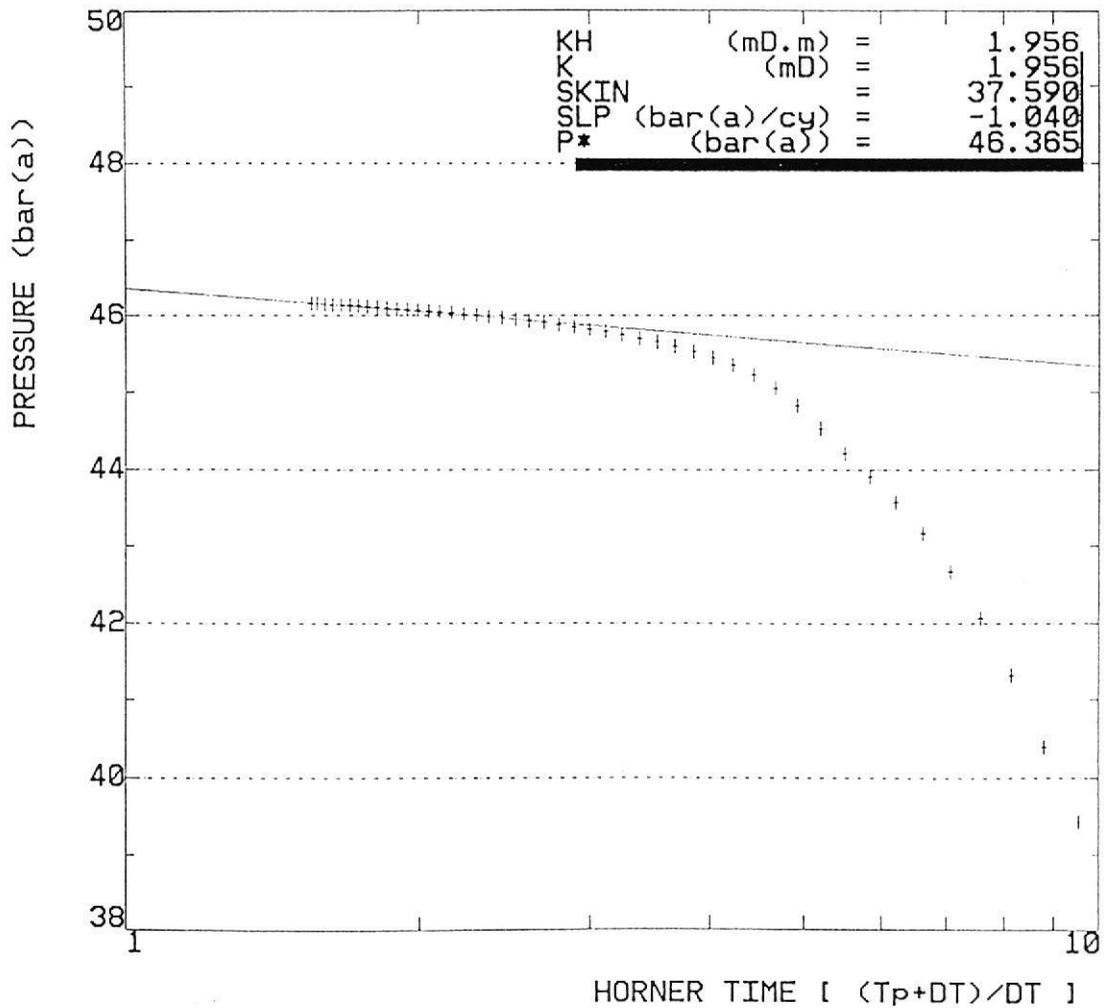


FIGURE 6 . COAL SEAM PRODUCTION TESTWORK  
HORNER PLOT INTERPRETATION

DERIVATIVE PLOT INTERPRETATION

CLIENT : U.G.E.  
FIELD : EL TREMEDAL  
WELL : TRL1 DST#1

OPERATORS NAME : DAUTREME  
REPORT DATE : 22/05/92  
PAGE : 2

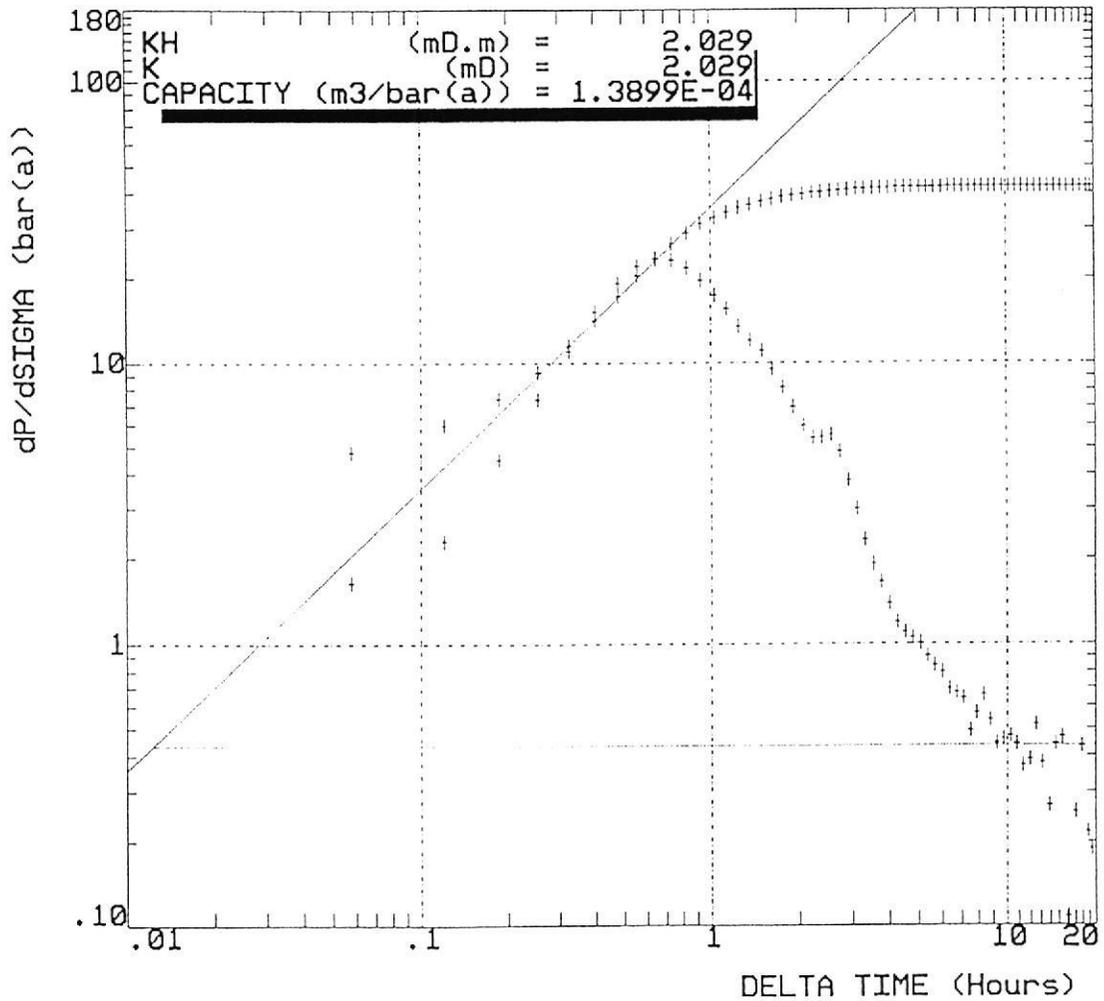


FIGURE 7 . COAL SEAM PRODUCTION TESTWORK  
DERIVATIVE PLOT INTERPRETATION

GEOSERVICES  
PRODUCTION

# WISE REPORT

W. I. S. E.  
SYSTEM

## DERIVATIVE PLOT

CLIENT : U. G. E.  
FIELD : TREMEDAL  
WELL : TRL1

OPERATORS NAME : DAUTREME  
REPORT DATE : 24/05/92  
PAGE : 6

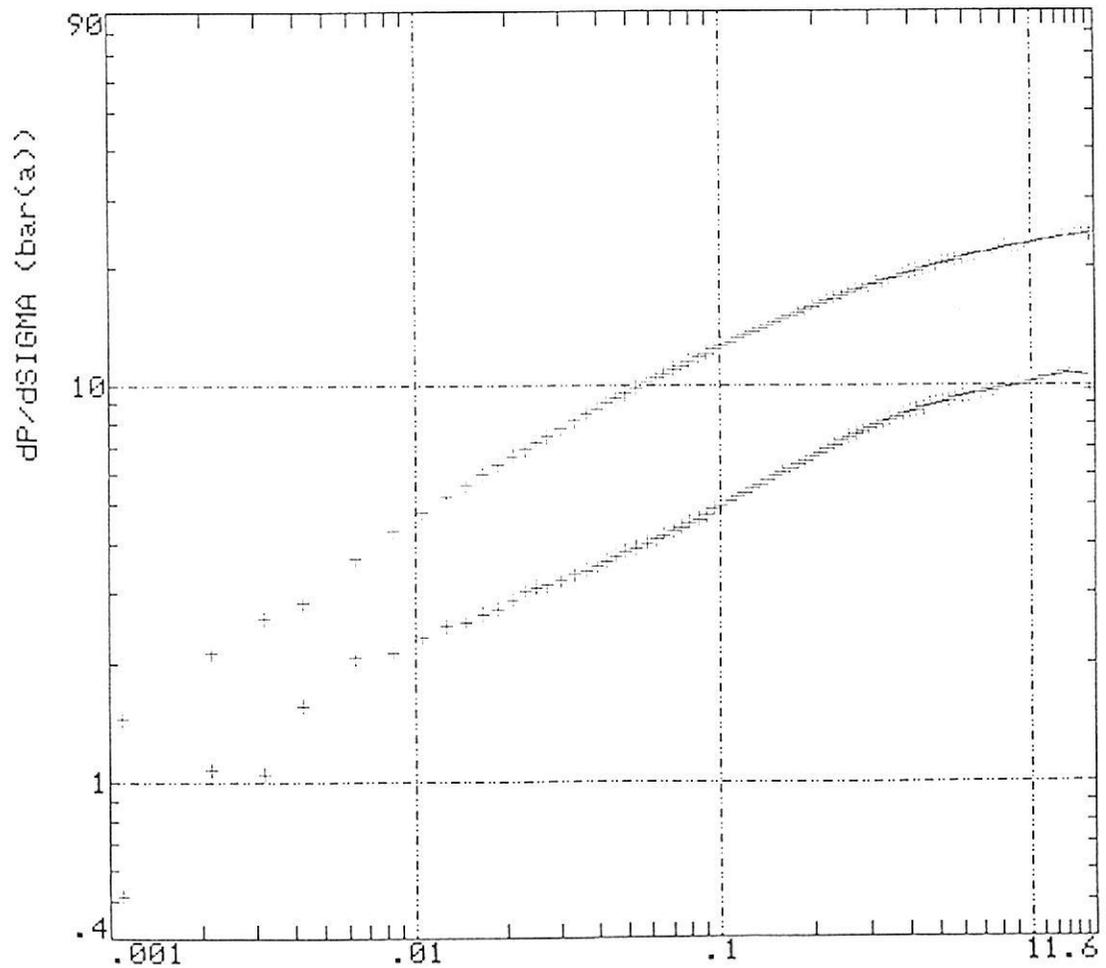


FIGURE 8 . SAND LAYER PRODUCTION TESTWORK  
DERIVATIVE AND PRESSURE PLOTS

GEOSERVICES  
PRODUCTION

# WISE REPORT

H. I. S. E.  
SYSTEM

## SUPERPOSITION INTERPRETATION

CLIENT : U.G.E.  
FIELD : TREMEDAL  
WELL : TRL1

OPERATORS NAME : DAUTREME  
REPORT DATE : 24/05/92  
PAGE : 8

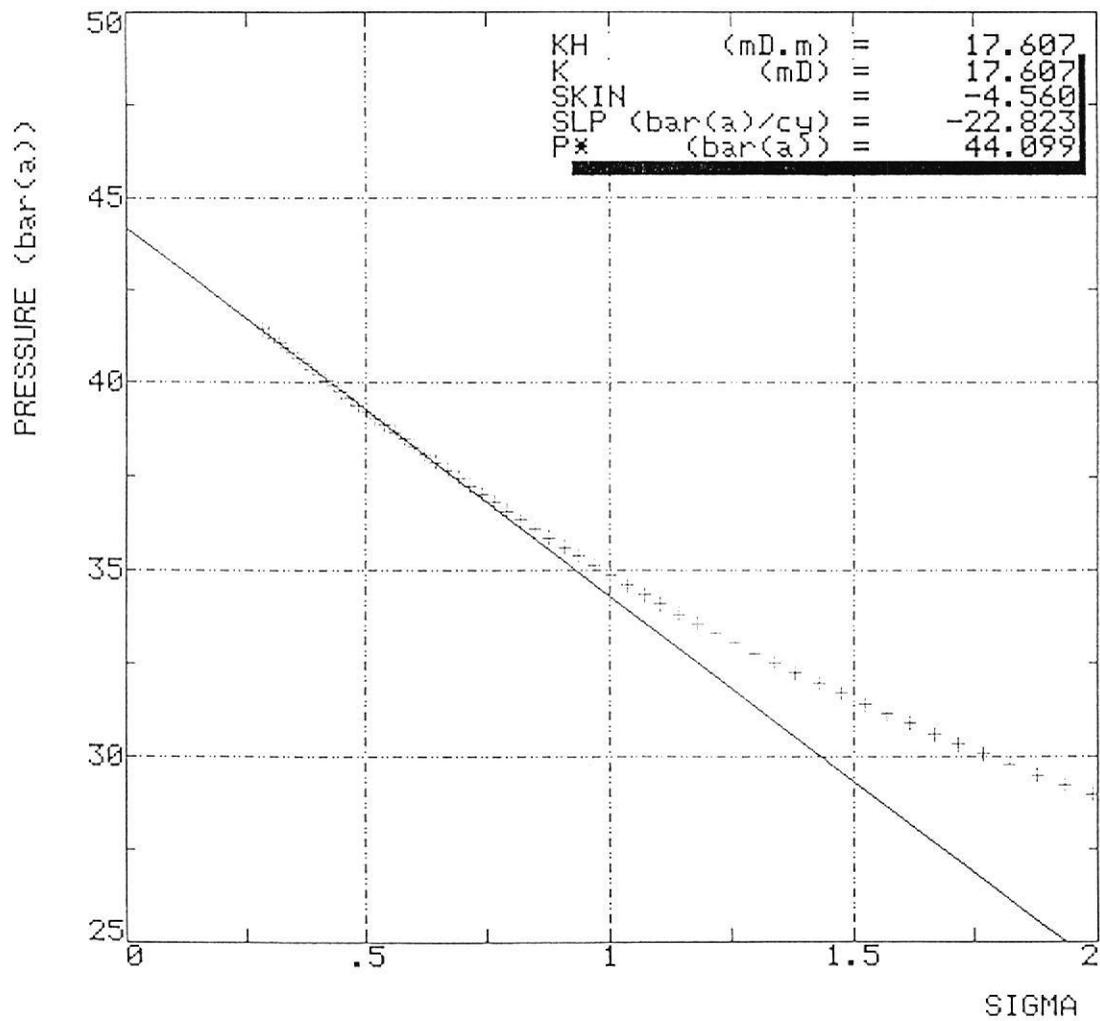


FIGURE 9 . SAND LAYER PRODUCTION TESTWORK  
SUPERPOSITION PLOT INTERPRETATION

Day	Drilling	Stop/ Main- tenance	Rig Manoeuvre	Mud Prep./ Circul.	Casing Setting	Cementing	Coring	Reaming	Logging	Production tests
1	19.00	4.00	1.00							
2	1.50		0.40	0.30	3.00	18.00				
3	13.15		0.45	1.00		9.00				
4	22.15			1.45						
5	15.00	4.45	2.00	2.15						
6	22.45			1.15						
7	19.15		3.15	1.30						
8	23.15			0.45						
9	18.45	2.00	3.15							
10	9.05	11.30	3.25							
11	21.40		2.20							
12	22.00		2.00							
13	0.20	0.30	6.30	2.45			13.55			
14			18.00	0.15			5.45			
15		1.00	13.20	0.15			9.25			
16		0.15	8.15	1.00			5.00	5.00	4.30	
17			16.15	0.15			7.30			
18			19.45				4.15			
19			19.15				4.45			
20		1.00	8.45				9.45	4.30		
21			2.30	0.45				16.15	4.30	
22			2.30	1.00	4.30			11.00	5.00	
23					9.00	15.00				
24			2.00			22.00				
25			10.30					13.30		
26			10.15					13.45		
27			3.00						7.00	14.00
28										24.00
29		2.00	4.00							18.00
Total	208.25	27.00	163.30	15.15	16.30	64.00	60.20	64.00	21.00	56.00

TABLE I . EXPLORATORY WELL ET1 OPERATING TIME DISTRIBUTION (HOUR.MIN)

Nº	Element Description	Element Length(m)	Bottom Element Depth(m)
45	7 in. Casing(32 lb/ft)	12.03	-11.53
44	7 in. Casing(32 lb/ft)	12.08	-23.61
43	7 in. Casing(32 lb/ft)	12.08	-35.69
42	7 in. Casing(29 lb/ft)	12.49	-48.18
41	7 in. Casing(29 lb/ft)	13.08	-61.26
40	7 in. Casing(29 lb/ft)	12.86	-74.12
39	7 in. Casing(29 lb/ft)	13.08	-87.20
38	7 in. Casing(29 lb/ft)	13.32	-100.52
37	7 in. Casing(29 lb/ft)	12.97	-113.49
36	7 in. Casing(29 lb/ft)	12.60	-126.09
35	7 in. Casing(29 lb/ft)	12.80	-138.89
34	7 in. Casing(29 lb/ft)	13.20	-152.09
33	7 in. Casing(29 lb/ft)	13.10	-165.19
32	7 in. Casing(29 lb/ft)	12.97	-178.16
31	7 in. Casing(29 lb/ft)	12.45	-190.61
30	7 in. Casing(29 lb/ft)	13.05	-203.66
29	7 in. Casing(29 lb/ft)	13.15	-216.81
28	7 in. Casing(29 lb/ft)	12.90	-229.71
27	7 in. Casing(29 lb/ft)	11.03	-240.74
26	7 in. Casing(29 lb/ft)	12.70	-253.44
25	7 in. Casing(29 lb/ft)	13.35	-266.79
24	7 in. Casing(29 lb/ft)	12.55	-279.34
23	7 in. Casing(29 lb/ft)	13.15	-292.49
22	7 in. Casing(29 lb/ft)	13.00	-305.49
21	7 in. Casing(29 lb/ft)	13.00	-318.49
20	7 in. Casing(29 lb/ft)	13.20	-331.69
19	7 in. Casing(29 lb/ft)	12.55	-344.24
18	7 in. Casing(29 lb/ft)	13.05	-357.29
17	7 in. Casing(29 lb/ft)	13.00	-370.29
16	7 in. Casing(29 lb/ft)	13.05	-383.34
15	7 in. Casing(29 lb/ft)	11.85	-395.19
14	7 in. Casing(29 lb/ft)	10.70	-405.89
13	7 in. Casing(29 lb/ft)	13.00	-418.89
12	7 in. Casing(29 lb/ft)	13.00	-431.89
11	7 in. Casing(29 lb/ft)	11.05	-442.94
10	7 in. Casing(29 lb/ft)	12.75	-455.69
9	7 in. Casing(29 lb/ft)	13.45	-469.14
8	7 in. Casing(29 lb/ft)	13.35	-482.49
7	7 in. Casing(29 lb/ft)	12.25	-494.74
6	7 in. Casing(29 lb/ft)	13.21	-507.95
5	7 in. Casing(29 lb/ft)	13.45	-521.40
4	7 in. Casing(29 lb/ft)	13.50	-534.90
3	Float Collar	0.53	-535.43
2	7 in. Casing(29 lb/ft)	13.95	-549.38
1	Float Shoe	0.52	-549.90

TABLE II . 7" CASING COMPOSITION( DEPTH RELATIVE TO PLATFORM)

Interval(m)	Gamma Ray	Piezo-elec. Factor	Density (g/cc)	Porosity (neutron)	Lithology	Core % Recovery
526.3-528.3	63	2.9	2.20	35	Clayey Sand	100
528.3 - 528.8	75	2.4	1.68	54	Coal	100
528.8 - 529.4	60	1.7	1.48	59	Coal	100
529.4 - 530.0	42	1.4	1.33	58	Coal	92
530.0 - 530.8	35	1.2	1.28	59	Coal	91
530.8 - 531.3	45	1.2	1.31	59	Coal	100
531.3 - 531.8	74	1.2	1.32	58	Coal	100
531.8 - 532.2	105	1.9	1.52	57	Coal	100
532.2 - 534.0	25	4.2	2.35	20	Clay/ Limestone	100
TABLE III . UPPER COAL SEAM LOG DATA(API UNITS)						

Interval(m)	Gamma Ray	Piezo-elec. Factor	Density (g/cc)	Porosity (neutron)	Lithology	Core % Recovery
538.0 - 539.3	17	4.0	2.35	23	Limestone	100
539.3 - 540.2	70	2.0	1.68	54	Carbonifer. Mudstone	96
540.2 - 540.75	88	1.5	1.48	59	Carb. Mud./Coal	100
540.75 - 541.25	120	1.2	1.30	56	Coal	100
541.25 - 542.5	195	1.3	1.33	57	Coal	100
542.5 - 543.5	300	1.2	1.31	62	Coal	100
543.5 - 544.1	318	1.2	1.50	63	Coal	78
544.1 - 545.3	128	4.2	2.35	15	Fissured Limestone	95
TABLE IV . LOWER COAL SEAM LOG DATA(API UNITS)						

Assembly Component	Length(m)	O.D.(in.)	I.D.(in.)	Bottom Comp. Depth(m)
1 Pup Joint	5.05	3 1/2	2 11/16	+2.36
1 Pup Joint	3.15	3 1/2	2 11/16	-0.79
53 Drill Pipes	484.50	3 1/2	2 11/16	-485.29
2 Drill Collars	17.90	4 3/4	2 1/16	-503.19
1 Reverse Sub	0.30	4 3/4	2 5/8	-503.49
1 X-Over Sub	0.30	4 3/4	2 1/4	-503.79
1 Shut-In Valve	1.50	5	1	-505.29
1 Sampler	1.03	5	1	-506.32
1 Spacer(GEOSERVICES Memory Quartz Gauge)	2.44	4 3/4	2 1/4 (Gauge 1 11/16)	-508.76
1 Inside Recorder	1.36	5	1	-510.12
1 X-Over Sub	0.30	4 3/4	2 1/4	-510.42
1 Spacer(GEOSERVICES WTD Gauge)	6.60	4 3/4	2 1/4 (Gauge 1 11/16)	-517.02
1 X-Over Sub	0.30	4 3/4	2 1/4	-517.32
1 Hydraulic Jar	2.01	5	1 1/4	-519.33
1 Safety Joint	0.65	4 3/4	2 3/16	-519.98
1 Pump	2.38	5 1/8	1	-522.36
1 Screen	1.16	5 1/8	1	-523.52
1 Packer Stick Up	0.50	5	1	-524.02
1 Packer Element	1.24	5 3/8	1	-525.26
1 Packer Stick Down	0.86	5	1	-526.12
1 Port Sub	0.42	5	1	-526.54
1 Outside Recorder	2.06	5	1 1/4	-528.60
1 Blind Sub	0.30	5	-	-528.90
1 Belly Spring	2.00	5	2 1/4	-530.90

TABLE V . UPPER COAL SEAM PRODUCTION TESTWORK ASSEMBLY  
(DEPTH RELATIVE TO PLATFORM)

Assembly Component	Length(m)	O.D.(in.)	I.D.(in.)	Bottom Comp. Depth(m)
1 Drill Pipe	9.10	3 1/2	2 11/16	-5.38
1 Pup Joint	3.15	3 1/2	2 11/16	-8.53
51 Drill Pipes	466.50	3 1/2	2 11/16	-475.03
2 Drill Collars	17.90	4 3/4	2 1/16	-492.93
1 Reverse Sub	0.30	4 3/4	2 5/8	-493.23
1 X-Over Sub	0.30	4 3/4	2 1/4	-493.53
1 Shut-In Valve	1.50	5	1	-495.03
1 Sampler	1.03	5	1	-496.06
1 Spacer(GEOSERVICES Memory Quartz Gauge)	2.44	4 3/4	2 1/4 (Gauge 1 11/16)	-498.50
1 Inside Recorder	1.36	5	1	-499.86
1 X-Over Sub	0.30	4 3/4	2 1/4	-500.16
1 Spacer(GEOSERVICES WTD Gauge)	6.60	4 3/4	2 1/4 (Gauge 1 11/16)	-506.76
1 X-Over Sub	0.30	4 3/4	1 1/4	-507.06
1 Hydraulic Jar	2.01	5	1 1/4	-509.07
1 Safety Joint	0.65	4 3/4	2 3/16	-509.72
1 Pump	2.38	5 1/8	1	-512.10
1 Screen	1.16	5 1/8	1	-513.26
1 Packer Stick Up	0.50	5	1	-513.76
1 Packer Element	1.24	5 3/8	1	-515.00
1 Packer Stick Down	0.86	5	1	-515.86
1 Port Sub	0.42	5	1	-516.28
1 Outside Recorder	2.06	5	1 1/4	-518.34
1 Spacer	1.22	5	1	-519.56
1 Packer Stick Up	0.50	5	1	-520.06
1 Packer Element	1.24	5 3/8	1	-521.30
1 Packer Stick Down	0.55	5	1	-521.85
1 Belly Spring	2.00	5	2 1/4	-523.85

TABLE VI . SAND LAYER PRODUCTION TESTWORK ASSEMBLY  
(DEPTH RELATIVE TO PLATFORM)

**PRIMER ENSAYO DE GASIFICACION SUBTERRANEA  
DEL CARBON EN EL MARCO DE UNA  
COLABORACION COMUNITARIA**

CONTRATO Nº SF - 369/91-ES/BE/UK

**INFORME TECNICO  
OCTUBRE 1991 - JUNIO 1992**

**Grupo de Gestión**

- A. BAILEY (DIRECTOR)
- A. OBIS (SUBDIRECTOR - OPERACIONES)
- M. MOSTADE (SUBDIRECTOR - TECNICO)
- D. MARTINEZ (DIRECTOR DE ASUNTOS EXTERIORES)

**Underground Gasification Europe (UGE), AEIE**  
Calle Progreso, 16 - 3º