

nº 1

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

CONTRATOS Nº: SF - 369/91 - ES/BE/UK
Nº: SF - 543/92 - ES/BE/UK

INFORME TÉCNICO JULIO 1993 - DICIEMBRE 1993

Grupo Directivo

A.BAILEY (DIRECTOR)

A.OBIS (DIRECTOR ADJUNTO - OPERACIONES)

M.MOSTADE (DIRECTOR ADJUNTO - TÉCNICO)

D.MARTÍNEZ (JEFE DE RELACIONES EXTERNAS)

Underground Gasification Europe(UGE), AEIE

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

ÍNDICE

- Resumen
- 1. Introducción
- 2. Análisis de carbones
- 3. Sondeo de inyección desviado IW1(ET4)
 - 3.1 Objetivos y Datos del sondeo dirigido
 - 3.2 Detalles del sondeo
 - 3.3 Programa de perforación, Triconos y Fluidos
 - 3.4 Contratistas de servicios
 - 3.5 Operaciones
 - 3.6 Equipamiento del pozo
- 4. Ingeniería
 - 4.1 Pozos
 - 4.2 Ingeniería Básica de la Planta de Superficie
 - 4.3 Ingeniería de Detalle de la Planta de Superficie
 - 4.4 Programa de Apoyo
- 5. Dirección del Proyecto
 - 5.1 Administración
 - 5.2 Problemas/Dificultades
 - 5.3 Cambios en la estrategia técnica
 - 5.4 Trabajos futuros
 - 5.5 Conferencias, Publicaciones e Informes.

Resumen

La actividad principal durante el periodo de este informe ha sido la perforación y equipamiento del sondeo desviado de inyección IW1(ET4) , la terminación del diseño de la ingeniería básica de la planta de superficie, y la mayor parte de la ingeniería de diseño de los pozos de recuperación RW(ET5), inyección transversal IW2(ET6) y el pozo transversal de seguimiento MW2(ET3).

El pozo de inyección desviado IW1(ET4) de radio medio se perforó y equipó en Octubre - Noviembre 1993. El objetivo de perforar un tramo de 100m dentro de la capa de carbón no se realizó completamente debido a la imposibilidad de la compañía de perforación de lograr el grado de control direccional requerido en la trayectoria del sondeo. El pozo se equipó con éxito con la introducción de la tubería de revestimiento en la zona desviada y una tubería en la sección en capa. Se estima que la gasificación se podrá realizar en una longitud de unos 90 m.

La Fase 1 de la Ingeniería de la Planta de Superficie fue realizada por JOHN BROWN SENER S.A. en Agosto de 1993. El informe final consta de dos documentos básicos: el Libro de Proceso y el Estimación de Costes de Capital y Planificación Temporal del Proyecto.

Comenzaron dos proyectos del programa de apoyo: un proyecto en el INSTITUTO DE CARBOQUÍMICA sobre reactividad y comportamiento a la pirólisis del carbón de El Tremedal; y otro en la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE DELFT en Holanda sobre el comportamiento termo-mecánico de los estratos adyacentes y modelización del proceso de gasificación de carbón.

1. INTRODUCCIÓN

Este es el cuarto informe técnico del proyecto de Gasificación Subterránea de Carbón que se está llevando a cabo en el norte de Teruel, España, con el soporte financiero del Programa Energético THERMIE de CEE.

La perforación y equipamiento del sondeo de inyección desviado en noviembre de 1993 fue un punto clave en el periodo que cubre este informe. Aunque no se consiguió el objetivo en su totalidad en términos de longitud y situación en la capa seleccionada, se estima que la gasificación se podrá realizar en una longitud de aproximadamente 90 m a lo largo del sondeo.

El contratista para la ingeniería básica de la Planta de Superficie fue realizada por JOHN BROWN SENER, S.A. en agosto de 1993. Los resultados de estos trabajos se utilizarán para definir lo requerimientos para el diseño de la ingeniería básica de la planta de superficie, seguido por el suministro/construcción.

2. ANÁLISIS DE CARBONES

Se realizaron análisis complementarios de carbones en el INSTITUTO DE CARBOQUÍMICA E INSTITUTO NACIONAL DEL CARBÓN.

En el laboratorio del INSTITUTO DE CARBOQUÍMICA se realizaron los análisis de composición de cenizas de muestras de carbón seleccionadas de la Capa Superior de todos los sondeos de exploración. En el Cuadro I se presentan los valores medios para cada sondeo de exploración.

En el laboratorio del INSTITUTO NACIONAL DEL CARBÓN, se realizaron los análisis petrográficos de muestras provenientes de los sondeos de exploración ET2 y ET3. El Cuadro II se presentan los resultados.

3. SONDEO DE INYECCIÓN DESVIADO IW2(ET4)

3.1 OBJETIVOS - VALORES PARA LA DIRECCIÓN

Los registros de rayos gamma de los sondeos ET1, ET2 y ET3 indicaban un nivel guía de alto valor en rayos gamma, a unos 0,50 m del techo de la Caliza Intermedia (ver Figura 1) y se decidió seleccionar este nivel como horizonte objetivo en la sección en capa, con la intención de utilizar su detección con el sistema gamma de Medición Durante la Perforación (MDP) {"MWD"} como un localizador adicional dentro de la capa. Se marcaron los siguientes objetivos en la trayectoria del sondeo de inyección desviado IW1(ET4):

- Localización del primer objetivo (objetivo 1) en un punto a 0,50 m por encima del techo de la Caliza Intermedia, con una inclinación de 59° 09' con la vertical.
- Punto de Despegue (PS) {"KOP"} +/- 396 m en Profundidad Vertical Real {"TVD"}
 - Ángulo de Construcción +/- 11,2 grados / 30 metros
 - Objetivo en acimut +/- 184° 00' respecto al norte UTM
 - Desplazamiento horizontal del 1^{er} objetivo respecto del emboquille +/- 75 metros
 - Inclinación del sondeo en capa +/- 59° 09'
 - Longitud de la sección en capa +/- 100 metros
- Posiciones de los objetivos adicionales: 10m (objetivo 2), 40m (objetivo 3), 70m (objetivo 4) y 100m (objetivo 5), longitudes medidas a lo largo de la sección en capa desde el 1^{er} objetivo.

- Posición de los objetivos: el muro del carbón con un error vertical de -0.50m (techo de la Caliza Intermedia), +0,50m (1 m por encima de techo de la caliza).
- Variación del acimut 182° - 186° UTM desde el centro del emboquille de sondeo IW1(ET4).
- Coordenadas UTM (Altura del objetivo 0,50m sobre el techo de la Caliza intermedia)

Emboquille	X:718558,48	Y:4532746,39	Z:651,93(s.n.m.)
Objetivo 1	X:718553,26	Y:4532671,59	Z:123,90
Objetivo 2	X:718552,67	Y:4532663,03	Z:118,77
Objetivo 3	X:718550,87	Y:4532637,34	Z:103,38
Objetivo 4	X:718549,07	Y:4532611,65	Z:87,99
Objetivo 5	X:718547,28	Y:4532585,96	Z:72,60

La trayectoria prevista se presenta en la Figura 2a y 2b

3.2 DETALLES DEL POZO. PROGRAMA DE TUBERÍAS/EQUIPAMIENTO.

*Mientras no se diga lo contrario, todas las profundidades dadas en las secciones 3.2 a 3.6 de este informe son **Profundidades con respecto a la Superficie del Terreno** (p.e. desde la plataforma de cemento).*

De acuerdo con la practica normal, el pozo se diseñó de fondo a superficie, el diámetro del tubo y el del pozo dentro de la capa condicionan los diámetros de perforación y entubado en las zonas superiores. Aunque un tubo de 4 1/2" (6" de diámetro de pozo) sería suficiente para la subsecuente gasificación, el ratio de curvatura era alto (11.2° / 30 m, aprox. 150 m de radio) y se consideró prudente incorporar un elemento de contingencia en el programa de perforación.

Programa de Entubado/Tubos

Pozo (pulgadas)	Entubado/tubo (pulgadas)	Zapata		Inclinación (grados)
		PVR(m)	PM(m)	
17 1/2	13 3/8	60	60	0
12 1/4	9 5/8	528	555	59
8 1/2	7 - 6 5/8	579	655	59
6 1/8(contin.)	4 1/2	579	655	59

El programa comprende entubado de superficie de 13 3/8" hasta aproximadamente 60m de Profundidad Vertical Real (PVR) ("TVD") (bajo el nivel freático), entubado a 9 5/8" hasta aprox. 555m de Profundidad Medida (PM) ("MD") (cerca del muro de la capa de carbón) e instalación de un tubo de 7 / 6 5/8" con las líneas de control hasta el final de la sección en capa de

carbón. En las figuras 3a, 3b y 3c se presenta la planificación del equipamiento del pozo.

Primer Programa de Contingencia (imposibilidad de bajar la tubería 9 5/8")

Si la tubería de 9 5/8" quedara alta, se colocaría una tubería de 7" dentro de la capa de carbón hasta los 555 m , y se seguiría perforando con 6 5/8 hasta los 660m colocándose un tubo de 4 1/2" con instrumentación hasta los 655.

Segundo Programa de Contingencia (imposibilidad de bajar el tubo 7 / 6 5/8")

Colocación dentro de la capa del tubo 7 / 6 5/8" antes de la Profundidad Total (PT), reperforación del pozo en capa con 5 7/8" hasta los 660m, colocación de un tubo de 4 1/2" hasta los 655m colgado del último tubo de 6 5/8".

Especificaciones de la Tubería/Tubos:

13 3/8"	54,5 PPF - K55 - BTC
9 5/8"	40 PPF - N80 - BTC
7" /	26 PPF - N80 - NEW VAM · "Special Clearance" / reductor a
6 5/8"	20 PPF - L80/1 - NEW VAM "Special clearance" /
	20 PPF - VS22 - NEW VAM "Special clearance" en la sección de pozo desnudo
4 1/2"	12,6 PPF - N80 - NEW VAM "Special Clearance" /) Programa
	11,6 PPF - VS22 - NEW VAM "Special Clearance") Contingencia

El programa base de 9 5/8" o la tubería 7" en el primer programa de contingencia se bajarán con centralizadores, "float collar" y zapata flotante.

La línea 7 / 6 5/8" ó 4 1/2" tubería/tubo en el primer programa de contingencia se bajará con zapata guía, líneas de instrumentos encapsuladas, protectores y centralizadores.

Los tubos de 4 1/2" del segundo programa de contingencia se bajarán con zapata guía y tubo de colgar ("liner hanger") pero sin instrumentación.

3.3 PROGRAMA DE PERFORACIÓN, TRICONOS Y FLUIDOS.

La selección y compatibilidad entre la máquina de sondeos y el equipo de perforación dirigida es un factor importante para el éxito de una perforación fuertemente desviada . La máquina tiene que tener suficiente potencia de torre y cabrestante, potencia de flujo suficiente para mover el motor de fondo y el sistema de Medición Mientras se Perfora MMP("MWD") y el equipo de control de lodos adecuado para controlar la calidad de lodo para la combinación deseada de diámetro de pozo, velocidad de perforación y estratos a perforar. La combinación de equipos para la perforación desviada ha de ser predecible, controlable y fiable. La destreza en el control de la dirección consiste en la

posibilidad de predecir el comportamiento de las herramientas frente a un rango de parámetros de operación en diferentes formaciones.

La mayor variación en el programa de perforación propuesto en el informe del periodo anterior (periodo enero - junio 1993) concierne a la perforación de la zona desviada del sondeo, la propuesta inicial para esta sección era perforar a 8 1/2" y ensanchar posteriormente a 12 1/4" antes de entubar y cementar a 9 5/8". La compañía de perforación seleccionada recomendó perforar directamente a 12 1/4" para evitar la larga duración y el alto coste de la apertura del pozo se apreció que dicha recomendación impondría una mayor demanda en el flujo y sistema de lodos del equipo de perforación, pero la compañía de sondeo direccional consideró que la máquina elegida tenía capacidad suficiente.

Métodos de perforación

El programa de perforación previsto era el siguiente:

17 1/2" hasta los 60m	-	Rotación
13 3/8" tapones/zapata	-	Rotación
12 1/4" hasta el "KOP" 60-396m	-	8" "DHM/MWD"(Rotación)
12 1/4" 396 - 560 m	-	8" "DHM/MWD"(Dirigido)
9 5/8" tapones/zapata	-	Rotación
8 1/2" 560 - 660 m	-	6 3/4" "DHM/MWD" (Dirigido/Rotación)

En el programa de Contingencia 1 se utilizaría un Motor de Fondo (MF) ("DHM") de 4 3/4" para perforar la sección de 6" en capa o para perforar la zapata guía de 6 5/8" en el programa de Contingencia 2.

Triconos

Se consideró adecuado utilizar triconos "rock roller" para los servicios de perforación, la longitud de cada intervalo del mismo diámetro era demasiado corta como para merecer la pena la utilización de herramientas de corte PCD.

Se seleccionaron triconos de dientes estándar para la sección vertical, triconos de insertos para la sección desviada y triconos de dientes protegidos para la sección en capa. el Cuadro III presenta las especificaciones detalladas de los triconos en relación con el programa de perforación.

Fluidos

Para el intervalo desde la superficie hasta los 60m de profundidad con 17 1/2" se propuso un lodo de inicio bentonítico simple.

Desde la zapata 13 5/8", las secciones vertical y desviada serían perforadas con un lodo no dispersante de polímero y CIK, al que se la añadiría un

lubricante para perforar en la sección desviada. Las propiedades requeridas al lodo de CIK eran:

Densidad	1.08 - 1,12 Kg. / l
Viscosidad al embudo	> 45 s / qt
Viscosidad plástica	Tan baja como sea posible
"Yield Point"	> 15 lb / 100 piés ²
Filtrado	5 cm ³ / 30 min API
Contenido en arena	< 0,5%

En el carbón el "Yield Point" se mantendría con un valor alto (aprox. 18 lb / 100 piés²) para facilitar la remoción de los detritos.

3.4 CONTRATISTAS

Para las operaciones y servicios relacionados con la realización del Sondeo de Inyección Desviado IW1(ET4), se seleccionaron los siguientes contratistas :

•Obra Civil	MAURICIO VENTURA
Plataforma de cemento	
Antepozo y tubo guía	
Canales de drenaje de lodos	
•Perforación(Máquina y Equipo)	COFOR
Perforar 17 1/2"	
Entubación y Cementación 13 3/8"	
Perforar 12 1/4"	
Instalación tubería 9 5/8"	+ WEATHERFORD
Perforar 8 1/2"	
Instalación tubos 7 / 6 5/8"	+ WEATHERFORD/ VALLOUREC
Instalación instrumentación	
Instalación cabeza de pozo	
•Perforación dirigida y "MWD"	BAKER HUGHES
•Fluidos (lodos)	DOWELL IDF
Suministro de fluidos de perforación	
Ingeniero de Fluidos	
•Tuberías/tubos	VALLOUREC
Suministro tubería 13 3/8 y 9 5/8"	
Suministro tubos 7 / 6 5/8"	
Asistencia en la instalación de los tubos	
•Cementación tubería 9 5/8"	HALLIBURTON
•Suministro Cabeza de Pozo	MALBRANQUE

•Diagrafías "Cement Bond Log" ("CBL")	SCHLUMBERGER
•Triconos	SMITH / REED

3.5 OPERACIONES

3.5.1 Preparación del emplazamiento. Suministro y Movilización

El emplazamiento se preparó para recibir la máquina de COFOR, una MASSARENTI 7000 MR. Máquina sobre plataforma con torre de doble tiro, 300.000 lb al gancho, bombas Triplex. Aunque todo el material de instrumentación y equipos para el sondeo se habían recibido y el emplazamiento estaba preparado para recibir la máquina a finales de septiembre de 1993 imprevistos surgidos en la operación que la máquina estaba realizando en Francia previamente al IW1(ET4) retrasó la movilización a Teruel hasta finales de octubre.

3.5.2 Operaciones de la máquina de sondeos.

La máquina llegó al emplazamiento el 20 de octubre de 1993. La máquina, bombas, tanques, cribas, desarenadores, etc. se instalaron en los días siguientes y la perforación se inició el 23 de octubre.

Desde el 23 de octubre hasta el 6 de noviembre se realizaron las siguientes operaciones:

- Perforar	17 1/2"	0 - 62,8 m	23 oct. -24 oct.
- Entubado/cementación	13 3/8"	0 - 62,8 m	25 oct.
- Perforar	12 1/4"	62,8 - 556,0 m	25 nov. - 1 nov.
- Entubado/cementación	9 5/8"	0 - 551,55 m	2 nov.
- CBL diagrafía		0 - zapata 9 5/8"	3 nov.
- Perforar	8 1/2"	551,55 - 675,5 m	4 nov.
- Instalación de tubos	7 / 6 7/8"	0 - 628,0 m	5 nov.
- Instalación cabeza de pozo			6 nov.

En el Cuadro IV se presenta la Distribución de Tiempos de la Operación.

El avance profundidad/tiempo real se compara con la estimación previa a la perforación en la Figura 4. El tiempo requerido para la entubación y cementación de la tubería 13 3/8, fue mucho menor que la prevista pero este ahorro de tiempo se perdió posteriormente debido fundamentalmente a los problemas surgidos con el MMP ("MWD"). El tiempo total desde el inicio de la perforación hasta la finalización del mismo fue de 15 días frente a los 14 previstos.

3.5.3 Intervalo vertical 0 - 62,8 m "MD", diámetro 17 1/2" . (ver trayectoria en las figuras 5a y 5b)

Este intervalo se perforó a rotación con equipo estándar tipo "péndulo".

Tricono 17 1/2"
Soporte tricono
Estabilizador 17 1/2"
Lastrabarrena 8"
Manguito reductor
Estabilizador 17 1/2"
Lastrabarrenas hasta la superficie 8"

Los parámetros de perforación fueron:

Peso Sobre Tricono (PST)	2 - 8 toneladas
Revoluciones Por Minuto (RPM)	80 - 110
Caudal	1500 - 2000 l/min.
Presión de Inyección	35 kg. /Cm ²

Se atravesaron arenas del Terciario en todo el intervalo con las que las cribas tuvieron problemas. Una gran cantidad de lodos rebosó las cribas debiéndose parar frecuentemente la perforación cuando el volumen de lodo activo alcanzaba el mínimo. Antes de iniciarse nuevamente la perforación, el lodo se bombeaba a las cribas. La medida de inclinación del TOTCO dió 1/4°. Se colocó y cementó la tubería 13 3/8".

3.5.4 Intervalo vertical 62.8 m - 296.3 m "DM", diámetro 12 1/4" (ver trayectoria en las figuras 5a y 5b)

Al retrasarse en su llegada el equipo direccional de fondo debido a las malas condiciones atmosféricas (nevada) y tras haberse reperforado el "collar" y la zapata 13 3/8", se decidió iniciar la perforación de la sección vertical (atravesando las margas y areniscas del Terciario) con equipo de rotación, al menos hasta que llegara el equipo direccional de fondo. Se utilizaron el siguiente equipo convencional con dos estabilizadores.

Tricono 12 1/4"
Soporte del tricono
Estabilizador 12 1/4"
Lastrabarrena 8"
Estabilizador 12 1/4"
5 lastrabarrenas 8"
Manguito reductor
2 lastrabarrenas 6 1/2"
Manguito reductor
Varillaje de 5" hasta la superficie

Los parámetros de perforación fueron:

PST("WOB")	5 - 8 toneladas
RPM	100 - 110
Caudal	1800 - 2000 l / min.
Presión de inyección	75 - 110 Kg. / cm ²

El caudal y la Velocidad de Perforación (VP)("ROP") venían limitados por el desbordamiento de las cribas en varias partes del intervalo. Las margas rojas de la base del Terciario aparecieron a los 293,0 m. A los 296,3 m se decidió la Extracción de la Maniobra (EM) ("POOH") y terminar la sección vertical restante hasta el Punto de Despegue (PD) ("KOP") con el Equipo de Fondo MF/MDP ("DHM/MWD") en rotación. Esta decisión se tomó para probar la operatividad de la combinación MF/MDP y realizar mediciones con el sistema MDP de esta sección del pozo.

Durante la extracción de la maniobra (EM) en algunas zonas donde el pozo se ajustaba mucho al equipo de fondo, se necesitó circular y tirar con 15 toneladas de sobretiro, posiblemente al utilizarse estabilizadores 12 1/4" de diámetro. Se observó que los dos estabilizadores se extrajeron recubiertos de arcilla, posiblemente debido a la insuficiente inhibición de las mismas. Como consecuencia de ello se decidió mejorar la reología del lodo incrementando el contenido de CIK a 115 gr / l y añadiendo mas inhibidor. El TOCTO se lanzó cada 50 m , dando una inclinación entre 1/4 - 1/2°.

3.5.5 Intervalo vertical 296,3 m - 393 m "MD"("KOP") , 12 1/4 de diámetro (ver trayectoria en figuras 5a y 5b)

Este intervalo se perforó verticalmente con el Motor de Fondo MF("DHM") en rotación con la siguiente equipo :

Tricono 12 1/4"
 Estabilizador del Motor de 12 1/4"
 Motor Navidrill Mach 1 AKO de 8" - ángulo 0,6°
 Estabilizador Nortrak de 11 1/2"
 Manguito reductor
 "NMHWDP" de 6 3/4" (con el "MWD")
 Elemento de 6 3/4" con el Pulser
 "NMHWDP" de 6 3/4"
 25 Varillas pesadas de 5"
 Varillaje de 5" hasta la superficie

Los parámetros de perforación fueron:

PST("WOP")	6 - 14 toneladas
RPM del tricono	215 - 250
Caudal	1800 - 220 l / min.

Presión de inyección 75 - 110 kg. /cm²

Las medidas del "MWD" se tomaron durante la introducción de la maniobra. La perforación desde los 296,3 m se efectuó con el motor de fondo en combinación con la rotación del varillaje con el fin de conseguir la vertical. La disminución de la VP"ROP" a los 314,7 m de longitud de perforación indicó el techo del Cenomaniense: un repentino incremento a los 370.0m LP marcó el contacto Cenomaniense-Albiense a la profundidad esperada. La perforación continuó hasta el "KOP" a los 393.0 m LP. El sistema "MWD" falló a lo largo de todo este intervalo; cuando se extrajo la maniobra se inspeccionó encontrándose la entrada de la unidad Pulser completamente bloqueada de material. El tricono utilizado en el intervalo estaba completamente agotado.

3.5.6 Intervalo de desviación 393,0 m - 556,0 m "MD", con 12 1/4" de diámetro. (ver trayectoria en las figuras 5a y 5c)

El ángulo del motor se fijó con 2,35° para conseguir el despegue y el ratio de curvatura requerido, se instaló un MDP("MWD") nuevo en el Varillaje Pesado No Magnético (VPNM) ("NMHWP") y se colocaron 12 varillas normales tras el equipo de fondo como separador. El Equipo de Fondo (EF)("BHA") inicial, así como el Varillaje (V)("DSA") para perforar este intervalo fue:

Tricono 12 1/4"
 Estabilizador del motor 12 1/8"
 Motor Navidrill Mach 1 AKO de 8" - ángulo 2,35°
 (Estabilizador Nortrak 11 1/2")
 VPNM de 6 3/4" (con el MDP) Manguito Reductor
 Elemento Pulser de 6 3/4"
 VPNM de 6 3/4"
 12 Varillas de 5"
 25 Varillas pesadas de 5"
 Varillaje de 5" hasta la superficie.

Los parámetros de perforación fueron:

PST("WOB")	3 - 20 toneladas
RPM del tricono	140 - 155
Caudal	2000 - 2200 l /min.
Presión de inyección	90 - 125 Kg. / cm ²

La perforación desde el Punto de Despegue (PD)("KOP") a los 393,0 m "MD" se realizó en modo orientado con un Ángulo en el Frente de la Herramienta (AFH)("TFA") de forma que alcanzara el acimut buscado. La estabilidad del AFH requería un alto PST ("WOB") debido a la alta Velocidad de Perforación y alto caudal, estos requerimientos (conjuntamente con el hecho de que toda la desviación se realizaba en el Albiense con gran cantidad de arcillas y arenas) condujo a un derrame de lodos aún mayor que el experimentado en la parte vertical del sondeo. La perforación tenía que detenerse a intervalos de 1,5

horas con el objeto de llenar el tanque activo bombeando lodo de la balsa de lodos a través de las cribas. La MDP("MWD") se tomó cada varilla.

La VP ("ROP") decreció hasta casi cero a los 440,5 m LP ("MD") sospechándose un fallo del motor. Un fallo del sistema MDP("MWD") apareció tan pronto como se reanudó la perforación con un motor nuevo realizándose un maniobra para cambiar la unidad MDP. El "ROP" con este equipo (segundo motor -tercer MDP) continuó excesivamente lento, por lo que se decidió (a los 445,0 m "MD") extraer la maniobra y retirar el estabilizador superior (estabilizador Nortrak), se sospechaba que el equipo de fondo no podía flexar suficientemente a la altura del estabilizador superior debido a la mala distribución de las fuerzas entre el estabilizador y el tricono (el estabilizador superior probablemente se apoyaba dentro de la formación arcillosa). Se retiró el estabilizador y colocó el ángulo del motor a 2,2° reanudándose otra vez la perforación con el "ROP" esperado, aunque con derrame en las cribas.

La perforación avanzó lentamente en la parte restante del intervalo desviado. El carbón hizo su aparición en las cribas a los 510,0 m "MD" tras solo 1 m de arena, y continuó hasta el final de la zona desviada a los 556,0 m "MD", sugiriendo que el espesor del carbón es 3 o 4 metros mayor que el esperado (en potencia aparente vertical) en la zona de entrada del sondeo en el carbón. Una potencia constante de carbón mas arena puede explicarse mediante el efecto erosivo de un paleocanal. La cota y el acimut buscado del primer objetivo se consiguió a los 556,0 m de "MD" en un línea paralela a 8 m al oeste de la trayectoria buscada. La inclinación del pozo al final de la zona desviada era de aprox. 58° (extrapolada al tricono) un poco superior a la esperada.

La tubería 9 5/8" con centralizadores se bajó sin problemas, sólo en los dos últimos tubos se encontraron pequeñas dificultades (probable cavidad en el carbón en la zona inferior) que requirieron peso/circulación para ayudar en su introducción.

La tubería fue cementada por HALLIBURTON utilizándose dos tipos de cemento - una lechada de cabecera de 1,5 Kg. / l en la parte superior del pozo y una lechada de pié de 1,9 Kg. / l con 40 % de sílice en la parte inferior para darle alguna protección contra las altas temperaturas a esperar en la parte inferior del pozo. El tapón falló en el cierre por lo que la cesta de cementación colocada en el pozo en previsión de dicha eventualidad se llenó de cemento desde la superficie. Los tapones de cementación y "collar" flotante se perforaron, el pozo se limpió y se corrió el registro "CBL" de SCHLUMBERGER que confirmó una excelente calidad cementación en la parte inferior del pozo (556 - 400 m MD), una calidad media en la sección intermedia (400 - 75 m) y una pobre calidad de cementación cerca de la superficie. La sección inferior se corresponde con la sección cementada con la lechada refractaria de pié. Se observaron diferentes horizontes guía de rayos gamma dentro del Albiense/Aptiense con el registro Rayos Gamma, con la excepción del horizonte guía situado al muro de la capa de carbón que no se alcanzó en la parte final del registro.

3.5.7 Intervalo en capa 556,0 m - 675,5 m "MD" y equipamiento (ver trayectoria en las figuras 5a y 5d)

La zapata y la sección en capa se perforó con el siguiente equipo de fondo y sarta.

Tricono 8 1/2"
 Estabilizador del motor de 8 3/8"
 Motor Navidrill Mach AKO 1 de 6 3/4" - ángulo 0,80°
 Manguito reductor
 Estabilizador Nortrak 8"
 Varilla pesada no magnética de 6 3/4" (con el "MWD")
 Elemento "Pulser" de 6 3/4"
 Varilla pesada no magnética 6 3/4"
 27 varillas de 5"
 25 varillas pesadas de 5"
 Varillaje de 5" hasta la superficie

Los parámetros de perforación fueron:

PST	2 - 14 toneladas
RPM del tricono	90 - 210
RPM de la mesa	aprox. 100 (en modo rotación)
Presión de inyección	45 - 70 Kg. / cm ²

Al reanudarse la perforación desde la zapata 9 5/8" a los 551,55 m "MD", el "TFA" se orientó para perforar hacia arriba para recuperar la diferencia de inclinación con la capa de carbón, continuando el carbón en las cribas durante los primeros 10 m de la perforación siendo posteriormente reemplazado por margas/caliza margosa, sugiriendo que el sondeo había entrado en el muro de la capa de carbón Superior. El registro gamma del "MWD" y los detritos indicaban un mínimo de 8,45 m de carbón desde la zapata 9 5/8" hasta el muro de la capa.

En este punto se decidió continuar la perforación con la orientación hacia arriba para volver a la capa de carbón. Aunque la inclinación empezó a incrementarse, el radio de curvatura era inadecuado para volver rápidamente al carbón y el sondeo se mantuvo justo en las calizas carbonosas bajo la capa de carbón a lo largo de 53 m, hasta los 618 m MD. Posteriormente el "MWD" mostró que el nivel guía gamma se cruzó cerca de este punto con un incremento del ratio de curvatura debido probablemente al cambio de terreno caliza/carbón (cambio importante en la dureza de las rocas). Al volver a salir carbón en las cribas y la alta inclinación, 64,4°, medida por el MDP("MWD"), unos 4,25° mayor que la inclinación teórica de la capa (circunstancias ambas que se detectaron con retraso debido al tiempo de retorno de los detritos y a la distancia entre el tricono y el punto de medida del "MWD" respectivamente), se cambió la orientación del "TFA" esta vez hacia abajo, intentando mantener la perforación en el carbón. La respuesta del equipo de fondo a cambiar de

dirección en el doblez con suficiente rapidez probó no ser la adecuada, la inclinación continuó siendo excesiva y tras mantenerse dentro de la capa unos 24 m el sondeo entró en los estratos de techo a los 642 m LP("MD").

La perforación siguió con la orientación hacia abajo hasta los 675,5 m LP("MD"), y aunque la inclinación decrecía, la velocidad de descenso era insuficiente para volver con el sondeo al carbón. En este punto se decidió finalizar la perforación y analizar el valor del pozo para las siguientes operaciones.

Se consideró que la desviación del pozo no era deseable, debido a que se aumentarían el potencial de dificultades en la inserción de los tubos a realizar con posterioridad. Al situarse la trayectoria justo dentro del muro de la capa se consideró que no sería un grave impedimento para el desarrollo del gasificador, teniendo en cuenta que los puntos PIRC("CRIP") de ignición/inyección estarían dentro o muy cerca de la base de la capa. Más de 30 m del pozo tras la zapata 9 5/8" están en carbón y se consideró la posibilidad de que parte de esta sección podría utilizarse para la gasificación.

Se propuso un plan de gasificación revisado en el que el pozo de producción/zapata del tubo de inyección se situaría a unos 628.0m LP("MD") (pozo de inyección en carbón) y en el que habría solo dos puntos de inyección "CRIP" (a unos 600 m y 540m LP("MD")), resultando un gasificador de unos 90 m de longitud.

Para completar esta configuración, se instaló la tubería 6 5/8" (con instrumentación y centralizadores/protectores) hasta los 628 m "MD" ,con una secuencia revisada de la tubería segmentada para conseguir los nuevos puntos "CRIP" designados y proveerlos de la correspondiente protección. La inserción de la tubería se realizó sin dificultad, solo en el último tubo se encontraron dificultades al introducirlo requiriendo circulación /peso para ayudar en su instalación tal como en el 9 5/8". Otra vez las cavidades en el carbón podrían explicar las dificultades.

Se limpió mediante circulación, con un tapón viscoso de 10 m³ y 15 m³ de agua limpia. Finalmente el agua se reemplazó por agua con inhibidor.

Se instaló la cabeza del pozo y se cerró.

3.5.8 TRICONOS Y LODOS.

Debido a la importancia de la perforación y el equipamiento de pozo de inyección desviado ET4 para el futuro del proyecto, se decidió prestar especial atención al programa de lodos. Este se preparó en base a las perforaciones y equipamientos de los sondeos de exploración realizados previamente y la asesoría técnica de las compañías de lodos más importantes.

El programa de lodos comprendía básicamente un lodo bentonítico para la fase de perforación de superficie de 17 1/2" de diámetro y un lodo no dispersivo de CLK con polímeros para toda la fase siguiente de perforación y equipamiento (12 1/4", 8 1/2").

Se contrataron los servicios a tiempo completo de un ingeniero de pozo de DOWELL IDF para supervisar el suministro, preparación y mantenimiento del lodo y aditivos durante todas las fases de perforación y equipamiento.

La perforación y equipamiento de la fase del tramo de superficie de 17 1/2" se realizó con lodo de bentonita simple sin ningún problema. Las propiedades del lodo no sufrieron ningún cambio de importancia durante esta fase. Tras la perforación de la zapata y el cemento, se introdujo un tapón viscoso de unos 4 m³ para evitar la contaminación del lodo de CLK con polímeros que se utilizaría posteriormente.

El lodo salino de polímeros no dispersivo de la fase de perforación 12 1/4" tenía la siguiente composición al inicio de la misma:

Carbonato sódico	0,8 Kg. / m ³
Sosa cáustica	1,6 Kg. / m ³
Bentonita OCMA	9 Kg. / m ³
CLK	76 Kg. / m ³
IDFLO LT	0,8 Kg. / m ³
IDPAC REG	6 Kg. / m ³
Desespumante	0,4 l / m ³
IDBOND	2,4 Kg. / m ³

Las propiedades del lodo inicial eran:

Densidad	1,05 Kg. / l
Viscosidad al embudo	42 s / qt
Viscosidad plástica	12 cps
"Yield point"	17 lb / 100 ft ²
Gel(0 - 10 in)	4 - 16 lb / 100 ft ²
pH	10
Filtrado	6 cm ² / 30 in API

El primer problema que se encontró fue un gran derrame sobre las cribas de 100 mesh. Para disminuir el derrame se cambiaron las cribas a 60/40 mesh con el resultado de un incremento considerable en la densidad y el contenido de sólidos del lodo. Posteriormente, se controló la densidad del lodo entre 1.15 y 1.17 Kg. / l y un contenido de arena por debajo del 1% mediante frecuentes eliminaciones de lodo y adiciones de lodo nuevo. Este procedimiento se aplicó durante toda la perforación debido al alto contenido en arena y arcilla de los terrenos atravesados.

Con la malla de 60 mesh, los derrames continuaron, particularmente en las zonas de carbón y arenas de la sección desviada . Al alcanzarse el volumen

mínimo de fluido activo, se paraba la perforación con el fin de rellenar el tanque de fluido activo bombeando desde la balsa de lodos a través de las cribas.

El segundo problema que se encontró fue una absorción de K⁺ por la formación mayor de la esperada con la consiguiente dificultad de inhibir la actividad de las arcillas. Al extraerse la sarta desde los 296,3 m se encontró que algunas zonas del pozo estaban muy ajustadas, por lo que fue necesario un sobretiro de 15 toneladas. El estabilizador salió lleno de arcilla, debido, probablemente, a la insuficiente inhibición, por lo que se decidió reforzar la reología del lodo incrementando el contenido de CLK y con la adición de más polímeros IDBOND e IDVIS. La extracción siguiente, a los 393 m, se realizó sin ningún problema, considerándose como una consecuencia de la mejoría de la calidad del lodo.

Al acercarse la zona de carbón en la sección desviada y siguiendo el consejo del ingeniero de DOWELL IDF, se añadieron 6,7 Kg. / m³ de THUSLICK al lodo. Este material es un compuesto de grafito y silicona en polvo y se utilizó para minimizar la creación de cavidades en el carbón causada por la vibración de la sarta y para mejorar el filtrado al formarse un "cake" más uniforme y consistente. También, las propiedades lubricantes del producto reducirían el par de la perforación.

Como consecuencia de las medidas correctoras, al final de la perforación de la fase de 12 1/4" la composición del lodo era:

Carbonato sódico	0,8 Kg. / m ³
Sosa cáustica	1,6 Kg. / m ³
Bentonita OCMA	1,2 Kg. / m ³
CLK	93 Kg. / m ³
IDVIS	0,7 Kg. / m ³
IDFLO LT	7,9 Kg. / m ³
IDPAC REG	5,9 Kg. / m ³
Desespumante	0,1 l / m ³
IDBOND	2,4 Kg. / m ³
THUSLICK	6,7 Kg. / m ³

La fase de perforación a 8 1/2" comenzó con un lodo de una composición ligeramente diferente:

Carbonato sódico	1,2 Kg. / m ³
Sosa cáustica	1,2 Kg. / m ³
Bentonita OCMA	7 Kg. / m ³
CLK	70 Kg. / m ³
IDVIS	1,2 Kg. / m ³
IDFLO LT	8,6 Kg. / m ³
IDPAC REG	4,3 Kg. / m ³
THUSLICK	13,3 Kg. / m ³

Con la excepción de la densidad, las propiedades del lodo no cambiaron significativamente durante el corto periodo de tiempo de la perforación de la fase 8 1/2". El rápido incremento de la densidad desde 1,08 a 1,2 Kg. / l se atribuyó a la tendencia del carbón a dispersarse en finas partículas en el lodo. Estas finas partículas eran muy difíciles de eliminar debido a su baja densidad (1,15). Al final de la fase de perforación, se inyectó un tapón viscoso de 5 m³ para limpiar la sección en capa del sondeo.

En el Cuadro V se presenta el informe de triconos. En general los triconos trabajaron bien excepto el REED MPH13G que se utilizó con unos parámetros fuera del rango de los recomendados (un PST y RPM excesivos) durante la última sección vertical antes del "KOP".

Al extraerse se observó que el tricono estaba completamente gastado y los rodamientos próximos al punto de rotura. El tricono SMITH M1S utilizado en la sección desviada dio muy buen resultado.

3.5.9 Principales dificultades en las operaciones y resultados inconsistentes.

Mientras los parámetros hidráulicos fueron los adecuados para una operación eficiente del "DHM" y el sistema "MWD" empleado, estuvo claro que el sistema de lodos fue algo menos que el adecuado para el servicio requerido. En algunas formaciones, un alto "ROP" (en el control direccional como consecuencia de la necesidades de aplicar el adecuado "WOP" para alcanzar avance y estabilidad con el "BHA") provocó la producción de lodos cargados con grandes cantidades de arena y carbón. Cuando esto ocurría, la detenía la perforación hasta alcanzar un volumen mínimo de fluido activo para evitar dañar las bombas. El diseño inicial (8 1/2" + ensanche a 12 1/4") hubiera provocado un flujo menor con mayores posibilidades de haberse podido manejar con el sistema, otra solución podría haber sido el instalar un equipo adicional de lodos y mantener el pozo con un volumen de flujo activo suficientemente alto y limpio.

El sistema "MWD" falló en tres ocasiones provocando una pequeña pérdida de tiempo en la perforación, los fallos se atribuyeron a:

- (i) bloqueo de la entrada de la unidad del "pulser" - causa sin identificar, pero lo más probable se deba a un fallo del sistema de limpieza de lodos, o a las condiciones / preparación del varillaje de perforación.
- (ii) desprendimiento durante la perforación de la parte inferior de la unidad "MWD", que se recuperó posteriormente de la válvula de impulso del motor ("dump valve") - puede atribuirse a un fallo de ensamblaje.
- (iii) fallo de transmisión de datos debido a un error en la configuración del software.

La trayectoria a seguir por el ET-4 se diseñó en base a una disposición planar de la capa definida por tres puntos de la misma deducidos de las diagráfias realizadas en los sondeos de exploración ET-1, ET-2 y ET-3. Durante la perforación del ET-4, la medición "TVD" de la capa a la altura del Objetivo 1 (cerca del ET-1), estuvo en buena concordancia con el "TVD" deducido según la diagráfia del sondeo ET-1.

Las medidas de "TVD" en Sección Vertical más alejadas de este punto a lo largo de la capa (en las áreas de ET-2 y ET-3) no se correlacionan bien según lo deducido de los puntos en capa en ET-1, ET-2 y ET-3 (ver figura 5a). Los aproximadamente 56 m. perforados justo debajo de la capa de carbón (desde la entrada en el muro del carbón y la reentrada al mismo) es mayor que el esperado para un buzamiento de la capa de 30.85° deducido de los registros de los sondeos de exploración. En una sección vertical y según los registros del sondeo ET-4 la capa buzará 28.5° .

Las inconsistencias del buzamiento de la capa podrían explicarse en base a la imprecisión de la información de la trayectoria de los pozos de exploración, los datos de acimut obtenidos con el "dipmeter" son relativamente imprecisos debidos a la casi verticalidad de los pozos. La no uniformidad en el buzamiento de la capa pudiera ser también causa de la aparente inconsistencia del mismo.

La inclinación del sondeo al final del "build up" fue 58° , un poco menor que la Caliza Intermedia (buzamiento 59.15°). Este factor, junto con el conocimiento de que se había entrado en el muro de la capa, contribuyó a la decisión de continuar perforando con el "tool face" hacia arriba tal vez en un intervalo demasiado largo reentrándose en la capa de carbón con un ángulo excesivo, $64,4^\circ$.

Sin embargo, el problema más importante en la operación de perforación fue la imposibilidad de conseguir el grado requerido en el control de la dirección para alcanzar la trayectoria deseada en el intervalo en capa de sondeo. Las razones son: (i) que los sensores de dirección y rayos gamma en los sistemas "MWD" convencionales se encuentran a 14,30 m y 11,64 m respectivamente detrás del tricono perforador lo que conduce a una reacción tardía en la aplicación de las correcciones oportunas y, (ii) la reacción del "BHA" es difícil de prever cuando se cruzan los contactos entre formaciones. El retraso en la aplicación de las acciones correctoras se hubiera reducido significativamente con la utilización del aparato "MWD" cerca de la herramienta de corte recientemente desarrollado, pero existen muy pocos en todo el mundo y no había ninguno disponible para este sondeo.

3.5.10 Coste del sondeo

El coste real del sondeo en comparación con su previsión se presenta en el Cuadro VI

3.6 EQUIPAMIENTO DEL POZO

El equipamiento del sondeo desviado ET-4 se realizó en tres fases principales: (i) Instalación y cementación de la tubería 9 5/8", (ii) colocación de los tubos 7 y 6 5/8" y (iii) instalación del árbol de Navidad.

La fase final de equipamiento del pozo será la instalación del tubo enrollable y la cabeza de pozo que se realizará con anterioridad a la operación de gasificación. Este equipo se diseñará según los requerimientos de la maniobra Punto Inyección Retráctil Controlado ("CRIP") a realizar en el pozo.

Instalación y cementación de la tubería 9 5/8"

El entubado es de diseño clásico petrolero, y comprende una zapata flotante, dos tubos, un tubo-válvula flotante y 41 tubos (el último de ellos es un "pup joint") para cubrir el último tramo hasta la superficie. Cada tubo es del tipo 9 5/8" - 40 PPF - N80 - Rango 3 con rosca de acoplamiento Buttress. En la tubería se instalaron 17 centralizadores y una cesta de cementación cerca de la superficie. La posición de los centralizadores la determinó HALLIBURTON para optimizar la centralización, especialmente en la zona curvada del sondeo. La cesta de cementación se colocó para sujetar el cemento de superficie en previsión a la falta del mismo en esta zona durante las operaciones de cementación.

La instalación la realizó COFOR con los servicios de WEATHERFORD en la operación de conexión (operación de enroscado y control del par de apriete). Tras la instalación y cementación se enroscó la cabeza de pozo sobre el último tubo. Esta cabeza de pozo será la base para la instalación posterior del árbol de Navidad.

El cuadro VII presenta los componentes de la tubería 9 5/8" y su altura y posición en el pozo.

Instalación del tubo 7 / 6 5/8 "

La instalación del tubo 7 / 6 5/8" fue mucho más complicada que la de la tubería 9 5/8". La razón de esta complejidad es doble: (i) los cables de la instrumentación se fijaban a la parte externa de los tubos mediante abrazaderas y flejes durante la instalación y (ii) las roscas NEW VAM de holgura especial de los tubos en el pozo. El tiempo total empleado en su instalación fue de 24 horas.

Los cables de instrumentación se diseñaron para medir el crecimiento de la cavidad y dimensión de la tubería durante las fases "CRIP" y gasificación. Los cables se componen de cuatro termopares tipo K de 1/8" y dos fibras ópticas de terminación simple. Las fibras ópticas del tipo 50 /125 están finamente recubiertas de poliamida dentro de una cubierta de protección de acero

inoxidable. Antes de su entrega los seis cables se encapsularon en plástico para formar un cable plano (8 X 28 mm.) para facilitar su instalación.

Los termopares medirán la temperatura dentro del reactor subterráneo en cuatro puntos predeterminados (extremo del tubo, y a 33, 66 y 100 m. del mismo). La fibra óptica actuará como sensor mediante una técnica innovadora que medirá la distribución de temperaturas y la longitud de la fibra.

El sensor de distribución de temperaturas en la fibra óptica y la longitud de la misma se basa en el Reflectómetro Ópticos de Tiempo/Dominio ("OTDR") en la que la luz láser se impulsa dentro de la fibra y se analiza la luz que se recibe de vuelta. La componente Rayleigh de la luz de retorno recibida es prácticamente independiente de la temperatura y se utilizará para medir la curva de disminución de luz y la longitud de cable. La componente Raman de la luz de retorno es consecuencia de vibraciones moleculares influenciadas termalmente y se utilizará para obtener información de la distribución de temperaturas a lo largo de la fibra.

La instalación se realizó por COFOR con los servicios de WEATHERFORD y VALLOUREC para las conexiones de los tubos (maniobra de roscado y control del par de apriete). El cuello de ganso para guiar el cable, tambor de soporte, fijación de los cables a la zapata guía y las abrazaderas protectoras se diseñaron especialmente para la instalación del cable de instrumentación.

Se prestó un interés especial al material de los tubos. Se instalaron tubos L80 normal en las zonas en las que prevé que las tuberías serán destruidas por la combustión. Se instalaron tubos VS22 detrás de los puntos "CRIP" previstos en esos puntos de ignición/inyección, las aleaciones austeníticas dobles tienen la propiedad de soportar la auto ignición/retrocombustión en la presencia de oxígeno puro a alta presión.

El cuadro VIII presenta los componentes del tubo 7/6 5/8" y su correspondiente nivel/posición en el pozo. La figura 6 presenta un esquema de la instalación en el pozo.

Instalación de la cabeza de pozo y el árbol de Navidad

Cuando los tubos se colocaron en su sitio, el espaciador de la cabeza de pozo (que había estado suspendido bajo la plataforma de la máquina de sondeo durante la instalación) se bajó hasta quedar sobre la cabeza de tubería mientras se tiraba del cable de instrumentación. Tras la instalación del espaciador, el tubo se sujetó con un colgador de tubos (tipo "SLIP") colocado sobre el espaciador. El último tubo se cortó 10 cm. por encima de la parte superior del espaciador, completándose la instalación con un sistema de empaquetado de la línea de control y el espaciador/brida de la cabeza de pozo. La instalación de la cabeza de pozo se presenta en la Figura 7

4. INGENIERÍA

4.1 POZOS

Se continuó con el pozo de producción, los resultados de los análisis realizados en la Universidad Nueva de Lovaina y Lieja están siendo tenidos en cuenta. Se ha establecido una configuración preferencial para las tuberías/tubos del pozo y se está investigando sus posibilidades de disponibilidad y producción mediante envío de solicitudes a suministradores potenciales. El único suministrador de tuberías aisladas según las especificaciones es la empresa KAWASAKI THERMAL SYSTEM de los Estados Unidos. Una estimación inicial del tiempo de entrega sería de 6 meses o más.

4.2 INGENIERÍA BÁSICA DE LA PLANTA DE SUPERFICIE.

El contrato para la Fase I de la Ingeniería de la Planta de Superficie (Diseño básico) fue llevado a cabo por JOHN BROWN SENER en agosto de 1993.

El trabajo constaba de una revisión del diseño inicial de la planta de superficie realizado por UGE y su progresión con el suficiente detalle para obtener una estimación del coste del diseño de detalle, selección de equipos y su suministro, instalación y operación de todo lo necesario para la planta y equipos.

El contrato cubría las siguientes actividades:

- (a) Terminar PFD's incluyendo el balance de masas.
- (b) Conjunto de servicios y esquema de efluentes.
- (c) Preparar un primer documento del diagrama de la planta mostrando todos los equipos, instrumentación, tuberías, etc.
- (d) Preparación completa de las hojas de datos del proceso y especificaciones de las unidades paquete, cuando fuera necesario, una primera entrega de las hojas de datos mecánicos.
- (e) Preparar un plano de la planta con su distribución preliminar.
- (f) Preparar una lista de equipos de la planta incluyendo los eléctricos, planta de control, y otros equipos auxiliares.
- (g) Preparar las especificaciones generales para las estructuras auxiliares y otros trabajos de obra civil, equipamiento eléctrico y un "SLD" preliminar, planta de control, toma de datos e instrumentación de seguridad.
- (h) Preparar especificaciones para las tuberías, válvulas y otras líneas accesorias.
- (i) Preparar un plan para el diseño, suministro, instalación y puesta en marcha de los equipos de la planta de superficie.
- (j) Preparar los planos y documentos requeridos para la solicitud de permisos u otras instituciones

- (k) Identificar y progresar en aquellos elementos críticos de la planta en los que se necesita avanzar urgentemente para coordinar su disponibilidad con la fecha prevista de inicio.
- (l) Realizar una estimación del coste con una precisión de aprox. el 15% para la compra y alquiler de todos los equipos.
- (m) Realizar una estimación del diseño de detalle, suministro y construcción de la planta de superficie.
- (n) Preparar con detalle el alcance de los trabajos de las Fases 2 y 3 de la ingeniería de la planta de superficie (Ingeniería de detalle y Construcción).

A la finalización de los trabajos, JOHN BROWN SENER produjo dos documentos básicos: Libro de Datos del Proceso y Estimación de Coste de Capital y Planificación Temporal del proceso.

Libro de Datos del Proceso

El Libro de Proceso establece las bases para el diseño de todos los elementos de superficie necesarios para el ensayo de todos los elementos de superficie necesarios para el ensayo de GSC en El Tremedal e incluye todas las hojas/dibujos estándar requeridos para empezar la ingeniería de detalle (balances de masas, "PID's", hoja de procesos de datos, plano de superficie y disposiciones preliminares, lista y especificación de equipos, especificaciones de tuberías, lista de instrumentación, áreas de peligro y sistema de agua contraincendios).

La instalación se diseñó para operar aprox. 6 meses, 7 días por semana, 24 horas por día, para un reactor de GSC de unos 10-15 MW térmicos. El agente gasificante principal será una mezcla de oxígeno y agua con espumante.

La planta de superficie comprenderá cuatro áreas principales (ver Figura 8). Estas son el área de inyección y servicios, área de eliminación y muestreo del gas producto, áreas de las oficinas y control y área de los pozos.

El área de inyección y servicios, la más extensa, comprenderá los tanques, bombas, vaporizadores y pulmones para el oxígeno y nitrógeno, depósitos de argón, tanques de agua y espumante y bombas, compresores de aire y secadores, tanques de propano, caldera de vapor y equipo asociado, planta para agua contraincendios. Este área incluirá las plantas y elementos de descarga para propano, agua, oxígeno y nitrógeno y se situará en la plataforma inferior de la zona.

Los componentes principales para la eliminación del gas producto serán la antorcha, incinerador, unidad de venteo para flujos pequeños, tanque para aguas sucias y el sistema de despresurización de gas en dos etapas (líneas de flujo alto y bajo). El componente principal del área de muestreo será el trailer para el muestreo y análisis del gas producto que realizará un muestreo y análisis continuo de la corriente de gas. Además de esto se colocará una unidad de muestreo de partículas para realizar muestreos intermitentes de la corriente de gas.

El área de eliminación/muestreo del gas producto se situará en la plataforma superior cerca del pozo de producción.

En el área de la oficina y control estará la caseta del Control y Adquisición de Datos, la caseta para el personal y un contenedor de almacén/trabajo. Este área se situará en la plataforma intermedia con acceso directo desde el camino principal. Este lugar ofrece buenas vistas desde la caseta de control a todas las áreas funcionales. Los accesos a través de las plataformas permitirán un acceso fácil al personal desde las casetas de control/oficinas a las áreas de eliminación/muestreo e inyección/servicios.

El área de los pozos se distribuye en toda la zona y se compone de pozos de proceso - el pozo desviado de inyección IW1 (ET4), el pozo de inyección vertical transversal IW2 (ET6) y el pozo de recuperación RW (ET5), además, dos pozos de seguimiento, el vertical MW1 (ET1) y el desviado MW2 (ET2). Todos los pozos de proceso/seguimiento se atenderán mediante los conductos de tuberías de proceso/servicio y los paquetes de cables de instrumentación. Cada pozo de proceso estará provisto de una unidad de control/medida para facilitar el control de los fluidos de inyección durante todas las fases del proceso.

Los parámetros básicos de la planta de superficie están presentados en el Cuadro IX y en la Figura 9 se presentan los diagramas de flujos.

Estimación de Costes de Capital y planificación en tiempo del proyecto

JOHN BROWN SENER estimó un coste aproximado de 850 MPTA para el coste del Diseño de Detalle, Fase 2, y el coste total de inversión en suministros, compra/alquiler, construcción e instalación de toda la planta de superficie y equipos, Fase 3 (excluida pozos y cabezas de pozo). En el Cuadro X se presenta un desglose de la estimación.

Con respecto a la planificación temporal, JOHN BROWN SENER prevé que se requerirá un período de tres meses para llevar a cabo el trabajo de diseño de detalle y preparar las especificaciones finales y hojas de pedido para la compra. Estimó un periodo de 3 a 6 meses para el suministro. El camino crítico de esta etapa lo constituyen el suministro de la unidad criogénica, el incinerador, la unidad de análisis del Sistema de Adquisición de Datos y Control y la Unidad de Análisis/muestreo del gas producto. Se estimó que el período de construcción se extendería de 3-4 meses.

4.3 INGENIERÍA DE DETALLE Y CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE SUPERFICIE

La Fase 2 de la Ingeniería de Detalle de la Planta cubre la terminación de todos los trabajos de diseño e incluye la selección de los equipos, hojas de datos, especificación de las unidades paquetes y las hojas de pedido para

compras. La Fase 3 comprende el suministro, construcción e instalación de los equipos y planta, y una puesta en marcha completa.

Las compañías de ingeniería serán invitadas a las licitaciones para las fases 2 y 3 de la ingeniería de la Planta de Superficie ya que se terminó el sondeo desviado en capa IW1 (ET4) . La invitación a la licitación saldrá en Enero-Marzo 1994.

4.4 PROGRAMA DE SOPORTE

La colaboración comenzó con la T.U. DELFT, de Holanda, en tres proyectos concernientes con el comportamiento del proceso de GSC. Los tres proyectos son:

1. Estabilidad termomecánica de las rocas del recubrimiento de una cavidad de GSC.
2. Formación y comportamiento de la escoria.
3. Modelo de gasificación de carbón en canal.

Se firmó un contrato con el INSTITUTO DE CARBOQUÍMICA de Zaragoza para medir las reactividades de la pirólisis y semicoque del carbón de El Tremedal mediante experimentos de laboratorio, y modelizar el proceso de combustión/gasificación para predecir las temperaturas máximas del carbón en capa como una función de las condiciones del proceso.

Determinación de la reactividad del carbón

Las muestras de semicoque se obtendrán de analizador termogravimétrico en las siguientes condiciones de pirólisis:

Gradiente de calentamiento	5° C/min.
Temperatura máxima	1000° C
Tiempo a 1000° C	1 hora
Gas	Nitrógeno
Velocidad	8 cm/s

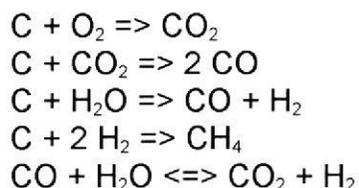
Con el semicoque obtenido en las condiciones previamente mencionadas se realizarán experimentos con O_2 , CO_2 y H_2O . La granulometría del semicoque se situará entre 100 y 200 μm . Se utilizarán las temperaturas adecuadas y mezclas de gases para facilitar la correlación de los resultados a los modelos de reactividad existentes.

Se realizarán 36 ensayos.

Máxima temperatura del modelo

La máxima temperatura en capa del modelo se podrá predecir para un rango de condiciones de operación en un modelo que tendrá en cuenta la cinética de las diferentes reacciones de combustión/gasificación y las propiedades térmicas del semicoque y de las rocas encajantes.

El modelo a utilizar será el del núcleo no reactivo contraído calentado el semicoque por conducción y radiación desde el frente de reacción. Se considera el siguiente conjunto de reacciones con sus consiguientes cinéticas.



El conjunto de ecuaciones diferenciales para el balance de masas de cada reactividad y el balance calorífico del sólido y gas se dispondrá y resolverá para diferentes condiciones iniciales, proporcionando perfiles de temperaturas para sólido y gas, y composición del gas. Se simularán el efecto de las variables operativas en el perfil de temperaturas y la máxima temperatura alcanzada en el sólido para determinar la ventana de variable de operación para evitar el reblandecimiento y fusión de las cenizas.

Ensayo de pirólisis del carbón

Se estudiará el comportamiento a la pirólisis del carbón en un reactor de lecho fijo con muestras de 100 - 250 g. de carbón molido a 4 mm. Se utilizará un gradiente de 10° C. El calentamiento se realizará sin arrastre de gas con el fin de aumentar el tiempo de residencia de los volátiles en el lecho de carbón. Se aplicará un período de tiempo adicional de 30 min. a la máxima temperatura.

Se realizará un total de 15 ensayos.

El comportamiento de la pirólisis se evaluará con la medida de los siguientes resultados:

- Distribución de productos
 - Semicoque obtenido
 - Alquitranes obtenidos
 - Gas obtenido
 - Agua obtenida
 - H₂, CH₄, CO, CO₂, C₂H₄, C₂H₆, H₂S, COS
 - Distribución del azufre entre alquitranes, gases y líquidos.
 - Correlación empírica entre semicoque, y gas obtenido dependiendo de la temperatura y presión.

5. DIRECCIÓN DEL PROYECTO

5.1 ADMINISTRACIÓN

En noviembre se pusieron anuncios en la prensa para cubrir las tres vacantes de personal así como en universidades españolas. Las entrevistas se iniciarán en enero de 1994. Los puestos serán:

- Control de Proceso y Modelización.
- Adquisición de Datos y Control.
- Coordinador de Campo.

En octubre de 1993 se realizó la conversión del segundo piso del edificio de las oficinas.

5.2 PROBLEMAS/DIFICULTADES

El problema técnico más importante fue la imposibilidad de conseguir el grado de control requerido en la perforación direccional para alcanzar la trayectoria deseada en el intervalo en capa del sondeo de inyección desviado IW1 (ET4).

El objetivo de perforar un intervalo de 100 m. en capa no se alcanzó completamente. Sin embargo, unos 30 m. de pozo detrás de la zapata 9 5/8" se sitúan en carbón, considerándose que parte de esta sección puede ser utilizada para la gasificación, con lo que resulta que existe una longitud útil para la gasificación de unos 90 m.

Una de las cuestiones que pueden afectar al avance futuro es el largo periodo que se espera en el suministro de algunos elementos para el pozo de producción.

5.3 CAMBIOS DE ESTRATEGIA

La situación de parte de la trayectoria justo bajo la capa de carbón no presenta un serio impedimento en el avance de la gasificación, ya que los puntos "CRIP" de ignición/inyección están situados cerca del muro de la capa. Para conseguir esta configuración se propuso realizar sólo dos puntos de inyección ("CRIP") en la fase de gasificación (en lugar de los tres inicialmente previstos).

5.4 TRABAJOS FUTUROS

Al haberse terminado el sondeo de inyección desviado, se abrirá la licitación para las Fases 2 y 3 de la Ingeniería de la Planta de Superficie. La invitación a la licitación está preparada y se enviarán en abril-mayo 1994.

Se abrirán licitaciones para el diseño de detalle y construcción de la Unidad de Adquisición de datos y Control así como para la Unidad de Muestreo y Análisis de Gases. Estas unidades estarán separadas de las Fases 2 y 3 de la Ingeniería de la Planta de Superficie ya que aquellas requieren especial conocimiento, expertos y recursos.

Se continuará con los trabajos de pirólisis y comportamiento de la reactividad de los carbones subbituminosos de El Tremedal que se vienen realizando en el INSTITUTO DE CARBOQUÍMICA como parte de programa de soporte.

Una vez recibida asesoría técnica y el análisis final, se solicitarán las tuberías aisladas y las de aleaciones especiales.

5.5 CONFERENCIAS, PUBLICACIONES E INFORMES

- "Informe Geológico y de Perforación del Sondeo Tremedal 4" (80/IN/94S). Informe interno por C. BARAT, A. OBIS.
- "Informe de análisis de Cenizas".
(UGE ref. 29/ 03.09.93).
Informe preparado por el INSTITUTO DE CARBOQUÍMICA, Zaragoza.
- "Caracterización Microscópica y Ensayos de Hinchamiento y Carbonización de cuatro muestras de carbón"
(UNE ref. 32/15.12.93)
Informe preparado por el INSTITUTO NACIONAL DE CARBÓN, Oviedo.
- "ET 4 Drilling and MWD Summary"
(UGE ref. 33/13.12.93)
Informe preparado por BAKER HUGHES.
- "Well Summary for Underground Gasification Europe Well: "ET4"
(UGE ref. 43/05.01.94)
Informe preparado por DOWELL IDF.

Vocablos más comunes utilizados en el mundo del Petróleo que aparecen en las figuras. Equivalentes en Castellano.

Target =	Objetivo (en perforación dirigida)
KOP =	Punto de despegue (inicio de la desviación)
Wellhead =	Cabeza de pozo
Hole =	Pozo, agujero perforado
Open Hole =	Pozo Desnudo
Casing =	Tubería de Revestimiento, sujeción de las paredes del pozo
Tubing =	Tubo o tubería colgada
Liner =	Tubo colgado
Liner Hanger =	Colgador de Tubo (sistema sujeción del tubo)
MD =	Medida longitudinal del sondeo. Profundidad Medida (PM)
Rotary =	Perforación a rotación
POOH =	Extracción de la Sarta
MWD =	Sistema de Medición Mientras se Perfora. (MMP)
DHM =	Motor de Fondo utilizado en la perforación direccional (MF)
Shoe =	Zapata, zapato, útil para la cementación, enroscado del final del "casing"
X-Over =	Manguito reductor (pasa de una rosca a otra)
Tubing Hanger =	Colgador, sujetador del Tubo.

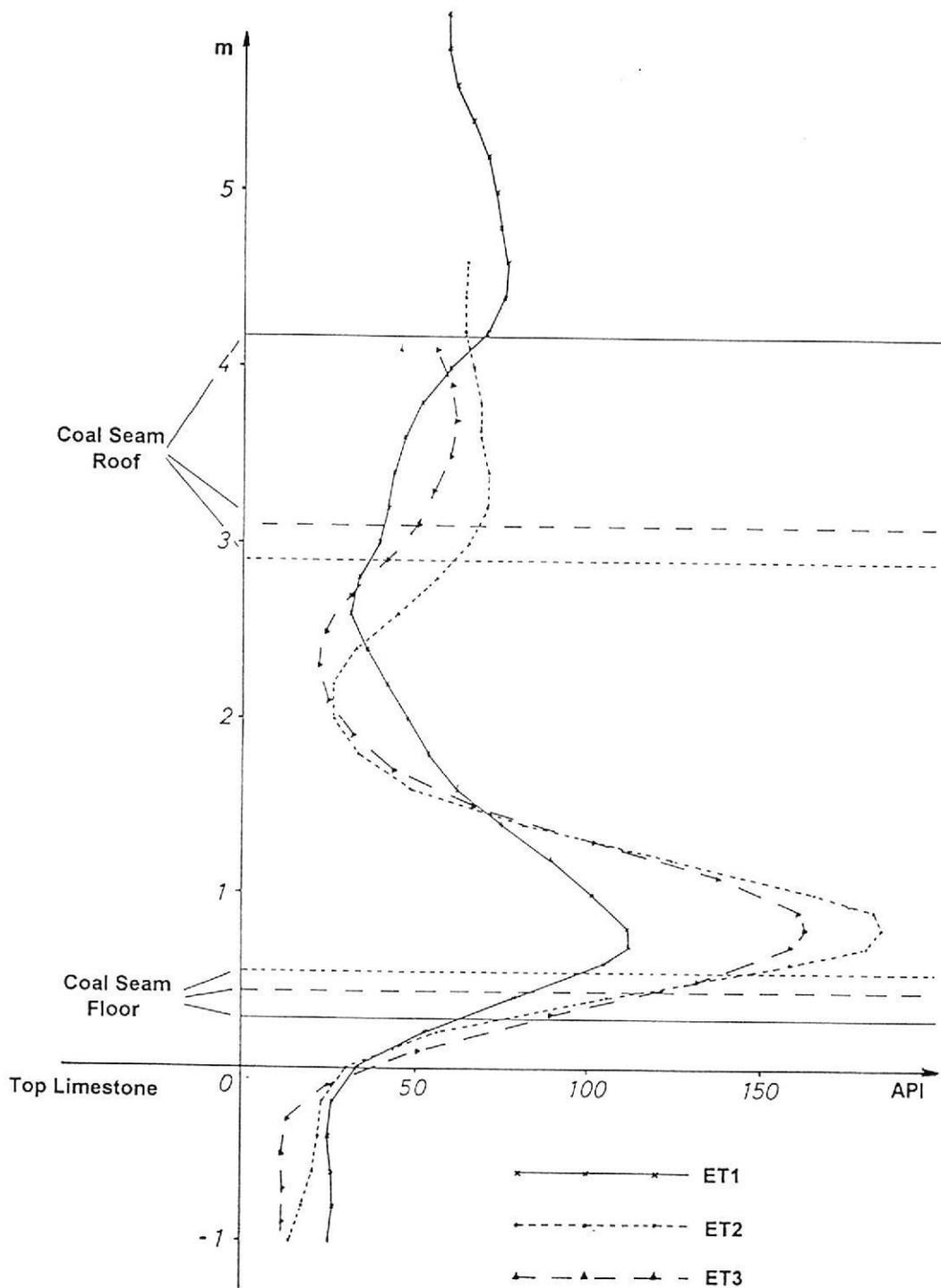


Figura 1 . Perfiles Rayos Gamma Sondeos Exploración
(Altura con respecto al techo de la Caliza)

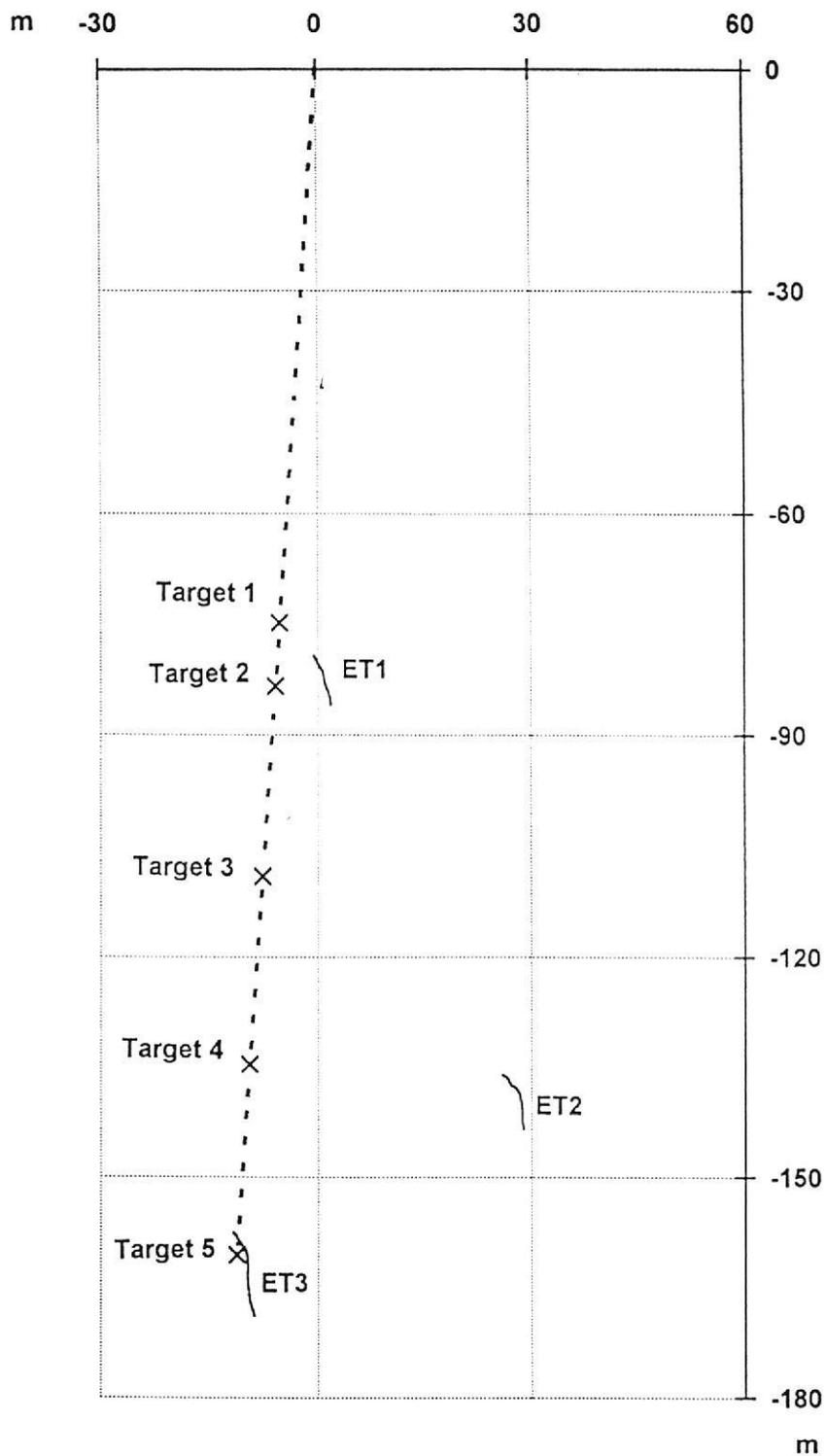


Figura 2a . ET4 Trayectoria Prevista (Sección Horizontal)

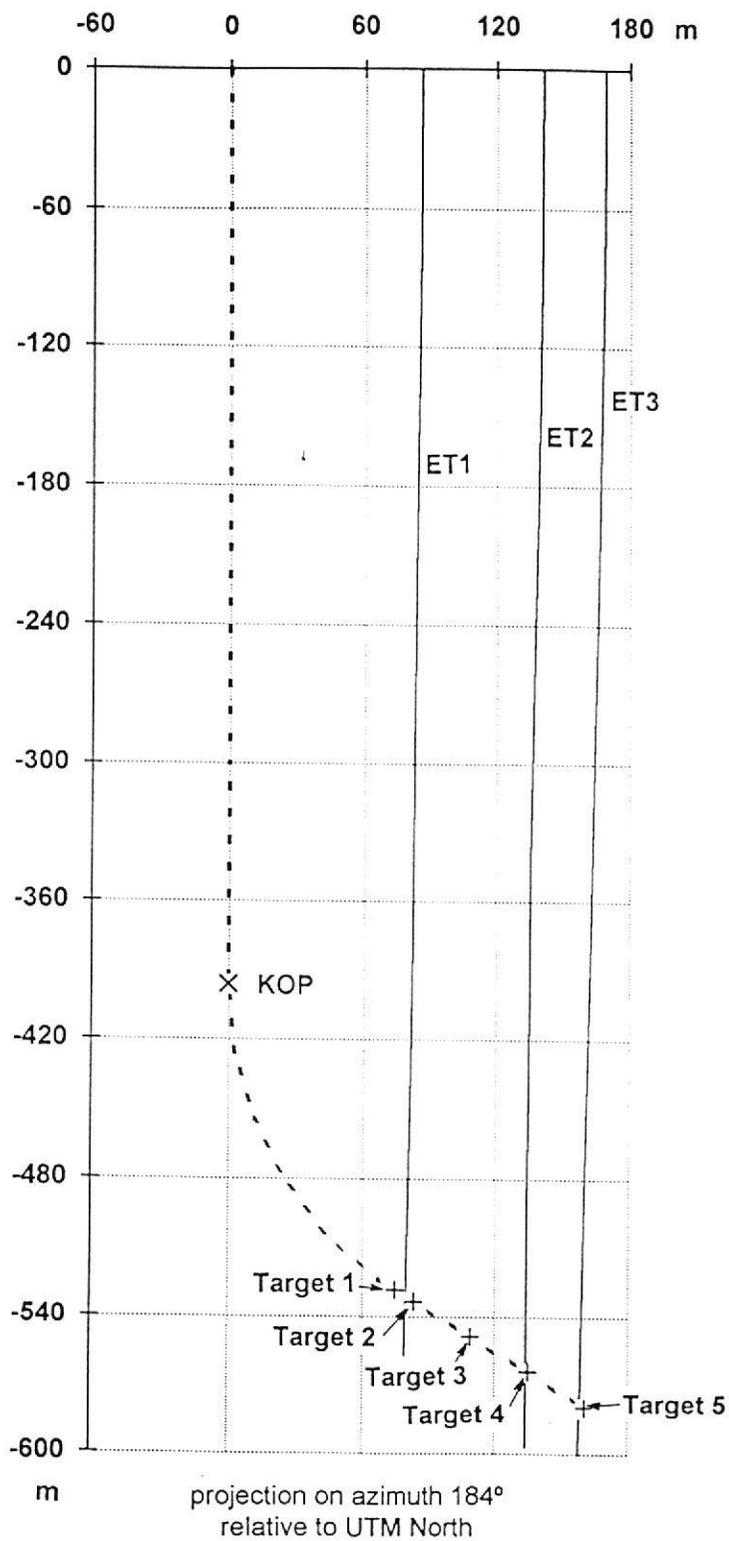


Figura 2b . ET4 Trayectoria Prevista (Sección Vertical)

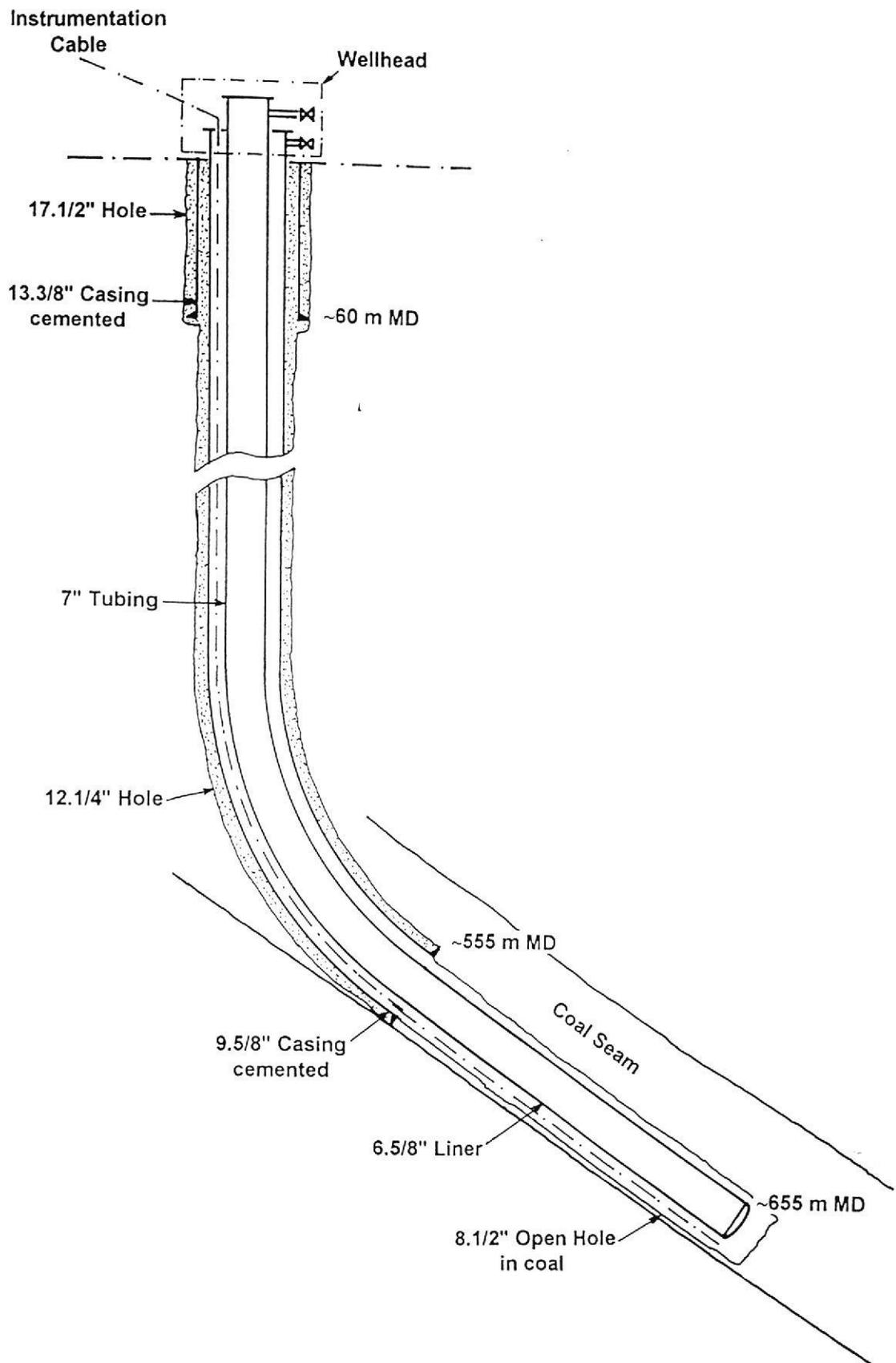


Figura 3a . ET4 Equipamiento Previsto (Programa Base)

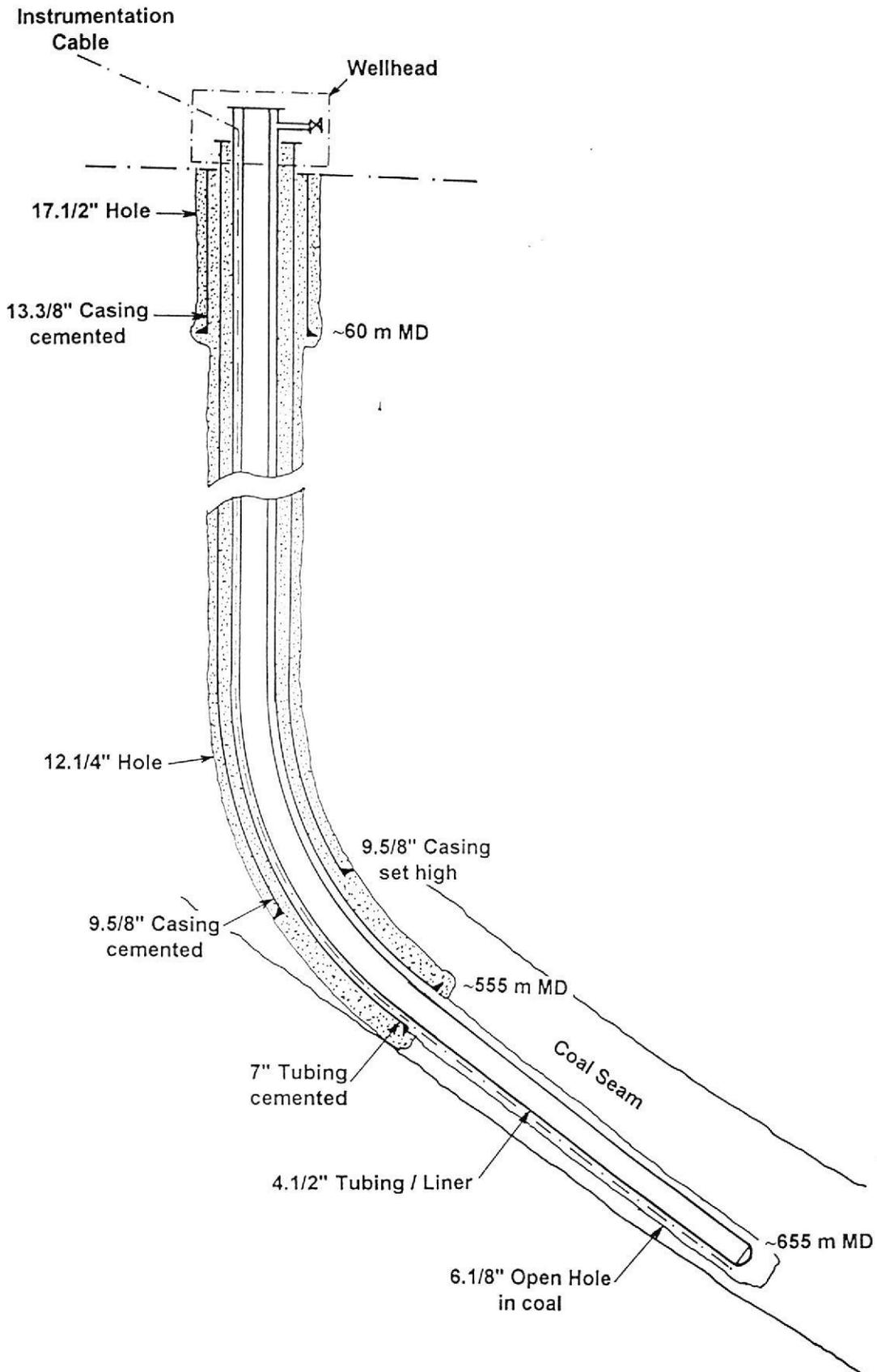


Figura 3b . ET4 Equipamiento Previsto(Primer Programa de Contingencia)

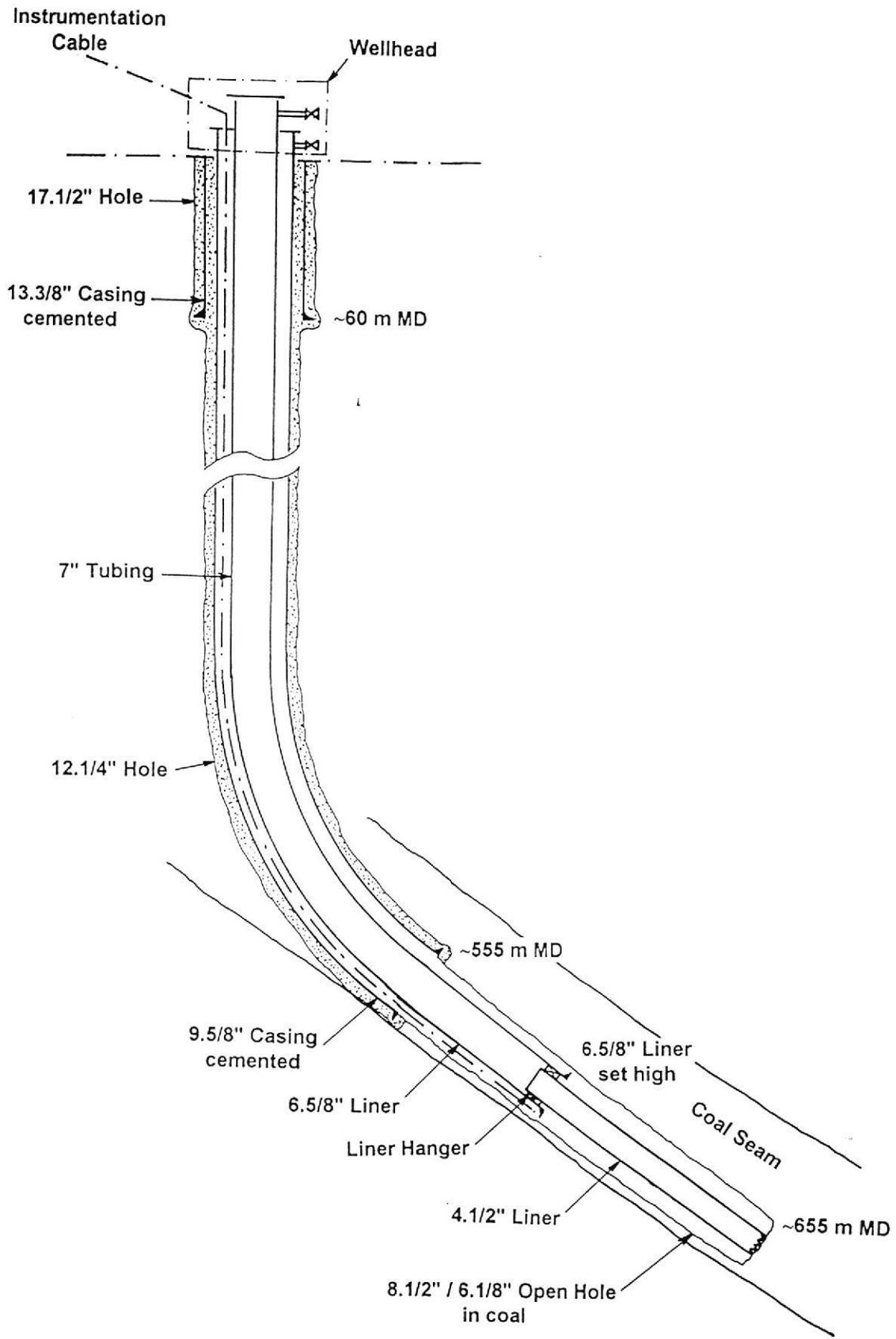


Figura 3c.ET4 Equipamiento Previsto(Segundo Programa de Contingencia)

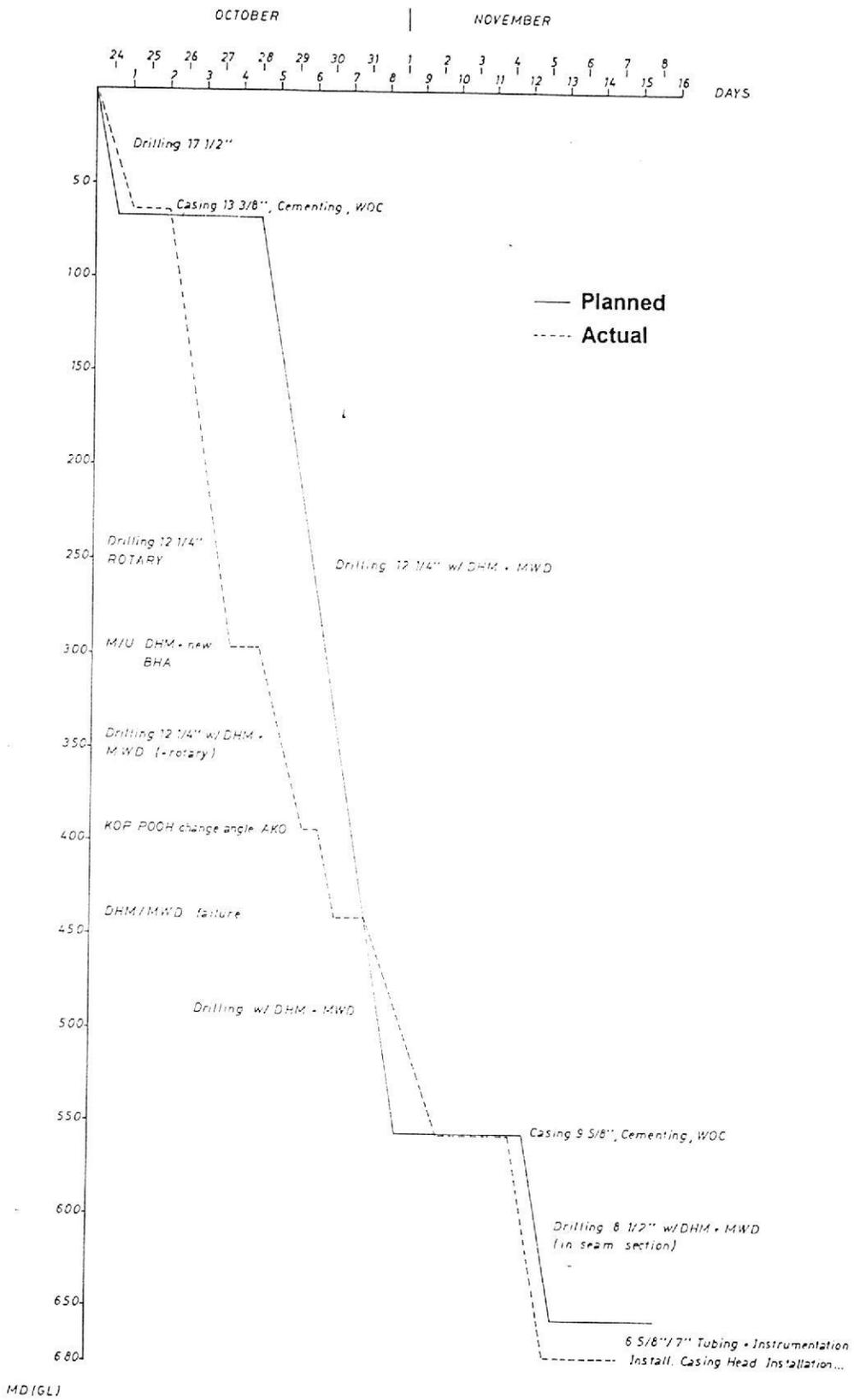


Figura 4 . ET4 Comparación Avance/Tiempo entre Realización y Estimación

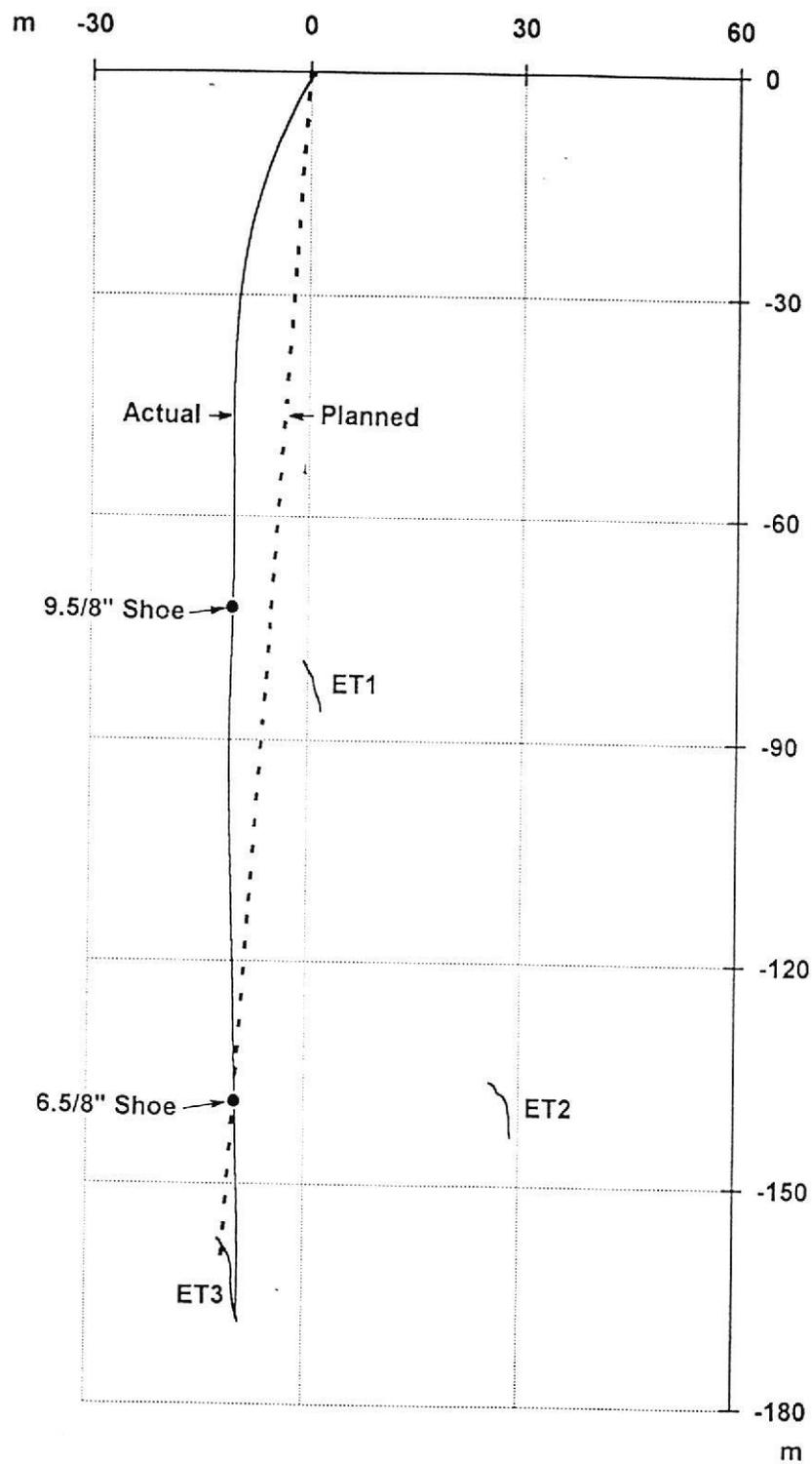


Figura 5a . Comparación entre Previsto y Trayectoria Real del ET4 (Sección Horizontal)

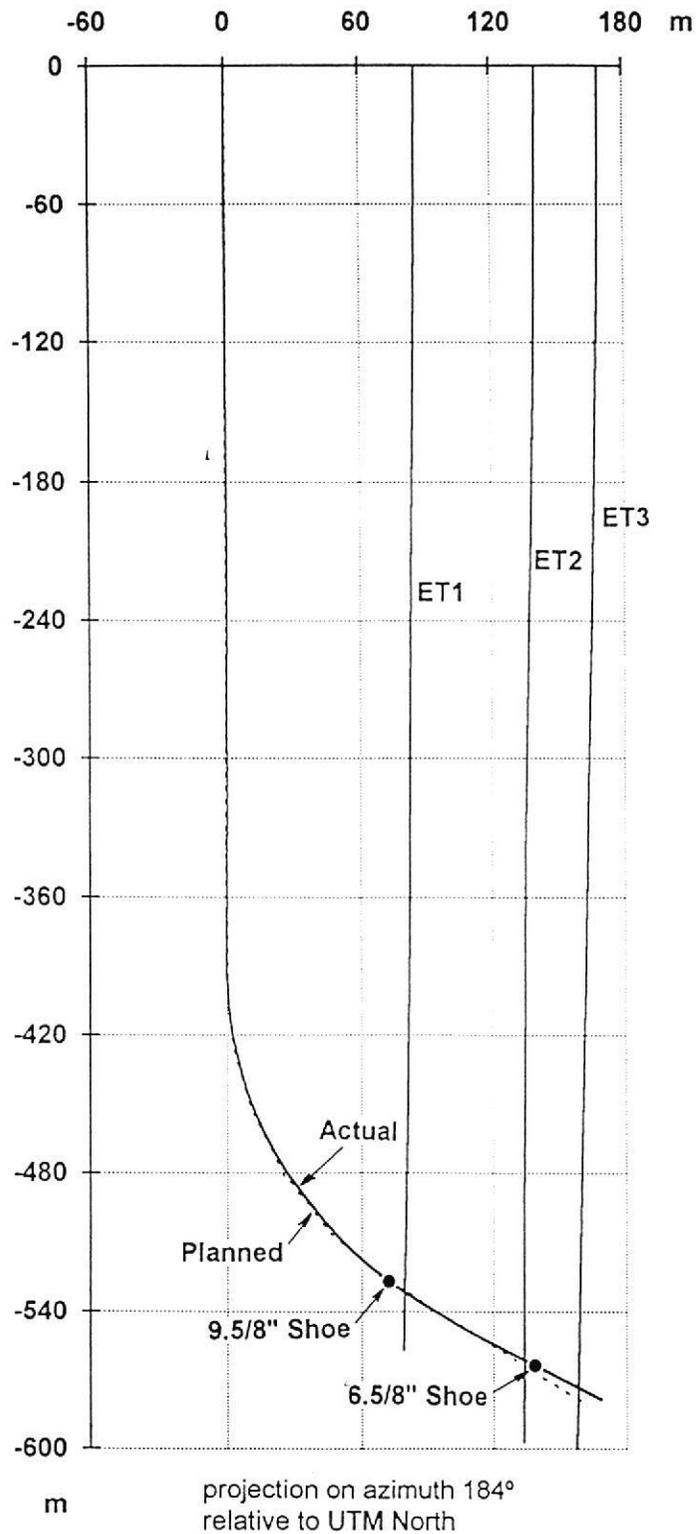
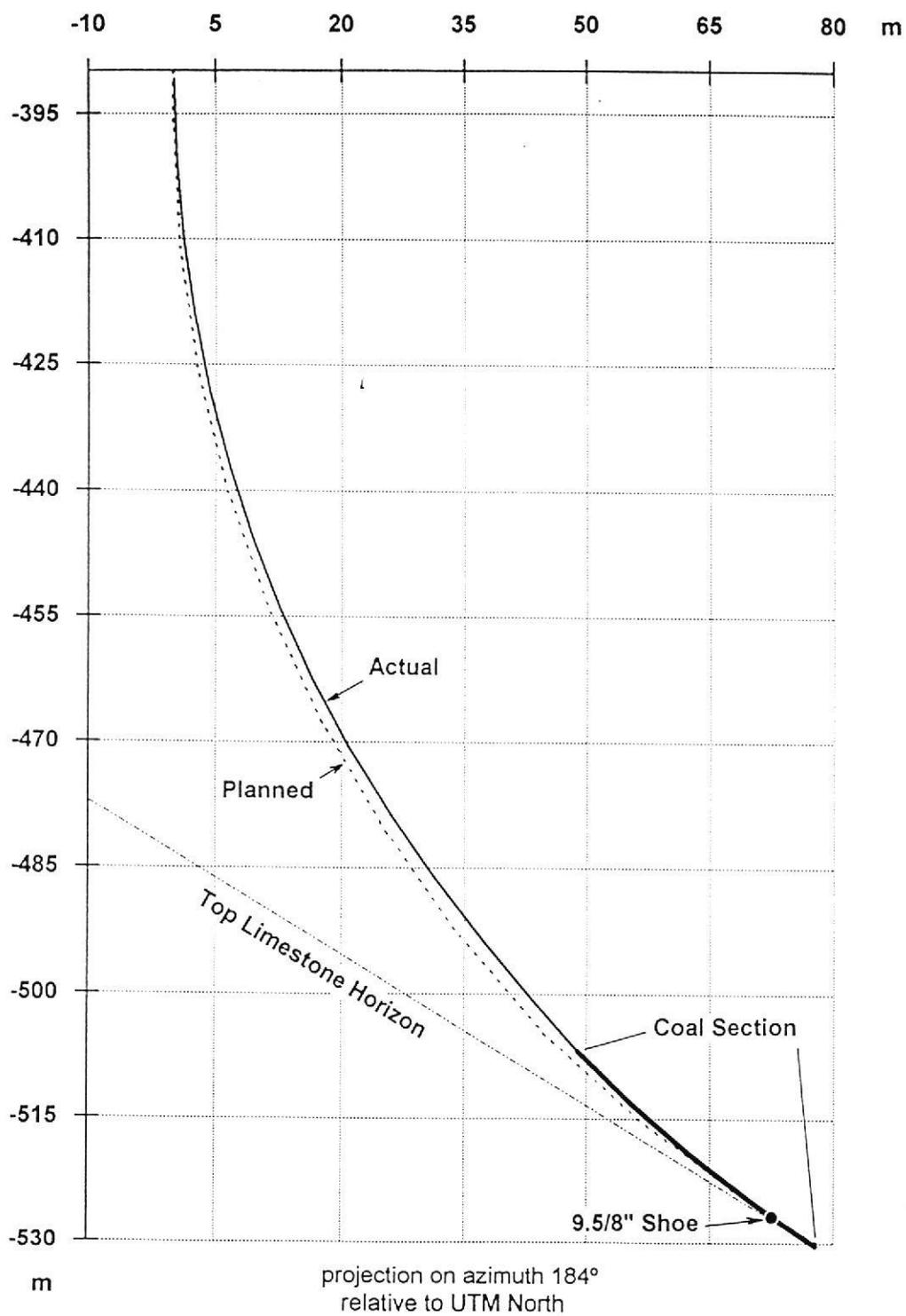


Figura 5b . Comparación entre la Trayectoria Prevista y la Real del ET4 (Sección Vertical - Trayectoria Total)



**Figura 5c . Comparación entre la Trayectoria Prevista y Real del ET4
(Sección Vertical - Intervalo Desviado)**

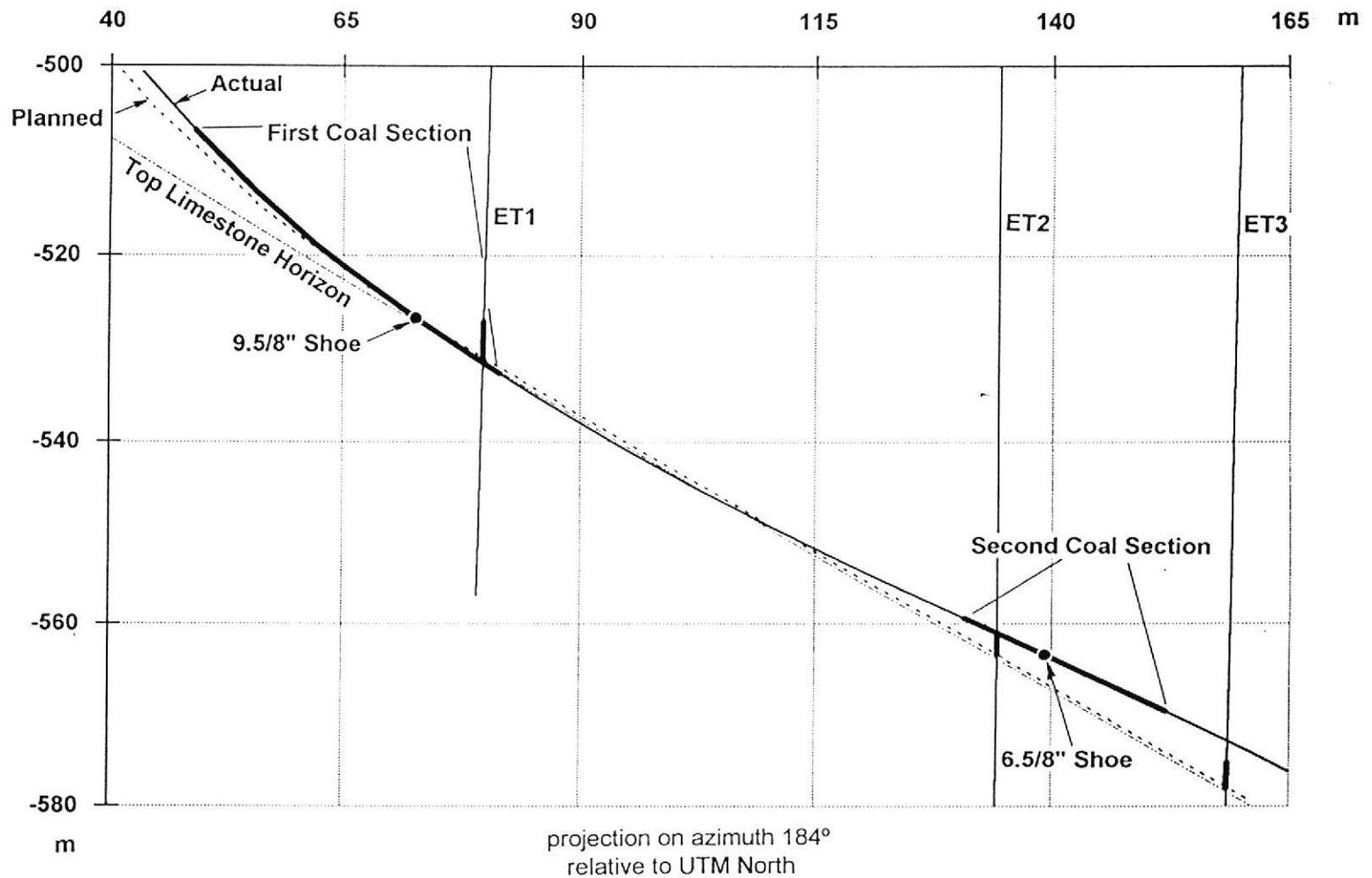


Figura 5d . Comparación entre la Trayectoria Prevista y Real del ET4 (Sección Vertical - Intervalo en capa)

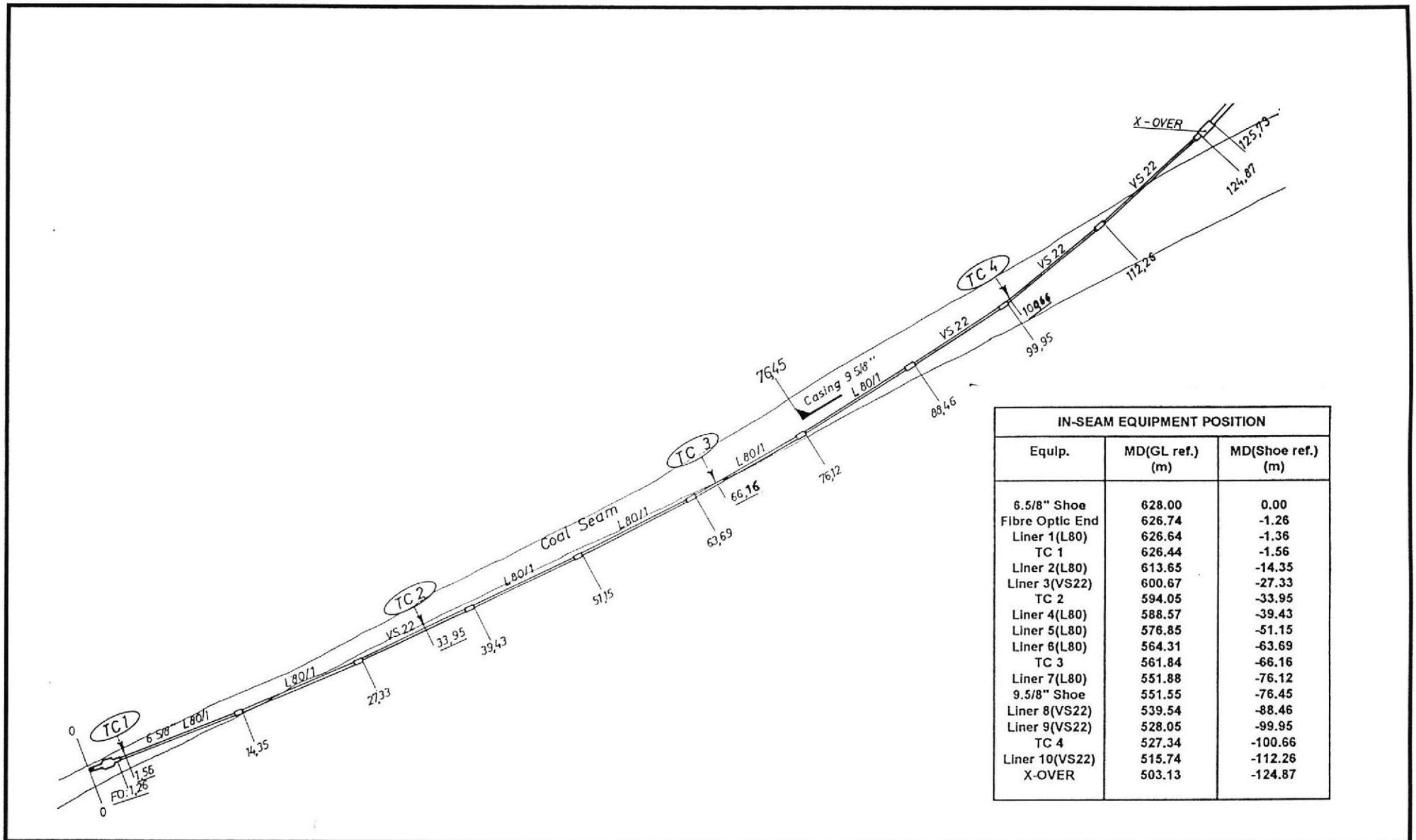


Figura 6 . Equipamiento en capa del ET4

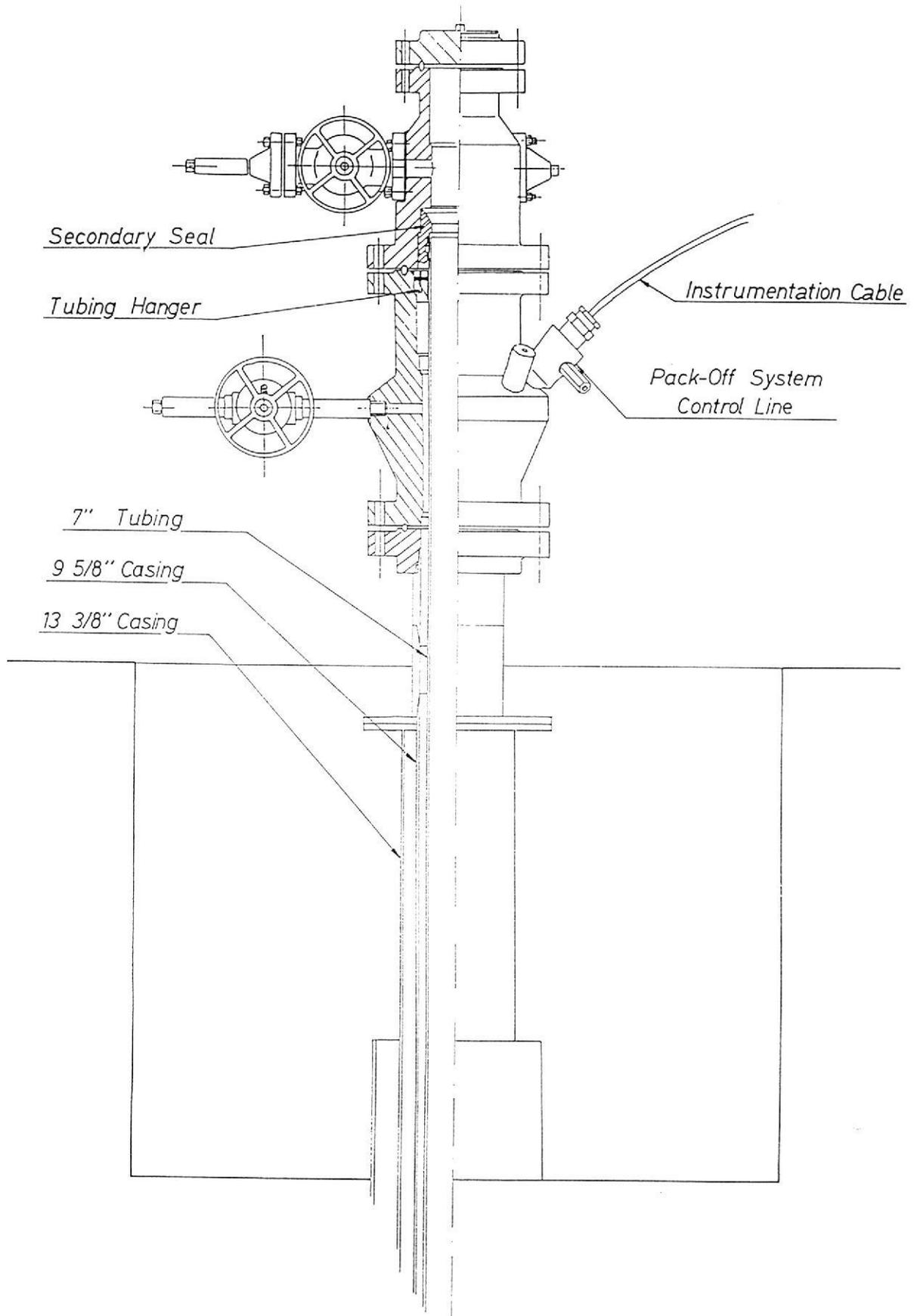
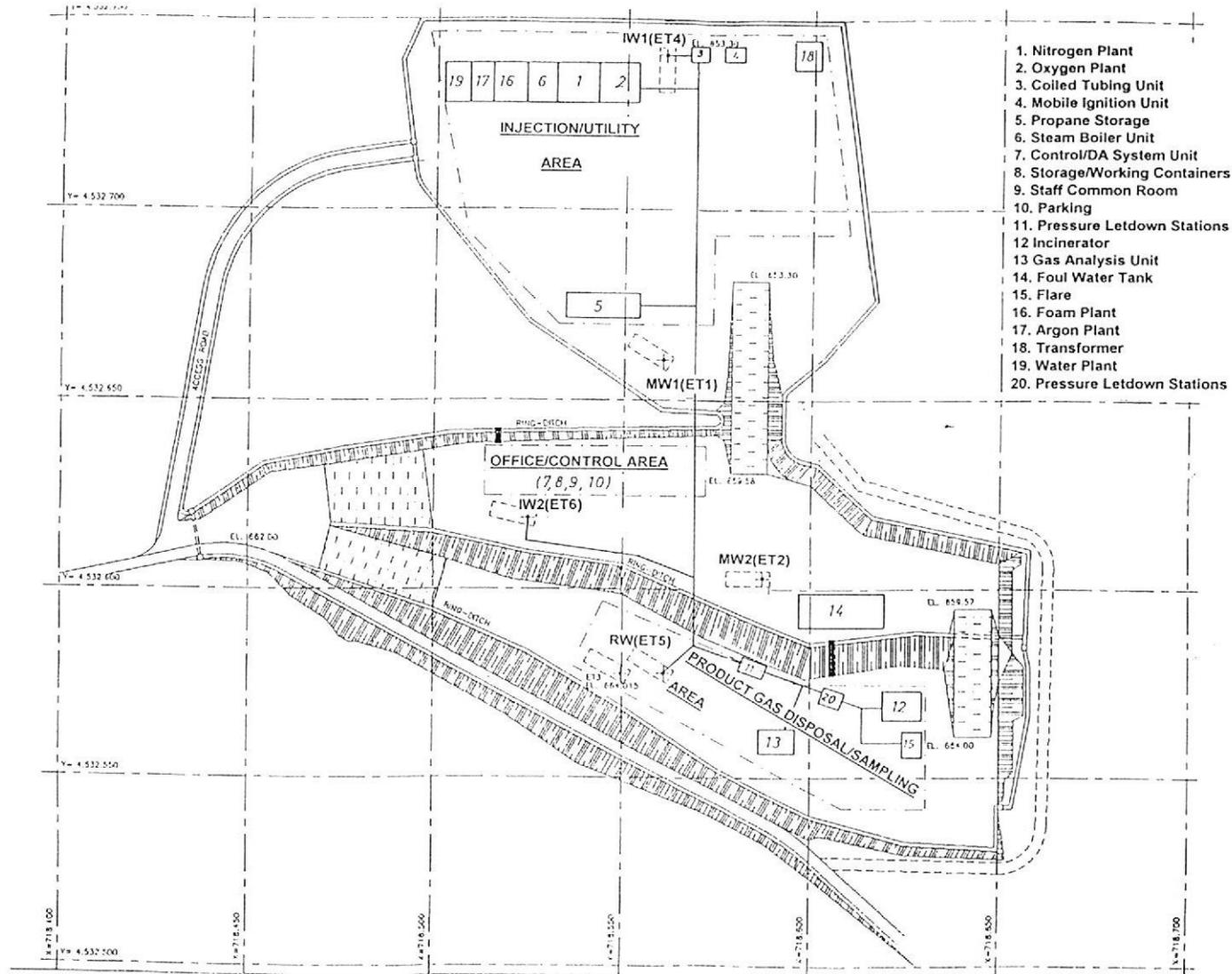


Figura 7 . Conjunto de la Cabeza de Pozo del ET4



JOHN BROWN ENGINEER

Figura 8 . Áreas de la Planta de Superficie

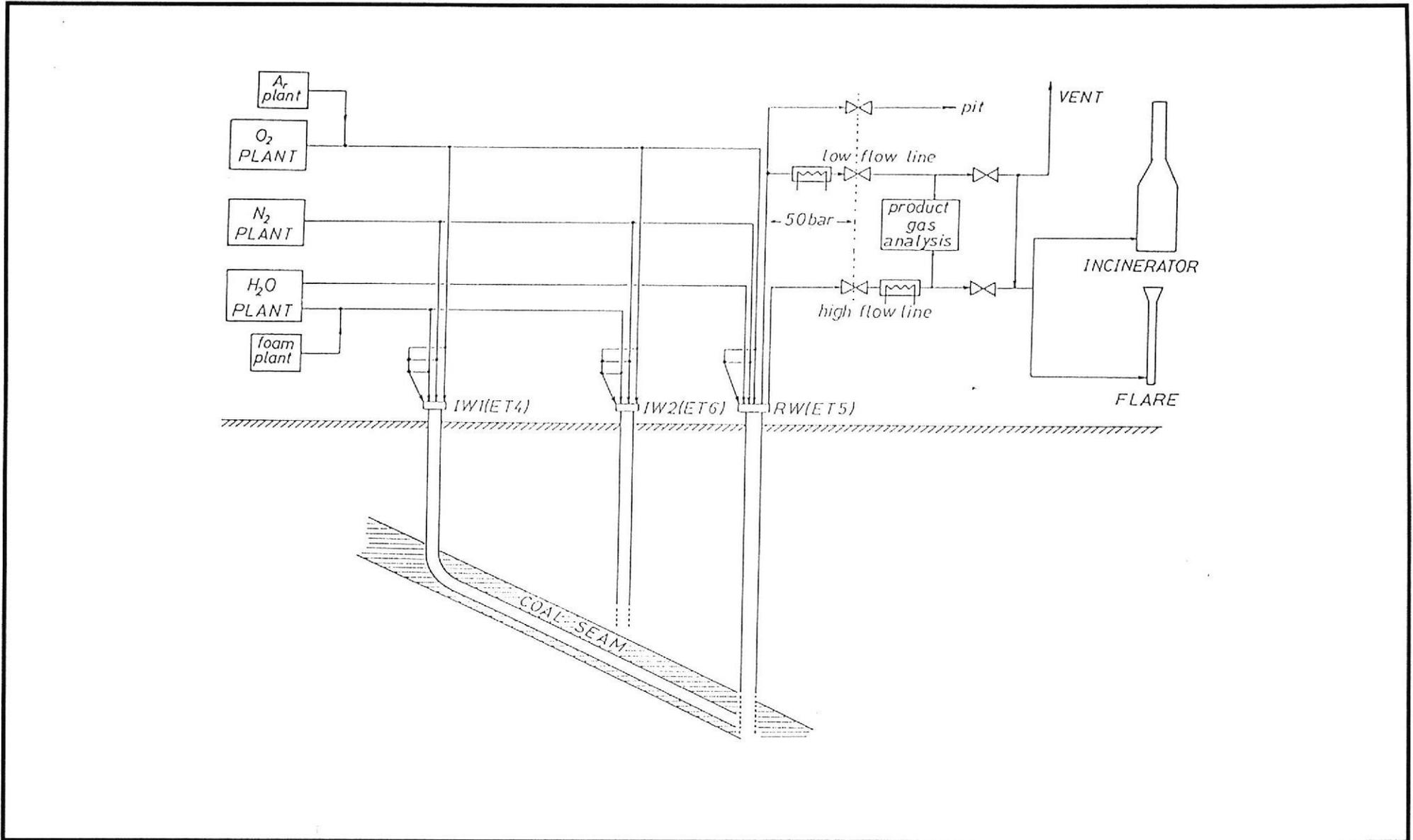


Figura 9 . Diagrama de Flujo del Proceso

Elemento	ET1	ET2	ET3	Media
Sílice	6.0	8.3	7.6	7.3
Aluminio	4.6	6.8	6.4	5.9
Hierro	31.1	31.7	32.5	31.8
Calcio	7.5	7.4	7.0	7.3
Magnesio	1.6	1.4	1.4	1.5
Potasio	0.3	0.3	0.3	0.3
Sodio	0.1	0.1	0.2	0.1
Titanio	0.2	0.3	0.3	0.3

Cuadro I . Composición de las Cenizas de la Capa de Carbón Superior (% en peso)

Litología	Nº Muestra	Vitrinita %	Exinita %	Inertinita %	Reflectancia %	Índice de Hinchamiento	Semi-coque Residual (Gray-King)	Tipo de Semi-coque (Gray-King)
Capa Superior (ET2)	1	68.0	0.0	32.0	0.39	0.0	70.10	Pulvurulento
	3	72.6	0.5	26.9	0.38	0.0	68.81	"
	Total	70.3	0.3	29.4	0.39	0.0	69.46	"
Capa Superior (ET3)	1	76.4	0.0	23.6	0.43	0.0	69.75	Pulvurulento
	3	76.1	0.0	23.9	0.39	0.0	67.18	"
	Total	76.2	0.0	23.8	0.41	0.0	68.47	"

Cuadro II . Análisis Petrográficos en los pozos ET2 y ET3

Tipo de Tricono	Parámetros de Perforación recomendados		Observación
	*PST (ton.)	RPM	
SMITH DGJ / 131 17.1/2"	7 - 25	90 - 170	Fase de Perforación 17.1/2"
SMITH DSJ / 111 12.1/4"	9 - 20	70 - 180	Perforación Tapón/Zapata 13.3/8"
SMITH M1S / 435 12.1/4" Insert bit	7 - 23	90 - 280	Fase de Perforación 12.1/4" (vertical/desviación) blando / formación ligeramente abrasiva
REED MHP13G / 137 12.1/4" Motor bit with Mudpick	2.5 - 11	150 - 450	Fase de Perforación 12.1/4" (vertical/desviación) blando/formación ligeramente abrasiva
REED S13G / 135 8.1/2"	7.7 - 19.6	60 - 250	Perforación Tapón / zapata 9.5/8"
SMITH MFDGH / 137 8.1/2" Motor bit	7 - 20	100 - 250	Fase de perforación 8.1/2" (sección en capa) formación blanda/media
REED MHP13G / 137 8.1/2" Motor bit with Mudpick	2.5 - 11	150 - 450	Fase de perforación 8.1/2" (sección en capa) formación blanda/media
SMITH ECONOMILL 5.7/8"	-	-	Fase perforación zapata guía / en capa (básica y contingencia 2)
SMITH FDT / 126 6.1/8"	4 - 11	50 - 140	Perforación Tapón /Zapata 7" (contingencia 1)
SMITH FDG / 136 6.1/8"	4 - 11	50 - 140	Fase de perforación 6.1/8" (en capa - contingencia 1) formación blanda/media
REED HPSM / 537 6" Insert bit	8.4 - 16.2	50 - 110	Fase de perforación 6"(en capa - contingencia 1) formación blanda/media
SMITH ECONOMILL 3.3/4"	-	-	Perforación zapata guía 4.1/2" (contingencia 1 y 2)

Cuadro III . ET4 Programa de Triconos

* PESO SOBRE TRICONO

Día	Perforación	Parada / Mantenimiento	Preparación lodo/circulación	Colocación tubería / tubos	Espera cemen- tación	Perforación tapón / zapata Ensanche	Totco + Testifi- cación (CBL)	Maniobra equipo	Otros
1	10.25		3.00					1.00	9.75
2	9.75		0.75	3.75	2.00		0.25	1.75	5.75
3	10.50	0.25	1.00		6.50	2.25	0.50	1.50	1.50
4	22.25		0.75				0.75		0.25
5	3.25	2.00	0.50				0.25	17.75	0.25
6	20.00		0.50			1.75	0.50	1.25	
7	13.00		1.00					8.50	1.50
8	2.50	7.00	2.00					12.50	
9	14.25							5.75	4.00
10	12.25	2.50	0.50						8.75
11			1.50	8.50	9.25			4.25	0.50
12			0.75		7.25	3.00	4.50	8.25	0.25
13	10.75		0.75	4.50		0.75		5.75	1.50
14				19.50				2.00	2.50
15			1.50					14.75	7.75
Total	128.75	11.75	14.50	36.25	25.00	7.75	6.75	85.00	44.25

Cuadro IV . Distribución del Tiempo de Operación del ET4 (h.min)

Fases de Perforación	Tipo de Tricono	Parámetro de Perforación					Formación atravesada	Observaciones
		Peso sobre Tricono (ton.)	Motor de fondo	Profundidad Inicio(m)	Profundidad Finalización (m)	Trabajo Tricono (h.min)		
Intervalo Vertical 17.1/2" diam. Sarta a rotación	SMITH DGJ / 131 Toberas: 18/18/18	1 - 7	80 - 90	0.0	62.8	20.00	TERCIARIO Conglomerado, marga arcillosa, algo de arena	Formación media a blanda. T/B/G = 1/1/0
Intervalo Vertical 12.1/4" diam. Sarta a rotación	SMITH DSJ / 111 Toberas: 14/14/14	5 - 8	100 - 110	62.8	296.3	38.25	TERCIARIO Marga arcillosa, arcilla arena	Formación de media a blanda. Tricono para perforar 13.3/8" Tapón y zapata. T/B/G = 3/5/5
Intervalo Vertical 12.1/4" diam. Equipo DHM	REED MHP13G / 137 Toberas: 18/18/15	6 - 14	215 - 250	296.3	393.0	25.25	- TERCIARIO + CRETACEO Marga arcillosa, marga, arcilla y algo de arena	Formación de media a blanda. Perforado fuera del rango recomendado. T/B/G = Agotado
Intervalo de desviación 12.1/4" diam. Equipo DHM	SMITH M1S / 435 Toberas: 18/18/15	3 - 20	140 - 155	393.0	556.0	36.75	CRETACEO (ALBIENSE) Arena, arcilla y carbón	Formación blanda. T/B/G = 0/2/0
Perforación tapón / "casing collar" y cemento 9.5/8"	REED S13G / 135 Sin toberas	4 - 5	40	479.5	550.3	3.00	Tapón, "float collar" y cemento	T/B/G = 0/1/0
Intervalo en capa 8.1/2" diam. Equipo DHM	SMITH MFDGH / 137 Toberas: 18/15/15	2 - 14	90 - 210	550.3	675.5	11.50	CRETACEO (ALBIENSE) Carbón, marga carbonosa/caliza	Formación blanda media T/B/G = 0/1/0

Cuadro V . Informe de Triconos del ET4

DHM = Motor de Fondo

Tema	Coste Estimado (MPTA)	Coste Final (MPTA)
<u>Perforación</u>		
- Equipo y Personal	49.0	43.5
- Perforación Desviada	17.0	18.4
- Fluidos(Lodos)	5.0	6.1
- Triconos	5.0	5.4
- Combustible	3.0	2.3
- Agua	1.0	0.6
- Ingeniería	1.0	1.2
- Testificación Geofísica	2.0	1.6
Perforación Subtotal	83.0	79.1
<u>Equipamiento</u>		
- Tubería/Tubos	21.0	15.7
- Servicio instalación tuberías	1.5	1.2
- Cabeza de pozo	4.0	4.0
- Cables de Instrumentación	5.5	5.5
- Protectores, cable plano	5.0	5.0
- Cementación y equip.	9.5	7.2
- Obra Civil	2.0	2.5
- Miscelánea	3.5	2.4
Equipamiento Subtotal	52.0	43.5
Coste Total	135.0	122.6
Cuadro VI . Coste de Perforación y Equipamiento del ET4 (Excluido IVA)		

Nº	Descripción	Longitud(m)	Profundidad Medida(m)
45	"Pup Joint"	2.93	- 2.81
44	Tubería + Cesta Cementación	12.74	- 15.55
43	Tubería	13.35	- 28.90
42	Tubería	13.34	- 42.24
41	Tubería	13.29	- 55.53
40	Tubería + Centralizador nº 17	13.27	- 68.80
39	Tubería + Centralizador nº 16	12.68	- 81.48
38	Tubería	13.34	- 94.82
37	Tubería	13.32	- 108.14
36	Tubería	13.21	- 121.35
35	Tubería	13.34	- 134.69
34	Tubería	12.40	- 147.09
33	Tubería	13.34	- 160.43
32	Tubería + Centralizador nº 15	12.64	- 173.07
31	Tubería	13.08	- 186.15
30	Tubería	13.34	- 199.49
29	Tubería	13.31	- 212.80
28	Tubería	13.32	- 226.12
27	Tubería	13.07	- 239.19
26	Tubería	13.28	- 252.47
25	Tubería + Centralizador nº 14	13.05	- 265.52
24	Tubería	13.33	- 278.85
23	Tubería	12.80	- 291.65
22	Tubería	13.00	- 304.65
21	Tubería	13.34	- 317.99
20	Tubería	13.32	- 331.31
19	Tubería	13.35	- 344.66
18	Tubería	12.97	- 357.63
17	Tubería + Centralizador nº 13	12.81	- 370.44
16	Tubería	13.03	- 383.47
15	Tubería	12.65	- 396.12
14	Tubería + Centralizador nº 12	13.34	- 409.46
13	Tubería + Centralizador nº 11	13.04	- 422.50
12	Tubería + Centralizador nº 10	12.85	- 435.35
11	Tubería + Centralizador nº 9	12.65	- 448.00
10	Tubería + Centralizador nº 8	12.39	- 460.39
9	Tubería + Centralizador nº 7	12.42	- 472.81
8	Tubería + Centralizador nº 6	12.87	- 485.68
7	Tubería + Centralizador nº 5	12.59	- 498.27
6	Tubería + Centralizador nº 4	13.15	- 511.42
5	Tubería + Centralizador nº 3	13.16	- 524.58
4	Receptáculo Tapones	0.40	- 524.98
3	Tubería + Centralizador nº 2	12.77	- 537.75
2	Tubería + Centralizador nº 1	13.35	- 551.10
1	Zapata	0.45	- 551.55

Cuadro VII . Composición de la Tubería de Revestimiento 9.5/8"
(Profundidad respecto a Nivel del Suelo)

Nº	Descripción	Longitud(m)	Profundidad Medida(m)
52	Tubo 7" (N80) nº 39 (cortado al nivel del Colgador de Tubos)	13.33 (8.17)	- 6.91
51	Tubo 7"(N80) nº 38	13.30	- 20.21
50	Tubo 7" (N80) nº 37	12.80	- 33.01
49	Tubo 7" (N80) nº 36	13.29	- 46.30
48	Tubo 7" (N80) nº 35	13.33	- 59.63
47	Tubo 7" (N80) nº 34	12.82	- 72.45
46	Tubo 7" (N80) nº 33	13.32	- 85.77
45	Tubo 7" (N80) nº 32	13.02	- 98.79
44	Tubo 7" (N80) nº 31	12.89	- 111.68
43	Tubo 7" (N80) nº 30	12.92	- 124.60
42	Tubo 7" (N80) nº 29	13.28	- 137.88
41	Tubo 7" (N80) nº 28	12.94	- 150.82
40	Tubo 7" (N80) nº 27	12.78	- 163.60
39	Tubo 7" (N80) nº 26	12.90	- 176.50
38	Tubo 7" (N80) nº 25	13.18	- 189.68
37	Tubo 7" (N80) nº 24	12.63	- 202.31
36	Tubo 7" (N80) nº 23	12.92	- 215.23
35	Tubo 7" (N80) nº 22	13.33	- 228.56
34	Tubo 7" (N80) nº 21	13.30	- 241.86
33	Tubo 7" (N80) nº 20	12.79	- 254.65
32	Tubo 7" (N80) nº 19	13.35	- 268.00
31	Tubo 7" (N80) nº 18	13.17	- 281.17
30	Tubo 7" (N80) nº 17	12.92	- 294.09
29	Tubo 7" (N80) nº 16	13.24	- 307.33
28	Tubo 7" (N80) nº 15	13.32	- 320.65
27	Tubo 7" (N80) nº 14	12.11	- 332.76
26	Tubo 7" (N80) nº 13	12.86	- 345.62
25	Tubo 7" (N80) nº 12	13.34	- 358.96
24	Tubo 7" (N80) nº 11	12.97	- 371.93
23	Tubo 7" (N80) nº 10	13.07	- 385.00
22	Tubo 7" (N80) nº 9	13.36	- 398.36
21	Tubo 7" (N80) nº 8	13.29	- 411.65
20	Tubo 7" (N80) nº 7	12.83	- 424.48
19	Tubo 7" (N80) nº 6	12.91	- 437.39
18	Tubo 7" (N80) nº 5	12.05	- 449.44
17	Tubo 7" (N80) nº 4	13.18	- 462.62
16	Tubo 7" (N80) nº 3	13.18	- 475.80
15	Tubo 7" (N80) nº 2	13.39	- 489.19
14	Tubo 7" (N80) nº 1	13.08	- 502.27
13	Manguito reductor	0.86	- 503.13
12	Tubo 6.5/8" (VS22)	12.61	- 515.74
11	Tubo 6.5/8" (VS22)	12.31	- 528.05
10	Tubo 6.5/8" (VS22)	11.49	- 539.54
9	Tubo 6.5/8" (L80)	12.34	- 551.88
8	Tubo 6.5/8" (L80)	12.43	- 564.31
7	Tubo 6.5/8" (L80)	12.54	- 576.85
6	Tubo 6.5/8" (L80)	11.72	- 588.57
5	Tubo 6.5/8" (VS22)	12.10	- 600.67
4	Tubo 6.5/8" (L80)	12.98	- 613.65
3	Tubo 6.5/8" (L80)	12.99	- 626.64
2	Tubo 6.5/8" Pieza Final	1.07	- 627.71
1	Zapata Guía	0.29	- 628.00

Cuadro VIII . Componentes de la Tubería 7" / 6.5/8" (Profundidad respecto del Nivel del Suelo)

Descripción	Caudal	Presión	Temperatura	Almacenaje "in situ"
<u>Proceso</u>				
Planta O ₂	Hasta 1,650 Nm ³ / h	Recepción a 180 bar	Ambiente a la recepción	1.5 días
Planta N ₂	Hasta 1,200 Nm ³ / h	Recepción a 180 bar	Ambiente a la recepción	1.5 días
Unidad bombeo H ₂ O(iny.)	Hasta 6,000 l / h	150 / 165 bar	30 / 45 °C	1.5 días
Unidad bombeo H ₂ O(enfr.)	Hasta 6,000 l / h	60 / 110 bar	30 / 45 °C	1.5 días
Unidad bombeo espumante	Hasta 30 l / h	150 / 165 bar	30 / 45 °C	5 días
Planta de Argón	Hasta 1.5 Nm ³ / h	Recepción a 160 bar	Ambiente a la recepción	1.5 días
Línea recuperación Caudal Bajo	Hasta 1,400 kg / h			
- antes de la prim. descompresión		60 / 80 bar	30 / 150 / 350 °C	
- después intercambiador de calor		60 / 80 bar	140 / 150 / 350 °C	
- después de la descompresión		4 / 7 bar	130 / 140 / 350 °C	
- venteo		atm. / 3 bar	130 / 140 / 350 °C	
Línea recuperación Caudal Alto	1,000 - 15,000 kg / h			
- antes de la prim. descompresión		60 / 80 bar	170 / 300 / 350 °C	
- después de la descompresión		4 / 7 bar	100 / 270 / 350 °C	
- después intercambiador de calor		4 / 7 bar	120 / 270 / 350 °C	
- al incinerador/antorcha		atm. / 3 bar	115 / 265 / 350 °C	
<u>Servicios</u>				
Planta Generadora de Vapor	3 t / h	9 / 10 bar	175 / 194 °C	
Planta de Agua contraincendios	90 m ³ / h	9.5 / 15 bar	30 / 45 °C	2 horas
Unidad de Agua para servicios	7 m ³ / h	9.5 / 15 bar	30 / 45 °C	
Planta de Aire para servicios	100 Nm ³ / h	8 / 9 bar	20 / 45 °C	
Unidad de N ₂ para servicios	100 Nm ³ / h	9 / 13 bar	20 / 45 °C	
Planta de Propano	370 kg / h	2 / 15 bar	Ambiente	5 días
Descripción	Potencia		Voltaje	
<u>Electricidad</u>				
Transformador Principal	400 kW		380 / 220 V	
Sistema de Emergencia	150 kW		380 / 220 V	
Cuadro IX . Parámetros del Diseño Básico de la Planta de Superficie				

Descripción	Coste / Unidad(MPTA)	%
Tanques	5.100	0.6
Equipo Transferencia de Calor	10.000	1.2
Bombas, Comp. y otros	40.842	4.8
Unidades paquetes(O ₂ ,N ₂ ,Inc.,Ant..)	106.028	12.4
Equipamiento Eléctrico	29.559	3.5
Unidad de Análisis de Gases	95.433	11.2
UAD / Unidad de Control	81.350	9.5
Repuestos	9.208	1.1
Subtotal Equipamiento	377.520	44.3
Material de Tuberías	45.302	5.3
" de Instrumentación	22.651	2.7
" Eléctrico	11.326	1.3
Subtotal de Materiales	79.279	9.3
Construcción Mecánica	74.749	8.8
" Instrumentación	11.326	1.3
" Eléctrica	5.097	0.6
Subtotal Construcción	91.171	10.7
Obra Civil, Cimientos y Estructura de acero	67.251	7.9
Edificaciones Temporales	20.000	2.3
Supervisión de la Construcción	45.302	5.3
Ingeniería / Diseño	94.380	11.1
Contingencia	77.490	9.1
Coste Total	852.393	100.0

Cuadro X . Estimación del Coste de la Planta de Superficie (Fases 2 y 3)