

NS 1

**GASIFICACIÓN SUBTERRÁNEA DE CARBÓN
PRIMER ENSAYO EN EL MARCO
DE UNA COLABORACIÓN COMUNITARIA**

CONTRATOS N°. SF - 369/91 - ES/BE/UK
 N°. SF - 543/92 - ES/BE/UK

**INFORME TÉCNICO
JULIO 1992 - DICIEMBRE 1992**

Grupo Directivo

- A. BAILEY (DIRECTOR)
- B. OBIS (DIRECTOR ADJUNTO - OPERACIONES)
- C. MOSTADE (DIRECTOR ADJUNTO - ASUNTOS TÉCNICOS)
- D. MARTÍNEZ (JEFE DE ASUNTOS EXTERIORES)

Underground Gasification Europe (UGE), AEIE

Calle Hermanos Nadal 27 - 1º
44550 Alcorisa (Teruel), España

ÍNDICE

Resumen

1. Introducción
2. Obras de Ingeniería Civil
3. Sondeo de Exploración (ET2)
 - 3.1 Estrategia y Diseño
 - 3.2 Operaciones
 - 3.3 Interpretación
4. Caracterización del Emplazamiento
 - 4.1 Correlación entre ET1 - ET2 - T7
 - 4.2 Análisis del Carbón
5. Aspectos Técnicos
 - 5.1 Sondeo desviado
 - 5.2 Planta de Superficie
 - 5.3 Estudios Relacionados
6. Dirección del Proyecto
 - 6.1 Administración
 - 6.2 Contrato ENDESA/UGE
 - 6.3 Problemas/Dificultades
 - 6.4 Cambios en la Estrategia Técnica
 - 6.5 Trabajo Futuro
 - 6.6 Conferencias, Publicaciones e Informes

Resumen

Las principales actividades durante el período que abarca este informe se han limitado a las obras de ingeniería civil para preparación del emplazamiento, la perforación del segundo sondeo de exploración/control, la planificación y el diseño del sondeo de inyección desviado y el diseño técnico de la planta en superficie.

Con el fin de optimizar las obras civiles, la preparación del emplazamiento para el segundo sondeo se combinó con las obras de la parte del emplazamiento del ensayo en la que se perforará posteriormente el sondeo de producción y se instalará el equipo para análisis y evacuación del gas producido. En diciembre de 1992 se perforó el segundo sondeo de exploración/control ET2. Se presentan los resultados, efectuándose una correlación litológica con ET1 y T7, siendo este último un sondeo de exploración cercano perforado algunos años antes.

Se solicitó a compañías especializadas que proporcionan tales servicios a las industrias del petróleo/gas, el asesoramiento técnico para el sondeo desviado, este asesoramiento se incluye aquí junto con sus implicaciones para el diseño del sondeo de inyección desviado. Se formuló especificación de los requisitos técnicos de la planta de superficie, enviándose peticiones de oferta para la Fase 1 del trabajo (Diseño Básico) a compañías seleccionadas de España que podían demostrar su experiencia y conocimientos en campos similares.

Se formalizaron dos contratos relativamente pequeños para estudios relacionados con el diseño.

1. INTRODUCCIÓN

Este es el segundo informe técnico del proyecto Gasificación Subterránea de Carbón que se está desarrollando en el Norte de Teruel, España, con el apoyo financiero del programa energético THERMIE de la CEE.

Se continua dedicando los mayores esfuerzos a la caracterización del emplazamiento. Antes de comprometerse con una costosa perforación direccional y la compra de la planta de superficie, es fundamental

obtener información suficiente sobre la situación y características de deposición del carbón a fin de tener la seguridad de su adecuación para las operaciones subsiguientes.

El anterior informe técnico presentaba los resultados del primer sondeo de exploración perforado en el lugar seleccionado para la gasificación, y que apoyaba la decisión de replantear el programa de perforaciones, dando prioridad a la perforación de un sondeo de control a fin de obtener información adicional sobre la posición de las capas de carbón y las condiciones en las cercanías del sondeo de producción

El segundo sondeo exploratorio/de control, ET2, está situado en superficie 27 metros al Este del primer punto futuro de inyección CRIP en el eje del canal de gasificación planificado. El lugar está determinado con el objetivo de convertir posteriormente el sondeo de exploración en un pozo de control, efectuándose una desviación de radio corto transversal a la primera cavidad CRIP.

El sondeo de exploración ET2 es de construcción similar, pero ligeramente más profundo, que el ET1, con menos metros tomados a testigo y a un menor coste. La tubería de revestimiento de ET2 se instaló y cementó a unos 40 m por encima de la capa superior de carbón (en lugar de hacerse a través de la capa como en ET1) a fin de permitir la futura perforación desviada.

La planificación y diseño del sondeo de inyección desviado y de la planta de superficie se ha desarrollado paralelamente a los trabajos relacionados con el segundo sondeo de exploración, a fin de minimizar el retraso derivado de las actividades adicionales de exploración.

2. OBRAS DE INGENIERÍA CIVIL

Debido a la doble función del sondeo ET2, exploración y futuro control de medida del crecimiento de la cavidad, se decidió situarlo en un lugar adecuadamente estudiado, y combinar las obras civiles necesarias para el sondeo con la preparación final del emplazamiento

donde se perforarán el sondeo de recuperación y el sondeo de inyección transversal, y en donde se instalará el equipo de la planta de superficie para el tratamiento del gas producido.

Se pidió a la compañía ADARO que realizara la planificación técnica de las obras civiles, incluida la optimización de los movimientos de tierra (sin tener que traer material de fuera de la zona de trabajo) y la comparación de las dos posibles soluciones: 1 plataforma o 2 plataformas. Después de analizado el informe de ADARO, se decidió adoptar la solución de 2 plataformas. Las ventajas de este esquema eran las de un menor movimiento de tierras, menos impacto visual, coste más reducido y un terraplén menos potente (mejor estabilidad) de la plataforma inferior. El inconveniente principal estará en la instalación futura de la planta de superficie, donde será necesaria la comunicación entre las dos plataformas.

Las obras civiles fueron realizadas por la compañía SEDESA entre el 12 de octubre y el 19 de noviembre de 1992. Comprendieron la construcción de las 2 plataformas adicionales a 6 y 11 metros, respectivamente, por encima de la actual plataforma construida para las actividades de perforación del ET1 (ver Figura 1). Las obras incluyeron también rampas de acceso entre las tres plataformas y la instalación de conductos para drenaje del agua. Las obras civiles exigieron la excavación de 16.600 m³ de terreno de recubrimiento, tierra y rocas, y la formación de un terraplén de 14.300 m³. La superficie total, de unos 12.000 m², se cubrió finalmente con una capa de 30 cm. de "zahorra" natural. Además, fue preciso desplazar el camino rural situado en el límite sur de la zona en una longitud de 200 m y construir un nuevo camino de 90 m de longitud para el acceso al lugar del ensayo. Estos trabajos completan prácticamente todas las obras civiles necesarias para la instalación final de la planta de superficie. La única obra que queda por realizar es la ampliación de la plataforma inferior, sobre la que se practicará el sondeo de inyección desviado y se instalará la planta de inyección.

inyección transversal, y en donde se instalará el equipo de la planta de superficie para el tratamiento del gas producido.

Se pidió a la compañía ADARO que realizara la planificación técnica de las obras civiles, incluida la optimización de los movimientos de tierra (sin tener que traer material de fuera de la zona de trabajo) y la comparación de las dos posibles soluciones: 1 plataforma o 2 plataformas. Después de analizado el informe de ADARO, se decidió adoptar la solución de 2 plataformas. Las ventajas de este esquema eran las de un menor movimiento de tierras, menos impacto visual, coste más reducido y un terraplén menos potente (mejor estabilidad) de la plataforma inferior. El inconveniente principal estará en la instalación futura de la planta de superficie, donde será necesaria la comunicación entre las dos plataformas.

Las obras civiles fueron realizadas por la compañía SEDESA entre el 12 de octubre y el 19 de noviembre de 1992. Comprendieron la construcción de las 2 plataformas adicionales a 6 y 11 metros, respectivamente, por encima de la actual plataforma construida para las actividades de perforación del ET1 (ver Figura 1). Las obras incluyeron también rampas de acceso entre las tres plataformas y la instalación de conductos para drenaje del agua. Las obras civiles exigieron la excavación de 16.600 m³ de terreno de recubrimiento, tierra y rocas, y la formación de un terraplén de 14.300 m³. La superficie total, de unos 12.000 m², se cubrió finalmente con una capa de 30 cm. de "zahorra" natural. Además, fue preciso desplazar el camino rural situado en el límite sur de la zona en una longitud de 200 m y construir un nuevo camino de 90 m de longitud para el acceso al lugar del ensayo. Estos trabajos completan prácticamente todas las obras civiles necesarias para la instalación final de la planta de superficie. La única obra que queda por realizar es la ampliación de la plataforma inferior, sobre la que se practicará el sondeo de inyección desviado y se instalará la planta de inyección.

3. SONDEO DE EXPLORACIÓN (ET2)

3.1 ESTRATEGIA Y DISEÑO

Debido a las variaciones de los espesores de la capa de carbón respecto a los previstos, y a la importancia de la regularidad y continuidad de la capa para las operaciones posteriores de perforación, se decidió modificar el programa de perforación, dando prioridad a la perforación de un sondeo de control para la exploración adicional del yacimiento.

El objetivo inicial era el de perforar verticalmente por métodos convencionales y obtener información adicional sobre la continuidad, espesor, profundidad y buzamiento de las dos capas de carbón, así como sobre la composición y secuencia de los estratos adyacentes, mediante la extracción de testigos y diagráfías (testificación geofísica). Como ocurrió en el primer sondeo de exploración (ET1), se extrajeron testigos de las capas de carbón, de sus techos y muros, y SCHLUMBERGER realizó un programa completo de diagráfías, incluyendo LDL, CNL, GR, ML y SHDT.

El segundo objetivo era el de localizar y preparar el sondeo para su utilización como sondeo de control durante las fases de gasificación, a fin de medir el crecimiento lateral del reactor. En el futuro, se ha programado reacondicionar ET2 ampliando el pozo con una sección desviada de radio corto más una sección horizontal dentro de la capa transversalmente al reactor de gasificación en canal. Posteriormente se colocarán dentro del pozo termopares y cables de fibra óptica.

Para alcanzar estos objetivos, el sondeo ha sido situado 27 metros al Este del futuro eje del canal de gasificación (ET1, ET3-ET4) y 63 metros al Sur del sondeo ET1, una posición que corresponde al primer punto de inyección CRIP (ver Figura 2). La desviación de 27 metros corresponde a un desplazamiento de 14-15 metros para conseguir la desviación de radio corto al interior de la capa de carbón y una sección de 10-15 metros dentro del futuro reactor. Para preparar la sección vertical para futuras actividades de perforación, se instaló una

tubería de revestimiento de 7", cementándose a unos 40 metros por encima de la capa superior de carbón.

Las coordenadas UTM del sondeo ET2 son:

X: 718587,4 m

Y: 4532603,0 m

Z: 659,6 m

La situación del sondeo ET2, cerca de la línea ET1 - T7 (siendo T7 un sondeo de exploración realizado por ENDESA en el año 1974) es también útil para correlación y caracterización del lugar.

3.2 OPERACIONES

3.2.1 Contratistas

Para las operaciones y servicios necesarios para la realización del segundo sondeo de exploración ET2, fueron elegidos los siguientes contratistas:

- Obra civil ÁRIDOS GRACIA
 - Plataforma de hormigón para la torre de perforación
 - Antepozo y tubo guía
 - Balsa de lodos, canales para descargar el lodo
- Entubados COMERCIAL DE SONDEOS
 - Suministro de entubado de 7" COMERCIAL DE SONDEOS
 - Suministro de entubado de 9 5/8" IBERICA DE SONDEOS
- Perforación IBERICA DE SONDEOS
 - Perforación de 12 1/4"
 - Entubado y cementado 9 5/8"
 - Perforación y ensanchado 8 1/2"
 - Extracción de testigos 4"
 - Colocación de entubado 7"
 - Colocación de tapón de cemento
 - Preparación para diagráfia y cementación 7"
- Testificación Geofísica SCHLUMBERGER
 - Perfil geofísico combinado

(LDL, GR, ML, NL)

Dipmeter/ diagrafía geométrica

(SHDT)

Perfil de unión del cemento/perfil de
densidad variable

- | | |
|---|-------------|
| -Cementación | HALLIBURTON |
| Cementación del entubado de 7" | |
| Suministro de equipo/accesorios
para cementado | |
| -Inspección tubería | DRILLTEST |

3.2.2 Preparación de la plataforma y balsa de lodos

Después de las obra civil realizada por SEDESA, no se necesitaron trabajos importantes para la preparación del emplazamiento para la perforación del sondeo ET2. Las obras consistieron en:

- pequeñas labores de mantenimiento del camino de acceso/cruce del río
- construcción de una plataforma de hormigón de 18 x 3,5 m con un antepozo y tubo guía
- excavación de una nueva balsa de lodo (volumen aproximado 340 m³)
- construcción de canales para drenaje del lodo de la plataforma de sondeo a la balsa de lodos.

3.2.3 Operaciones de perforación

El equipo de perforación Mayhew 2500, con el que se realizó el sondeo ET1, fue movilizadado de nuevo para perforar el segundo sondeo de exploración ET2. La máquina llegó al emplazamiento del sondeo el 18 de noviembre de 1992, y la instalación del equipo, incluidas las bombas de lodos, mezcladores, tanques, mesas vibratoras, desarenador, etc., tubo lugar durante los cuatro días siguientes. Durante la 1ª fase de perforación a 12 1/4"/entubado a 9 5/8", se realizaron algunas actividades complementarias de instalación. El portacabina de oficina en obra de la UGE se trasladó a las cercanías de la máquina de sondeo.

Del 22 de noviembre al 20 de diciembre de 1992, se desarrollaron las operaciones siguientes:

-	Perforación	12 1/4"	0 - 21 m	22 nov.
-	Entubación cementado	9 5/8"	0 - 18,5 m	22 nov.
-	Perforación	8 1/2"	21 - 547 m	23 nov. - 8 dic.
-	Toma de testigos	4"	547 - 577 m	8 dic. - 10 dic.
-	Reperforación	8 1/2"	547 - 577 m	11 dic.
-	Extracción de testigos	4"	577 - 601,8 m	11 dic. - 12 dic.
-	Reperforación	8 1/2"	577 - 601,8 m	13 dic.
-	Perforación	8 1/2"	601,8 - 603 m	13 dic.
-	Testificación geofísica en pozo desnudo		profundidad total	14 dic.
-	Colocación de tapón de cemento		541-profundidad total	14 dic.
-	Entubado / cementado	7"	hasta 528,7 m	15dic. - 18 dic.
-	Perforación del cemento, tapones y válvulas			18 dic.
-	CBL-VDL-CCL		profundidad total	19 dic.
-	Colocación de tapón de cemento		510 - profundidad total	19 dic. - 20 dic.

El equipamiento final del sondeo se muestra en la Figura 3a, y en la Tabla I se da un resumen de la distribución de los tiempos empleados para las distintas operaciones.

UGE decidió prestar más atención al sistema de lodos y a las propiedades del lodo que durante la perforación de ET1, para intentar conseguir un mejor calibre del sondeo. Para ello, la compañía perforadora se ofreció a solicitar el asesoramiento de una compañía de ingeniería de lodos (MAGCOBAR). El ingeniero de lodos propuso el uso de un lodo de bajo filtrado y bajo pH a fin de impedir derrumbes como resultado del hinchamiento de las arcillas terciarias, y aconsejó

también sobre la especificación del lodo y las mejoras en el sistema de control de sólidos para actividades de perforación/extracción de testigos.

Durante la fase de perforación de 8 1/2", las especificaciones del lodo se fijaron del siguiente modo:

- Bentonita, CMC (alta y baja viscosidad), sosa cáustica y Spersene
- densidad 1,054 kg/l
- viscosidad en embudo 45 - 51 s
- viscosidad plástica 26 - 29 cP
- punto de fluencia (yield point) 25 - 29 lb/100pie²
- filtrado (pérdida de agua) 7,5 - 8,6 cm³/30 min
- pH 8,5 - 9

A pesar de estas precauciones y mejoras, durante las actividades de perforación tuvieron lugar cambios importantes en la calidad del lodo, bien sea como resultado de pérdidas de lodo (15 - 18 m³) entre 32 - 36 m de profundidad, o por la adición al lodo de arcillas y limos procedentes de la formación. Así pues, la última sección de la fase de 8,1/2" se perforó con un lodo de propiedades muy diferentes de las originales. Como resultado de estas variaciones de las propiedades del lodo, y posiblemente de otros factores, no se obtuvo ninguna mejora respecto a ET1 en el control del diámetro final del pozo observado en el registro de diámetros.

A intervalos, se midió la desviación del pozo por medio del inclinómetro TOTCO, comprobándose que era inferior a 1° en todos los puntos de control a lo largo del pozo, siendo en el punto final de medida, a 602 metros, 0,5° con respecto a la vertical.

Se realizaron cuatro operaciones de cementación:

- Cementación de la tubería de revestimiento de 9 5/8" - 40 lb/pie - N80 (0 - 18,5 m)
- Tapón de cemento (541,5 - 603 m)
- Cementación de la tubería de revestimiento de 7" - 29 lb/pie - N80 (0 - 528,7 m)
- Tapón de cemento (510 - 541,5 m)

La primera operación de cementación se realizó con el equipo de la compañía perforadora y se utilizaron 600 l de lechada de cemento con una densidad de 1,8 kg/l. La colocación de los tapones de cemento fue realizada también por la compañía perforadora.

Como en ET1, la cementación de la tubería de revestimiento de 7" la realizó una compañía especializada (HALLIBURTON). Dado que el CBL del ET1 había indicado un cementado deficiente a nivel del Terciario, se adoptó un programa perfeccionado para esta cementación:

- Inyección de agua (5 m³)
- Inyección de separador (5 m³) preparado con
 - * Agua (2,5 m³)
 - * Inyectrol Flochek (2,5 m³)
 para una mejor cohesión entre la formación y el cemento
- Inyección de agua (1,5 m³)
- Inyección de lechada (9 m³) preparada con
 - * Cemento clase "G" (19 toneladas)
 - * Microsílice para la integridad de la lechada (800 l)
 - * Halad 361 A para control del gas (800 l)
 - * Desespumador NF3 (11,4 l)
 - * Agua (7.400 l)

La densidad media de la lechada durante la inyección fue de 1,88 kg/l.

Durante las operaciones del sondeo no se encontraron dificultades mayores. Los únicos acontecimientos significativos fueron:

- Durante las primeras etapas de perforación, se encontraron pérdidas de lodo entre los 32 - 36 metros de profundidad, perdiéndose un volumen de aproximadamente 15 - 18 m³ en una formación de arenisca. Las pérdidas se controlaron a las pocas horas con la adición de productos para el control de pérdida de fluidos.
- Otro acontecimiento importante ocurrió durante las maniobras, necesitándose un exceso de tracción en algunas secciones del sondeo, en varias ocasiones; por ejemplo, cerca de los 289 m con 6 toneladas y de los 498 a los 560 m con un máximo de 10 toneladas.

- Posiblemente, por la misma razón que llevó al exceso de tracción, no se pudo instalar la tubería de revestimiento de 7" a la profundidad planificada de 541 m, quedándose atrapada a 528,7 m. No obstante, se pudo mantener la circulación y efectuar la cementación.
- Otro acontecimiento importante fue una entrada de agua al interior del pozo el día 21 de perforación (12 de diciembre), dos días antes de que se llegara a la profundidad total, cuando se estaba perforando la caliza Jurásica. Un cálculo aproximado demostró que la entrada de agua fue de aproximadamente 1 m³ en 16 horas. La entrada de agua continuó después de colocado el tapón de cemento del fondo, el día 14 de diciembre.
- Ocurrió un problema mecánico en el pistón de la mesa giratoria. Para repararlo, fue necesario enviar algunas piezas a un taller de Madrid, provocándose un retraso de 26,5 horas en las actividades de perforación.

3.3 INTERPRETACIÓN

3.3.1 Litología (de los rípios de perforación, extracción de testigos y diagráfías)

La litología del sondeo de exploración ET2 (ver Figuras 3a - 3b) se puede dividir del siguiente modo:

- Terciario (0 - 410 m). Esta zona está compuesta por arcilla, conglomerados, margas y arenas de elevada porosidad. Las arenas fueron cortadas entre los 136 -139 m, 160 - 173 m, 195 - 203 m, 294 - 297 m y 310 - 320 m, además de la arena/arenisca fisurada entre 32 - 36 m en donde se registró una pérdida parcial de lodo de 15 - 18 m³. El registro de diámetros de esta zona indica un aumento importante del tamaño del pozo. En las zonas arcillosas se midieron diámetros de hasta 12". Las zonas de arena presentaban medidas en el registro de diámetros de 8,5" - 9", con un revoque ("cake") reducido.
- Cretácico (Cenomanense) (410 - 456 m). Esta zona está compuesta por arcillas/margas rojizas/blancas en la sección superior y margas rojizas/marrones en la inferior. La velocidad de penetración durante la perforación fue muy baja, de 4 a 5

veces menor que la velocidad de perforación en el Terciario. A partir de la testificación geofísica, se pudieron observar dos zonas con características diferentes: una zona superior, con disminución simultánea de la resistividad y la densidad (mínimo $2,25 \text{ g / cm}^3$) y aumento de la emisión de rayos gamma y porosidad neutrón (zona con presencia de arcillas); una zona inferior que presenta valores bajos de emisión natural de rayos gamma (15 - 30 API), valores elevados de resistividad, porosidad neutrón muy baja (0 - 10 p.u.) y una densidad de $2,45 - 2,65 \text{ g / cm}^3$ (zona margosa). No se observaron cavidades en esta zona, y los registros de diámetros indicaron un diámetro similar al de la perforación (< 9").

- Cretácico (Abense-Aptense) (456 - 587,7 m). En su sección superior (Formación Utrillas, de 456 m a 568,6 m), está compuesto por depósitos continentales clásticos: arcilla, arcilla arenosa de colores varios, arena caolinítica y pirita (a veces arena fina/limo). La sección inferior - la Formación "Val de la Piedra" - comprende las dos capas de carbón separadas por una capa de calizas impermeables con abundantes inclusiones carbonosas. Las arcillas de la sección superior son impermeables y separan las capas de arena en acuíferos independientes. La zona total puede dividirse en las siguientes subzonas para un análisis más detallado:
 - Subzona A (456 - 471 m). Este tramo presenta en su parte superior un primer paquete (aprox. 3,5 m) de arcilla montmorillonítica (densidad = $2,15 - 2,18 \text{ g / cm}^3$, porosidad Neutrón = 48 - 51 p.u.) separada por una capa de arena de orden métrico de un segundo paquete (aprox. 2 m) de arcilla menos montmorillonítica. La sección inferior es un tramo de transición a la subzona arenosa B.
 - Subzona B (471 - 478 m). Formada por las arenas más
 - Subzona C (478 - 498 m). Compuesta fundamentalmente por arcillas versicolores (rojo, negro, marrón/verduzco) con intercalaciones arenosas. Los resultados de las diagráfias muestran una emisión media de rayos gamma y valores medios a bajos de densidad, porosidad y permeabilidad.

- Subzona D (498 - 505 m). Subzona de transición compuesta principalmente por arena arcillosa negra en la parte superior y arcilla con bajo contenido de arena en la parte inferior (aprox. 2 m de espesor).
- Subzona E (505 - 535 m). Compuesta por arena fina/limo con algunas intercalaciones de arcilla arenosa a 511, 512 y 518 m. La permeabilidad es relativamente elevada. En esta sección se observaron también un "cake" de 0,3 - 0,4 mm. y un diámetro ligeramente inferior al de la perforación (aprox. 8 1/5").
- Subzona F (535 - 556 m). Formada por arcillas versicolores que presentan la más alta emisión de rayos gamma (valores medios entre 120 y 130 API, con un máximo a los 552 m de 223 API). El registro de porosidad neutrón indica igualmente valores elevados (valor medio 42 p.u., valor máximo 50 p.u.). El registro de diámetros indica la formación de cavidades con diámetros entre 9 1/2" y 10".
- Subzona G (556 - 568,6 m). Esta subzona, que constituye el techo de la capa superior de carbón, está formada por arena arcillosa con inclusiones de carbón en su parte inferior. La parte superior, más arcillosa, presenta una emisión de rayos gamma entre 75 y 130 API y una porosidad neutrón de aproximadamente 30 p.u. La parte inferior muestra valores de emisión de rayos gamma muy inferiores (aprox. 60 API) y una densidad anormalmente baja (2,2 - 2,3 g / cm³ cuando el valor medio de la arena es aproximadamente 2,65 g / cm³). Este fenómeno puede ser ocasionado por la importante cantidad de inclusiones de arcilla y carbón que hay dentro de la arena.

- Subzona H (568,6 - 571 m). Corresponde a la capa superior de carbón de la Formación "Val de la Piedra". La presencia de fragmentos de carbón dentro de la arena inmediatamente a techo de la capa de carbón sugiere una erosión de ésta. La potencia que presenta la capa de carbón es de 2,4 m, siendo 1,5 m menor que en el sondeo ET1, indicando una mayor acción erosiva de los paleocanales en este punto. El carbón está bien consolidado, sin presencia de fracturas y es de buena calidad (bajo contenido de cenizas). La densidad es de 1,26 - 1,3 g / cm³, y la porosidad neutrón de 58 - 65 p.u. (ver Tabla II). La capa de carbón muestra un máximo de emisión de rayos gamma en su parte inferior (184 API a unos 20 cm. del muro de la capa).
- Subzona I (571 - 582,8 m). Está constituida sobre todo por calizas compactas sin fisuración aparente; en este tramo está también incluida la arcilla carbonosa situada debajo de la capa superior de carbón (aprox. 55 cm de potencia) y la limolita carbonosa a techo de la capa inferior de carbón. (aprox. 105 cm. de potencia). La caliza contiene "characeas" e inclusiones carbonosas. La porosidad neutrón es anormalmente alta, con un valor medio de 24 p.u. (-1 p.u. es lo que se observa generalmente en la caliza), y la densidad es relativamente baja (valor medio de 2,37 g / cm³), sugiriendo una elevada porosidad y permeabilidad, en contradicción con la caracterización visual de la caliza y la elevada resistividad medida por el Microlog. Este fenómeno podría deberse a la capacidad moderadora de neutrones del carbono presente dentro de las inclusiones carbonosas. La subzona presenta igualmente la más baja emisión de rayos gamma de toda la columna, con valores de alrededor de 10 API.
- Subzona J (582,8 - 587,3 m). Este tramo corresponde a la capa inferior de carbón de la Formación "Val de la Piedra". La capa de carbón tiene 0,9 m más de espesor que en ET1 y es 2,4 m menos potente que en T7; puede observarse que la capa inferior de carbón de T7 está

dividida en dos sub-capas, separadas por una intercalación de arcilla con raíces. Esta capa de arcilla aparece en el muro de la capa de carbón, en ET2. Los primeros 2,4 m de la capa de carbón están bien consolidados, sin presencia de fallas y es de buena calidad. La parte restante de la capa presenta algunas inclusiones/intercalaciones de arcilla. La densidad y porosidad neutrón son similares a las observadas en ET1 (ver Tabla III). Hay también un máximo de emisión de rayos gamma en el muro de la capa de carbón (245 API a aprox. 40 cm. del muro de la capa). Esta característica presente en las dos capas de carbón podría ser un indicador útil de referencia para la perforación dentro de la capa.

- Subzona K (587,3 - 587,7 m). Constituye la parte inferior del Cretácico (Albense/Aptense), y está compuesta por arcilla carbonosa con raíces.
- Jurásico (587,7 - 603 m). El Jurásico está compuesto por calizas grises recristalizadas con abundantes fósiles y algunos oolitos. El contacto con la capa de carbón presenta una red importante de fracturas rellenas de arcilla negra (¿Arcilla Albense?). Las fracturas son registradas por el Microlog mediante saltos bruscos en el registro, indicando una permeabilidad abierta. En la parte inferior de la zona, la fracturación disminuye y la arcilla negra que rellena la fractura es sustituida por arcilla gris con pirita. Hay también algunas fracturas presentes que muestran permeabilidad abierta. La densidad media y la porosidad neutrón son de $2,7 \text{ g / cm}^3$ y 1,5 p.u., respectivamente. A 595 m hay una falla representada por una brecha de 0,9 m de espesor formada por clastos de caliza y carbón inmersos en una matriz de arcilla carbonosa negra. Esta falla aparece también reflejada en el registro de litodensidad (descenso brusco), el registro de porosidad neutrón (aumento brusco) y el registro del factor fotoeléctrico (descenso brusco). Hay también una disminución repentina de densidad a 601 m, pero no es fácil interpretar esto como una falla porque a este nivel no se realizó toma de testigos.

3.3.2 Inclinómetro

Los datos obtenidos mediante el Dipmeter SHDT fueron procesados en el centro de computación de SCHLUMBERGER con un programa de correlación básica "Mean Square Dip" (MSD), que halla la "mejor adaptación" que cumple todas las posibles correlaciones cruzadas. Estos resultados fueron utilizados para interpretar el buzamiento estructural/azimut y detectar las posibles anomalías estructurales y/o estratigráficas de las formaciones atravesadas: Terciario, Cretácico y Jurásico.

El buzamiento estructural del Terciario es prácticamente constante y con un valor medio de 30 - 35° al Sur.

La interpretación del buzamiento estructural del Cretácico es menos clara, debido a la importante estratificación cruzada. En la Tabla IV se presenta el estudio estadístico de los resultados del MSD. En esta tabla puede reconocerse que el ángulo de buzamiento del Cenomanense es también de aproximadamente 30°. Por debajo de esta última formación, se observan cambios repentinos de la sedimentación como resultado de la sedimentación por paleocanales y lagunas. Algunos estratos buzaban hacia el Sudoeste y el Sudeste, no teniendo relación con el buzamiento estructural. Algunos estratos buzaban con ángulos mayores o menores que el buzamiento estructural ($\pm 30 - 35^\circ$). Algunos buzamientos estructurales medidos en el Cretácico son:

Cenomanense

419 m	29,8° N184W
430 m	32,8° N181W

Albense/Aptense

474 m	30,4° N186W
505 m	30,0° N172W

El estudio estadístico en el Jurásico indica un buzamiento estructural

medio de 33°.

Además de la interpretación del buzamiento estructural, se reconocieron dos fallas (a 595 - 596 m y 601 - 602 m) en concordancia con los testigos y los registros obtenidos durante la primera fase de testificación geofísica.

3.3.3 Registro de la Unión del Cemento ("Cement Bond Log - CBL")

En general, la cementación de la tubería de revestimiento de 7" en ET2 fue mejor que la realizada en ET1. Se observó una cementación de calidad relativamente deficiente entre 18 - 30 m, 80 -105 m, 403 - 413 m y, en menor medida, en otras zonas. Todas estas zonas corresponden a zonas arcillosas con presencia de cavidades (hasta 12" de diámetro). Esta cementación deficiente se puede explicar por la canalización de la lechada dentro de las cavidades. Las zonas con mejor cementación se encuentran entre 175 - 197 m, 212 -215 m, 222 - 231 m y por debajo de 502 m hasta la profundidad total (zonas con muy buen calibre registrado).

4. CARACTERIZACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

4.1 CORRELACIÓN ENTRE ET1 - ET2 - T7 (ver Figura 4)

En general, es difícil incluir el sondeo T7 en la correlación ET1-ET2. Conviene recordar que T7 es un sondeo relativamente antiguo, tal vez con algunas incertidumbres en el nivel de referencia y falta de datos precisos sobre la trayectoria. No obstante, hay que señalar que el nivel del muro de la capa superior de carbón (buen punto de referencia) de ET2 está situado a una altura mucho mayor (aprox. 20 m) de la prevista por la interpolación ET1-T7. Este resultado podría indicar la confirmación de los resultados de la interpretación sísmica que sugería una falla en las cercanías del sondeo de exploración T7. Si esta falla estuviese situada al Oeste de T7, entonces el carbón en el sondeo T7 estaría situado en el bloque hundido de la falla, mientras que en ET1 y ET2 se encontraría en el bloque elevado de la misma.

El ángulo de buzamiento del muro de la capa superior de carbón, considerado generalmente como el indicador más uniforme del depósito, deducido del mismo nivel en ET1 y ET2, es de 29 - 30°, suponiendo que el azimut del buzamiento es el Sur verdadero. Este ángulo de buzamiento es coherente con el ángulo general de buzamiento calculado para el depósito en las interpretaciones anteriores. Los aumentos que en ET2 se dan en los espesores de la caliza intermedia y la misma capa inferior de carbón llevan a un buzamiento aparente del muro de la capa inferior de carbón de 33 - 34°, suponiendo también que el azimut del buzamiento es el Sur verdadero.

La comparación de la sección de carbón entre los 3 sondeos exploratorios ET1-ET2-T7 se puede resumir del siguiente modo:

Techo de arena arcillosa

Espesor medido en el sondeo = 14 m (ET1), 12,6 m (ET2), 2,6 m (T7).

Acción de la erosión por la arena en los sondeos ET1 y ET2. El efecto es mayor en ET2. Presencia de fragmentos de carbón dentro del techo inmediato de la capa de carbón en los sondeos ET1 y ET2.

Capa superior de carbón

Espesor medido en el sondeo = 3,9 m (ET1), 2,4 m (ET2), 8,7 m (T7).

Carbón de buena calidad con bajo contenido de cenizas (< 16%) en todos los sondeos. Carbón bien consolidado sin presencia de fracturas.

Caliza intermedia (incluida arcilla carbonosa de la base de la capa superior de carbón y lutita/limolita carbonosa del techo la capa inferior de carbón)

Espesor medido en el pozo = 8,3 m (ET1), 11,8 m (ET2), 10,1 m (T7). Aparece la misma arcilla carbonosa a muro de la capa superior de carbón en todos los sondeos (aprox. 20 - 60 cm. de espesor). La presencia de la caliza intermedia compacta con "characeas" e inclusiones carbonosas también en común para todos los sondeos.

El techo de la capa inferior de carbón en los sondeos ET1 y ET2 está formado por una lutita/limolita carbonosa. El techo de la capa inferior de carbón en el sondeo T7 está compuesto por

arcilla pirítica.

Capa inferior de carbón

Espesor medido en el sondeo = 3,6 m (ET1), 4,5 m (ET2), 6,9 m partidos (T7). El carbón es de buena calidad con bajo contenido de cenizas (< 14%) en los sondeos ET1 y ET2. La capa de carbón de T7 está partida en 2 partes, separadas por una intercalación transversal de arcilla (1,5 m) con raíces: la sección superior (2 m) es carbón de buena calidad con bajo contenido de cenizas (< 16%), la sección inferior (3,4 m) tiene un contenido de cenizas muy superior (48%).

Arcilla de muro del Albense

La capa de carbón del ET1 se encuentra inmediatamente sobre la caliza Jurásica (¿Falla?). Existe una capa de arcilla con raíces en el sondeo ET2 (base del Albense) entre la capa de carbón y la caliza en los sondeos ET2 y T7. Las calizas Jurásicas están fuertemente fracturadas en los sondeos ET1 y ET2, encontrándose las fracturas rellenas con arcilla negra/grisácea. Estas fracturas no aparecen en el sondeo T7.

4.2 ANÁLISIS DEL CARBÓN

Durante el período que comprende este informe se recibieron los resultados de los análisis inmediato y elemental del carbón recuperado en el sondeo ET1, llevados a cabo por el Instituto de Carboquímica y que se presentan en las Tablas V -X. El análisis inmediato de las dos capas de carbón confirma la excelente calidad de éste. El contenido de humedad del carbón es relativamente elevado (> 26% en peso) y el contenido de cenizas es muy bajo (< 15% en peso). El contenido total de azufre de la capa superior de carbón (7,4% en peso) es superior al de la capa inferior (4,5% en peso). El análisis elemental de las capas confirma el rango del carbón: Sub-Bituminoso Clase C (Clasificación Americana).

Los resultados del análisis petrográfico recibido del Instituto Nacional del Carbón se presentan en la Tabla XI. Conviene señalar respecto a esta tabla que el carbón no es aglomerante, y su índice de hinchamiento libre es de cero.

5. ASPECTOS TÉCNICOS

5.1 SONDEO DESVIADO

El trabajo se inició con la planificación/diseño del sondeo desviado de inyección, siendo éste un punto clave del proyecto, con el requisito de ser perforado lo antes posible de acuerdo con consideraciones técnicas y de compras. Para obtener asesoramiento técnico se estableció contacto con las 5 principales compañías de perforación direccional que se indican a continuación:

Anadrill Schlumberger
 Eastman Teleco (Baker Hughes Inteq)
 Geoservices/Horwell
 Scientific Drilling Controls
 Sperry-Sun

Todas las compañías sugirieron el uso de medidas estándar en la industria del petróleo/gas para el programa de perforación, debido a las posibles dificultades para obtener tuberías y herramientas de tamaño no estándar, y con el fin de poder beneficiarse de la mayor facilidad de predicción del comportamiento de la Instrumentación de Fondo de Pozo de Tamaño Estándar (BHA). Los tamaños estándar son:

Perforación	Tubería	
17 1/2"	13 3/8"	
12 1/4"	9 5/8"	
8 1/2"	7"	(Tubería sin cementar)
6 1/8"	5" ó 4 1/3"	(Tubería sin cementar)

Todas las compañías recomendaron una perforación de 8,5" en el carbón aunque esto no era absolutamente esencial. Anadrill Schlumberger tiene una razón adicional para proponer la perforación en 8,5" dentro de la capa de carbón; es la única compañía con una herramienta de Medida Durante la Perforación (MWD) con rayos gamma direccionales cerca de la barrena con este diámetro. Este mide la posición y los rayos gamma solamente a 5 pies de la barrena, en comparación con los más de 40 pies de la barrena de las

herramientas MWD convencionales. El tamaño de la herramienta limita el tamaño mínimo de perforación a un mínimo de 8,5".

Todas las compañías propusieron el uso de herramientas MWD y Motores de fondo (DHM) con manguito adaptable en inclinación a fin de conseguir la trayectoria requerida por referencia a los datos geométricos procedentes del MWD, si se puede especificar con suficiente exactitud la forma y geometría de la capa de carbón. Los detritos, la velocidad de penetración, el par y los rayos gamma MWD son parámetros adicionales que indican la posición dentro de la sección en capa. Una herramienta MWD "convencional" proporciona datos geométricos y de rayos gamma a unos 40 pies por detrás de la barrena, mientras que la nueva herramienta "cerca de la barrena" de Anadrill proporciona datos geométricos y de rayos gamma direccionales solamente a 5 pies por detrás de la barrena. Sperry-Sun tiene una herramienta en la barrena que mide la inclinación, pero no mide los rayos gamma.

El terreno para la ensayo fue adquirido sobre la base de que el radio del sondeo desviado dentro de la capa de carbón sería de 100 metros (ratio de curvatura de $17,4^\circ / 100$ pies). Todas las compañías expresaron su preocupación en relación con la instalación de la tubería en la sección curvada, y recomendaron reducir el grado de curvatura trasladando el emplazamiento de la perforación lo más lejos que fuera posible hacia el Norte. Existe una cierta capacidad para situar el emplazamiento del sondeo desviado más hacia el Norte dentro de los límites del terreno disponible, siendo de 70 a 80 metros el desplazamiento horizontal disponible desde ET1 hasta el lugar de la perforación del sondeo desviado teniendo en cuenta las limitaciones operacionales de la máquina de sondeos. Este traslado aumenta el radio construido planificado hasta aproximadamente 140 metros (grado de curvatura de $12,5^\circ/100$ pies). La introducción de una sección tangente corta preferida por Anadrill y Sperry-Sun aumenta el grado de curvatura requerido. Las compañías han señalado que se ha introducido una entubación de 9 5/8" en una perforación de 12 1/4" sin problemas en una sección curvada de hasta $15 - 18^\circ / 100$ pies en algunas formaciones.

5.2 PLANTA DE SUPERFICIE

Se enviaron consultas técnicas a 14 compañías de ingeniería que trabajan en España en las industrias de los productos químicos, el petróleo y el gas, a fin de preparar una lista de las compañías que contaban con los conocimientos adecuados y la experiencia para proporcionar servicios técnicos para el diseño y construcción de la planta de superficie. Las investigaciones tenían el objetivo de confirmar la capacidad e interés de las compañías en convertirse en contratistas del proyecto con vistas a invitaciones posteriores para presentar ofertas. Las investigaciones técnicas fueron analizadas posteriormente, enviándose especificaciones detalladas de los requisitos e invitaciones para la oferta a una breve lista de compañías seleccionadas en diciembre de 1992. Durante este período se preparó también un documento completo de descripción de las fases del proceso.

5.3 ESTUDIOS RELACIONADOS

Para hacer frente a problemas específicos relacionados directamente con las actividades de ingeniería, se encargaron dos estudios, cada uno de los cuales debería desarrollarse durante un período de unos 4 meses a partir de diciembre de 1992 en las dos Universidades siguientes:

Universidad Católica de Lovaina (Profesor J. Patigny)

Preparación de modelos/simulación de las pérdidas de calor y cambios de presión para tres configuraciones propuestas de sondeos de recuperación. Cada configuración se ejecutará con diferentes condiciones de flujo (fases de gasificación, fases de combustión inversa/pirólisis). La preparación de modelos/simulación se basa en un software existente desarrollado por la Universidad de Lovaina. No obstante, se necesitarán unas ciertas mejoras en el software para aumentar el carácter de respecto y ayuda al usuario del mismo (introducción de datos, presentación de resultados) y permitir que puedan simularse disposiciones más complejas (tubos no concéntricos, condiciones de flujo bifásico, etc.).

Universidad de Lieja (Profesor J.-P. Pirard)

Cálculo de caudales y distribuciones de presión por el Modelo de Flujo del Método de Elementos Frontera (BEM) para la fase del enlace final y la fase de la combustión inversa/pirólisis, suponiendo una permeabilidad constante del carbón y una forma relativamente simple. Los cálculos se basarán en un modelo existente que es capaz de simular la distribución de flujo bidimensional en un medio poroso.

Cálculo de la composición del producto de la gasificación por el Modelo basado en el Equilibrio Químico, durante la fase de gasificación de canal. El análisis teórico de las reacciones que afectan a las diferentes formas de azufre en el proceso UCG se realizará antes de la introducción en el Modelo existente. El Modelo tiene en cuenta el equilibrio químico dentro de dos zonas (zona de reacción, zona de pirólisis y secado) del reactor subterráneo y el intercambio de calor/masa entre ellas.

Paralelamente a estos estudios, se estableció contacto con el Instituto de Carboquímica pidiéndosele que propusieran un programa detallado de laboratorio para determinación de las reactividades del carbón y el comportamiento en la pirólisis del carbón de "El Tremedal" en las condiciones de servicio propuestas (presión de 50-60 bares).

También se recibieron propuestas específicas para investigación de RWTH Aquisgrán, y de TU Delft/NOVEM.

6. DIRECCIÓN DEL PROYECTO

6.1 ADMINISTRACIÓN

La localización de locales adecuados para aumentar el espacio de oficina en las localidades más cercanas al lugar del ensayo resultó ser un problema. Después de una amplia búsqueda, se localizaron dos plantas (350 m²) en un edificio de Alcorisa que eran adecuadas para su conversión en oficinas, firmándose el contrato de arrendamiento en agosto de 1992. Una de las plantas fue preparada en septiembre/octubre, siendo ocupada por el equipo del proyecto a

comienzos de noviembre. La segunda planta quedará dispuesta en la primavera de 1993.

Se previeron también algunas dificultades en la contratación de personal adecuado para trabajar con contratos a plazo relativamente corto en el área aislada del Norte de Teruel. Se hicieron esfuerzos para reclutar a personal de ingeniería en los campos de perforación, ejecución de sondeos, instrumentación, diseño y administración de plantas de superficie, tanto por medio de anuncios como a través de información distribuida a las Universidades/Escuela de Ingenieros de Minas españolas. Dos componentes más del equipo (operaciones de perforación/equipamiento de pozo) empezaron a trabajar en octubre y diciembre, respectivamente, y una tercera persona ha aceptado la oferta pero aún no ha empezado a trabajar. A finales de 1992, el número total de personas del equipo era de siete. A comienzos de enero se mantendrán nuevas entrevistas con el fin de aumentar el personal lo más rápidamente posible al menos a 10 personas.

6.2 CONTRATO ENDESA/UGE

Otra versión del Contrato ENDESA/UGE, que da autorización a la UGE para actuar en el lugar de El Tremedal se acordó con ENDESA. El contrato no ha sido firmado, a pesar de la declaración de que "ENDESA debería poder firmar el Contrato en octubre". La situación es totalmente insatisfactoria por el hecho de que la UGE aún no cuenta con la aprobación formal de ENDESA (no hay acuerdo legal sobre responsabilidades/obligaciones) para actuar en el yacimiento.

6.3 PROBLEMAS/DIFICULTADES

La dificultad técnica más importante experimentada en el período del informe fue durante la colocación de la tubería de revestimiento el sondeo de exploración ET2. En esta operación, la tubería quedó atascada 10 metros por encima de la profundidad planificada (aunque pudo mantenerse la circulación) quedando la zapata en ese nivel. La razón de este bloqueo podría ser un colapso de la formación, problemas mecánicos con los centralizadores o un agarre por presión

diferencial, siendo más probable este último efecto, ya que pudo mantenerse la circulación.

La incapacidad para llevar la entubación hasta la profundidad planificada no representó ningún problema para el futuro, dado que el sondeo estaba diseñado para su conversión posterior en pozo de control por medio de una perforación lateral. El único efecto es que se perforará en el cemento una sección vertical más larga antes de perforar la sección de radio corto. No obstante, este acontecimiento se considera importante con el fin de planificar la prevención de una dificultad similar cuando se perfora el sondeo de inyección desviado.

6.4 CAMBIOS EN LA ESTRATEGIA TÉCNICA

Como se ha indicado anteriormente, los resultados del sondeo de exploración ET2 han demostrado la irregularidad del yacimiento y han aumentado la incertidumbre en cuanto al espesor y disposición de las capas de carbón en la zona de gasificación propuesta. Estas incertidumbres, junto con la indicación de una falla cercana detectada en el sondeo complican la elección de la capa en términos tanto de adecuabilidad para la perforación (en la que son importantes la regularidad del muro de la capa y la potencia de ésta) y la subsiguiente gasificación (en la que el espesor sobre la zona propuesta para la gasificación determina el volumen máximo de carbón que puede ser gasificado).

El sondeo de exploración ET2 se terminó justamente antes de las Navidades de 1992, y los resultados serán evaluados cuidadosamente junto con toda la información geológica disponible, a fin de decidir si conviene contar con información adicional, tal vez de un tercer sondeo de exploración, en vista de la importancia de la inversión futura.

6.5 TRABAJO FUTURO

A comienzo de 1993 se perforará un tercer sondeo de exploración, si se considera conveniente. Se iniciará la adquisición de los componentes especiales e instrumentación para el sondeo de inyección desviado y se enviarán invitaciones para ofertas respecto a

los contratos de servicios que deban intervenir en el sondeo, una vez que se conozcan las fechas de entrega de componentes especiales.

Se analizarán los resultados de los estudios sobre la distribución del caudal/composición del gas y las condiciones del sondeo de producción en las Universidades de Lieja y Lovaina, y se determinarán las implicaciones para la configuración del sondeo de producción. Se identificarán los proveedores de tuberías aislantes especiales para el sondeo de producción.

Se completará el trabajo de ingeniería civil para la preparación del emplazamiento y se formalizará un contrato para la Fase 1 de la ingeniería de la planta de superficie.

6.6 CONFERENCIAS, PUBLICACIONES E INFORMES

- "Informe Geológico y de Perforación del Sondeo Tremedal 2" (61/IN/93/S) por C. BARAT, A. OBIS.
- "Field Trial of Underground Gasification Europe (UGE) Teruel, España"
(Coal R009/P1)
Informe de progreso preparado por ETSU, Harwell
- "Estudio Petrográfico y Ensayos Especiales sobre Muestras de Carbón del Sondeo Tremedal 1" (31313/92)
Informe preparado por el Instituto Nacional del Carbón y sus Derivados, Oviedo
- "Estudio de Explanación en la Zona de los Estancos" + Anexo
Informe preparado por ADARO, Madrid
- ENDESA (REVISTA INTERNA)
Julio / Octubre 1992 - nº. 79
por D. Martínez

- Informe de Análisis Inmediato y Elemental sobre Muestras de Carbón"
(11468 a 11489)
Informe preparado por el Instituto de Carboquímica, Zaragoza

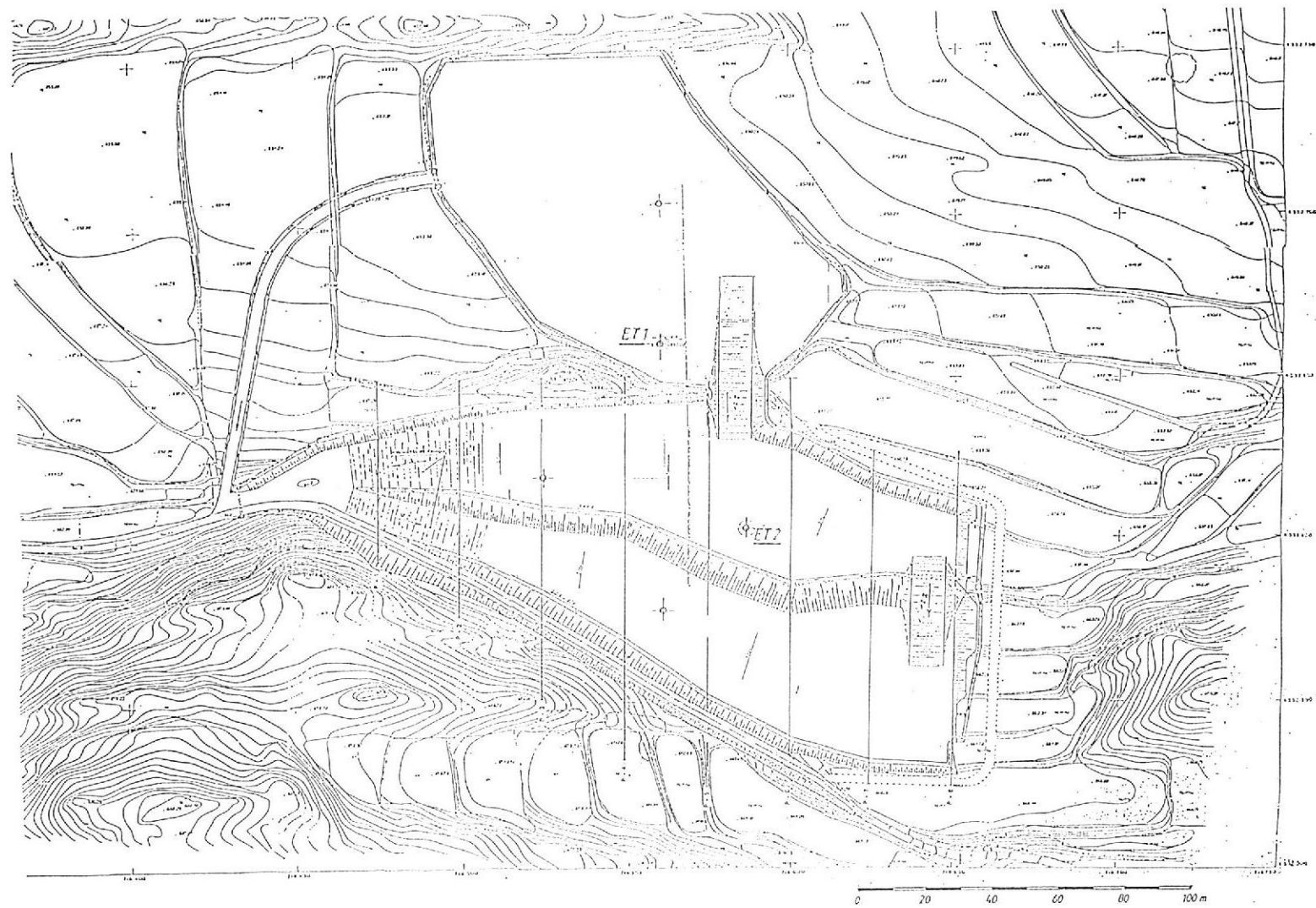


Figura 1 . Emplazamiento de los Sondeos

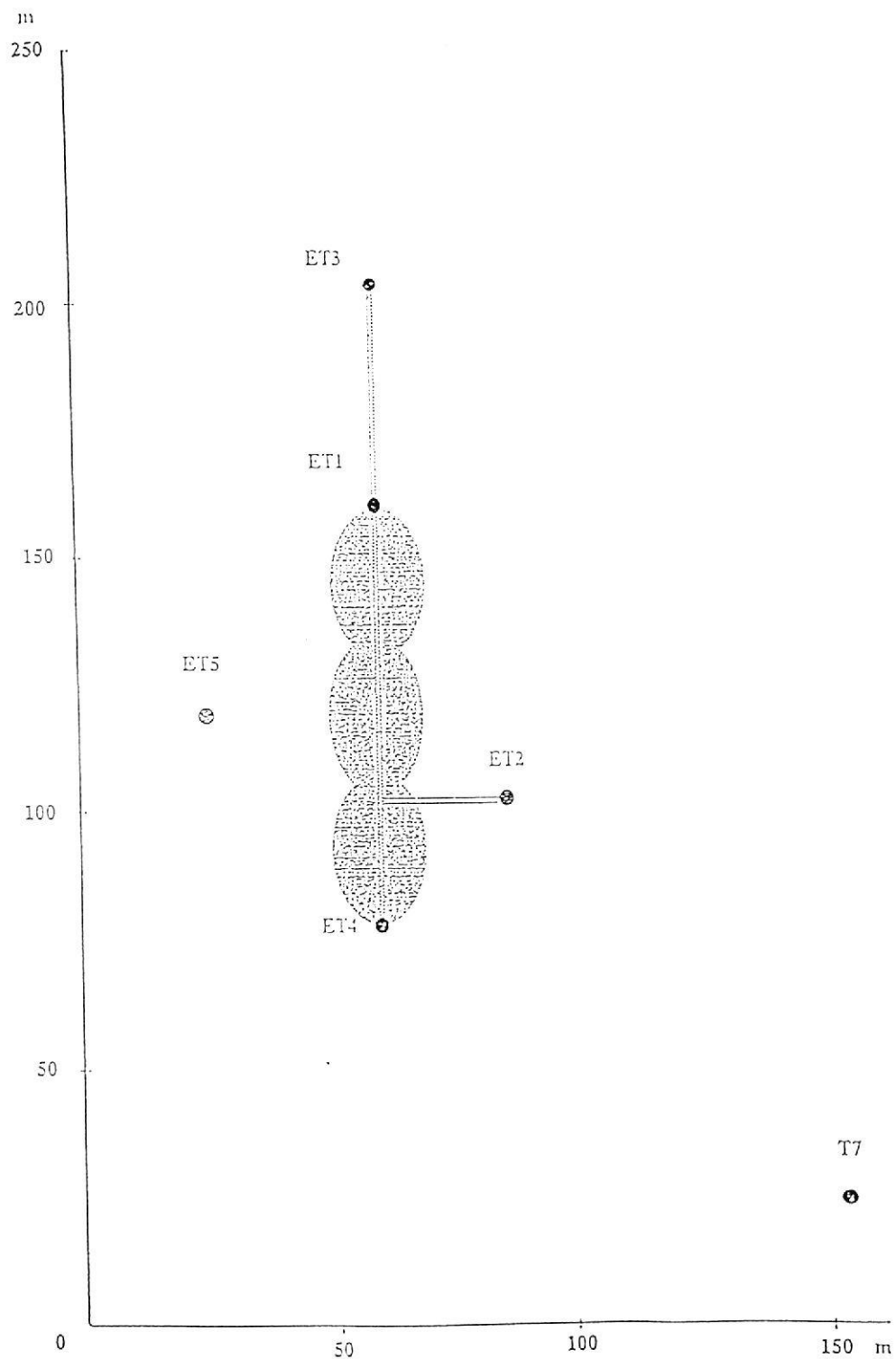
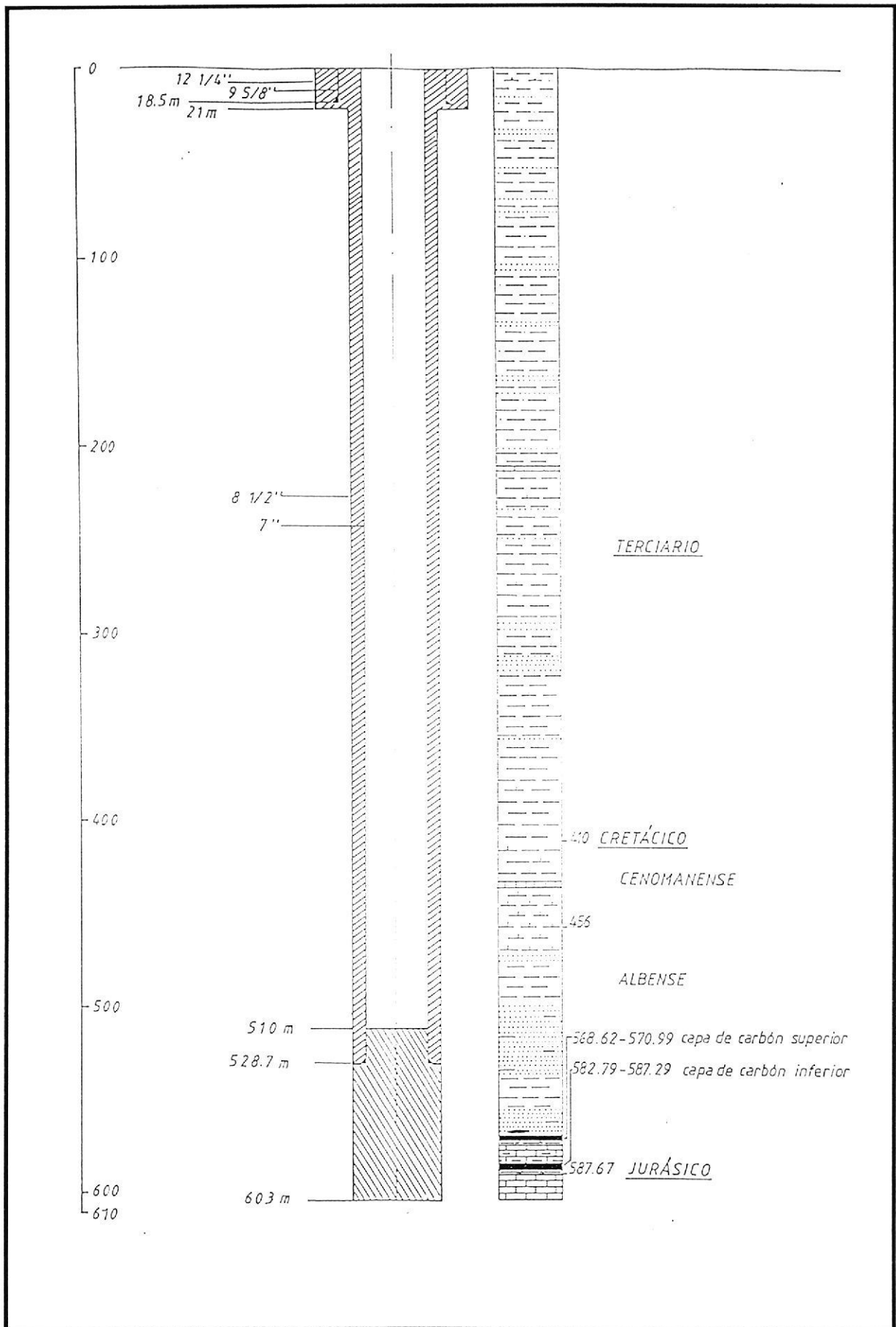


Figura 2 . Distribución de los Sondeos



**Figura 3a . Sondeo ET2 - Equipamiento y Litología
 (Profundidad en metros respecto al nivel del suelo)**

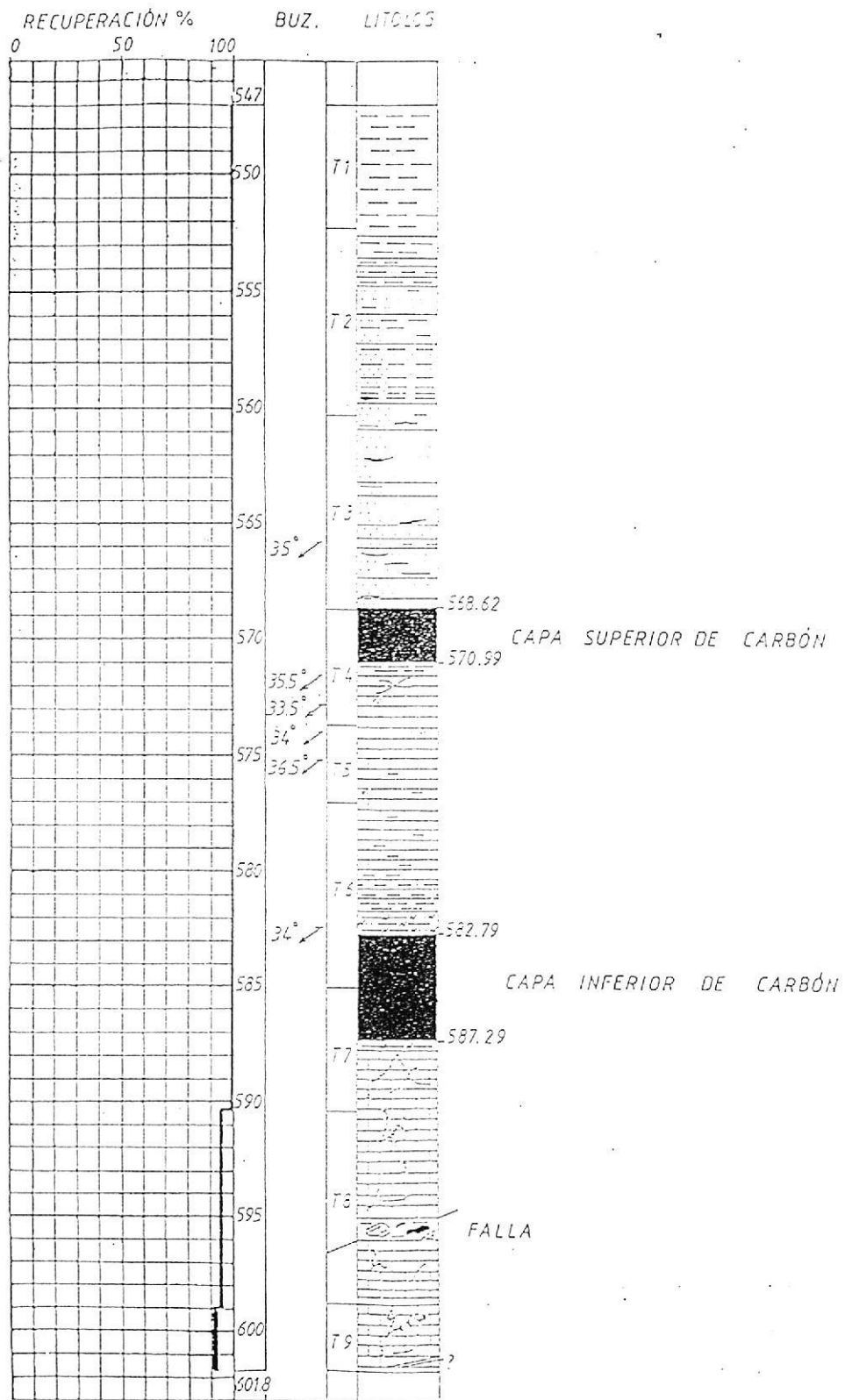


Figura 3b. Sondeo ET2 - Litología (sección tomada a testigo (Profundidad en metros respecto al nivel del suelo))

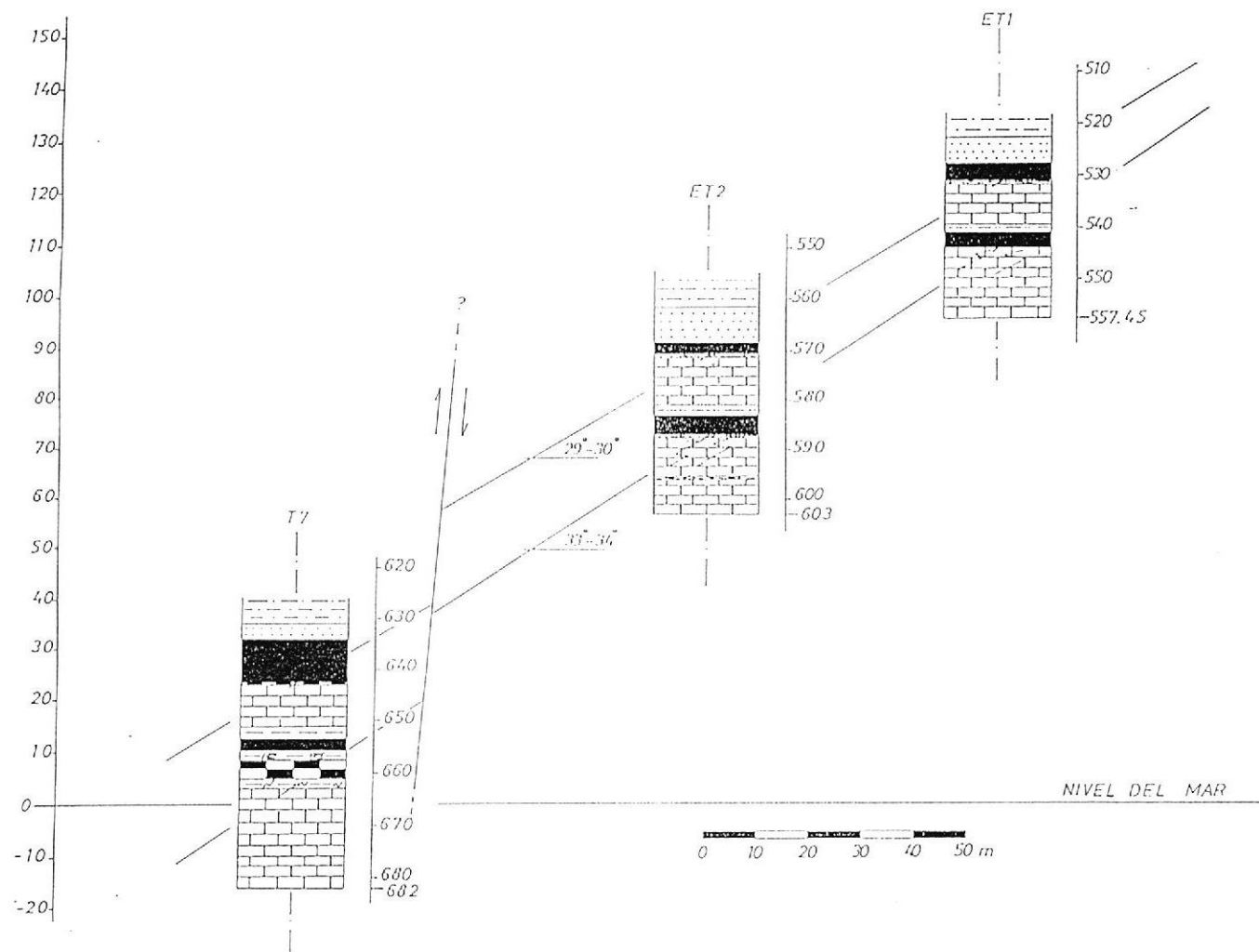


Figura 4 . Comparación de la Sección del Carbón entre ET1-ET2-T7

Día	Perforación	Parada/ Mantenimiento	Maniobras + TOTCO	Prep. lodos / Circulación	Entubaciones	Cementación / Fraguado	Toma de Testigos	Reperforación	Testificación Geofísica	Otras
1	8.00		3.00		3.00	10.00				
2	6.00		1.00			15.00				2.00
3	18.00		4.25	1.75						
4	19.25		3.25					1.50		
5	19.00		4.00	0.50						0.50
6	19.25		3.75	0.50						0.50
7	14.00		5.75	0.50				3.25		0.50
8	20.50		1.25	1.75						0.50
9	16.50		5.00	0.50				2.00		
10	21.50		2.25	0.25						
11	20.25		3.25	0.50						
12	15.25	4.00	4.00	0.75						
13	22.75		1.25							
14	18.00		5.25	0.75						
15	4.00	16.50	3.00	0.50						
16	10.75	10.00	2.50	0.75						
17	14.75		7.00	0.50			1.75			
18			15.75	0.75			7.50			
19		1.00	15.50	0.50			7.00			
20			13.25	0.75			4.00	6.00		
21	1.75		11.25	0.25			10.75			
22			8.50	1.25			2.75	11.50		
23						9.50		7.00	6.50	1.00
24			5.50	1.00		8.00		9.50		
25			3.50	1.00	15.00					4.50
26				1.50		12.00		10.50		
27			4.00	2.50		17.00				0.50
28			2.50			18.50			3.00	
29			3.00			3.00				6.00
Total	269.50	31.50	142.50	19.00	18.00	93.00	33.75	51.25	9.50	16.00

Tabla I . Distribución de Tiempos para las distintas Operaciones en ET2

Profundidad (m)	Rayos Gamma	Factor Fotoeléctrico	Litodensidad	Porosidad Neutrón	Litología	Testigo Recuperado %
568.20	72	2.50	2.13	42	Arena	100
568.40	70	1.90	1.95	49	Arcillosa	"
568.62	65	1.60	1.55	61.0	Carbón	100
568.80	52	1.40	1.41	64.0	"	"
569.00	45	1.25	1.34	64.0	"	"
569.20	30	1.16	1.32	63.0	"	"
569.40	25	1.25	1.28	62.0	"	"
569.60	25	1.27	1.30	61.5	"	"
569.80	35	1.24	1.29	60.0	Carbón	100
570.00	48	1.18	1.27	58.0	"	"
570.20	82	1.27	1.28	60.0	"	"
570.40	127	1.41	1.32	65.0	"	"
570.60	170	1.75	1.37	64.5	"	"
570.80	185	1.83	1.50	64.5	"	"
570.99	160	2.33	1.68	63.0	Carbón	100
571.20	105	3.30	1.85	51	Arcilla	100
571.40	60	4.25	2.10	32	Carbonosa	"

Tabla II . Datos de Testificación Geofísica de la Capa Superior de Carbón (Unidades API)

Profundidad (m)	Rayos Gamma	Factor Fotoeléctrico	Litodensidad	Porosidad Neutrón	Litología	Testigo Recuperado %
582.40	46	1.50	1.38	57.0	Lutita/Limolita	100
582.60	37	1.41	1.37	57.0	Carbonosa	"
582.79	25	1.25	1.36	57.5	Carbón	100
583.20	10	1.00	1.22	55.5	"	"
583.40	11	1.00	1.21	57.0	"	"
583.60	12	1.00	1.23	61.5	"	"
583.80	14	1.04	1.24	63.5	"	"
584.00	17	1.05	1.27	64.0	"	"
584.20	22	1.00	1.28	61.5	Carbón	"
584.40	30	1.00	1.27	58.5	"	"
584.60	37	1.00	1.26	58.0	"	"
584.80	48	1.02	1.25	58.5	"	"
585.00	68	1.05	1.26	57.0	Carbón	100
585.20	80	1.16	1.30	56.5	Carbón algo Arcill.	"
585.40	97	1.20	1.33	56.0	Carbón algo Arcill.	"
585.60	110	1.45	1.34	61.5	Carbón Sucio	"
585.80	125	1.50	1.35	61.0	Carbón Sucio	"
586.00	146	1.41	1.36	60.0	Carbón algo Arcill.	"
586.20	165	1.16	1.32	58.5	Carbón algo Arcill.	"
586.40	180	1.16	1.27	57.0	Carbón Arcilloso	"
586.60	197	1.20	1.26	57.5	Carbón Arcilloso	"
586.80	225	1.29	1.25	61.0	Carbón Arcilloso	"
587.00	247	1.31	1.27	62.0	Carbón Arcilloso	"
587.29	235	1.83	1.37	57.0	Carbón Arcilloso	100
587.50	230	2.58	1.60	55.5	Arcilla Carbonosa	100
587.67	225	3.33	1.90	55.0		"

Tabla III . Datos de Testificación Geofísica de la Capa Inferior de Carbón (Unidades API)

Litología		Nº de Datos	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
CENOMANENSE	Arcillas/Margas	90	29.9 °	10.1 °	6.9 °	64.2 °
ALBENSE	Arcillas Versicolores	197	34.1 °	10.3 °	2.3 °	58.7 °
	Arena Gris/Negra	27	28.0 °	8.4 °	13.3 °	45.7 °
	Capa Superior de Carbón	5	23.6 °	13.6 °	7.0 °	34.9 °
	Caliza Intermedia	21	35.3 °	9.4 °	15.7 °	57.8 °
	Capa Inferior de Carbón	9	32.1 °	9.2 °	10.2 °	39.6 °

Tabla IV . Estudio Estadístico del Buzamiento Estructural del Cretácico

Litología	Muestra N°	Long. (m)	%	Humedad Total (% en peso)	Cenizas (% en peso)	Carbono Fijo (% en peso)	Volátiles (% en peso)	Pode Calorífico Superior (kcal/kg)
Capa de Carbón	1	0.30	7.69	31.8	14.4	30.6	23.2	3501
	2	0.30	7.69	20.4	39.1	21.6	18.9	2143
	3	0.40	10.26	29.9	13.3	33.2	23.6	3612
	4	0.54	13.85	28.6	11.9	33.9	25.6	3893
	5	0.33	8.46	28.5	12.1	34.1	25.3	3993
	6	0.33	8.46	27.5	16.3	32.5	23.7	3649
	7	0.15	3.85	32.5	9.4	32.3	25.8	4001
	8	0.35	8.97	26.6	14.7	33.3	25.4	3966
	9	0.35	8.97	31.3	7.9	35.1	25.7	4287
	10	0.48	12.31	24.9	16.5	32.9	25.7	3953
	11	0.37	9.49	29.5	7.7	35.1	27.7	4358
	Total	3.90	100.00	28.1	14.7	32.5	24.7	3785
Arcilla Carbonosa	1	0.27	100.00	-	-	-	-	-
	Total	0.27	100.00	-	-	-	-	-

Tabla V . Análisis Inmediato de la Capa Superior de Carbón en ET1 (como se recibe)

Litología	Muestra N°	Long. (m)	%	Humedad Total (% en peso)	Cenizas (% en peso)	Carbono Fijo (% en peso)	Volátiles (% en peso)	Pode Calorífico Superior (kcal/kg)
Lutita/Limolita Carbonosa	1	0.50	43.86	16.8	40.5	18.7	24.0	2658
	2	0.29	25.44	14.1	48.5	1.6	35.8	1537
	3	0.35	30.70	22.1	33.1	23.8	21.0	2917
	Total	1.14	100.00	17.7	40.3	15.9	26.1	2452
Capa de Carbón	1	0.40	11.14	23.7	10.2	21.8	44.3	4596
	2	0.54	15.04	25.1	20.1	31.7	23.2	3759
	3	0.45	12.54	27.7	9.1	36.3	26.9	4540
	4	0.42	11.70	27.7	9.5	37.0	25.8	4516
	5	0.44	12.26	27.4	12.5	35.4	24.6	4277
	6	0.46	12.81	27.2	9.1	38.3	25.4	4491
	7	0.43	11.98	25.0	10.6	38.3	26.2	4439
	8	0.45	12.53	24.9	24.0	29.4	21.8	3308
	Total	3.90	100.00	26.1	13.3	33.6	27.0	4221
Arcilla Carbonosa	1	0.00	-	-	-	-	-	-
	Total	0.00	-	-	-	-	-	-

Tabla VI . Análisis Inmediato de la Capa Inferior de Carbón en ET1 (como se recibe)

Litología	Muestra N°	Long. (m)	%	C (% en peso)	H (% en peso)	N (% en peso)	S (% en peso)	O (% en peso)	PCS (kcal/kg)
Capa de Carbón	1	0.30	7.69	69.63	4.7	0.6	7.5	17.6	6504
	2	0.30	7.69	61.3	4.3	0.7	-	-	5291
	3	0.40	10.26	68.1	4.5	0.6	7.0	19.8	6363
	4	0.54	13.85	71.1	4.6	0.5	-	-	6544
	5	0.33	8.46	71.7	4.6	0.5	-	-	6722
	6	0.33	8.46	70.5	4.4	0.6	6.4	18.1	6494
	7	0.15	3.85	73.0	4.7	0.5	-	-	6883
	8	0.35	8.97	69.9	4.4	0.5	-	-	6763
	9	0.35	8.97	74.3	4.6	0.5	-	-	7051
	10	0.48	12.31	71.1	4.7	0.5	6.0	17.7	6750
	11	0.37	9.49	73.4	4.7	0.4	46.5	15.0	6943
	Total	3.90	100.0	70.4	4.6	0.5	6.6	17.9	6578
Arcilla Carbonosa	1	0.27	100.0	-	-	-	-	-	-
	Total	0.27	100.0	-	-	-	-	-	-

Tabla VII . Análisis Elemental de la Capa Superior de Carbón en ET1(seco y libre de canizas)

Litología	Muestra N°	Long. (m)	%	C (% en peso)	H (% en peso)	N (% en peso)	S (% en peso)	O (% en peso)	PCS (kcal/kg)
Lutita/Limolita Carbonosa	1	0.50	43.86	68.3	4.8	0.7	-	-	6227
	2	0.29	25.44	56.5	3.7	0.5	-	-	4111
	3	0.35	30.70	68.3	5.2	0.7	-	-	6476
	Total	1.14	100.0	65.3	4.6	0.6	-	-	5765
Capa de Carbón	1	0.40	11.14	74.3	4.8	0.6	6.2	14.1	6954
	2	0.54	15.04	73.2	4.8	0.6	-	-	6848
	3	0.45	12.54	73.7	4.9	0.5	-	-	7183
	4	0.42	11.70	75.4	4.8	0.5	-	-	7192
	5	0.44	12.26	75.3	4.5	0.5	4.8	14.9	7124
	6	0.46	12.81	75.3	4.5	0.4	-	-	7047
	7	0.43	11.98	74.3	4.7	0.5	-	-	6888
	8	0.45	12.53	70.7	4.6	0.4	4.8	19.5	6465
	Total	3.59	100.0	74.0	4.7	0.5	5.2	15.6	6958
Arcilla Carbonosa	1	0.00	-	-	-	-	-	-	-
	Total	0.00	-	-	-	-	-	-	-

Tabla VIII . Análisis Elemental de la Capa Inferior de Carbón en ET1 (seco y libre de cenizas)

Litología	Muestra N°	Long. (m)	%	Azufre Total (% en peso)	S _P iritico (% en peso)	S _S ulfatos (% en peso)	S _O rgánico (% en peso)
Capa de Carbón	1	0.30	7.69	7.6	2.4	1.1	4.1
	2	0.30	7.69	8.4	-	-	-
	3	0.40	10.26	9.0	3.6	1.5	3.9
	4	0.54	13.85	8.6	-	-	-
	5	0.33	8.46	6.5	-	-	-
	6	0.33	8.46	7.7	3.0	1.1	3.6
	7	0.15	3.85	5.0	-	-	-
	8	0.35	8.97	10.2	-	-	-
	9	0.35	8.97	5.4	-	-	-
	10	0.48	12.31	6.1	2.1	0.5	3.5
	11	0.37	9.49	5.6	1.2	0.3	4.1
	Total	3.90	100.00	7.4	2.6	0.9	3.9
Arcilla Carbonosa	1	0.27	100.00	-	-	-	-
	Total	0.27	100.00	-	-	-	-

Tabla IX. Distribución del Azufre en la Capa Superior de Carbón en ET1 (como se recibe)

Litología	Muestra N°	Long. (m)	%	Azufre Total (% en peso)	S _P iritico (% en peso)	S _S ulfatos (% en peso)	S _O rgánico (% en peso)
Lutita/Limolita Carbonosa	1	0.50	43.86	4.2	-	-	-
	2	0.29	25.44	3.3	-	-	-
	3	0.35	30.70	4.7	-	-	-
	Total	1.14	100.00	4.1	-	-	-
Capa de Carbón	1	0.40	11.14	5.9	1.6	0.3	4.0
	2	0.54	15.04	4.2	-	-	-
	3	0.45	12.54	4.8	-	-	-
	4	0.42	11.70	3.5	-	-	-
	5	0.44	12.26	4.0	1.8	0.2	2.0
	6	0.46	12.81	4.7	-	-	-
	7	0.43	11.98	4.7	-	-	-
	8	0.45	12.53	4.7	1.7	0.6	2.4
	Total	3.59	100.00	4.5	1.7	0.4	2.4
Arcilla Carbonosa	1	0.00	-	-	-	-	-
	Total	0.00	-	-	-	-	-

Tabla X. Distribución del Azufre en la Capa Inferior de Carbón en ET1 (como se recibe)

Litología	Muestra N°	Vitrinita %	Exinita %	Inertinita %	Reflectancia %	Índice de Hinchamiento	Residuo: Semicoque (Gray-King)	Tipo de Semicoque (Gray-King)
Capa Superior de Carbón	3	84.7	2.3	13.0	0.38	0.0	68.8	Pulverulento
	6	81.5	2.3	16.2	0.38	0.0	72.7	"
	10	81.8	1.9	16.3	0.36	0.0	73.2	"
	Total	82.7	2.2	15.2	0.37	0.0	71.6	"
Capa Inferior de Carbón	2	83.3	2.2	15.0	0.38	0.0	75.7	Pulverulento
	5	84.7	1.7	18.2	0.39	0.0	71.3	"
	8	86.1	1.9	12.0	0.36	0.0	76.2	"
	Total	84.7	1.9	15.1	0.38	0.0	74.4	"
Tabla XI . Análisis Petrográfico del Carbón en el Sondeo ET1								