

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

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

INFORME TÉCNICO ENERO 1993 - JUNIO 1993

Grupo Directivo

- A. BAILEY (DIRECTOR)
- A. OBIS (DIRECTOR ADJUNTO - OPERACIONES)
- M. MOSTADE (DIRECTOR ADJUNTO - A. TÉCNICOS)
- D. MARTÍNEZ (DIRECTOR ASUNTOS EXTERNOS)

Underground Gasification Europe (UGE), AEIE
Calle Hermanos Nadal, 27 - 1º
44550 Alcorisa (Teruel), España

ÍNDICE

- Resumen
- 1. Introducción
- 2. Sondeo de Exploración (ET3)
 - 2.1 Estrategia y Diseño
 - 2.2 Operaciones
 - 2.3 Interpretación
- 3. Caracterización del Emplazamiento
 - 3.1 Correlación entre ET1 - ET2 - ET3
 - 3.2 Análisis del Carbón
 - 3.3 Selección de la Capa de Carbón
- 4. Ingeniería
 - 4.1 Sondeos
 - 4.2 Planta de Superficie
 - 4.3 Programa de Colaboración
- 5. Dirección del Proyecto
 - 5.1 Administración
 - 5.2 Problemas / Dificultades
 - 5.3 Cambios en le Estrategia Técnica
 - 5.4 Trabajos Futuros
 - 5.5 Conferencias, Publicaciones e Informes

Resumen

Las principales actividades durante el periodo que comprende este informe han sido el diseño de los pozos necesarios para el proceso, la ingeniería de la planta de superficie y la perforación del tercer sondeo de exploración.

El tercer sondeo de exploración fue perforado en Marzo de 1993 y fue concebido para recopilar importante información para el desarrollo de posteriores actividades de perforación y para el proceso de gasificación en sí. Tras el análisis de los resultados del sondeo se seleccionó **la capa superior de carbón** para llevar a cabo el proceso de gasificación subterránea.

La planificación del sondeo desviado de inyección se efectuó tras recibir contestación de cinco compañías especializadas en perforación direccional, las cuales fueron consultadas en Enero de 1993 para proporcionar asesoramiento técnico y un programa detallado de las operaciones de perforación. En base a este asesoramiento se formuló un programa de perforación, a partir del cual, en la primavera de 1993, se encargaron todos los materiales y equipo necesarios para la realización del sondeo, esperándose la última entrega en Agosto de 1993. La perforación del sondeo está prevista para los meses de Septiembre u Octubre de 1993.

La selección de la empresa de ingeniería que llevará a cabo la ingeniería básica de la planta de superficie fue hecha en Febrero de 1993, siendo la compañía John Brown Sener S.A. la elegida. Los trabajos empezaron en Abril de 1993 y terminarán en Agosto de 1993.

Los dos trabajos del programa de apoyo realizados por las Universidades de "Louvain-la Neuve" y "Liege" en Bélgica se completaron, recibándose los informes finales.

1. INTRODUCCIÓN

Este es el tercer informe del Proyecto de Gasificación Subterránea de Carbón que se está llevando a cabo en el Norte de la provincia de Teruel, España, con el apoyo económico del programa THERMIE de la CEE.

Se perforó un tercer sondeo de exploración con el objeto de responder a una serie de cuestiones pendientes referentes a la continuidad de las capas. Los resultados obtenidos se consideraron suficientes para la elección de la capa de carbón, resultando la capa superior la más apropiada para llevar a cabo el proceso de gasificación subterránea.

El diseño y preparación de equipo para el sondeo desviado de inyección se realizó paralelamente a la perforación del tercer sondeo de exploración con el objeto de comenzar la perforación de éste en Septiembre u Octubre de 1993.

Se recibieron cinco ofertas para la ingeniería básica de la planta de superficie. Estas fueron analizadas en Febrero de 1993 y el contrato con la compañía John Brown Sener se firmó en Abril de 1993. Actualmente los trabajos siguen en curso y serán terminados en Agosto de 1993. Los resultados de esta ingeniería básica serán utilizados para definir los requerimientos para la ingeniería de detalle y la fase de aprovisionamiento y construcción de la planta de superficie al término de la perforación del sondeo desviado.

2. SONDEO DE EXPLORACIÓN (ET3)

2.1 ESTRATEGIA Y DISEÑO

Este sondeo fue perforado para responder a una serie de cuestiones que quedaron sin resolver tras la perforación del segundo sondeo de exploración ET2, cuestiones que eran importantes para las posteriores actividades de perforación (sondeo desviado en capa) así como para el proceso de la gasificación mismo. Estas, concernientes a la continuidad del buzamiento, la potencia de las capas, posibles fallas entre ET2 y T7, acción erosiva de paleocanales en el techo de la capa superior y la posibilidad de digitación de la capa inferior.

El sondeo ET3 se situó de forma que se pudiera realizar una correlación triangular entre los tres sondeos de exploración ET1, ET2 y ET3 abarcando la futura zona de reacción a la vez que se obtenía información de las capas en las proximidades del futuro pozo de producción. ET3 se situó 83,5 m al Sur del primer pozo de exploración ET1, 45,4 m al Sudoeste del segundo pozo de exploración ET2 y a 116,5 m al Noroeste del antiguo pozo de exploración perforado por ENDESA en 1974 (ver Figura 1).

Las coordenadas UTM del sondeo ET3 son:

X: 718549,7 m
Y: 45332577,6 m
Z: 664,0 m

Debido a la relativamente poca importancia de la calidad del sondeo (el sondeo no iba a ser entubado) UGE decidió realizar la perforación en días laborables, cesando la actividad durante el fin de semana, para minimizar los costes. Las únicas operaciones previstas en el pozo eran la toma de testigos de las capas de carbón y litologías adyacentes y la testificación geofísica incluyendo las diagráfias LDL, CNL, GR, ML y SHDT.

2.2 OPERACIONES

2.2.1 Relación de empresas participantes

Las siguientes empresas fueron seleccionadas para la realización de las distintas operaciones y servicios necesarios para la perforación del tercer sondeo de exploración ET3:

- Obras de ingeniería civil MAURICIO VENTURA
 - Plataforma de hormigón para el equipo
 - Antepozo y tubo fuente
 - Canales par drenaje de lodos

- Tubería IBÉRICA DE SONDEOS
 - Abastecimiento de tubería de 9 5/8"

- Perforación IBÉRICA DE SONDEOS
 - Perforación fase 12 1/4"
 - Entubación y cementación de la tubería de 9 5/8"
 - Perforación fase 8 1/2"
 - Toma de testigos de 4"
 - Preparación para la testificación geofísica
 - Cementación del pozo

- Testificación geofísica SCHLUMBERGER
 - Dipmeter/diagrafía geométrica (SHDT)
 - Sonda combinada geofísica (LDL, GR, ML, CNL) - Cancelada

2.2.2 Preparación del emplazamiento del sondeo

El camino de acceso, previamente construido, no necesitó mantenimiento y solamente fueron necesarios pequeños trabajos para la preparación del emplazamiento del sondeo ET3. Estos trabajos consistieron en:

- construcción de una plataforma de hormigón de 18 m x 3,5 m con un antepozo y un tubo fuente.
- construcción de un canal de drenaje de lodos desde la plataforma del sondeo hasta la balsa de lodo.

2.2.3 Operaciones realizadas

Se utilizó el mismo equipo de perforación, MAYHEW 2500, que para la perforación de los anteriores sondeos de exploración. Este llegó al emplazamiento del sondeo el 23 de Febrero de 1993, siendo instalados el equipo, bombas, tanques, mesas vibratoras, desarenador, etc. en los días siguientes, completándose la fase de 12 1/4" con la colocación de la tubería de revestimiento de 9 5/8" el 4 de Marzo.

Se realizaron las siguientes operaciones, del 27 de Febrero al 31 de Marzo de 1993:

- Perforación	12 1/4"	0 - 68 m	27 Feb. - 2 Mar.
- Entubación/ cementación	9 5/8"	0 - 67 m	2 Mar. - 4 Mar.
- Perforación	8 1/2"	68 - 574 m	4 Mar. - 24 Mar.
- Toma de testigos	4"	574 - 610,7 m	24 Mar. - 26 Mar.
- Reperforación	8 1/2"	574 - 610,7 m	26 Mar.
- Toma de testigos	4"	610,7- 623,2 m	27 Mar.
- Reperforación	8 1/2"	610,7- 623,2 m	29 Mar.
- Perforación	8 1/2"	623,2- 624,2 m	29 Mar.
- Testificación geofísica		hasta 624,2 m	29 Mar. - 30 Mar.
- Cementación del pozo		hasta 19,5 m	30 Mar. - 31 Mar.

La Tabla I recoge la distribución de tiempos para las distintas operaciones realizadas.

UGE dejó en manos de la compañía perforadora el control de los lodos en base a las especificaciones e información recibidas de la compañía de lodos durante la perforación del pozo de exploración ET2. Se utilizaron diferentes lodos para cada una de las dos fases:

- Fase 12 1/4":	lodo simple bentonítico	
- Fase 8 1/2":	lodo con Bentonita, CMC (de alta y baja viscosidad), sosa caústica y Spersene, cuyas propiedades iniciales fueron:	
	densidad:	1,07 kg/l
	viscosidad de embudo	36 - 38 s
	filtrado	7,5 - 9 cm ³ /30 min
	pH	8,5 - 9

Durante la perforación no se produjeron importantes cambios en estas propiedades a excepción de un aumento de la densidad a 1,12 - 1,14 kg/l en las últimas etapas de la fase de 8 1/2" que fue atribuido a incorporación de arcillas de la formación al lodo. Se intentó controlar este aumento de densidad mediante frecuentes vertidos y cambio de los lodos. El contenido de arena en el lodo se mantuvo entre 0,4 - 0,5 %.

Se midió la desviación del pozo con respecto a la vertical durante la perforación mediante TOTCO, dándose valores entre 0,25 - 1°, siendo

la inclinación en el último punto de medición a los 623 m de 0,75°. Posteriormente durante la testificación geofísica la herramienta Dipmeter SHDT arrojó valores de inclinación con respecto a la vertical superiores a los obtenidos durante la perforación, entre 0,75 - 1,8°, presentando la desviación un azimut de 350 - 360° (Norte - Noroeste).

Tres hechos significativos se dieron durante la perforación del sondeo de exploración ET3:

- Durante las maniobras se necesitó sobretiro en algunas secciones del pozo, en algunas ocasiones.
- Se detectó un flujo de agua al interior del pozo durante una maniobra de bajada el día 21 de perforación (29 de Marzo), un día antes de alcanzar la profundidad final, durante la toma de testigos en las calizas del Jurásico. No fue posible hacer una estimación de la cantidad de agua recibida en el pozo.
- Se obtuvo una mala calidad en cuanto al diámetro del sondeo en la parte baja del Terciario, alcanzándose 12" en varias zonas. Como consecuencia de esto, y tras la mala lectura de la tensión del cable durante la bajada de la sonda SHDT, se decidió no continuar con la testificación geofísica. Así pues no se corrieron las herramientas LDL - CNL (Litho-Density Log - Compendated Neutron Log) debido al riesgo existente de agarres en las zonas con grandes cavidades. La información obtenida mediante la diagrafía Dipmeter SHDT, que incluye una lectura de rayos gamma, fue suficiente para identificar y correlacionar las capas de carbón y las litologías adyacentes.

2.3 INTERPRETACIÓN

2.3.1 Litología (a partir de los ripios, testigos y testificación geofísica)

Las distintas litologías cortadas por el sondeo ET3 fueron (ver Figuras 2a y 2b):

- Terciario (0 - 441 m). Zona compuesta por arcillas, conglomerados, margas y arenas. Las arenas presentan buena porosidad. En toda esta sección el calibre es bastante mayor que el diámetro de perforación (8,5"), siendo el diámetro medio 10" y alcanzándose diámetros superiores a 12" entre los 350 -410 m. La única excepción son las áreas arenosas donde el calibre se mantuvo entre 8,5" y 9". Con las dos lecturas del calibre obtenidas se puso de manifiesto la excentricidad del pozo, llegando a darse diferencias de hasta 2" entre ambos. Las partes arcillosas presentan una emisión de rayos gamma entre 60 - 90 API observándose un pico de 109 API a los 350 m. La radiación natural registrada en las arenas es de 20 - 40 API.

- Cretácico (Cenomanense) (441 - 472 m). Esta formado por margas impermeables rojas-marrones y abigarradas (rojas, grises, amarillas...), por algunas arcillas rojas y blancas y una capa de 2,5 - 3 m de calcarenita. La velocidad de penetración en esta zona es muy lenta. La parte superior presenta intercalaciones arcillosas que se caracterizan por un brusco descenso de la resistividad junto con un incremento de la emisión de rayos gamma (máx. 93 API a 446 m). Esta sección no muestra cavidades indicando el calibre un diámetro similar al de perforación (< 9").
- Cretácico (Albense/Aptense) (472 -608,3 m). La parte superior de esta zona esta compuesta por arenas y arcillas en facies Utrillas. Las áreas arcillosas son las más importantes y separan los niveles arenosos como acuíferos independientes. La parte inferior está formada por las dos capas de carbón separadas por un paquete de caliza impermeable, constituyendo la Formación Val de la Piedra. Para un análisis más detallado esta zona puede subdividirse en las siguientes subzonas:
 - Subzona A (472 - 488 m). En su parte superior presenta dos importantes paquetes arcillosos separados por un nivel arenoso. Su parte inferior es una transición hacia la arena de la subzona B, mostrando valores intermedios de emisión de rayos gamma. Los dos paquetes de arcilla de la parte superior presentan un calibre de $\pm 8''$, inferior al diámetro de perforación (8,5"), probablemente debido a la alta capacidad de hinchamiento de la arcilla, posiblemente de composición esmectítica (montmorillonita).
 - Subzona B (488 - 492 m). Compuesta por las arenas más limpias del Cretácico, presentan una alta permeabilidad y baja emisión de rayos gamma (11 - 33 API).
 - Subzona C (492 - 514 m). Sus partes superior y media están formadas por arenas arcillosas - arcillas arenosas con una emisión media de rayos gamma. La presencia de un revoque ("cake") de hasta 0,23" en diferentes puntos indica una permeabilidad media-alta. La parte inferior está compuesta por arcillas con un máximo de radiación natural de 395 API a los 510 m.
 - Subzona D (514 - 549 m). Principalmente arenosa, algo arcillosa en su parte superior hasta los 526 m. Su parte inferior está formada por arenas finas-limos. Prácticamente toda la sección se caracteriza por la presencia de un potente revoque ("cake"), entre 0,25" y 0,5", lo que indica su alta permeabilidad.
 - Subzona E (549 - 574 m). Está formada por arcillas que presentan altos valores de emisión de rayos gamma (125 - 140 API), apareciendo un máximo de radiación de 318 API a los 566,5 m. El calibre muestra importantes cambios en el diámetro del pozo, variando desde 10" en partes con cavidades a 7,3". Esta gran capacidad de hinchamiento de la arcilla no había sido

observada en los anteriores sondeos de exploración ET1 y ET2, y podría ser explicado por un cambio en la composición de la arcilla, siendo en esta parte de ET3 más esmectítica (montmorillonita).

- Subzona F (574 - 587,6 m). Formada principalmente por arenas arcillosas, constituye el techo de la capa superior de carbón. La parte superior es más arcillosa, mostrando unos valores de rayos gamma entre 68 y 105 API. La parte inferior presenta valores más bajos de radiación natural e inclusiones de carbón. De acuerdo con el calibre se evidencia, como en ET1 y ET2, una disminución del diámetro ($\pm 7,6''$) en las inmediaciones del techo de la capa de carbón.
- Subzona G (587,6 - 590,3 m). Corresponde a la capa superior de carbón de la Formación Val de la Piedra. La potencia aparente de la capa es de 2,7 m, 1,2 m menos potente que en ET1 y 0,3 m más potente que en ET2, indicando una fuerte acción erosiva de los paleocanales en el techo de la capa. El carbón está bien consolidado no existiendo indicios de fracturas, y es de buena calidad (bajo contenido de cenizas). La Tabla II recoge los datos de la testificación geofísica de la capa superior de carbón y de las litologías a muro y techo de ésta. Esta capa, como ya ocurría en ET1 y ET2, presenta un máximo de emisión de radiación natural en su parte inferior.
- Subzona H (590,3 - 590,7 m). Constituye la base inmediata de la capa de carbón y está compuesta por una arcilla carbonosa negra con suelo de vegetación que presenta valores de emisión de rayos gamma más bajos que el carbón situado inmediatamente a techo de ésta.
- Subzona I (590,7 - 602,5 m). Formada por caliza gris ocasionalmente margosa que progresivamente hacia muro se transforma en una lutita/limolita calcárea carbonosa. Las inclusiones carbonosas que ya aparecen a techo se intensifican a muro, llegando a dar un bandeado en algunos tramos. Desde los 600 m los valores de emisión de rayos gamma son mínimos (6 - 10 API), y los valores de resistividad muy altos. La gran continuidad de las curvas de rayos gamma y resistividad, así como los valores que muestran, indican una gran homogeneidad y una muy baja permeabilidad de la caliza. La lutita/limolita calcárea carbonosa a techo de la capa inferior presenta un aumento de la emisión de rayos gamma con un máximo de 42 API a los 601 m. En esta misma sección el diámetro del sondeo es mayor (9,5").
- Subzona J (602,5 - 607,7 m). Corresponde a la capa inferior de carbón de la Formación Val de la Piedra. La calidad del carbón en esta capa se ha deteriorado, habiéndose transformado éste en una lutita/limolita muy carbonosa con un porcentaje de cenizas de 40 - 45 %. La Tabla III recoge los resultados obtenidos mediante la testificación geofísica.

- Subzona K (607,7 - 608,3 m). Formada por una arcilla carbonosa negra con raíces, constituye la base del Albense/Aptense. Presenta una emisión de rayos gamma menor que la mostrada por la lutita/limolita carbonosa a techo.
- Jurásico (608,3 - 624,2 m). Compuesto por calizas grises recristalizadas que presentan una importante red de fracturas con relleno de arcilla negra. La densidad de fracturación disminuye en profundidad, pero están todavía presentes a la profundidad final. Estas fracturas quedan reflejadas en el registro de resistividad mediante saltos bruscos. Otra particularidad encontrada en esta sección el anormalmente alto valor de emisión de rayos gamma que puede ser explicado por la gran cantidad de arcilla presente en el relleno de las fracturas.

2.3.2 Dipmeter

Como en los anteriores sondeos de exploración los resultados de la diagráfia Dipmeter SHDT fueron procesados en el centro de computación de SCHLUMBERGER con el programa de correlación básica "Mean Square Dip" (MSD). Los resultados son utilizados para interpretar buzamientos estructurales y azimuts y para detectar posibles anomalías y discontinuidades estructurales y/o estratigráficas en las formaciones atravesadas: Terciario, Cretácico y Jurásico.

Terciario

En general los buzamientos medidos por el Dipmeter son casi constantes con las excepción de algunas secciones que presentan una gran dispersión y consecuentemente muy poca fiabilidad. Algunos de los buzamientos estructurales medidos en el Terciario son:

Profundidad (m)	Buzamiento (°)	Azimut (°)
85	30,4	N168W
171	29,7	N170W
222	30,2	N161W
271	30,7	N177W

La posible presencia de fracturas de pequeña magnitud dentro del Terciario no es detectada por el Dipmeter. Por otra parte el estudio combinado de rayos gamma, Dipmeter y resistividad ha permitido el reconocimiento de distintos modelos de sedimentación en el Terciario. Por ejemplo entre los 96 y los 122 m se reconocen cinco rellenos de canal superpuestos correspondientes probablemente a periodos de avenida y encajamiento de un río. Este tipo de sedimentación continental es muy frecuente a lo largo de toda la columna del Terciario,

reconociéndose otros depósitos semejantes entre 207 y 222 m, entre 285 y 315 m y entre 355 y 373 m.

Cretácico

La interpretación de los buzamientos estructurales en el Cretácico es menos clara debido a la influencia de la estratificación cruzada.

El estudio estadístico de los resultados obtenidos mediante el MSD se presentan en la Tabla IV donde se puede apreciar la gran dispersión de los datos existente. En los materiales del Cenomanense el buzamiento estructural es de aproximadamente 30°. En el Albense/Aptense se da una sedimentación de lagoom y canales dándose cambios bruscos en la sedimentación y aparición de estratificación cruzada lo que provoca la gran dispersión de los ángulos encontrada. Aparecen buzamientos al SO, al SE, éstos valores no reflejan el buzamiento estructural sino estructuras deposicionales. Se dan valores de buzamiento muy por encima y muy por debajo del buzamiento estructural que aquí es de 30° - 35°. Algunos de los buzamientos estructurales reconocidos en el Cretácico son:

	Profundidad (m)	Buzamiento (°)	Azimut (°)
Cenomanense	443	28,1	N177W
	445	29,4	N182W
Albense/Aptense	476	30,3	N175W
	541	35,3	N179W
	570	32,0	N183W

Jurásico

El estudio estadístico del buzamiento estructural medio arroja un valor de 14,6°, existiendo una gran dispersión de los valores. Este valor es mucho menor que el buzamiento estructural medido en los anteriores sondeos de exploración en estos mismos materiales. Este resultado anómalo puede ser debido a la importante fracturación presente en esta zona, y por lo tanto este valor obtenido no puede considerarse como representativo.

3. CARACTERIZACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

3.1 CORRELACIÓN ENTRE ET1, ET2 Y ET3 (ver Figura 3)

La comparación de la sección que incluye la capa de carbón en los tres sondeos de exploración ET1, ET2 y ET3 se puede resumir de la siguiente forma:

Arena arcillosa a techo

Potencia aparente = 14,0 m (ET1), 12,6 m (ET2), 13,6 m (ET3).

Presenta un contacto erosivo (neto) con el carbón en los tres sondeos, siendo la acción erosiva más acentuada en ET2. Es también común la aparición de fragmentos de carbón dentro de la arena en la zonas más próximas al techo de la capa.

Capa superior de carbón

Potencia aparente = 3,9 m (ET1), 2,4 m (ET2), 2,7 m (ET3).

Es un carbón de buena calidad con bajo contenido en cenizas (< 16 %) en los tres sondeos, bien consolidado sin presencia de fracturas. Se da una buena continuidad de la capa de carbón entre los tres pozos (medida en la base de la capa / techo de la caliza intermedia).

Caliza intermedia incluyendo al arcilla carbonosa de la base de la capa superior y la lutita/limolita carbonosa del techo de la capa inferior

Potencia aparente = 8,3 m (ET1), 11,8 m (ET2), 12,2 m (ET3).

Aparece la misma arcilla carbonosa en la base de la capa superior, con una potencia aparente que oscila entre 20 y 60 cm., en los tres sondeos. La caliza compacta con characeas e inclusiones carbonosas también se encuentra en todos los sondeos. La caliza gris de la parte superior de esta zona cambia en profundidad, hacia el techo de la capa inferior de carbón, progresivamente a lutita/limolita calcárea carbonosa. La potencia de la caliza intermedia aumenta ligeramente hacia el Sur, de ET1 → ET2 → ET3.

Capa inferior de carbón

Potencia aparente = 3,6 m (ET1), 4,5 m (ET2), 5,2 m (ET3).

Carbón de buena calidad con bajo contenido en cenizas (< 14 %) en los sondeos ET1 y ET2. En ET3 la calidad se deteriora habiéndose transformado el carbón en una lutita/limolita muy carbonosa con un contenido de cenizas de 36 - 42 %. Existe también una buena continuidad de la capa entre los tres sondeos pero dando un ángulo de buzamiento un poco mayor que en el caso de la capa superior.

Arcilla (Albense) / caliza (Jurásico) de base

En ET1 la capa de carbón yace directamente sobre la caliza jurásica (posible falla ?). En ET2 y ET3 un nivel de arcilla carbonosa separa el carbón de la caliza, constituyendo la base del Albense. La caliza jurásica está muy fracturada en todos los sondeos, presentando éstas un relleno de arcilla negra-gris.

Con el objeto de realizar una correlación triangular entre los tres sondeos de exploración se encargó a la compañía SCHLUMBERGER el procesado de los datos obtenidos con el Dipmeter para conocer las trayectorias de los tres sondeos. En base a estas trayectorias y a la interpretación litológica se obtuvieron las siguientes coordenadas, utilizadas posteriormente para el cálculo geométrico del plano correspondiente al techo de la caliza intermedia (muro de la capa superior de carbón), asumido éste como el mejor nivel guía:

Techo de la caliza intermedia (muro de la capa superior de carbón) - coordenadas UTM

	ET1 (m)	ET2 (m)	ET3 (m)
X	718558,3	718585,0	718547,3
Y	4532666,5	4532610,0	4532588,3
Z	120,6	88,0	73,5

El plano definido por estas coordenadas presenta un buzamiento de $30^{\circ} 51'$ y un ázimut de 184° con respecto al Norte UTM. Estos valores están de acuerdo con lo esperado a partir del conocimiento de la disposición general del depósito y lo que confirma la hipótesis de una no fracturación de la capa superior en la zona comprendida entre los tres sondeos. Además el buzamiento está en consonancia con los buzamientos medios calculados a partir del Dipmeter SHDT para el Albense ($31,56^{\circ}$ - ET1, $33,23^{\circ}$ - ET2 y $32,65^{\circ}$ - ET3).

3.2 ANÁLISIS DEL CARBÓN

El carbón obtenido mediante testigos en los tres sondeos de exploración fue enviado al INSTITUTO DE CARBOQUÍMICA (ZARAGOZA) para su análisis. Los valores medios de los análisis inmediato, elemental y de tipos de azufre están recogidos en las Tablas V - X. Los valores medios han sido calculados en peso de acuerdo con el número de metros representados.

Los resultados muestran que el carbón es de excelente calidad y su rango es clase Subbituminoso C según la norma de la ASTM. La cantidad de agua presente es muy alta, lo que eleva el rango del carbón casi a la categoría de lignito.

Se aprecia también en los análisis que el contenido de hidrógeno es relativamente bajo y el de azufre orgánico muy alto. Estas características del carbón de Teruel son probablemente únicas en el mundo, situándolo fuera del rango normal para este tipo de carbón.

El contenido de azufre en forma de pirita en el sondeo ET3 es significativamente más alto que el encontrado en los sondeos ET1 y

ET2, mostrando una distribución poco uniforme de las inclusiones piríticas dentro de la capa de carbón.

3.3 SELECCIÓN DE LA CAPA DE CARBÓN

Los resultados obtenidos mediante la perforación del tercer sondeo de exploración ET3 esclarecen substancialmente las incertidumbres todavía presentes tras la ejecución de ET2:

- Buena continuidad de las dos capas de carbón entre los tres sondeos de exploración, confirmando la no existencia de fallas en la zona a gasificar.
- La acción erosiva de los paleocanales sobre la capa superior de carbón decrece en ET3, produciéndose un incremento de la potencia de carbón de 0,3 m con respecto a ET2, estimándose así una potencia real media de la capa superior de 2,6 m.
- Se confirma un buzamiento de la capa superior de carbón de $\approx 31^\circ$, definido éste para el techo de la caliza intermedia en los sondeos ET1, ET2 y ET3.
- En la capa inferior el carbón se ha transformado en una lutita/limolita muy carbonosa manteniendo parte de su poder calorífico.

La información obtenida de los análisis geométricos y del carbón concluyen en que la capa superior es la que ofrece mejores condiciones para la perforación dentro de la capa y para el proceso de gasificación es si. La capa superior ha sido por lo tanto elegida como objetivo para el sondeo desviado de inyección; la sección en capa vendrá definida por el buzamiento y azimut obtenido de los tres sondeos de exploración, situándose el sondeo 50 cm. por encima del techo de la caliza intermedia (en la interfase entre la arcilla carbonosa situada sobre la caliza y el carbón).

4. INGENIERÍA

4.1 SONDEOS

El proyecto de Gasificación Subterránea de Carbón que se lleva a cabo en la reserva lignitífera de "El Tremedal" comprende dos principales campos de actividad. El primero abarca la perforación y equipamiento de los pozos necesarios para el proceso; el segundo comprende el diseño y obtención del equipo necesario para la construcción de un circuito de flujo a través de la capa de carbón entre los pozos perforados y la puesta en funcionamiento del gasificador subterráneo.

Para preparar la ingeniería básica de estas dos actividades en paralelo se preparó en los primeros días de un documento que describe en detalle (i) las funciones de los pozos del proceso y su interrelación con la planta de superficie, y (ii) las fases del proceso. Este documento se presenta en los Apéndices A y B.

Los sondeos de proceso que han de ser perforados son el pozo desviado de inyección [IW1(ET4)], pozo de producción [RW(ET5)] y pozo de inyección transversal [IW2(ET6)]. Además de estos tres pozos, los pozos de exploración ET1 y ET2 serán adaptados mediante reacondicionamiento para ser utilizados como pozos de control (monitores) [MW1(ET1) y MW2(ET2)].

La perforación y equipamiento del sondeo desviado de inyección es clave para el desarrollo del proyecto y será perforado antes que el resto de los sondeos y antes del inicio de la preparación y construcción de la planta de superficie.

4.1.1 Sondeo Desviado de Inyección [IW1(ET4)] - Programa de Perforación

La trayectoria y los programas de perforación y cementación para este sondeo han sido terminados. Siguiendo el asesoramiento de las compañías de perforación direccional el sondeo se perforará en diámetros estándar para la industria del petróleo con el fin de aprovechar la familiaridad que estas compañías tienen en el uso de motores de fondo y varillajes (DHM/BHA) convencionales, y para minimizar las dificultades de abastecimiento de tuberías y otros componentes.

El ángulo de curvatura será aproximadamente de $12,5^\circ / 100 \text{ ft}$ ($\approx 140 \text{ m}$ de radio). Las potenciales dificultades en la inserción de la tubería de revestimiento de $9 \frac{5}{8}$ " en esta sección desviada en el Albense y la estabilidad del pozo en el carbón están cubiertas por programas de entubación y perforación de emergencia.

Se adquirió terreno para la puesta en marcha del proyecto en base a un radio de curvatura de 100 m y un ángulo de curvatura de $17,4^\circ / 100 \text{ ft}$ para el sondeo desviado de inyección, por lo que al cambiar estos valores fue necesario arrendar una pequeña parcela adicional para la colocación del equipo de perforación.

El programa previsto de perforación puede resumirse como sigue:

- Comenzar la perforación vertical en $17 \frac{1}{2}$ " hasta aproximadamente los 60 m (por debajo del nivel freático), colocando una tubería de revestimiento de superficie de $13 \frac{3}{8}$ " cementada hasta la superficie. Se continuará la perforación vertical en $8 \frac{1}{2}$ " hasta aproximadamente los 405 m (punto de desviación - KOP) donde

comenzará la sección desviada hasta alcanzar una inclinación de 59° en la parte inferior de la capa superior de carbón, constituyendo este punto el primer objetivo dentro de la capa. Posteriormente se ensanchará el pozo de 8 1/2" a 12 1/4" antes de la colocación y cementación de la tubería de revestimiento de 9 5/8" a los 560 m perforados.

- Tras la entubación se perforará en 8 1/2" de forma dirigida manteniendo el pozo a 50 cm. del muro de la capa (con una inclinación de aproximadamente 59°) y a lo largo de 100 m . Cuatro objetivos más han de ser alcanzados a 10, 40, 70 y 100 m a lo largo de la sección en capa (el futuro CRIP).
- Al término de la perforación será instalada una tubería de 7" / 6 5/8" con la instrumentación (cable encapsulado sujeto al exterior de la tubería por flejes) desde el fondo hasta la superficie.
- En el caso de imposibilidad de bajar la tubería de revestimiento de 9 5/8" a la profundidad prevista, ésta será colocada en el punto más bajo posible para a continuación bajar una tubería de revestimiento adicional de 7" hasta el punto previsto inicialmente donde será cementada. En esta caso la sección en capa sería perforada en 6" para colocar posteriormente una tubería de 4 1/2" con la instrumentación.
- En el caso en la tubería de 7" / 6 5/8" con la instrumentación quedara atrapada en la capa de carbón antes de alcanzar la profundidad final, ésta se bajaría hasta el punto más bajo posible colocándose posteriormente una tubería adicional de 4 1/2" sin instrumentación hasta la profundidad final.

4.1.2 Sondeo Desviado de Inyección [IW1(ET4)] - Petición de ofertas

Las órdenes de compra de tubería, instrumentación y cabeza de pozo ya han sido efectuadas, estando prevista la última entrega para final de Agosto de 1993.

Se han enviado peticiones de oferta para distintos servicios a las siguientes compañías con fecha límite para la recepción de las mismas el 12 de Julio de 1993:

Compañías Perforadoras	British Drilling and Freezing Cofor Foramines Sonpetrol
Compañías de Perforación Direccional y MWD	Anadrill Schlumberger Baker Hughes Inteq Geoservices Directional Scientific Drilling Control Sperry Sun

	Halliburton Drilling Services
Fluidos de Perforación	International Drilling Fluids M-I Drilling Fluids Milpark Drilling Fluids
Triconos	Reed Tool Hughes Christensen Dresser Security Smith International

Se ha contactado con las compañías Halliburton y Dowell-Schlumberger para pedir asesoramiento para la confección del programa de cementación así como para pedir ofertas.

4.1.3 Otros sondeos

El diseño del pozo de producción ha comenzado. Para este pozo el diseño óptimo de entubaciones y aislamientos será establecido en base a los análisis llevados a cabo por la Universidades de "Louvain-la Neuve (Bélgica)" y "Liège (Bélgica)" dentro del programa de colaboración, y en base a potenciales proveedores que determinarán la disponibilidad de materiales y la capacidad de manufacturación.

4.2 PLANTA DE SUPERFICIE

La Fase 1 de la Ingeniería de la Planta de Superficie (Diseño Básico) se contrató con John Brown Sener S.A. en Abril de 1993. El trabajo comprende una revisión y mejora del diseño inicial realizado por UGE, el cual se llevó a cabo con suficiente detalle en cuanto a ingeniería básica de la planta de superficie y equipamiento como para establecer una primera estimación de costes. El conjunto de la ingeniería básica incluirá todos los planos y especificaciones necesarios para comenzar la ingeniería de detalle (balance de masas, PIDs, hojas de datos de proceso, plano de la planta y distribución provisional, lista de especificación de equipo, lista de instrumentación, áreas peligrosas y sistema contra incendios).

Los trabajos finalizarán en Agosto de 1993.

4.3 PROGRAMA DE COLABORACIÓN

Dos proyectos integraban el programa de colaboración con las Universidades de "Louvain-la Neuve (Bélgica)" y "Liège (Bélgica)", éstos ya han sido terminados y los informes recibidos.

Université Catholique de Louvain (Prof. J. Patigny)

Se llevaron a cabo modelos/simulaciones de las pérdidas de calor y cambios de presión para tres distintas configuraciones de pozo de producción (tubería aislante, tubería de revestimiento aislante, sin aislamiento). Las conclusiones del estudio se pueden resumir como sigue:

- Se recomienda la tubería aislante con un valor máximo de conductividad térmica de 0,03 W/mK. Se debe aplicar un cierto margen de seguridad con respecto a las especificaciones para la tubería proporcionadas por el fabricante.
- La condensación de agua dentro del tubo pequeño de escape de gas y líquido productos no puede evitarse durante las fases temporales o de transición. Para la tubería de producción no se garantiza la total ausencia de condensado, especialmente durante las primeras horas/días de las fases de gasificación. Se propone, para la tubería de producción, el uso de una aleación capaz de soportar la corrosión ácida en medio húmedo durante aproximadamente 100 horas, y durante toda la duración de las fases transicionales para el tubo pequeño.
- Es viable el control de la temperatura de la mayor parte de la tubería de producción por debajo de los 350 °C mediante refrigeración por agua.
- Dos áreas de riesgo adicionales quedan por investigar:
 - Temperaturas por encima de los 350 °C en la parte baja de la tubería de producción.
 - Riesgo de flujos dentro de la tubería de producción. Si las condiciones de la refrigeración por agua son adecuadas solo la parte superior de la tubería de producción se verá expuesta a corrosión ácida en medio húmedo.

Université de Liège (Prof. J. P. Pirard)

Cálculo de la distribución de caudales y presiones

Se realizó el cálculo de la distribución de caudales y presiones por el método "Boundary Element Method (BEM) Flow Model" para la fase de final de comunicación y para la fase de retrocombustión/pirólisis asumiendo condiciones bidimensionales, una permeabilidad del carbón constante y una geometría simple. La influencia de la distancia entre pozos, diámetro del pozo, condiciones de flujo, permeabilidad del carbón y presión hidrostática fueron tenidos en cuenta. Este estudio proporciona una información muy útil para el diseño final del equipamiento de la parte baja de los pozos de inyección y producción, y para la especificación de los parámetros del proceso (intervalos de presión y caudal) durante las fases de comunicación final y retrocombustión/pirólisis.

Cálculo de la composición del gas producto. Influencia del azufre
 Se realizó un cálculo de la composición del gas producto mediante el método "Chemical Equilibrium Based Model". Un análisis bibliográfico/teórico de las reacciones en las que participan las diferentes formas de azufre en el proceso de Gasificación Subterránea de Carbón fue llevado a cabo previamente a su introducción en este modelo. Estas reacciones en las que participan las distintas formas de azufre se introdujeron en el modelo de una forma simple: el azufre orgánico reacciona completamente para dar H_2S , las reacciones en las que participan los sulfatos son despreciables y la pirita se descompone en presencia de hidrógeno en FeS y H_2S . El modelo puede ser mejorado/completo mediante experimentación en pirólisis de carbón para determinar el reparto de los compuestos de azufre entre los diferentes productos de la gasificación (gas, líquido/alquitrán, ceniza). Este modelo ha proporcionado una buena indicación de la composición del producto de la gasificación, información muy útil para el diseño del equipamiento para el tratamiento del gas producto y residuos.

5. DIRECCIÓN DEL PROYECTO

5.1 ADMINISTRACIÓN

Se contrataron durante este periodo tres técnicos para la Ingeniería de Instrumentación y Procesos y para Administración, componiéndose el equipo actualmente de 10 personas. No obstante se piensa completar la plantilla con nuevas contrataciones durante la segunda mitad del año. Las principales áreas en las cuales es necesario incrementar el número de técnicos son:

- Ingeniería de procesos (planteamiento de operaciones en las distintas fases del proceso)
- Adquisición de datos (Adquisición, procesado y presentación de datos durante las fases del proceso)
- Ingeniería de campo (coordinación de las actividades de campo, contratistas, seguridad y medio ambiente)

Se ha contactado con gabinetes de arquitectura y construcción para la preparación del segundo piso del edificio en oficinas para principio de Septiembre. El incremento del espacio de oficinas permitirá la contratación de los puestos arriba mencionados.

5.2 PROBLEMAS/DIFICULTADES

Durante el periodo de tiempo que comprende este informe no se dieron dificultades técnicas significativas.

Un aspecto que podría afectar en el futuro al progreso del programa es el dilatado tiempo de entrega (más de cuatro meses) para algunas partes del equipamiento del sondeo desviado de inyección. Esto podría repercutir de forma importante en la duración total del proyecto.

5.3 CAMBIOS EN LA ESTRATEGIA TÉCNICA

El tercer sondeo de exploración ET3 fue perforado para dar respuesta a algunas incertidumbres que quedaron tras la perforación del segundo sondeo de exploración ET2 y que eran de vital importancia para el desarrollo de posteriores actividades. Uno de los principales objetivos era proporcionar información adicional y fiabilidad en cuanto a la continuidad de las dos capas de carbón. Los resultados de la perforación del sondeo fueron considerados suficientes para la selección de la capa superior, que ofrecía las mejores condiciones y disposición para la posterior perforación y gasificación.

5.4 TRABAJOS FUTUROS

El sondeo desviado de inyección, clave para la continuidad del proyecto, será perforado en Septiembre-Octubre de 1993. Todo el equipamiento y materiales necesarios para su ejecución están pedidos, siendo la última entrega a final de Agosto de 1993. Los contratos para la perforación, perforación dirigida y fluidos de perforación serán firmados a principio de Septiembre de 1993.

La Fase 1 de la Ingeniería de la Planta de Superficie (Diseño Básico) se terminará en Agosto de 1993. La Fase 2 de la Ingeniería de la Planta de Superficie (Diseño de Detalle) comenzará después de la perforación y equipamiento del sondeo desviado de inyección.

Trabajos sobre la pirólisis y reactividad del lignito negro de El Tremedal han comenzado en el INSTITUTO DE CARBOQUÍMICA como parte del programa de colaboración.

Los posibles proveedores de tubería en aleaciones especiales para el pozo de producción serán consultados para obtener asesoramiento técnico antes de proceder a la solicitud de ofertas y compra.

5.5 CONFERENCIAS, PUBLICACIONES E INFORMES

- "Informe Geológico y de Perforación del Sondeo Tremedal 3 (67/IN/94/S). Informe interno preparado por C. BARAT y A. OBIS.
- "Modeling heat losses and pressure changes in a recovery well" (UGE ref. 21). Informe preparado por la Universidad de Louvain-la Neuve (Bélgica).

- "Study of the Flows in a Virgin Coal Seam by the Boundary Element Method" (UGE ref. 25).
- Informe preparado por la Universidad de Liège (Bélgica).
- "The role of the Sulphur in the Reactions of Underground Coal Gasification" (UGE ref. 26).
- Informe preparado por la Universidad de Liège (Bélgica).
- "Informe de Análisis Inmediato y Elemental sobre Muestras de Carbón" (11873 a 11886 y 11949 a 11951).
- Informe preparado por el Instituto de Carboquímica, Zaragoza (España)

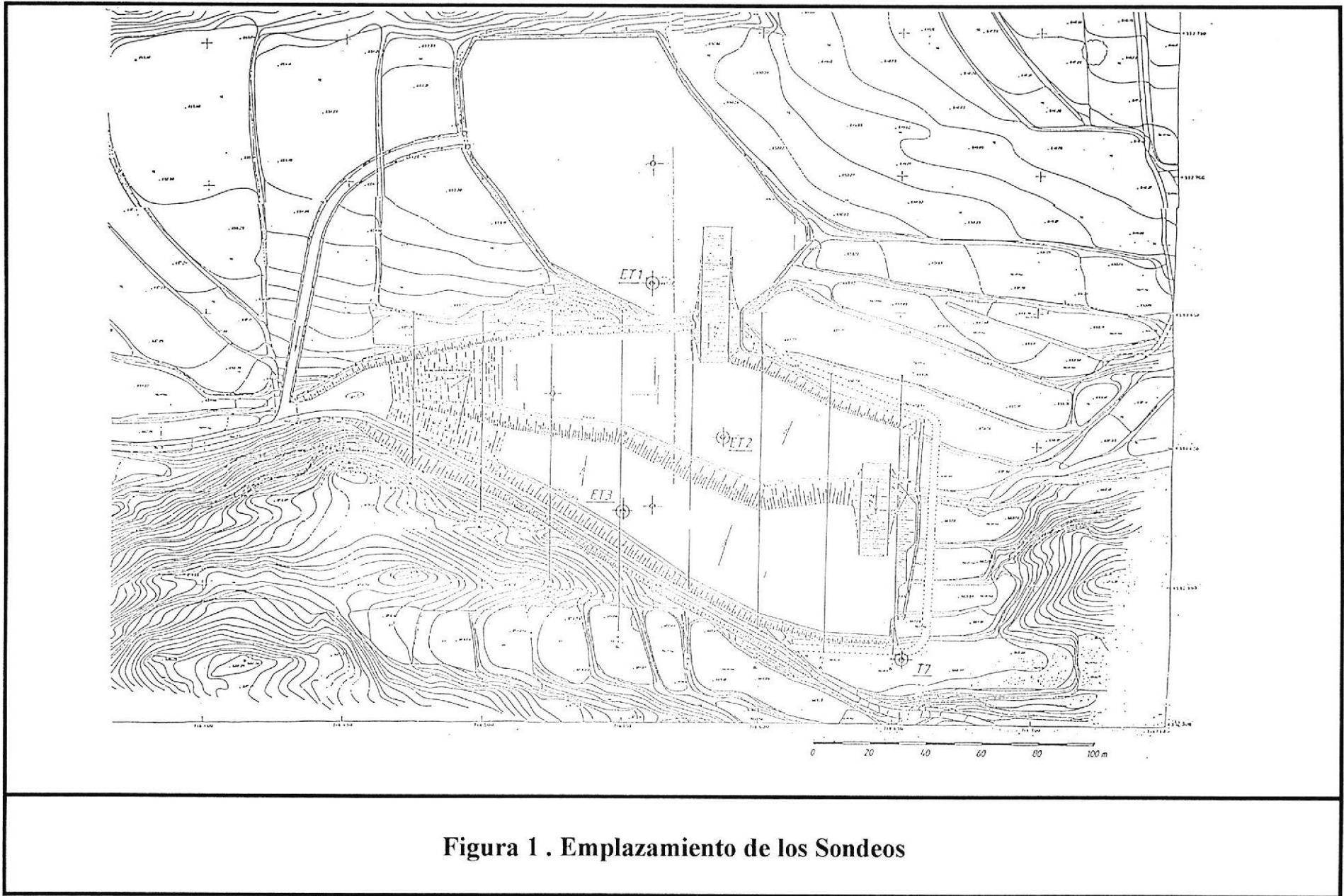
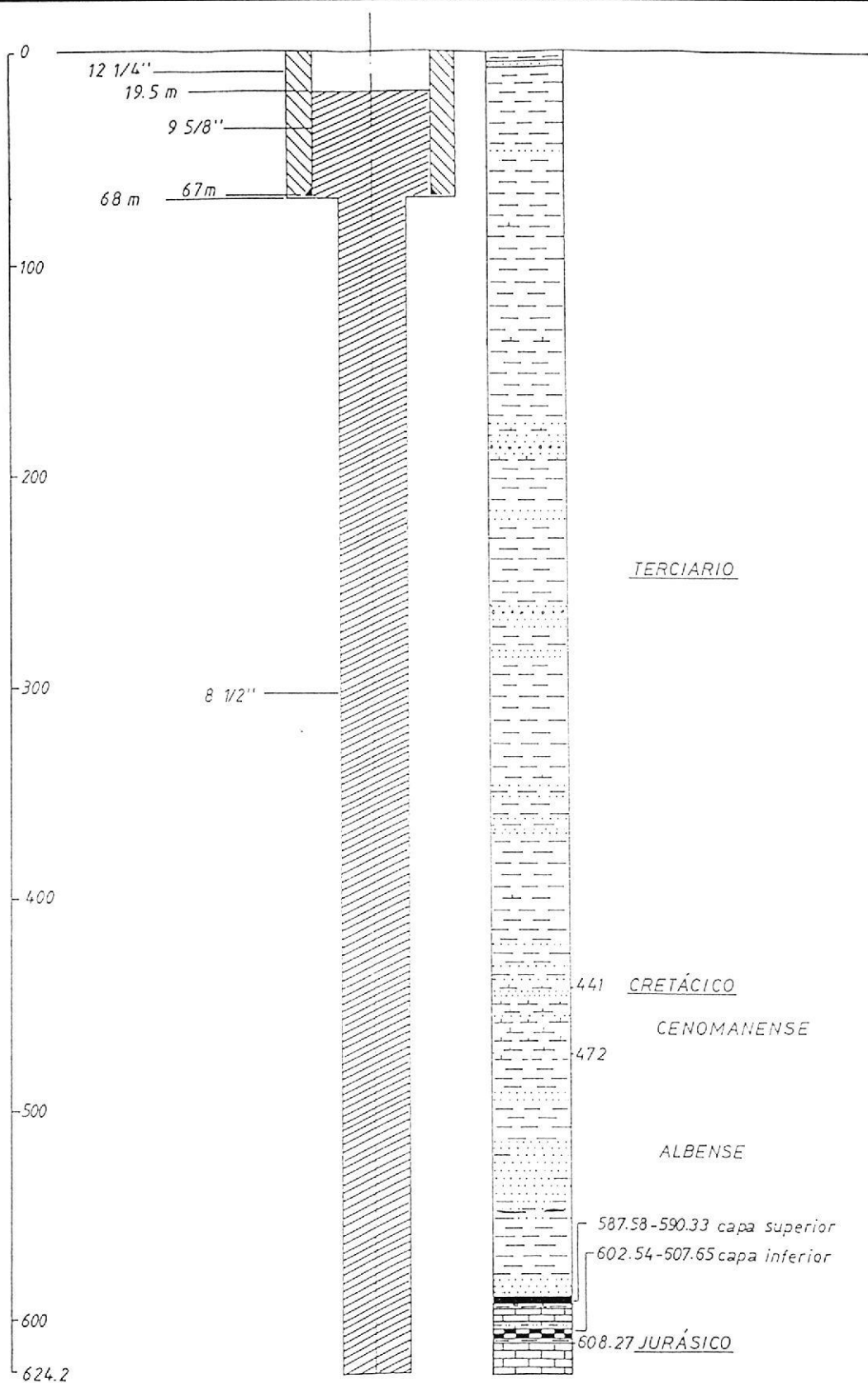
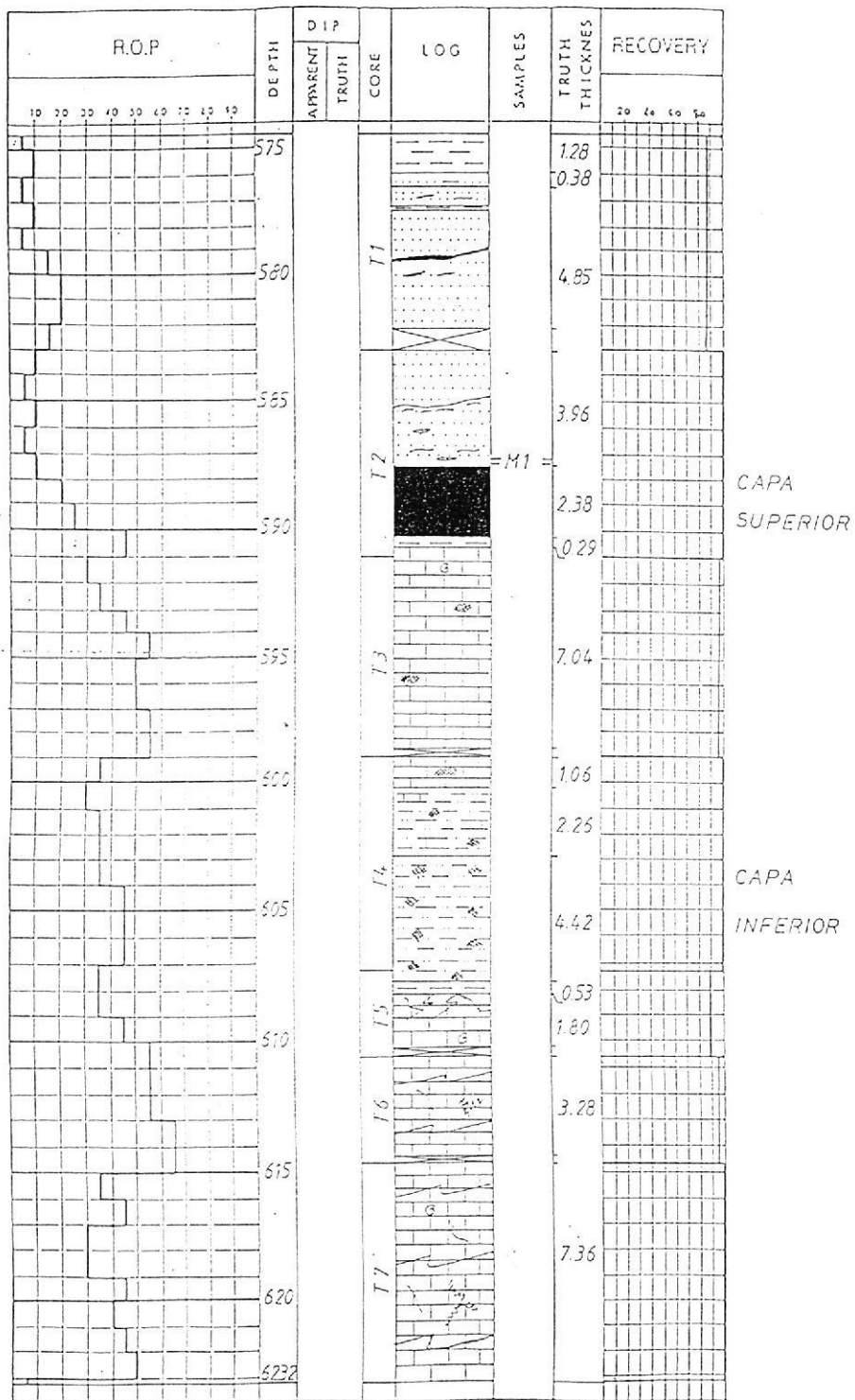


Figura 1 . Emplazamiento de los Sondeos



**Figura 2a . Sondeo ET3 - Equipamiento y Litología
 (Profundidad en metros respecto al nivel del suelo)**



**Figura 2b . Sondeo ET3 - Litología (sección tomada a testigo)
(Profundidad en metros respecto al nivel del suelo)**

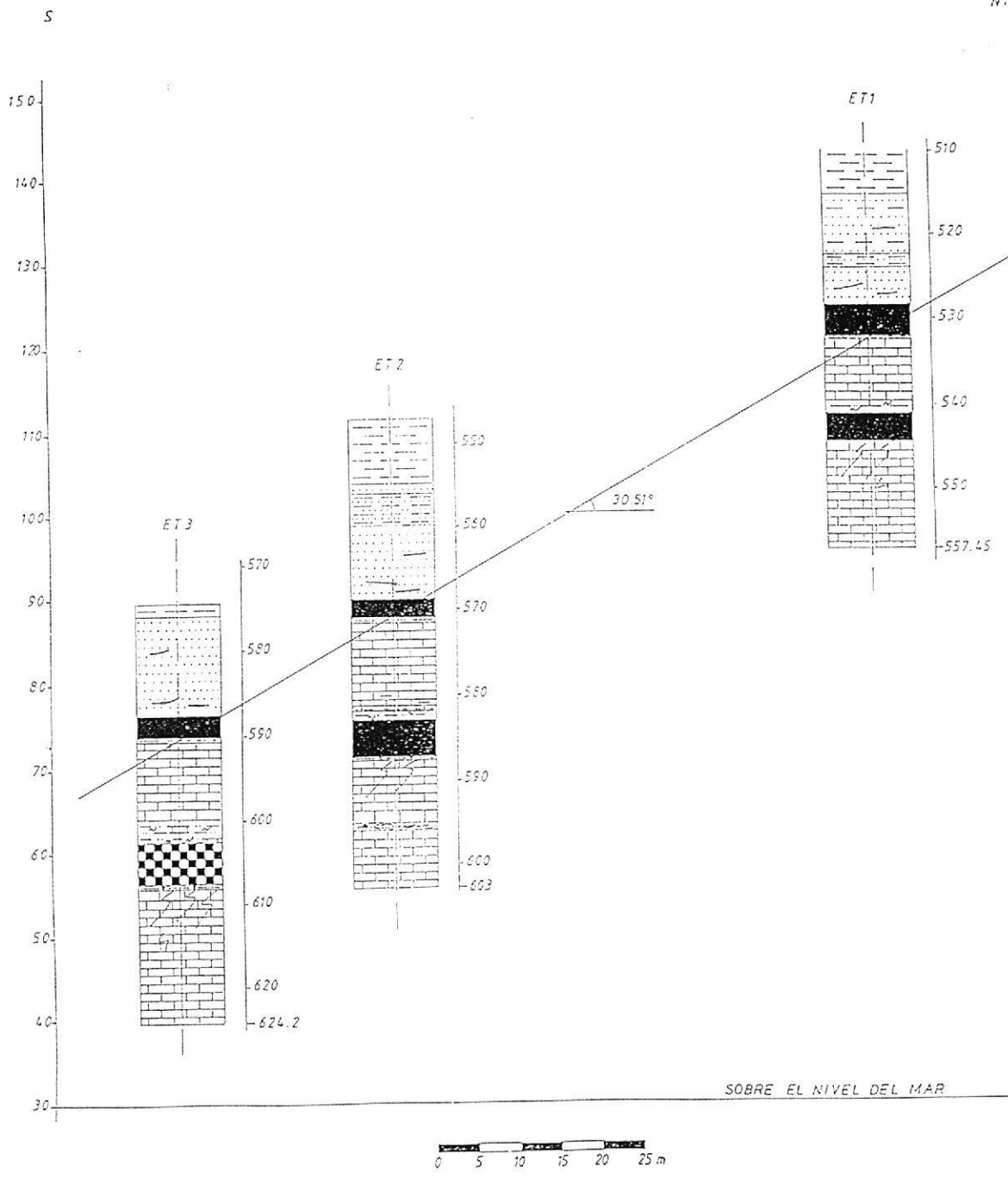


Figura 3 . Comparación de la Sección del Carbón en ET1 - ET2 - ET3

Día	Perforación	Parada/ Mantenimiento	Maniobras + TOTCO	Prep. lodos / Circulación	Entubaciones	Cementación/ Fraguado	Toma de Testigos	Reperforación	Testificación Geofísica	Otras
1	8.00		3.00							1.00
3	18.00		2.00							4.00
4	9.75		4.00	1.00				5.75		3.50
5					3.00	21.00				
6	11.75		1.50	0.50		5.00				5.25
7	16.25		5.25	1.00						1.50
10	18.50		3.00	1.50						1.00
11	18.25		5.25	0.50						
12	19.00		4.25	0.75						
13	22.50		1.25	0.25						
14	15.25		7.00	0.75						1.00
17	15.50	0.75	5.00					1.75		1.00
18	21.00		2.50	0.50						
19	18.50		5.50							
20	15.50		4.75	2.00						1.75
25	15.25		6.50	0.25						2.00
26	1.75		14.25	1.00			4.00			3.00
27			12.00	0.50			11.50			
28			12.50	0.75			2.50	8.25		
29			12.50				10.00			1.50
32	0.75		7.75	2.25				8.00	4.50	0.75
33			2.00			15.00			2.00	5.00
34			1.00			23.00				
Total	245.50	0.75	122.75	13.00	3.00	64.00	28.00	23.75	6.50	32.75

Tabla I . Distribución de Tiempos para las distintas Operaciones en ET3

Profundidad (m)	Rayos Gamma	Litología	Testigo Recuperado %
586.50	60	Arena	100
587.00	51	Arcillosa	"
587.58	25	Carbón	100
587.75	22	"	"
588.00	23	"	"
588.25	34	"	"
588.50	57	"	"
588.75	95	"	"
589.00	139	Carbón	100
589.25	162	"	"
589.50	150	"	"
589.75	104	"	"
590.00	52	"	"
590.25	20	"	"
590.33	18	Carbón	100
590.50	11	Arcilla	100
591.00	12	Carbonosa	"

Tabla II . Datos de Testificación Geofísica de la Capa Superior de Carbón en ET3 (Unidades API)

Profundidad (m)	Rayos Gamma	Litología	Testigo Recuperado %
601.50	33	Lutita/Limolita	100
602.00	30	Carbonosa	"
602.54	50	Lutita/Limolita	100
602.75	52	Carbonosa	"
603.00	50	"	"
603.25	49	"	"
603.50	51	"	"
603.75	53	"	"
604.00	55	"	"
604.25	50	"	"
604.50	49	"	"
604.75	49	"	"
605.00	50	Lutita/Limolita	100
605.25	52	Carbonosa	"
605.50	53	"	"
605.75	55	"	"
606.00	57	"	"
606.25	58	"	"
606.50	61	"	"
606.75	69	"	"
607.00	90	"	"
607.25	100	"	"
607.50	82	"	"
607.65	63	Lutita/Limolita Carbonosa	100
608.00	37	Carbonaceous	100
608.50	51	Clay	"

Tabla III . Datos de Testificación Geofísica de la Capa Inferior de Carbón en ET3 (Unidades API)

Litología		Nº de Datos	Media	Desviación Típica	Mínimo	Máximo
CENOMANENSE	Arcilas/Margas	63	30.4 °	8.6 °	2.7 °	48.2 °
ALBENSE	Arcillas Versicolores + Arena Gris/Negra	232	32.8 °	11.2 °	6.7 °	63.8 °
	Capa Superior de Carbón	6	36.3 °	4.5 °	30.6 °	43.1 °
	Caliza Intermedia	24	32.5 °	7.6 °	4.5 °	44.8 °
	Capa Inferior de Carbón	11	27.0 °	8.6 °	13.0 °	37.1 °

Tabla IV . Estudio Estadístico del Buzamiento Estructural de los Materiales Cretácicos (ET3)

	Humedad Total (% en peso)			Cenizas (% en peso)			Carbono Fijo (% en peso)			Volátiles (% en peso)			Poder Calorífico Superior (kcal/kg)		
	ET1	ET2	ET3	ET1	ET2	ET3	ET1	ET2	ET3	ET1	ET2	ET3	ET1	ET2	ET3
Capa de Carbón	28.1	19.7	18.9	14.7	12.9	15.2	32.5	38.8	36.8	24.7	28.6	29.1	3785	4705	4496
	22.2			14.3			36.0			27.5			4329		
Arcilla Carbonosa	-	18.3	15.1	-	47.4	57.2	-	11.3	11.4	-	23.0	16.3	-	1850	1447
	16.7			52.3			11.4			19.6			1649		
Tabla V . Análisis Inmediato de la Capa Superior de Carbón (como se recibe)															

	Humedad Total (% en peso)			Cenizas (% en peso)			Carbono Fijo (% en peso)			Volátiles (% en peso)			Poder Calorífico Superior (kcal/kg)		
	ET1	ET2	ET3	ET1	ET2	ET3	ET1	ET2	ET3	ET1	ET2	ET3	ET1	ET2	ET3
Lutita/Limolita Carbonosa	17.7	9.5	15.5	40.3	41.4	38.4	15.9	25.9	23.8	26.1	23.2	22.3	2452	3125	3010
	14.2			40.0			21.9			23.9			2862		
Capa de Carbón	26.1	21.4	-	13.3	13.4	-	33.6	37.7	-	27.0	27.5	-	4221	4520	-
	23.8			13.3			35.7			27.2			4371		
Arcilla Carbonosa	-	6.7	8.6	-	75.9	76.2	-	4.6	3.3	-	12.8	11.9	-	645	547
	7.7			76.0			4.0			12.3			596		

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

	C (% en peso)			H (% en peso)			N (% en peso)			S (% en peso)			O (% en peso)			PCS (kcal/kg)		
	ET1	ET2	ET3	ET1	ET2	ET3	ET1	ET2	ET3	ET1	ET2	ET3	ET1	ET2	ET3	ET1	ET2	ET3
Capa de Carbón	70.4	72.4	71.5	4.6	3.7	3.3	0.5	0.6	0.7	6.6	6.5	6.0	17.9	16.8	18.5	6578	6979	6832
	71.4			3.9			0.6			6.4			17.7			6796(6780 *)		
Arcilla Carbonosa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5383	5232
	-			-			-			-			-			5308		
Tabla VII . Análisis Elemental de la Capa Superior de Carbón (seco y libre de cenizas)																		

* PCS_T (Kcal/kg) = 84 C(% en peso) + 277.65 H(% en peso) + 15 N(% en peso) + 25 S(% en peso) - 26.5 O(% en peso) (ref. W. Boie Formula)

	C (% en peso)			H (% en peso)			N (% en peso)			S (% en peso)			O (% en peso)			PCS (kcal/kg)		
	ET1	ET2	ET3	ET1	ET2	ET3	ET1	ET2	ET3	ET1	ET2	ET3	ET1	ET2	ET3	ET1	ET2	ET3
Carbona. Mudstone	65.3	67.5	68.6	4.6	2.9	3.4	0.6	0.7	0.9	-	4.9	4.4	-	24.0	22.7	5765	6370	6542
	67.1			3.6			0.7			4.7			23.9			6226(6131 *)		
Capa de Carbón	74.0	71.2	-	4.7	3.3	-	0.5	0.5	-	5.2	5.6	-	15.6	19.4	-	6958	6911	-
	72.6			4.0			0.5			5.4			17.5			6935(6888 *)		
Arcilla Carbonosa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3718	3590
	-			-			-			-			-			3654		

Tabla VIII . análisis Elemental de la Capa Inferior de Carbón (seco y libre de cenizas)

* PCS_T (kcal/kg) = 84 C(% en peso) + 277.65 H(% en peso) + 15 N(% en peso) + 25 S(% en peso) - 26.5 O(% en peso) (ref. W. Boie Formula)

	Azufre Total (% en peso)			S ^P iritico (% en peso)			S ^S ulfatos (% en peso)			S ^O rgánico (% en peso)		
	ET1	ET2	ET3	ET1	ET2	ET3	ET1	ET2	ET3	ET1	ET2	ET3
Capa de Carbón	7.4	6.9	8.4	2.6	2.4	4.4	0.9	0.1	0.1	3.9	4.4	3.9
	7.6			3.1			0.4			4.1		
Arcilla Carbonosa	-	6.8	5.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	6.3			-			-			-		
Tabla IX . Distribución del Azufre en la Capa Superior de Carbón (como se recibe)												

	Azufre Total (% en peso)			S ^P irítico (% es peso)			S ^S ulfatos (% en peso)			S ^O rgánico (% en peso)		
	ET1	ET2	ET3	ET1	ET2	ET3	ET1	ET2	ET3	ET1	ET2	ET3
Lutita/Limolita Carbonosa	4.1	4.3	4.3	-	1.8	2.2	-	0.1	0.1	-	2.4	2.0
	4.3			2.0			0.1			2.2		
Capa de Carbón	4.5	5.8	-	1.7	2.1	-	0.4	0.2	-	2.4	3.5	-
	5.2			1.9			0.3			3.0		
Arcilla Carbonosa	-	7.0	3.3	-	6.4	3.0	-	0.3	0.1	-	0.3	0.2
	5.2			4.7			0.2			0.3		
Tabla X . Distribución del Azufre en la Capa Inferior de Carbón (como se recibe)												

APÉNDICE A

DISTRIBUCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS POZOS (ENSAYO DE CAMPO DE GSC EN EL TREMEDAL)

Los pozos directamente relacionados con el proceso de Gasificación Subterránea de Carbón son de tres tipos:

- Pozo de inyección (PI)
- Pozo de Recuperación (PR)
- Pozo de Seguimiento (PS)

La figura A-1 muestra la distribución de los pozos.

A) POZOS DE INYECCIÓN

Uno de los objetivos del ensayo es comparar dos procesos diferentes de gasificación. Por esta razón, se perforarán dos pozos de inyección: un pozo de inyección desviado en capa para probar la gasificación en canal combinada con las maniobras de Punto de Inyección Retráctil Controlado ("CRIP"), y un segundo pozo de inyección vertical fuera del eje de la zona previamente gasificada para probar la combustión inversa/pirólisis y proceso de gasificación por filtración.

a) Pozo de inyección desviado en capa [IW1(ET4)]

Este pozo se perforará siguiendo el buzamiento (aprox. 31°) de la capa de carbón, lo más cerca posible del muro de la capa (espesor aprox. 2,5- 3,4 m). La longitud en capa será de 100 m aproximadamente. Este pozo servirá principalmente como pozo de inyección durante la fase de gasificación en canal con maniobra "CRIP" (Fases 5 y 6), utilizándose también como pozo de inyección durante las fases preparatorias (Fases 1a 4) y fase de apagado (Fases 10 y 11). Durante la combustión inversa pirólisis y fase de gasificación por filtración (Fases 7 y 9), el pozo permanecerá en estado de espera.

El pozo se compondrá de los elementos siguientes (ver Figura A-2):

- Tubería 9 5/8" cementada hasta el final de sección desviada.
- Tubería 7-6 5/8" instalada desde la cabeza de pozo hasta el final de la sección en capa. Un lazo de fibra óptica y dos termopares dobles (cuatro puntos de medida) se fijarán con flejes a la parte externa de la tubería.

- Tubo enrollable 1 3/4" prolongado con un tubo de 1.66" y equipado al final con un quemador/cabeza de inyección. Por el interior y el exterior del tubo enrollable/tubo prolongación se conectarán dos líneas de control (macarrones de 6-8 mm) y dos termopares respectivamente.

Esta configuración de pozos implica la siguiente conexión con la planta de superficie:

- Conexión para fluidos
 - Anular tubería de revestimiento /tubería
 - Anular tubería/tubo enrollable
 - Tubo enrollable
 - Primer macarrón (fluido de ignición más combustible)
 - Segundo macarrón (mantenedor de la combustión)
- Conexiones de la instrumentación de fondo de pozo
 - Un lazo de fibra óptica ("CRIP" y control de crecimiento de la cavidad)
 - Cuatro medidas de temperatura a lo largo de la tubería ("CRIP" y control de crecimiento de la cavidad)
 - Dos medidas de temperatura en el extremo del quemador/cabeza de inyección (control de ignición)

b) Pozo transversal de inyección[IW2(ET6)]

Este pozo se perforará en el muro de la capa de carbón a una distancia lateral de 35 m del eje de la sección en capa del pozo de inyección desviado. Este segundo pozo de inyección se utilizará primero para iniciar un proceso de pirólisis inversa/combustión (Fases 7 y 8) desde la cavidad producida en la fase de gasificación en canal

.En segundo lugar, el pozo servirá como pozo de inyección para el proceso de gasificación por filtración(Fase 9). Durante las fases preparatorias(Fases 1 a 4) y las fases gasificación en canal/"CRIP"(Fases 5 y 6), el pozo permanecerá en condiciones de espera. Tras la fase de gasificación por filtración, el pozo se utilizará como pozo de inyección en la fase de cierre(Fases 10 y 11).

El pozo se equipará de los siguientes elementos:

Tubería de revestimiento de 7" desde el techo de la capa de carbón hasta la superficie y una tubería ranurada enfrente de la capa de carbón.

Tubo de 1.66" instalado desde la cabeza del pozo hasta el nivel de la capa de carbón y equipado en el fondo con una cabeza de quemador/injector. Dos líneas de control (macarrones 6-8 mm) y dos termopares que se sujetarán a la parte exterior del tubo.

Esta configuración de pozo necesitará las siguientes conexiones a la planta de superficie:

- Conexión de fluidos
 - Anular tubería de revestimiento/tubo
 - Tubo
 - Primer macarrón(fluido de ignición más combustible)
 - Segundo macarrón(mantenedor de la combustión)
- Conexión de instrumentos de fondo de pozo
 - Dos medidores de temperatura un la punta de la cabeza del quemador/injector(control de inyección)

B) Pozo de recuperación[PR(ET5)]

Este pozo se perforará prácticamente vertical hasta intersectar el final del sondeo desviado en capa de inyección lo más cerca posible(IW1). El pozo de recuperación se utilizará para extraer los productos (agua, productos de la combustión inversa, productos de la gasificación, productos del cierre) durante todas las fases del proyecto(Fases 1 a 10). La única excepción es la fase de ignición(Subfase A)de la fase de unión(Fase 4) donde el pozo de se utilizará como pozo de inyección/ignición.

El pozo se equipará de los siguientes elementos:

- Tubería 10 3/4" de revestimiento cementada desde el techo de la capa hasta la superficie y una tubería colgada ranurada enfrente de la capa de carbón.
- Tubería aislada 7"- 5", incorporando en sus 20-30 últimos metros tubería de acero refractario de 5", instalada desde la superficie hasta el la altura de la capa de carbón. Sujetos a la parte exterior de la tubería aislada/tubería se instalaran un lazo de fibra óptica y tres termopares dobles(seis puntos de medida).
- Tubo de 1.66" instalado desde la cabeza de pozo hasta algunos metros por debajo de la capa de carbón(extracción de agua por aire a presión) equipado con un quemador unos metros por encima de la capa de carbón. En la parte exterior del tubo se sujetarán dos líneas de control(macarrones 6-8 mm) y dos termopares.
- Tubos de agua instalados y conectados en la parte exterior de la tubería aislada/tubería.

Esta configuración del pozo implica las siguientes conexiones con la planta de superficie:

- Conexión de fluidos
 - Anular tubería de revestimiento/tubería aislada
 - Anular tubería aislada/tubo
 - Primer macarrón(fluido de ignición más combustible)
 - Segundo macarrón (mantenedor de la combustión)
 - Tubos de agua

- Conexiones de instrumentación de fondo de pozo
 - Un lazo de fibra óptica
 - Seis medidas de temperatura a lo largo de la tubería aislada/tubería (temperatura y control de enfriamiento con agua del fondo del pozo)
 - Dos medidas de temperatura a la altura del quemador (control de ignición)

C) Sondeos de Seguimiento

Para el seguimiento del proceso de gasificación se perforarán previamente dos sondeos: El primer sondeo de exploración (ET1) está situado cerca del punto en el que el sondeo desviado (ET4) alcanzó el muro de la capa, y el segundo sondeo de exploración (ET2) situada transversalmente a 30 m del primer punto de inyección de la maniobra "CRIP".

a) Sondeo vertical de seguimiento [MW1(ET1)]

El sondeo de exploración ET-1 que está entubado con tubería de 7" se equipará con un tubo de 1,66" con dos termopares dobles (cuatro puntos de medida) sujetos a su superficie externa. El tubo y los termopares se cementarán dentro del pozo (ver figura A-5). Los termopares medirán la temperatura a la altura de la capa de carbón.

Esta configuración de pozos implica las siguientes conexiones con la planta de superficie.

- Conexión de la instrumentación de fondo de pozo.
 - Cuatro medidas de temperatura al nivel de la capa de carbón (control del crecimiento de la cavidad)

b) Sondeo transversal desviado de seguimiento [MW2(ET2)]

Desde el sondeo de exploración ET2 entubado (tubería de 7") y cementado, se perforará una sección desviada de radio pequeño (aprox. 10 -15 m) en la capa de carbón. El sondeo se equipará con un tubo enrollable de 1 3/4" hasta el fondo del mismo. El tubo enrollable llevará en su interior un lazo de fibra óptica y dos termopares dobles (cuatro puntos de medida). Este equipo se cementará en el pozo.

Esta configuración de pozos implica las siguientes conexiones con la planta de superficie.

- Conexiones de instrumentación de fondo de pozo
 - Un lazo de fibra óptica (control de crecimiento de la cavidad)
 - Cuatro medidas de temperatura distribuidas a la largo de la capa (control de crecimiento de la cavidad)

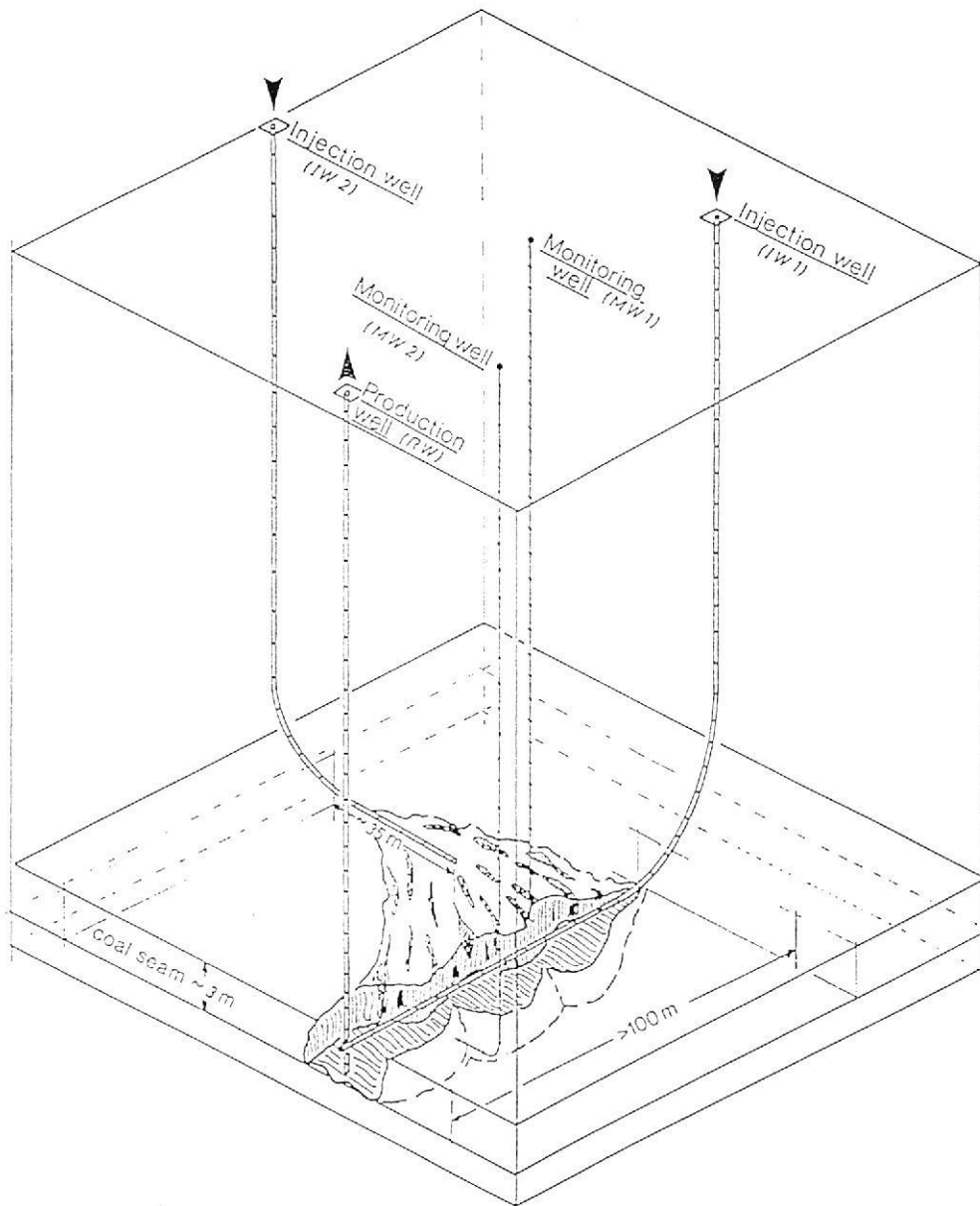


Figura A-1 . Distribución de los Pozos

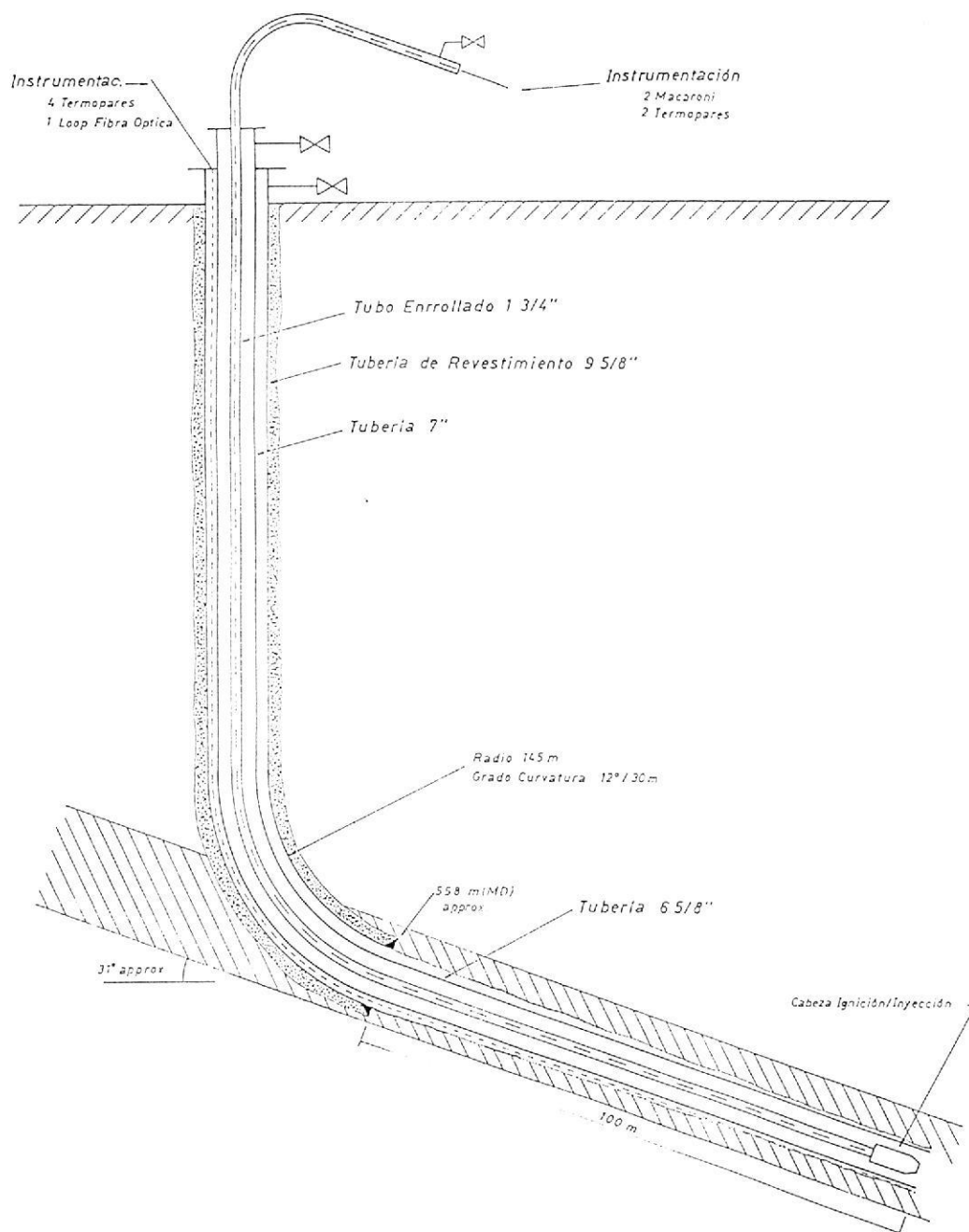


Figura A-2 . Equipamiento del Sondeo Desviado de Inyección (IW1)

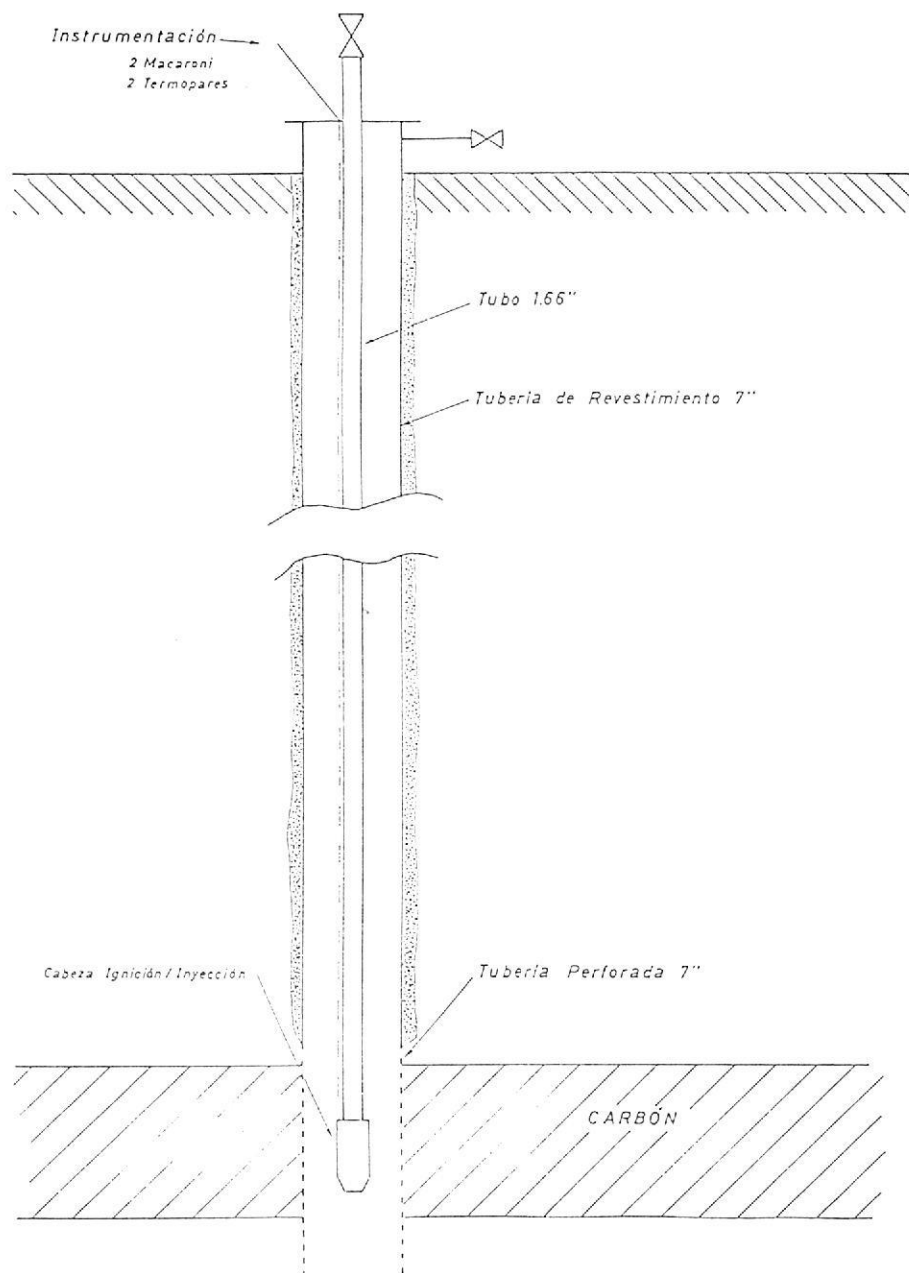


Figura A-3 . Equipamiento del Sondeo de Inyección Vertical (IW2)

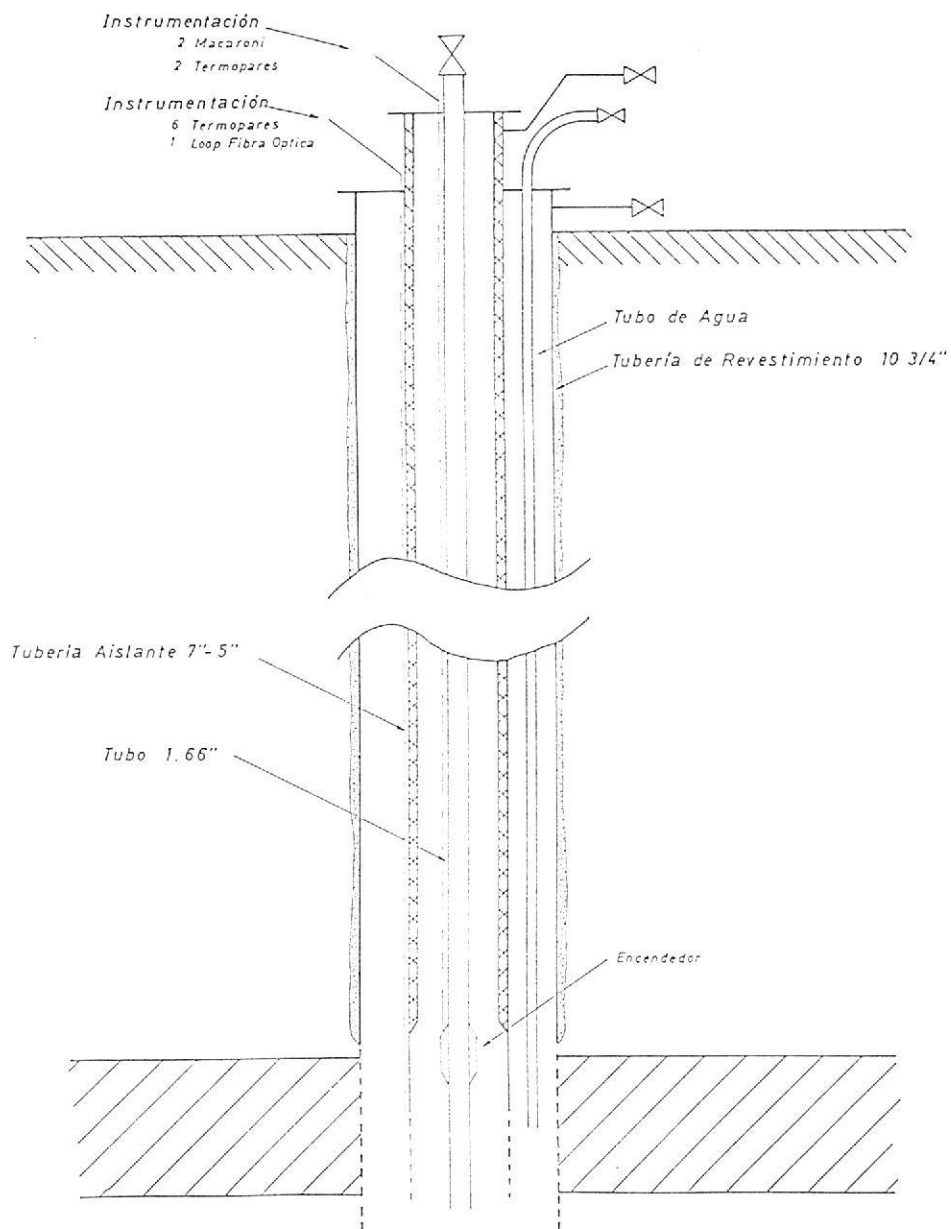


Figura A-4 . Equipamiento del Sondeo de Producción (RW)

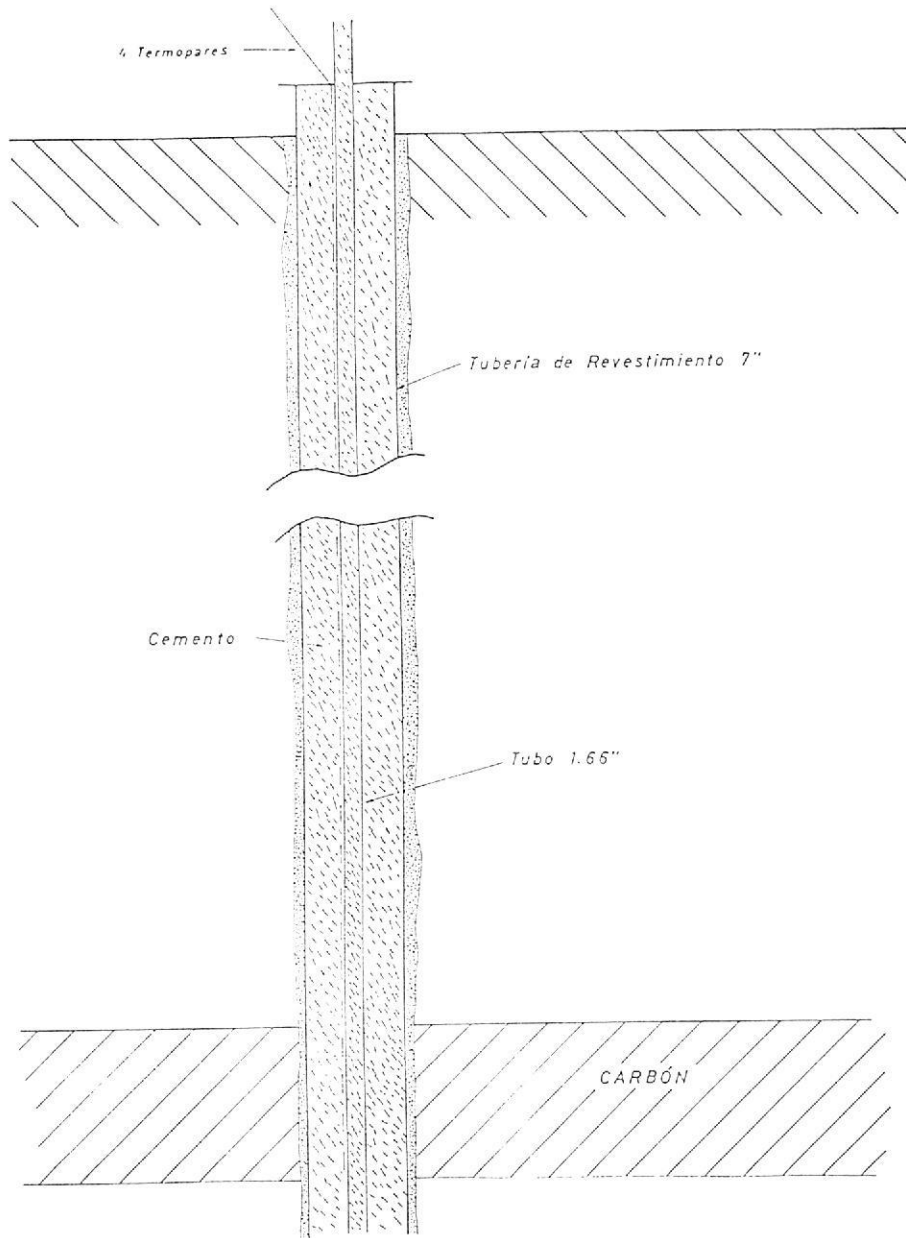


Figura A-5 . Equipamiento del Sondeo Vertical de Control (MW1)

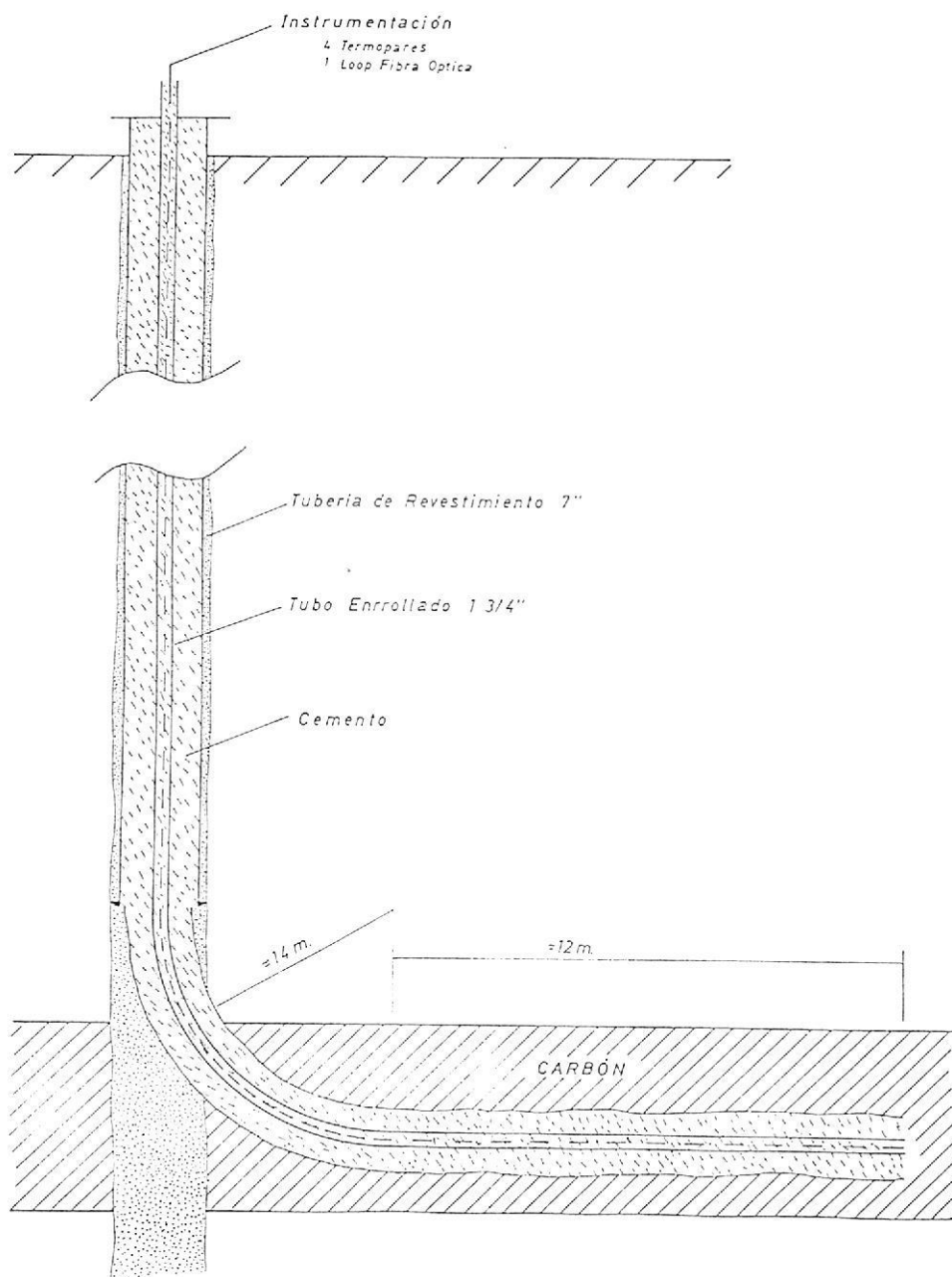


Figura A-6 . Equipamiento del Sondeo Desviado de Control (MW2)

APÉNDICE B

ESTRATEGIA Y DESCRIPCIÓN DE LAS FASES DEL PROCESO

(ENSAYO DE CAMPO DE GSC EN EL TREMEDAL)

A) Estrategia general

Los objetivos del ensayo de campo eran Probar/comparar dos procesos de gasificación (gasificación en canal combinado con maniobra "CRIP" y combustión inversa/pirólisis seguida por gasificación por filtración) y determinar para cada uno de ellos los parámetros de operación tales como la vida del reactor, mecanismo de crecimiento de la cavidad, eficiencia de barrido, eficiencia energética, calidad del gas.

Para realizar la gasificación en los dos procesos, se necesitará una estrategia de fases de operación para prepara el primer gasificador, para la transferencia del primer gasificador al segundo gasificador y para apagar y ventilar el sistema total al final de la gasificación. La figura B-1 presenta la secuencia completa de las fases del proceso. Las fases del proceso empieza con los pozos de proceso llenos de agua y listos para las condiciones de gases a presión(las cabezas de pozos y la planta de superficie instaladas y conectadas), y termina a la finalización del ensayo con los pozos rellenos de agua y las cabezas de pozo listas para ser desmontadas.

B) Descripción de las fases del proyecto

a) Fase de Comunicación con Agua(Fase 1)

El objetivo de esta fase es comprobar la calidad final de la conexión entre el final de la sección en capa del pozo de inyección (IW1) y el pozo de recuperación (RW) mediante agua antes de iniciar las fases del proceso. Para lograr esta objetivo, se ha previsto inyectar agua través del tubo enrollable situado en el sondeo desviado en capa de inyección (IW1) y recuperar el agua por el pozo de recuperación (RW) a través de un tubo pequeño. Las otras conexiones de ambos pozos (espacios anulares, macarrones, tuberías de agua) se mantendrán controladas mediante un pequeño caudal de agua para evitar el flujo de retroceso desde el fondo de los pozos. El sondeo vertical de

inyección transversal (IW2) se mantendrá lleno de agua en condiciones de espera.

Los parámetros hidrodinámicos del ensayo indicará la calidad de la unión final(caída de presión a diferentes niveles de flujo, ratio de recuperación, entrada de agua). Para determinar la distribución global del flujo(tiempo de residencia, volumen/distancia, permeabilidad) se ha previsto realizar adicionalmente un ensayo de trazadores con agua pesada(técnicas de estímulo-respuesta - Subfase B). La duración total de la fase se estima sea de aproximadamente 2 - 3 días.

La separación final entre los pozos de inyección y recuperación dependerá de la capacidad de dirigir la perforación del pozo de recuperación. La separación que se espera pudiera conseguirse con el estado actual de las artes es de aproximadamente 1 - 3 m. Después de perforar el sondeo y antes de entubarlo y cementarlo, se intentará aumentar la permeabilidad para la unión final (la permeabilidad del carbón virgen es de 2 md) abriendo paso con agua a alta presión (inyección de agua a alta presión a través del pozo desviado de inyección).

b) Fase de Intercambio Agua-Nitrógeno(Fase 2)

El objetivo de esta fase es extraer el agua del pozo de inyección en capa (IW1) y del pozo de recuperación (RW) y preparar el reactor subterráneo para las condiciones de gas a alta presión(en equilibrio con la presión de los fluidos de los estratos a la profundidad del reactor 50 - 60 bares).

Las operaciones de esta fase se realizarán en tres subfases sucesivas:

- Eliminación de la columna de agua
- Erupción de la columna de agua
- Elevación agua-nitrógeno

• **Eliminación de la columna de agua(Subfase A)**

En esta operación, las columnas de agua de cada uno de los pozos(IW1 y RW) se empujarán con nitrógeno hasta la base del pequeño tubo del sondeo de recuperación. El control de esta operación será diferente en cada uno de los pozos: en el pozo de inyección(IW1), la inyección de nitrógeno se realizará en paralelo en todas las conexiones para fluidos del pozo(tubería, tubos, tubo enrollable y macarrones); en el pozo de recuperación(RW), la inyección de nitrógeno se realizará en paralelo en todas las conexiones para fluidos(tubería, tubos, tubo enrollable y macarrones) excepto en el pequeño tubo para la extracción de agua. El hecho de que la extracción de la columna de agua del pozo de inyección se realice a través de la sección final de la unión antes de alcanzar el fondo del pozo de recuperación es otra

diferencia significativa de las condiciones de operación en los dos pozos y puede conducir a una caída de presión más grande y una mayor duración de la operación al nivel del pozo de inyección. Los volúmenes de los pozos de inyección (IW1) y recuperación (RW) son 24 y 30 m³ respectivamente. La duración total de estas operaciones es de 12-24 horas.

- **Erupción de la columna de agua (Subfase B)**

Esta parte del proceso del intercambio agua-nitrógeno es una fase transitoria muy corta. La situación sobreviene cuando la columna de agua remanente dentro del tubo pequeño del pozo de recuperación (RW) pierde el efecto estabilizador de su columna de agua y se llega a las condiciones inestables de erupción. Durante esta fase, la válvula de contrapresión en la cabeza de pozo del pozo de recuperación debe reaccionar al fuerte incremento de caudal y pasar de la contrapresión de la columna de agua (presión atmosférica) a la contrapresión en condiciones de gas (60 bares). El volumen interno del tubo pequeño es de 0,6 m³ aproximadamente. La duración de esta fase será de algunos minutos.

- **Elevación agua-nitrógeno**

El objetivo de esta subfase es secar los pozos (IW1 y RW) y la unión final entre los dos pozos. Debido a la profundidad la remoción del agua se hará mediante elevación con nitrógeno. El sistema de elevación depende del régimen de flujo dentro del tubo, el mejor régimen para su realización es el régimen neblina-anular. Con una contrapresión de 50-60 bares en el fondo del pozo, se necesitará un caudal de 400 - 450 Nm³ en el interior del tubo de 1,66" para instalar dicho régimen. La duración de la fase estará en función del régimen de secado: un caudal de agua mínimo por debajo de 10 litros por hora sería aceptable. Probablemente se necesiten de 1 - 2 días para alcanzar estas condiciones.

El sondeo transversal de inyección (IW2) se mantendrá con agua en condiciones de espera, como en la Fase 1.

c) **Fase de Comunicación con Nitrógeno (Fase 3)**

El objetivo de esta fase, similar al objetivo de la Fase 1, es comprobar la calidad de la conexión final en condiciones de flujo de gas entre la sección en capa del pozo de inyección (IW1) y el pozo de recuperación (RW). Esta fase será muy importante para valorar la bondad de la fase de unión final (Fase 4).

Para lograr este objetivo, se piensa inyectar nitrógeno por el interior del tubo enrollable del pozo de inyección (IW1) y recuperar el nitrógeno a través del tubo pequeño del pozo de recuperación (RW). La contrapresión utilizada será la presión de la fase subsecuente de gasificación (50-60 bares). Las otras conexiones de los pozos (espacios anulares, macarrones, tuberías de agua) se

mantendrán bajo control mediante un pequeño caudal de nitrógeno para impedir reflujos en la base de los pozos. Las condiciones de elevación del nitrógeno se mantendrán dentro del pequeño tubo del pozo de recuperación.

El pozo de recuperación transversal(IW2) se mantendrá lleno de agua en condiciones de espera. Los parámetros hidrodinámicos del ensayo indicarán la calidad de la unión final (caída de presión a distintos niveles de flujo, proporción de recuperación, entrada de agua). Para determinar la distribución global del flujo(tiempo de residencia, volumen/distancia, permeabilidad)se ha previsto realizar un ensayo adicional de trazadores con helio(Subfase 2). La duración final de la fase es de aproximadamente 2 - 3 días.

d) **Fase de Unión Final(Fase 4)**

Esta fase es opcional y dependerá de los resultados de la fase de comunicación con nitrógeno. Si la permeabilidad de la sección final entre el pozo de inyección(IW1) y el de recuperación es suficientemente alta la ignición y la fase de maniobra "CRIP" se iniciará inmediatamente, si no, se iniciará el proceso de combustión inversa desde el pozo de recuperación para mejorar la unión final.

El proceso de combustión inversa implica tres subfases consecutivas:

- Las operaciones de inyección/ignición
- Las operaciones de flujo de inversión/descompresión
- Las operaciones de combustión inversa

• **Operaciones de inyección/ignición(Subfase A)**

Esta subfase requerirá una inyección de aire (pequeño caudal de O_2 más N_2) por el interior del tubo enrollable del pozo de inyección(IW1) y del tubo aislado del pozo de recuperación (RW). Las otras conexiones entre ambos pozos(principalmente en el pozo de recuperación - la presión cambia de 50 bares a las condiciones de inyección 100 - 150 bares) se mantendrán bajo el control de flujo/presión de nitrógeno para impedir un retroceso del flujo de aire dentro de los espacios anulares. Cuando se estabilicen las condiciones de inyección entre ambos pozos, se prenderá el mechero en el fondo del pozo de recuperación para precalentar el aire inyectado alrededor del pozo. El control de temperatura del aire precalentado se realizará mediante el control de la potencia liberado por el quemador(Control de temperatura del extremo del flujo/quemador de O_2 y CH_4). Después de cierto tiempo se observará la autocombustión del carbón que rodea el pozo mediante un incremento de la presión de inyección(el volumen aumenta por efecto de la temperatura y un bloqueo parcial del sistema de fisuras del carbón debido a la deposición de productos líquidos de la combustión). La terminación de la fase se decidirá en

base a la cantidad de carbón quemado alrededor del pozo de recuperación(cálculo del balance de masas en base al caudal de aire acumulado desde el inicio de la ignición).

- **Operaciones de inversión/descompresión de flujo(Subfase B)**

Después de la ignición del carbón en las inmediaciones del pozo de recuperación, esta fase transitoria servirá para descomprimir el pozo de recuperación y establecer proceso de combustión inversa. Se inyectará un caudal pequeño y continuo en el tubo enrollable del pozo de inyección(IW1) y se abrirá progresivamente la válvula de descarga de presión del tubo pequeño para empezar la descompresión. Durante esta operación debe prestarse una cuidadosa atención a la temperatura del fondo del pozo de recuperación (RW) ajustando la descompresión del flujo. Primero, la unidad de analizadores detectará la combustión del gas proveniente de la vecindad del pozo de recuperación(RW). Segundo, si se ha iniciado la combustión inversa con el aire proveniente del pozo de inyección(IW1), aparecerán los primeros productos de la combustión inversa. Durante el siguiente periodo de comprobación, el contenido en O₂ en los productos de la combustión inversa se analizarán cuidadosamente para determinar si el proceso de combustión inversa se inició con éxito. Si no, habrá que repetir las dos primeras operaciones.

- **Operaciones de Combustión Inversa**

Esta parte de la operación es la combustión inversa propiamente dicha. El objetivo de esta fase es aumentar la permeabilidad de la unión final mediante la formación de canales entre el pozo de recuperación(RW) y el pozo de inyección en capa. La velocidad normal del proceso es de 1-2 metros por día.

El proceso se iniciará con aire (50 - 100 Nm³/h) y una contrapresión similar a la presión de gasificación(50 - 60 bares). Para controlar el proceso(velocidad, tamaño del canal formado) deben intentarse algunos cambios en los parámetros de la combustión inversa(contenido en O₂,caudal en el pozo de inyección y contrapresión en el de recuperación). El tubo pequeño del pozo de recuperación(RW) se utilizará para eliminar los productos de la combustión inversa y se mantendrá el sistema de elevación.

El pozo de inyección transversal(IW2) se mantendrá lleno de agua en condiciones de espera. Los espacios anulares restantes, macarrones, tubos de agua de los pozos(IW1, RW) se mantendrán bajo control con un pequeño caudal de nitrógeno para evitar el flujo de retroceso desde el fondo de los pozos. Debe prestarse atención particular al control de flujos/presiones dentro de los espacios anulares porque estos contienen un gran volumen relativo de gas comprensible a altas presiones(60 a 150 bares).

e) Fase de Ignición y Maniobra "CRIP"(Fase 5)

Inmediatamente después de la fase de combustión inversa o de la fase de comunicación con nitrógeno si la permeabilidad de la unión final es suficiente, se iniciará el proceso de gasificación en canal situando adecuadamente la cabeza de ignición/quemador dentro de la sección en capa del pozo de inyección(IW1) e iniciando con el quemador la destrucción de la tubería situada en la zona de gasificación.

Para controlar el inicio pueden darse dos tipos distintos de condiciones de operación.

- Colocación de la cabeza del mechero/inyector en lo posición adecuada. Arranque del quemador. Creación de una ventana a través de la tubería por la acción del quemador(Subfase A). Durante esta fase el aire se inyectará por el tubo enrollable y el O_2/CH_4 por el macarrón. Esta operación se controlará con la ayuda de la fibra óptica y las de los termopares (extremo del quemador y de la tubería). La duración de esta fase dependerá de la apertura de la ventana y será de 1- 2 horas.
- Retracción de la cabeza del inyector (quemador apagado). Control del quemado en retroceso de la tubería con la inyección de O_2 a través del macarrón de oxígeno.(Subfase B). La duración de esta fase depende de las condiciones del quemado en retroceso y llevará de 1 - 2 días para una longitud de 25 - 30 metros.

Las secuencias de las acciones son diferentes dependiendo si la operación comienza directamente con la fase de combustión inversa o con la fase de comunicación con nitrógeno.

- Directamente con la combustión inversa.
Incremento progresivo del contenido en O_2 (comenzando con el ratio O_2/N_2 de la combustión inversa hasta O_2 puro) y desplazamiento progresivo hacia atrás de la cabeza de inyección(1 metro por hora) hasta la posición de la primera cavidad de inyección.(a 33 m del pozo de recuperación). Durante esta periodo, el quemado en retroceso de la tubería de acero al carbono tendrá lugar mediante la inyección de O_2 y se medirá mediante la fibra óptica/termopares situados a lo largo de la tubería. Se prevé un quemado puntual al final de la fase para fijar el punto final de inyección del proceso de gasificación. Después de esto la cabeza de inyección del tubo enrollable (con el quemador apagado) se colocará un lugar seguro y se iniciará progresivamente la fase de gasificación en canal(Fase 6).
- Directamente desde la fase de comunicación con nitrógeno.
Primeramente con el quemador situado en el final de la sección en capa del sondeo de inyección, se realizará una prueba del comportamiento de la unión final en condiciones de gasificación con

un pequeño caudal de aire. Seguidamente se realizará un aumento progresivo del contenido en O_2 (hasta O_2 puro) y un desplazamiento progresivo hacia atrás de la cabeza de inyección. Las acciones restantes serán similares a las de la secuencia anterior(directamente de la fase de combustión inversa).

El tubo pequeño del pozo de recuperación (RW)se utilizará para eliminar de la tubería los productos de la combustión/gasificación del carbón durante la fase final de la unión. Debido a las condiciones de pequeño flujo, se debe de inyectar algo de nitrógeno para mantener la remoción del agua por elevación. La contrapresión se fijará de 50 - 60 bares. El segundo pozo de inyección(IW2) se mantendrá en espera lleno de agua .

Se prevén otras dos igniciones y la maniobra "CRIP" con una situación de los puntos de inyección a los 2/3 de la longitud total de la sección en capa del pozo de inyección(tubo de 100 m de longitud). Los espacios anulares restantes, macarrones, tubos de agua de los pozos(IW1, RW) se mantendrá controlados mediante un bajo caudal de nitrógeno para impedir flujos de retroceso en el fondo de los pozos.

f) Fase de Gasificación en Canal(Fase 6)

El objetivo de la fase de la Fase de Gasificación en Canal es operar de 20 a 40 días con un consumo medio de carbón de 100 toneladas día y recoger la máxima información posible de los parámetros de la operación. Se probará la capacidad para cambiar de lugar el punto de inyección mediante la maniobra "CRIP" cuando se empobrezca la calidad del gas.

Antes de inyectar H_2O/O_2 , el reactor se iniciará/estabilizará con aire durante 1-2 días(Subfase A). El caudal de aire se moverá entre 200-500 Nm^3/h .

Después del periodo de estabilización, la inyección se cambiará a las condiciones H_2O/O_2 (Subfase B). Las condiciones básicas para la gasificación en canal serán 1000 Nm^3/h de oxígeno, con un ratio en moles de H_2O/O_2 de 1,5 y una contrapresión de 50 bares. Las condiciones de inyección de 1000 Nm^3/h de oxígeno se irán alcanzando progresivamente al creciendo la cavidad. Se probará con inyecciones mas fuertes (hasta 1500 Nm^3/h) cuando la cavidad se haya desarrollado al máximo. La contrapresión se ajustará aproximadamente a la presión de los fluidos de los estratos(50-60 bares) de acuerdo con la información acerca de la entrada de agua/perdidas de gas. La proporción H_2O/O_2 se ajustará a 1 a 2.

Durante el crecimiento de la cavidad se realizarán unas pruebas de trazadores con helio(Subfase C). Para facilitar el cálculo de balance

de masas se realizará una inyección continua de argón en los agentes gasificadores(con un caudal pequeño, del 0,1% del caudal de O₂).

El pozo transversal de inyección se mantendrá con agua en condiciones de espera. El flujo del pozo debe controlarse cuidadosamente durante esta fase ya que el crecimiento de la cavidad puede tener una gran influencia(alto crecimiento de la permeabilidad alrededor del pozo, creación de fisuras/fracturas).

Debido a las altas condiciones de flujo de esta fase, el gas producido se conducirá a través del tubo aislado y/o del tubo pequeño del pozo de recuperación (RW). Durante el crecimiento de la cavidad puede necesitarse la refrigeración con agua para evitar una temperatura excesiva en el fondo del pozo de recuperación (RW)(controlar la temperatura entre 300-350°C).

g) Fase desde En Capa a Transversal(Fase 7).

El objetivo de esta fase es transferir el control del proceso progresivamente desde el pozo de inyección en capa (IW1) hacia el pozo transversal de inyección(IW2). La primera fase será drenar el contenido en agua del pozo transversal de inyección(IW2) de la capa de carbón y de la cavidad creada durante la fase de gasificación en canal mediante la inyección de nitrógeno a través de todas las conexiones para fluidos de los pozos de inyección(tuberías, tubos, macarrones)

En esta fase se disminuirá progresivamente la potencia de la gasificación en canal reduciendo el caudal (desde 1000-1500 Nm³/h a 100-200 Nm³/h) y cambiado a aire. La segunda operación(Subfase B) consistirá en transferir la inyección de aire desde el pozo de inyección en capa(IW1) al pozo transversa de inyección(IW2) y mantener el pozo de inyección en capa(IW1) bajo condiciones de espera con nitrógeno(pequeño caudal de inyección de nitrógeno).

Como consecuencia del descenso del flujo, el gas producido se conducirá a través del tubo pequeño del pozo de recuperación y el agua se extraerá con el sistema de elevación instaurado mediante la inyección de nitrógeno en el espacio anular del tubo aislado.

h) Fase de Pirólisis/Combustión Inversa(Fase 8)

El objetivo de esta fase es incrementar la permeabilidad en la zona entre el sondeo transversal de inyección (IW2) y el área ya gasificada(fase de gasificación en canal) iniciando un proceso de pirólisis/combustión inversa desde la zona caliente anteriormente gasificada.

El proceso se iniciará con aire (O_2 más N_2 200-300 Nm^3/h) y una contrapresión similar a la contrapresión anterior(50-60 bares). Para controlar el proceso(velocidad, tamaño del canal formado y condiciones de distribución de flujo) se probará con diferentes valores para los parámetros de la pirólisis/combustión inversa (incremento del contenido en oxígeno hasta el 40%, aumento del caudal de inyección hasta 700-1000 Nm^3/h y descenso de la contrapresión del pozo de recuperación(RW).

Los productos de la pirólisis/combustión inversa se eliminarán a través de tubo pequeño del pozo de recuperación(RW) y el sistema de elevación se mantendrá mediante la inyección de nitrógeno a través del espacio anular del tubo aislado. Si el caudal de inyección aumenta hasta 700-1000 Nm^3/h , la eliminación del gas producto se transferiría al tubo aislado del pozo de recuperación(RW). La duración de esta fase sería de 115 - 20 días.

i) **Fase de Gasificación por Filtración(Fase 9)**

Esta fase es opcional y dependerá de los resultados de la fase de pirólisis/combustión inversa. Si la permeabilidad de la zona entre el pozo transversal de inyección (IW2) y la zona de gasificación en canal es suficiente al final de la fase de pirólisis/combustión inversa, se iniciará la fase de gasificación por filtración. El objetivo, similar al de la gasificación en canal, es operar durante 20-40 días con una media de hasta 100 toneladas de carbón gasificado por día y recoger el máximo de información posible de los parámetros de operación del proceso.

Antes de empezar con la inyección de H_2O/O_2 , se ha previsto continuar en avance después de la pirólisis/combustión inversa con la inyección de aire (200 -500 Nm^3/h) para estabilizar el reactor(Subfase A). La duración de esta fase es de 1 - 2 días.

Con el mechero colocado al final del tubo puede reiniciarse la combustión del carbón en las proximidades del pozo transversal de inyección(IW2)(Subfase B). El control de la temperatura del aire inyectado se realizará como en la subfase de ignición/inyección de la fase de unión final mediante la potencia liberada por el quemador(control de la temperatura en el extremo del inyector/quemador de O_2 más CH_4).

Tras el periodo de estabilización, la inyección se cambiará H_2O/O_2 (Subfase C). Las bases del proceso de gasificación por filtración se fijarán con 1000 Nm^3/h de oxígeno, relación molar 1,5 para H_2O/O_2 y 50 bares de contrapresión. Las condiciones de flujo de 1000 Nm^3/h de oxígeno se alcanzarán progresivamente durante el crecimiento de la cavidad. Se ensayarán condiciones más altas de flujo (hasta 1500 Nm^3/h) con el máximo desarrollo de la cavidad. La contrapresión se

ajustará alrededor de la presión de los fluidos en los estratos(50-60 bares) según la información de la entrada de agua/perdidas de gas. La proporción H_2O / O_2 se ajustará a 1 a 2.

Durante el crecimiento de la cavidad se realizarán unas pruebas de trazadores con helio(Subfase D). Como un control en el cálculo de balance de masas se realizará una inyección continua de argón en los agentes gasificadores(con un caudal pequeño, del 0,1% del caudal de O_2). El pozo de inyección en capa(IW1) se mantendrá con nitrógeno en estado de espera. Debe prestarse una atención especial al control del flujo/presión en este pozo.

Debido a las altas condiciones de flujo, de nuevo , el gas producido se conducirá a través del tubo aislado y/o del tubo pequeño del pozo de recuperación (RW). Durante el crecimiento de la cavidad puede necesitarse la refrigeración con agua para evitar una temperatura excesiva en el fondo del pozo de recuperación (RW)(controlar la temperatura entre 300-350°C).

j) Fase de Cierre y Venteo con Nitrógeno(Fase 10)

Cuando se observe un descenso en la calidad del gas, el proceso de gasificación debe pararse mediante la inyección de nitrógeno por todas las conexiones de los pozos de inyección(IW1 y IW2) y todas las conexiones del pozo de recuperación (RW) excepto por el tubo pequeño que se utilizará para eliminar el gas. La operación de venteo del reactor subterráneo durará de 5 - 7 días..

k) Fase de Intercambio Nitrógeno-agua(Fase 11)

Al finalizar el venteo con nitrógeno, el reactor subterráneo se llenará de agua inyectándola por todas las conexiones de los pozos excepto por el tubo pequeño del pozo de recuperación. La inyección de agua se mantendrá de 1 -2 semanas.

PROCESS PHASES

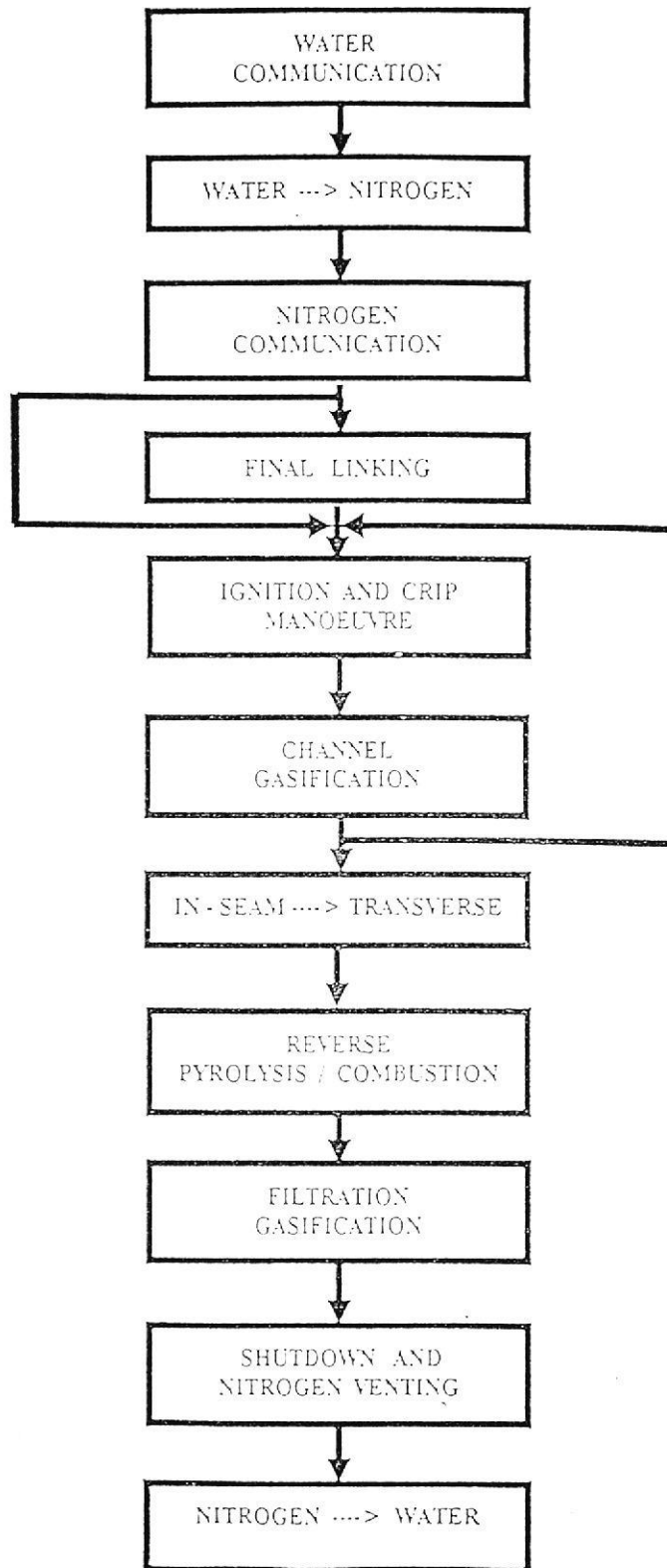


Figura B-1 . Secuencia de las Fases del Proceso