

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

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

**INFORME TÉCNICO
ENERO 1995 - JUNIO 1995**

Grupo Directivo

A. BAILEY (DIRECTOR)

A. OBIS (DIRECTOR ADJUNTO - OPERACIONES)

M. MOSTADE (DIRECTOR ADJUNTO - TÉCNICO)

Underground Gasification Europe, (UGE), A.E.I.E.

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

ÍNDICE

- Resumen
- 1. Introducción
- 2. Geometría de la Capa de Carbón
 - 2.1 Medidas de Desviación/Orientación Complementarias
 - 2.2 Comparación de los Resultados de las Medidas de Desviación/Orientación
 - 2.3 Interpretación
- 3. Test de Inyectabilidad
- 4. Reacondicionamiento y Equipamiento de los Pozos
 - 4.1 Pozo de seguimiento Vertical
 - 4.2 Preparación de Trabajos en otros Pozos
- 5. Ingeniería
 - 5.1 Planta de Superficie
 - 5.2 Unidad de Análisis de Gas Producto
 - 5.3 Unidad de Control y Adquisición de Datos
 - 5.4 Sistema de la Fibra Óptica
- 6. Análisis del Proceso y Modelización
 - 6.1 General
 - 6.2 Lista de Datos de Campo
 - 6.3 Balances de Masa y Energía Simplificados
 - 6.4 Modelos Población-Balance
 - 6.5 Modelo Global o Simple Macroscópico
 - 6.6 Modelización detallada del Proceso
 - 6.7 Modelización del Pozo de Producción

ÍNDICE (cont.)

- 7. Programa de Apoyo/Colaboración
- 8. Dirección del Proyecto
 - 8.1 Administración
 - 8.2 Problemas/Dificultades
 - 8.3 Cambios en la Estrategia Técnica
 - 8.4 Próximos Trabajos
 - 8.5 Ampliación del Programa
 - 8.6 Conferencias, Publicaciones e Informes

Apéndice A. Cálculo del ázimut y buzamiento de un plano definido por tres puntos

Apéndice B. Cálculo de la trayectoria de un pozo por el método de mínima curvatura

Resumen

Las principales actividades llevadas a cabo durante el periodo que comprende este informe han sido la continuación del diseño de la ingeniería de detalle de la planta de superficie y del equipamiento de los pozos, el comienzo de la construcción de las Unidades de Análisis del Gas Producto y de Control y Adquisición de Datos, y las operaciones de reacondicionamiento y equipamiento del pozo de seguimiento vertical [MW1(ET1)].

Se realizaron medidas complementarias de posición/desviación con giróscopo en cuatro pozos (ET1, ET2, ET5 y ET6) para confirmar las trayectorias medidas durante la perforación. Estas medidas de posición eran necesarias para fijar la trayectoria de la perforación en las operaciones de reacondicionamiento del pozo de seguimiento desviado [MW2(ET2)], y para definir con precisión la posición de la capa de carbón para la posterior interpretación del crecimiento de la cavidad y el balance de masas. EL INSTITUTO TECNOLÓGICO Y GEOMINERO DE ESPAÑA (ITGE) llevó a cabo un ensayo de inyección de agua en el pozo ET4 para determinar la inyectabilidad en la capa de carbón y la arena situada a techo de ésta.

La compañía SERELAND continuaba con el diseño de la ingeniería de detalle de la planta de superficie durante el intervalo de tiempo que comprende este informe. Aproximadamente el 83% del trabajo de ingeniería estaba acabado a final de junio de 1995 y las órdenes de compra de los equipos críticos estaban tramitadas, sobre un 85% del los equipos de la planta de superficie estaban pedidos.

En este periodo ha comenzado la preparación y puesta en marcha de los algoritmos y software necesarios para el control del proceso, interpretación y modelización, a utilizar tanto durante las operaciones como para el análisis que se ha realizado posteriormente.

1. INTRODUCCIÓN

El presente es el séptimo informe técnico del Proyecto de Gasificación Subterránea de Carbón que se está llevando a cabo en la provincia de Teruel, España, bajo los auspicios del programa energético THERMIE de la CE.

Al comienzo del periodo que comprende este informe los pozos de proceso ya habían sido perforados y se continuaba trabajando en la ingeniería de detalle de la planta de superficie. El aprovisionamiento de los equipos continuaba en paralelo con las últimas etapas de la ingeniería de detalle, estando en este momento pedidos todos los equipos y materiales de plazo de entrega o tiempo de construcción largos. Solo el diseño de detalle de unos pocos equipos restaban por concluir al final del periodo de tiempo que comprende el informe. Se había comenzado a recibir en la planta algunos equipos.

Este informe recoge los resultados de las mediciones de posición/desviación efectuadas en los pozos, el ensayo de inyectabilidad realizado en ET4, las operaciones de reacondicionamiento y equipamiento del pozo ET1 para ser

utilizado como pozo de seguimiento, y la ingeniería de detalle de la planta de superficie y equipos, incluyendo las Unidades de Análisis del Gas Producto y Adquisición de Datos y Control. Se presentan igualmente los modelos y software en que se está trabajando para la interpretación de los resultados del ensayo.

2. GEOMETRÍA DE LA CAPA DE CARBÓN

2.1 MEDIDAS DE POSICIÓN/DESVIACIÓN COMPLEMENTARIAS

Como se mencionó en el informe técnico anterior, durante la perforación y toma de testigos del pozo de inyección transversal [IW2(ET6)] se encontró la capa de carbón aproximadamente 5,3m más alta de lo esperado en comparación con el plano de capa teórico calculado según las posiciones del muro de la capa en los tres pozos de exploración (techo de la caliza intermedia - base de la capa superior de carbón). El cálculo realizado en base a los datos obtenidos mediante los tres pozos de exploración revelaba un plano con un ázimut de N184.00°E relativo a UTM y un buzamiento de 30,51°. Los detalles del cálculo se presentan en el Apéndice A.

La falta de precisión de las medidas tomadas mediante el inclinómetro Dipmeter en los pozos de exploración fue considerada como una posible causa, siendo posiblemente los errores de este aparato en el desplazamiento horizontal de cada trayectoria, y por consiguiente del buzamiento y ázimut proyectados de la capa superior de carbón, suficientes para explicar la diferencia encontrada entre las posiciones real y estimada de la capa en ET6.

De acuerdo con estos resultados se consideró necesaria la obtención de información más precisa de la posición de la capa, con el objeto de poder fijar con precisión y confianza la trayectoria del pozo de seguimiento desviado [MW2(ET2)], y además para tener el conocimiento real de la posición de la capa en los pozos para la interpretación del crecimiento de la cavidad así como para la interpretación del balance de masas en las próximas fases del proyecto. Para confirmar la ausencia de posibles fallas entre los pozos ET4 y ET6, era deseable tener una correlación entre las coordenadas de la capa en los distintos pozos.

Se decidió efectuar las nuevas mediciones con un giróscopo dado que dentro del rango de inclinación en que nos encontramos en todos los pozos (entre 0°-70° con respecto a la vertical), este tipo de aparato es más preciso que el inclinómetro Dipmeter y que los aparatos magnéticos. Se decidió hacer nuevas bajadas con el giróscopo en los pozos ET1, ET2, ET5 y ET6 para poder mejorar la definición de sus trayectorias. Se seleccionó a la compañía SCIENTIFIC DRILLING CONTROLS para la ejecución de las mediciones, utilizándose un giróscopo tipo KEEPER, llevándose a cabo las operaciones el 22 de febrero de 1995.

2.2 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS DISTINTAS MEDICIONES

Los Cuadros I a IV recogen las trayectorias de los tramos entubados de los pozos ET1, ET2, ET5 y ET6 basadas en los datos obtenidos mediante el giróscopo complementados mediante el inclinómetro Dipmeter en el caso de ET1 y ET2. Las partes inferiores de las trayectorias de los pozos ET5 y ET6, correspondientes a los tramos no investigados, se han obtenido mediante extrapolación. La Figura 1 muestra la comparación de las cuatro trayectorias en proyección horizontal. Las trayectorias han sido calculadas por el método de mínima curvatura (ver Apéndice B).

El Cuadro V compara la posición del techo de la caliza intermedia (nivel que se toma como referencia y que constituye el muro de la capa superior de carbón) en todos los pozos perforados en "EL TREMEDAL". En general las diferencias existentes en las posiciones de dicho nivel de referencia según los distintos aparatos de medida, inclinómetro Dipmeter/magnético MWD en la primera serie de medidas, y giróscopo en la segunda serie, son relativamente pequeñas (menos de un metro), probando que las mediciones hechas por cualquiera de los sistemas son fiables. El único pozo donde se ha registrado una diferencia mayor de un metro fue en el pozo ET2. Esa diferencia, y concretamente la diferencia en el desplazamiento Norte-Sur, presenta la mayor influencia en la nueva interpretación: el desplazamiento Norte-Sur es el que más influye puesto que el ángulo del buzamiento de la capa está muy próximo al Norte-Sur.

Las Tablas VI y VII muestran la comparación entre las medidas obtenidas mediante el inclinómetro Dipmeter (SCHLUMBERGER) y las obtenidas mediante el giróscopo KEEPER (SCIENTIFIC DRILLING CONTROLS) para los pozos ET1 y ET2. Las Tablas VIII y IX comparan las medidas tomadas con el aparato magnético MWD (ANADRILL SCHLUMBERGER) y las obtenidas mediante el giróscopo KEEPER (SCIENTIFIC DRILLING CONTROLS) para los pozos ET5 y ET6. Como se hizo para la comparación entre los datos del MWD y del giróscopo en ET4, las medidas del giróscopo se interpolan mediante "spline cúbico" a las correspondientes profundidades medidas con Dipmeter en ET1 y ET2, y con MWD en ET5 y ET6.

A partir de la comparación detallada de las diferentes medidas se puede observar que las medidas de inclinación son semejantes mediante todos los sistemas, a lo largo de toda la trayectoria, con diferencias menores de $0,5^\circ$. Las mayores diferencias se observan en el segundo pozo de exploración ET2, con un valor máximo de $0,56^\circ$.

Por otro lado, la comparación en cuanto al ángulo muestra importantes diferencias. Como ya ocurrió en ET4, las máximas diferencias (hasta $57,68^\circ$) se registran en los intervalos donde la inclinación es menor de 1° . Los intervalos con inclinaciones entre 1° y 5° generalmente presentan diferencias en ángulo menores de 10° , mientras que los intervalos con inclinación mayor de 5° muestran muy buena correlación, con diferencias de alrededor de 1° o menos.

Estas comparaciones confirman que la medida del ázimut en intervalos próximos a la vertical presenta siempre errores importantes.

2.3 INTERPRETACIÓN

Con objeto de realizar la interpretación/correlación final entre los niveles de referencia (techo de la caliza intermedia) en cada pozo se llevaron a cabo cálculos de regresión lineal tomando distintos grupos de estos puntos. El estudio se realizó primero proyectando los puntos de referencia sobre un plano vertical, y segundo ajustando una línea a esos puntos mediante regresión lineal. Se probaron proyecciones con diferentes ázimuts con el objeto de obtener la mejor correlación.

La Tabla X recopila los ázimuts y buzamientos obtenidos mediante regresión lineal para los diferentes grupos de puntos de referencia tomados, y los errores mínimos. Los grupos de puntos de referencia fueron (i) los cuatro puntos situados más próximos al pozo desviado/en capa de inyección [IW1(ET4)], (ii) los cuatro puntos anteriores junto con el punto de referencia del pozo de exploración ET2, (iii) los cuatro puntos iniciales junto con el punto de referencia del pozo de inyección transversal [IW2(ET6)], y (iv) todos los puntos de referencia disponibles y de precisión aceptable. El punto de referencia obtenido en el tercer pozo de exploración ET3 mediante inclinómetro Dipmeter no se ha incluido debido a su falta de precisión (no se pudo repetir la medida con el giróscopo en este pozo).

El análisis de los datos obtenidos para los dos primeros grupos de puntos muestra excelentes resultados dando errores típicos y máximos muy pequeños. Las pequeñas diferencias entre los dos tipos de errores indica una buena distribución de los mismos. En conclusión, en estos dos casos, la interpretación, que sitúa todos los puntos en un mismo plano, es muy probable.

De otro lado, los datos obtenidos del mismo análisis cuando se incluye el pozo de inyección transversal [IW2(ET6)] parecen menos satisfactorios. Los errores obtenidos son significativamente altos, y las diferencias existentes entre los errores típico y máximo son también indicadoras de una mala distribución de los errores (aparece una gran variación de errores entre la línea ajustada y los puntos de referencia).

Aunque los errores encontrados en aquellos casos en que se incluye el pozo de inyección transversal [IW2(ET6)] se podrían explicar mediante los errores implícitos en la misma medición, en la interpretación de los testigos y datos de perforación y en el cálculo de las trayectorias, la probabilidad de que el punto de referencia de ET6 se encuentre en el mismo plano que el resto es muy baja.

Se pueden dar dos explicaciones a este hecho: (i) que el nivel de referencia, techo de la caliza intermedia, no constituye un plano perfecto, y/o (ii) la presencia de una pequeña falla de dirección aproximadamente Norte-Sur entre el pozo desviado/en capa de inyección [IW1(ET4)] y el pozo de inyección transversal [IW2(ET6)]. La primera explicación requeriría una gran

curvatura/ondulación del plano del techo de la caliza intermedia. La segunda explicación requeriría una falla con un salto de falla de aproximadamente 3,9 m (este valor se ha calculado a partir del segundo caso que incluía todos los puntos excepto ET6).

A partir de este estudio se ha definido con mayor precisión el buzamiento de la capa. El valor promedio de los buzamientos obtenido es de 29° , frente a los $30,51^\circ$ calculado con anterioridad en base a los tres pozos de exploración.

Para la representación final en sección de las trayectorias de los pozos y los tramos de carbón se ha tomado un ángulo medio de $N177^\circ E$. Las Figuras 2a y 2b muestran una sección horizontal con la representación final de las trayectorias y tramos de carbón en la zona próxima a los reactores previstos.

3. TEST DE INYECTABILIDAD

Se llevó a cabo un test de inyectabilidad en el pozo desviado/en capa de inyección [IW1(ET4)] para determinar los caudales posibles de inyección dentro de la formación (capa superior de carbón y arena situada a techo de ésta) en función de la presión y el tiempo de inyección. Esta información era necesaria para determinar el tipo de bomba que debía utilizarse durante la perforación del pozo de producción [RW(ET5)], además será útil para la preparación de la fase de combustión inversa/pirólisis.

El informe de resultados de este ensayo no fue incluido en el informe técnico previo aunque el test se llevó a cabo en noviembre de 1994 por el INSTITUTO TECNOLÓGICO Y GEOMINERO DE ESPAÑA (ITGE) y el informe preliminar se había recibido inmediatamente después de la realización del ensayo. El informe final que incluía todos los datos de las diferentes pruebas y las curvas maestras de inyectabilidad se recibió durante el primer semestre de 1995.

Entre los días 3 y 4 de noviembre personal del ITGE realizó ocho pruebas de inyección/recuperación en el pozo desviado/en capa de inyección [IW1(ET4)]. El primer día se encontraron dificultades para la inyección de agua debido a la incapacidad para controlar caudales pequeños de inyección. Tras salvar estos inconvenientes mediante el establecimiento de un "by-pass" a la salida de la bomba, se llevaron a cabo dos pruebas de inyección útiles.

El análisis de estas pruebas (inyección y test de descensos) dio los siguientes resultados:

- Transmisividad media = $0,25 \text{ m}^2/\text{día}$
- Coeficiente de almacenamiento = 10^{-3} - 10^{-4} (acuífero semiconfinado)

Los resultados de las pruebas de inyección y de descensos finales se recogen en la Tabla XI y en la Figura 3. La Figura 4 muestra las curvas maestras de inyección obtenidas.

4. REACONDICIONAMIENTO Y EQUIPAMIENTO DE LOS POZOS

Durante el periodo que comprende este informe solo se realizó el reacondicionamiento y equipamiento del pozo de seguimiento vertical [MW1(ET1)], habiéndose instalado en el mismo un tubing y dos cables de instrumentación. Las operaciones de reacondicionamiento en el pozo de seguimiento desviado [MW2(ET2)] fueron pospuestas hasta julio de 1995 debido a la imposibilidad por parte de la compañía perforadora COFOR de suministrar un equipo de perforación y personal con anterioridad a esta fecha.

En lo que concierne al suministro de tuberías de aleaciones especiales, tubo perforado, protectores/centralizadores, abrazaderas y quemadores, todos ellos equipos necesarios para finalizar el equipamiento de los pozos, las compañías suministradoras comunicaron su imposibilidad para cumplir los plazos de entrega establecidos en los diferentes contratos. Todos estos componentes se esperan para octubre-noviembre de 1995, 4-5 meses más tarde de lo previsto.

4.1 POZO DE SEGUIMIENTO VERTICAL

Las operaciones de limpieza e instalación de tubería con termopares en ET1 se llevaron a cabo el 15 y 16 de junio de 1995 con un pequeño equipo de perforación de la compañía IBÉRICA DE SONDEOS. Durante esta operación se encontró que el tapón de cementación (que en su día no pudo ser perforado) estaba aproximadamente 2,7 m más profundo de lo esperado a partir de los datos de perforación, confirmándose la discrepancia de profundidad entre IBÉRICA DE SONDEOS y BAKER durante la perforación y testificación (DST) respectivamente. Para evitar la duplicación de los gastos de movilización del equipo y personal necesarios para la cementación, el pozo será cementado por HALLIBURTON en la misma fecha que el pozo ET2 una vez hayan concluido las operaciones de reacondicionamiento y equipamiento en éste. El Cuadro XII presenta el listado de la tubería de 2 3/8". La Figura 5 muestra las posiciones de los termopares con respecto a la capa de carbón.

4.2 TRABAJOS PREPARATORIOS PARA LOS OTROS POZOS

La secuencia prevista de operaciones de reacondicionamiento y equipamiento en los pozos ET1, ET2, ET4, ET5 y ET6 es la siguiente:

- ET1: Cementación - julio de 1995.
- ET2: Segunda fase de perforación desviada de radio corto, seguida de la instalación de termopares y fibra óptica en el interior de un tubo continuo enrollado para ser utilizado como pozo de seguimiento, cementación - julio de 1995.
- ET4(a) Instalación del tubo de inyección de 1,66" e instrumentación con un equipo de perforación de pequeño tamaño - noviembre de 1995.
- ET4(b) Instalación del tubo continuo enrollado, cabeza de introducción, tambor y unidad de control, operaciones que serán llevadas a cabo

por la compañía suministradora de dichos equipos con anterioridad al comienzo de las operaciones de gasificación.

- ET5(a) Reperforación del cemento y formación hasta la profundidad que se establezca, instalación del tubo perforado, ensanche de parte de la capa de carbón, comunicación con agua con el pozo ET4, instalación de una tubería de 6 5/8" con tubos para refrigeración - septiembre de 1995.
- ET5(b) Instalación de las tuberías de producción de 4 1/2" y 1,66" y de instrumentación utilizando un equipo de perforación de pequeño tamaño - noviembre 1995.
- ET6 Perforación de la tubería de revestimiento de 4 1/2" a la altura de la capa de carbón e instalación del tubo de inyección de 1,66" e instrumentación utilizando un equipo de perforación de pequeño tamaño - noviembre 1995.

Las realización de las operaciones de reacondicionamiento y equipamiento ET5(a), ET5(b), ET4(a) y ET6 en los tiempos establecidos depende de que las entregas de los componentes, tuberías etc., de aleaciones especiales se produzcan en las fechas convenidas.

Las operaciones contempladas en el apartado ET4(b) dependen de la entrega del tubo continuo enrollado fabricado en acero inoxidable y de las modificaciones necesarias sobre los equipos estándar para su utilización con oxígeno. La instalación se llevará a cabo en las últimas etapas de la puesta en marcha de la planta de superficie, inmediatamente antes del comienzo de las operaciones de gasificación.

A pesar de que para las operaciones en el pozo ET5 no se necesita un equipo de perforación grande, si que es necesario disponer de una altura considerable debajo de la mesa de rotación para la instalación de los cables y tubos de instrumentación, por lo que un equipo pequeño puede ser inadecuado para esta operación. Se llegó a un acuerdo con la compañía perforadora COFOR para mantener el equipo elegido para los trabajos de reacondicionamiento en ET2, en el emplazamiento de UGE hasta el momento de las operaciones en ET5(a), sin coste alguno antes de decidir acerca de su idoneidad para la realización de dichas operaciones. Este acuerdo evitará la duplicación de los gastos de movilización si se decide que la utilización de un equipo menor es inapropiada.

Los preparativos para las operaciones de reacondicionamiento en el pozo ET2 han sido finalizadas, estando los contratos firmados para la mayoría de las compañías de servicios involucradas en la operaciones. La inserción del cable plano conteniendo los cables de instrumentación (similar al instalado en el pozo ET4) dentro del tubo continuo enrollado de 2" fue realizada por la compañía DOWELL SCHLUMBERGER en Alemania el 18 de mayo de 1995. Con anterioridad a la inserción del cable plano, el tubo continuo enrollado de 2" (700 m) fue extendido en la pista de aterrizaje de la base de Diepholz perteneciente a las Fuerzas Aéreas Alemanas, situada en las proximidades de la sede de la compañía.

El tubo continuo enrollado había sido preinstalado con un cable metálico en su interior con el objeto de unirlo al cable plano en el extremo, tirando del primero para la introducción de éste dentro del tubo continuo enrollado de 2". Después de esta operación el conjunto tubo continuo enrollado y cable plano de instrumentación fueron enrollados de nuevo sobre el tambor soporte, quedando preparado para su instalación en el pozo de seguimiento desviado [MW2(ET2)].

La compañía perforadora será COFOR, los servicios de perforación dirigida serán a cargo de la compañía BAKER HUGHES y la instalación del tubo continuo enrollado por DOWELL, los lodos por MILPARK bajo la coordinación y subcontrato de COFOR. Los detalles de las operaciones de reacondicionamiento en ET2 serán incluidos en el Informe Técnico de julio-diciembre de 1995.

5. INGENIERÍA

5.1 PLANTA DE SUPERFICIE

La ingeniería de detalle, la selección de los equipos de instrumentación y control de proceso, y los intercambiadores de calor llevaron más tiempo de lo previsto. Los retrasos fueron debidos a la dificultad por parte de la compañía ingeniería SERELAND para encontrar los instrumentos y controles adecuados y con suficiente flexibilidad para adaptarse al amplio rango de condiciones de operación. Asimismo se prestó especial atención al diseño de los tres distribuidores para el control de los caudales de inyección de oxígeno y nitrógeno en todas las conexiones de los tres pozos de proceso IW1(ET4), IW2(ET6) y RW(ET5), y el "distribuidor" de control del TEB/metano para la ignición. Las Figuras 6, 7, 8 y 9 recogen los diagramas de flujo y control de estos distribuidores.

El diseño y especificación de los intercambiadores de calor fue modificado en tres ocasiones para cumplir con los requerimientos y prevenir el riesgo de atascos debido a la presencia de algunos productos provenientes de la GSC. Se eligió finalmente un intercambiador de calor de doble tubo a contracorriente en detrimento del intercambiador de calor del tipo carcasa-tubos utilizado comúnmente en la industria.

La ingeniería de detalle de la planta de superficie (Fase 2) continuaba por parte de SERELAND a lo largo del periodo de tiempo comprendido por este informe.

La situación al final del periodo del informe era la siguiente:

i) Preparación de los planos, especificaciones y hojas de datos

- Preparación de planos

<u>Item</u>	<u>Estado</u>
P&ID	100 %
Plano de Implantación General	100 %
Plano Clave	80 %
Planos de Tubería	100 %
Planos de los distribuidores	100 %
Planos de la Obra Civil	100 %
Planos Mecánicos	100 %
Plano General de Defensa Contra Incendios	100 %
Planos Eléctricos	80 %
Plano de Áreas Clasificadas	100 %
Plano de Conexiones	20 %
Planos de Control/Instrumentación	20 %

- Especificaciones, hojas de datos y listas de preparación

<u>Item</u>	<u>Estado</u>
Especificaciones de Equipos para Petición de Ofertas	95 % (ver estado las peticiones de oferta)
Lista de Planos	100 %
Lista de Tuberías	100 %
Lista de Equipos	90 %
Especificaciones de Tubería	100 %
Lista de Cables Eléctricos	80 %
Lista de Cables de Instrumentación	20 %
Lista de Instrumentación	80 %

ii) Peticiones de oferta y selección de equipos

- Equipos pedidos:

<u>Item</u>	<u>Compañía</u>	<u>Fecha de Entrega</u>
Transformador Eléctrico	ERSA	Dic. 1995 (instalado)
Quemador de Gas/Antorcha	PROYCE	Abril 1995 (aplaz. a jul.)
Caldera	GEVAL	Abril 1995 (aplaz. a sep.)
Planta de O ₂ y N ₂	CARB. MET.	Junio 1995 (aplaz. a sep.)
Bombas de Agua y Espumante	BRAN/LUEBBE	Junio 1995 (entregado)
Caudalímetros		
- De Turbina para Gas	IBERFLUID	Mayo 1995 (entregado)
- De Masa	MABECONTA	Mayo 1995 (entregado)
- Vortex	ROSEMOUNT	Junio 1995 (aplaz. a sep.)
- De Orificio	ATELIER POCHE	Oct. 1995
Válvulas		
- De Control de Alta Presión	MASONEILAN	Julio 1995
- De Corte de Alta Presión	FISHER-ROSEM.	Julio 1995
- De Cierre de Compuerta	MALBRANQUE	Sep. 1995
- De Seguridad	MULTIN. TRADE	Ago. 1995

- De Control De Baja Presión	ITT	Dic. 1995
Transmisores de P y T	FISHER-ROSEM	Junio 1995 (aplaz. parte)
Construcción distribuidores	MASA	Sep. 1995
Indicadores de P y T	SENS. Y SIST.	Ago. 1995
Unidad de Aire de Instrument.	ATLAS COPCO	Oct. 1995
Planta de Propano	CEPSA ELF GAS	Oct. 1995
Analizadores de Oxígeno	HARTMAN BR.	Sep. 1995
Unidad de Agua	BOMBAS IDEAL	Oct. 1995
Sistema Contra Incendios	DAEX	Sep. 1995

- Equipos y servicios en estudio de ofertas

Recipientes/Botellas para Trazadores, Analizador de Argón y Obra Civil

- Equipos y servicios en espera de petición de ofertas

Instalación Eléctrica	Instalación de la Instrumentación
Construcción de las Líneas	Grupo Electrónico de Emergencia

De forma general, el estado actual de la ingeniería de detalle al final del periodo comprendido en este informe según la evaluación hecha por SERELAND era del 83 %.

5.2 UNIDAD DE ANÁLISIS DEL GAS PRODUCTO

El diseño/ingeniería de detalle de la Unidad de Análisis de Gas (Fase 1) fue terminado por parte de DUMEZ COPIA SISTEMAS (DCS) en febrero de 1995. Para finalizar el diseño y decidir si el analizador de H₂S debía de ser colocado bien en la parte de acondicionamiento de la muestra húmeda o en la parte de acondicionamiento de la muestra en seco, DCS en colaboración con la UNIVERSIDAD DE LIEJA realizó un análisis de la cantidad de H₂S absorbida en el agua condensada. El Cuadro XIII presenta los resultados de este análisis. A partir de estos resultados se tomó la decisión de analizar el H₂S en base seca, ya que la cantidad de H₂S absorbido era despreciable. El estudio también reveló que el agua condensada absorbía una cantidad importante de CO₂ y que el NH₃ se condensaba casi en su totalidad.

El diseño final y especificaciones de esta unidad fue aprobada por UGE, firmándose el contrato para el suministro e instalación de los equipos (Fase 2) con la compañía DENION CONTROL Y SISTEMAS (siendo ésta la misma compañía que entre las dos fases había cambiado de propietario) en marzo de 1995, siendo convenida la entrega para octubre de 1995.

Con el objeto de maximizar los descuentos y evitar posibles cambios de marcas de los equipos por parte del constructor de la unidad se decidió que UGE se encargaría directamente de la compra de los analizadores de gas, considerándose este aprovisionamiento fuera del contrato. Los pedidos se realizaron entre marzo y abril de 1995, y fueron los siguientes:

Equipo	Tipo de analizador	Compañía
CO ₂ /CO/CH ₄	Fotómetro de Infrarrojos	ABB
H ₂ S	Fotómetro de Ultravioletas	ABB
H ₂	Cromatógrafo de Gas	ABB
O ₂	Paramagnético	SERVOMEX
Otros incl. N ₂ , NH ₃ , Ar y He como trazadores	Espectrómetro de Masas	FISONS

La recepción de los analizadores se espera para julio de 1995 y será realizada directamente por DENION CONTROL Y SISTEMAS (DCS) que incorporará los equipos a la unidad. La entrega de la unidad completamente equipada está prevista para octubre de 1995 para ser instalada y conectada a las líneas de proceso y servicio en noviembre de 1995.

5.3 UNIDAD DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS

El diseño e ingeniería de detalle de la Unidad de Control y Adquisición de Datos fue terminado en febrero de 1995, y fue realizado por HONEYWELL. El diseño final y las especificaciones fueron aprobadas por UGE, firmándose el contrato para la provisión de los equipos y construcción de la unidad (Fase 2) con la compañía HONEYWELL en abril de 1995, estableciéndose la entrega de la misma para septiembre de 1995.

Los Sistemas de Adquisición de Datos y de Control serán unidos vía módem con la estación de trabajo que contiene los modelos y con dos ordenadores conectados vía ethernet, a las oficinas de UGE. El ordenador utilizado como estación de trabajo elegido es un HEWLETT PACKARD modelo 711 LC 80 Mhz con 32 Mb de RAM, 2 Gb de capacidad de disco duro, 2 Gb DAT de back-up en cinta-casette y pantalla en color de 17" 1280x1024. La red de modelización formada por el ordenador-estación de trabajo HP y dos ordenadores PC fue instalada quedando operativa en junio de 1995.

5.4 SISTEMA SENSOR DE TEMPERATURAS REGISTRADAS POR LA FIBRA ÓPTICA (DISTRIBUTED TEMPERATURE SENSING-DTS)

Se llevó a cabo un test de aceptación del sistema DTS, tanto del equipo de superficie como del software para la conexión con la Unidad de Análisis y Control de Datos, en las instalaciones de la compañía YORK SENSORS LTD los días 22 y 23 de mayo de 1995. El sistema fue recibido el 28 de junio de 1995.

6. MODELIZACIÓN Y ANÁLISIS DEL PROCESO

6.1 GENERAL

Tan importante es en este proyecto la conversión del carbón en un gas de buena calidad como el conocimiento de los procesos y mecanismos que intervienen en la Gasificación Subterránea de Carbón. La comprensión del comportamiento del reactor es importante para optimizar su desarrollo, para

extrapolar a otros carbones y otras situaciones, y para alcanzar un máximo provecho en futuras etapas del desarrollo de esta tecnología.

6.2 LISTA DE DATOS DE CAMPO

La Tabla XIV presenta la lista de la información que estará disponible durante las operaciones de gasificación. Esta información general comprende la geometría de los pozos y de la capa de carbón, análisis inmediatos y elementales del carbón, composición de las cenizas y composiciones de los flujos de entrada y salida; el análisis de los productos proporciona información sobre el contenido de las fracciones sólida, líquida y gaseosa.

La planta y pozos se han dotado con gran cantidad de instrumentación para maximizar la cantidad de información sobre el comportamiento del gasificador subterráneo. Los termopares y la fibra óptica suministrarán datos de la temperatura en el interior, crecimiento de la cavidad y perfil de temperaturas en el pozo de producción, esta técnica de medición de la distribución de temperaturas mediante fibra óptica será usada por primera vez en un proceso de gasificación subterránea de carbón. Asimismo se obtendrá información adicional mediante tests con trazadores y análisis de corrosión sobre muestras.

6.3 BALANCES SIMPLIFICADOS DE MASAS Y ENERGÍA

A partir de los balances simplificados de masas y energía se obtendrá una primera información acerca de la recuperación de recursos, crecimiento de la cavidad y eficiencia del proceso.

Los cálculos del balance de masas en función de los caudales de entrada y salida, asumiendo una entrada de agua de la formación, unos mecanismos de pérdida de gas, y una determinada composición del semicoque formado, pueden suministrar datos estimativos de la cantidad de carbón afectada y gasificada durante el proceso y la cantidad de agua de la formación que reacciona en el gasificador.

En base a este balance de masas se realizará un balance de energía simplificado que aportará una estimación de la energía perdida en el interior de la formación.

Se pueden determinar otros parámetros adicionales como H_2 /Carbón, CO/Carbón, CO_2 /Carbón, CH_4 /Carbón, O_2 /Carbón, Calor Producto de la Combustión/ O_2 , Residuo Seco/Carbón, diagrama triaxial $CO + H_2/CH_4/CO_2$, Coque/Carbón, etc., en base a la composición del gas producto, dando una idea de la eficiencia del proceso.

Los programas para llevar a cabo estos cálculos serán escritos por UGE y corridos "on-line" como primer paso en el proceso de interpretación.

6.4 MODELOS DE POBLACIÓN-BALANCE COMBINADOS CON ENSAYOS CON TRAZADORES

Los ensayos de trazadores con helio y la interpretación de la distribución del tiempo de residencia dentro del gasificador subterráneo proporcionan información de la distribución del flujo de gas dentro del gasificador. Un simple análisis de la distribución del tiempo de residencia dará una estimación del volumen del gasificador y de la presencia de fugas o de zonas muertas. Una versión simplificada de un programa ya existente, desarrollado por IDGS y la UNIVERSIDAD DE LIEJA, le será transferido a UGE y será corrido "on-line".

Utilizando un modelo de población-balance se obtendrá mejor información acerca del modelo de flujo de la Gasificación Subterránea de Carbón. Existen modelos de tres parámetros que dan una buena representación de la dispersión dentro del flujo del fluido y zonas porosas/estancas transversales. Estos modelos de tres parámetros se han considerado para representar el mejor compromiso entre un buen ajuste experimental y el significado físico de los parámetros. El ajuste del modelo de tres parámetros será corrido "off-line" en IDGS como complemento para un mejor conocimiento del volumen y modelo de flujo subterráneos.

6.5 MODELO SIMPLE MACROSCÓPICO O "GLOBAL"

En los análisis básicos descritos anteriormente no se ha intentado comprender la relación existente entre el equilibrio, los balances de masa y energía y la distribución del flujo. Un primer paso en la modelización del proceso de Gasificación Subterránea de Carbón es incluir estos factores representándolo matemáticamente. Los modelos de este tipo se basan en el equilibrio químico y los balances de materia y energía, incorporando varios grados de sofisticación en la representación de los parámetros del proceso y el control del volumen.

El modelo simple utilizado para el ensayo de Gasificación Subterránea de Carbón en "EL TREMEDAL" tendrán en cuenta los efectos de la entrada de agua de la formación y de la pérdida de calor, e incorporará una representación zonal de la parte pirolizada y del semicoque formado.

Es posible una mayor sofisticación del modelo interpretativo utilizando la distribución natural de isótopos dentro de los productos de la GSC para caracterizar la distribución de las temperaturas en el gasificador. Este método utiliza la relación existente entre los isótopos naturales para estimar las temperaturas de las distintas zonas en las cuales se han formado los componentes del gas producto.

Por medio de esta simulación se alcanza un mejor conocimiento de los recursos recuperados y del desarrollo del sistema subterráneo. En los modelos "globales" de este tipo, los valores de los parámetros físicos pueden ser parámetros variables de entrada o adaptarse a los resultados experimentales. Estos modelos pueden servir tanto para predicción como para interpretación.

El modelo predictivo que será transferido a UGE es un modelo desarrollado por IDGS en colaboración con la UNIVERSIDAD DE LIEJA. Este modelo ayudará al personal de UGE a adquirir experiencia de cara a la preparación de las operaciones de GSC en "EL TREMEDAL", y futuros trabajos.

El modelo interpretativo más sofisticado matemáticamente estará en IDGS y será corrido "off-line". Los resultados serán intercambiados entre ambos equipos por vía rápida, fiable y confidencial.

Con objeto de obtener una caracterización de la distribución isotópica del ensayo de GSC en "EL TREMEDAL", ISSeP/UNIVERSIDAD DE LIEJA propusieron la solicitud de una extensión del contrato existente con ECSC. Si esta extensión es aceptada por ECSC se llevarán a cabo análisis isotópicos de los productos de la GSC en "EL TREMEDAL". Estos análisis serán realizados por ISSeP que los interpretará en colaboración con la UNIVERSIDAD DE LIEJA.

6.6 MODELIZACIÓN DETALLADA DEL PROCESO-SUBMODELOS Y MODELOS COMBINADOS

Para poder modelizar la velocidad y forma de crecimiento del gasificador es necesario comprender y representar detalladamente las leyes físicas y mecánicas que rigen el proceso, para ello se han desarrollado numerosos submodelos y modelos combinados (2 y 3 dimensiones) basados en experiencias anteriores.

Para resumir los trabajos de modelización llevados a cabo hasta la fecha es importante recurrir al extenso programa realizado durante los años 80 en Estados Unidos. De las distintas universidades y centros de investigación involucrados (Universidades de Wyoming y Colorado, Gas Research Institute, ...), el Laboratorio Lawrence Livermore (LLL) fue uno de los más activos en este campo, desarrollando modelos e interpretaciones en casi todas las áreas mencionadas anteriormente. Estos fueron modelos aplicados a Gasificación Subterránea de Carbones poco profundos y de rango relativamente bajo.

En Europa, durante los años 80, países como el Reino Unido, Francia, Alemania, Bélgica y Holanda realizaron trabajos de modelización referidos a ensayos de campo existentes (Thulin en Bélgica, Bruay en Artois y Haute-Deule en Francia) o a ensayos en fase de preparación (Ossington en el Reino Unido).

Actualmente, además de las actividades relacionadas directamente con el ensayo de UGE en España, solamente dos países continúan desarrollando modelos, Bélgica (IDGS en colaboración con las UNIVERSIDADES DE LIEJA Y LOVAINA) y Holanda (TU. DELFT). La experiencia en Alemania, Francia y Reino Unido se ha disipado en el tiempo; en Estados Unidos la modelización en el campo de la GSC hace años que dejó de estar activa, habiéndose trasladado los investigadores a otros campos.

Prácticamente, la interpretación del crecimiento de la cavidad en el ensayo de "EL TREMEDAL" se llevará a cabo por medio de dos modelos ya existentes: un modelo en 2 dimensiones del crecimiento de la cavidad desarrollado por IDGS en colaboración con la UNIVERSIDAD DE LIEJA basado en el Método de Elementos Frontera, y un modelo en 3 dimensiones de crecimiento de la cavidad desarrollado por TU. DELFT basado en métodos estadísticos.

El modelo de crecimiento de la cavidad en 3 dimensiones desarrollado por el Laboratorio Lawrence Livermore es también de interés y se intentará hacer un aproximación para recuperar este modelo para la interpretación del ensayo de "EL TREMEDAL".

6.7 MODELO DEL POZO DE PRODUCCIÓN

Para controlar el intercambio de calor dentro del pozo de producción [RW(ET5)], le será transferido a UGE el modelo desarrollado por IDGS en colaboración con la UNIVERSIDAD DE LOVAINA, éste será corrido "on-line". Este modelo simula los perfiles de presión y temperatura dentro del pozo de producción [RW(ET5)] para adecuar la refrigeración y prevenir la corrosión.

7. PROGRAMA DE APOYO Y COLABORACIÓN

TU. DELFT continúa trabajando en el estudio del comportamiento del proceso de GSC, habiéndose celebrado una reunión para el conocimiento del estado del estudio y progresos realizados en las oficinas de UGE en abril de 1995.

En marzo de 1995 se celebró una reunión del Grupo Asesor Científico Técnico, haciéndose una presentación de todos los aspectos del proyecto de UGE, centralizándose el debate en el equipamiento de los pozos y la manipulación del gas producto.

8. DIRECCIÓN DEL PROYECTO

8.1 ADMINISTRACIÓN

A final de enero de 1995 el ingeniero a cargo de la coordinación en campo dejó el equipo. La vacante en Control del Proceso y Control fue cubierta en febrero de 1995. Actualmente el equipo de UGE está compuesto por 13 personas a tiempo total.

8.2 PROBLEMAS Y DIFICULTADES

Se han registrado retrasos relativamente largos en la elaboración de la ingeniería de detalle de la planta de superficie así como en el suministro de equipos en aleaciones especiales para el equipamiento de los pozos, durante el periodo de tiempo que cubre el presente informe. El comienzo de las operaciones de gasificación ha sido pospuesto en 5 a 6 meses con respecto a la última estimación.

8.3 CAMBIOS EN LA ESTRATEGIA TÉCNICA

No hubo ninguno durante este periodo.

8.4 PRÓXIMOS TRABAJOS

El reacondicionamiento del pozo ET2 y la cementación del pozo ET1 están previstos para el mes de julio de 1995. El reacondicionamiento y equipamiento de los pozos ET4(a), ET5(a), ET5(b) y ET6 serán llevados a cabo tras la recepción de las tuberías, tubo perforado y termopares.

Los pedidos de todos los equipos restantes para la planta de superficie serán realizados después de la confirmación de sus especificaciones y diseño final por parte de la compañía de ingeniería SERELAND y aceptación de éstas por UGE.

El inicio de la construcción de la planta de superficie está previsto para agosto de 1995, estimándose su conclusión a comienzos de 1996.

8.5 AMPLIACIÓN DEL PROGRAMA

Tres factores han sido los desencadenantes del retraso experimentado hasta la fecha:

1. Acomodamiento y personal. En el momento de su formación la organización contaba con solo cuatro miembros como personal técnico, no disponiendo de acomodación ni personal administrativo. La necesidad de contratar personal administrativo, de encontrar unas oficinas adecuadas en la zona y la dificultad de atraer personal cualificado y con experiencia para trabajar en un área relativamente aislada, conllevó retrasos, que se estimaron en unos seis (6) meses, en las primeras etapas del proyecto.
2. Geología y perforación de los pozos de exploración. A pesar de que estaba prevista la perforación de un único pozo de exploración, a la conclusión de éste se encontró que la correlación litológica con antiguos pozos próximos no era buena, por lo que se decidió perforar dos nuevos pozos de exploración para confirmar la posición del yacimiento de carbón en la zona del ensayo. La planificación, preparación y perforación de los dos pozos de exploración adicionales condujo a un retraso de 6-9 meses en la marcha del proyecto.
3. Ingeniería. La compañía suministradora de la tubería aislada para el pozo de producción fue puesta a la venta en el tiempo en que UGE pretendía realizar el pedido de dicha tubería. Tras esperar seis (6) meses la confirmación de la posible aparición de un comprador potencial, se tomó la decisión de poner en marcha un programa alternativo menos adecuado en diseño. El diseño y suministro de equipos para los pozos y para la planta de superficie ha llevado también más tiempo del esperado. Se estima que el retraso debido a la ingeniería será de unos 6-9 meses.

Debido a estos factores el 14 de febrero de 1995 se pidió a la Comisión Europea (DG XVII) la autorización para la extensión del programa hasta octubre de 1997.

8.6 CONFERENCIAS, PUBLICACIONES E INFORMES

- "KEEPER Survey Wells ET1, ET2, ET5 and ET6". Informe preparado por SCIENTIFIC DRILLING CONTROLS (UGE ref. 57, 58, 59 y 60).
- "Ensayo de Inyectabilidad. Construcción de Curvas Maestras de Inyectabilidad". Informe preparado por el INSTITUTO TECNOLÓGICO Y GEOMINERO DE ESPAÑA (ITGE) (UGE ref. 72).
- "Project Status Report" por Alan Charles Bailey. THERMIE Contractor's Meeting - Madrid, 20-22 de junio de 1995 (UGE ref. 153/ED/95/E).
- "Gasificación Subterránea de Carbón" por Alan Charles Bailey, Antonio Obis y Marc Mostade. OPET - Spain Conference - Zaragoza, 4 de mayo de 1995 (UGE ref. 149/ED/95/E).

APÉNDICE A

CÁLCULO DEL ÁZIMUT Y BUZAMIENTO DE UN PLANO DEFINIDO POR TRES PUNTOS

1. FORMULACIÓN GENERAL

Si	x_1	x_2	x_3	(desplazamiento este-oeste)
	y_1	y_2	y_3	(desplazamiento norte-sur)
	z_1	z_2	z_3	(nivel del mar o profundidad vertical)

son las coordenadas de tres puntos de referencia, el ázimut y buzamiento del plano definido por estos tres puntos se calcula de la siguiente forma:

$$\text{- Buzamiento} = \pm \cos^{-1} \left[\pm \frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \right]$$

$$\text{- Ázimut} = 180^\circ + \tan^{-1} \frac{A}{B} \quad \text{para } C < 0$$

$$= 360^\circ + \tan^{-1} \frac{A}{B} \quad \text{para } C > 0$$

(el ázimut se mide en sentido de las agujas del reloj de 0° a 360°)

donde $A = (y_2 z_3 - y_3 z_2) - (y_1 z_3 - y_3 z_1) + (y_1 z_2 - y_2 z_1)$

$$B = (z_2 x_3 - z_3 x_2) - (z_1 x_3 - z_3 x_1) + (z_1 x_2 - z_2 x_1)$$

$$C = (x_2 y_3 - x_3 y_2) - (x_1 y_3 - x_3 y_1) + (x_1 y_2 - x_2 y_1)$$

2. CÁLCULO DETALLADO PARA LOS TRES POZOS DE EXPLORACIÓN, TOMANDO COMO PUNTO DE REFERENCIA EL TECHO DE LA CALIZA INTERMEDIA

Las coordenadas UTM del techo de la caliza intermedia en los tres pozos de exploración fueron:

	ET1	ET2	ET3
este-oeste	718558,280 m	718584,992 m	718547,310 m
norte-sur	4532666,520 m	4532610,034 m	4532588,317 m
nivel del mar	120,580 m	88,031 m	73,515 m

Con estas coordenadas, los resultados son los siguientes:

$$A = 113,084$$

$$B = 1614,263$$

$$C = -2708,610$$

$$\text{Buzamiento} = 30,856^\circ = 30^\circ 51'$$

$$\text{Ázimut} = 184,007^\circ = 184^\circ 00' \text{ (respecto al norte UTM)}$$

APÉNDICE B

CÁLCULO DE LA TRAYECTORIA DE UN POZO POR EL MÉTODO DE MÍNIMA CURVATURA

Si ε_i es el ázimut medido en la estación de medida i^{th} : la dirección de un tramo de trayectoria entre dos estaciones, medida en sentido de las agujas del reloj, de 0° a 360° , es norte (ver figura B-1).

α_i es la inclinación en la estación de medida i^{th} : el ángulo de la trayectoria con respecto a la vertical (ver figura B-1).

MD_i es la longitud del tramo de trayectoria entre dos estaciones: la diferencia en profundidad perforada desde la estación $(i-1)^{\text{th}}$ y la estación i^{th} (ver figura B-1).

el desplazamiento este-oeste (M), el desplazamiento norte-sur (L) y la profundidad vertical (TVD) desde la superficie se calculan de la siguiente forma:

$$M = \sum_1^i M_i$$

$$L = \sum_1^i L_i$$

$$TVD = \sum_1^i VD_i$$

donde $M_i = (MD_i / 2) [\sin(\alpha_{i-1})\sin(\varepsilon_{i-1}) + \sin(\alpha_i)\sin(\varepsilon_i)] F_i$ es el desplazamiento de la componente este-oeste desde la estación de medida $(i-1)^{\text{th}}$ hasta la estación de medida i^{th} ; valor negativo = oeste (ver figura B-1).

$L_i = (MD_i / 2) [\sin(\alpha_{i-1})\cos(\varepsilon_{i-1}) + \sin(\alpha_i)\cos(\varepsilon_i)] F_i$ es el desplazamiento de la componente norte-sur desde la estación de medida $(i-1)^{\text{th}}$ hasta la estación de medida i^{th} ; valor negativo = sur (ver figura B-1).

$VD_i = (MD_i / 2) [\cos(\alpha_{i-1}) + \cos(\alpha_i)] F_i$ es la diferencia en profundidad vertical entre la estación de medida $(i-1)^{\text{th}}$ y la estación de medida i^{th} (ver figura B-1).

$$F_i = (2 / \beta_i) \tan(\beta_i / 2)$$

$$\cos(\beta_i) = \cos(\alpha_i - \alpha_{i-1}) - \left\{ \sin(\alpha_i)\sin(\alpha_{i-1}) [1 - \cos(\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1})] \right\}$$

si $\beta_i < 0,25$ radianes o $14,32^\circ$ entonces $F_i \cong 1$

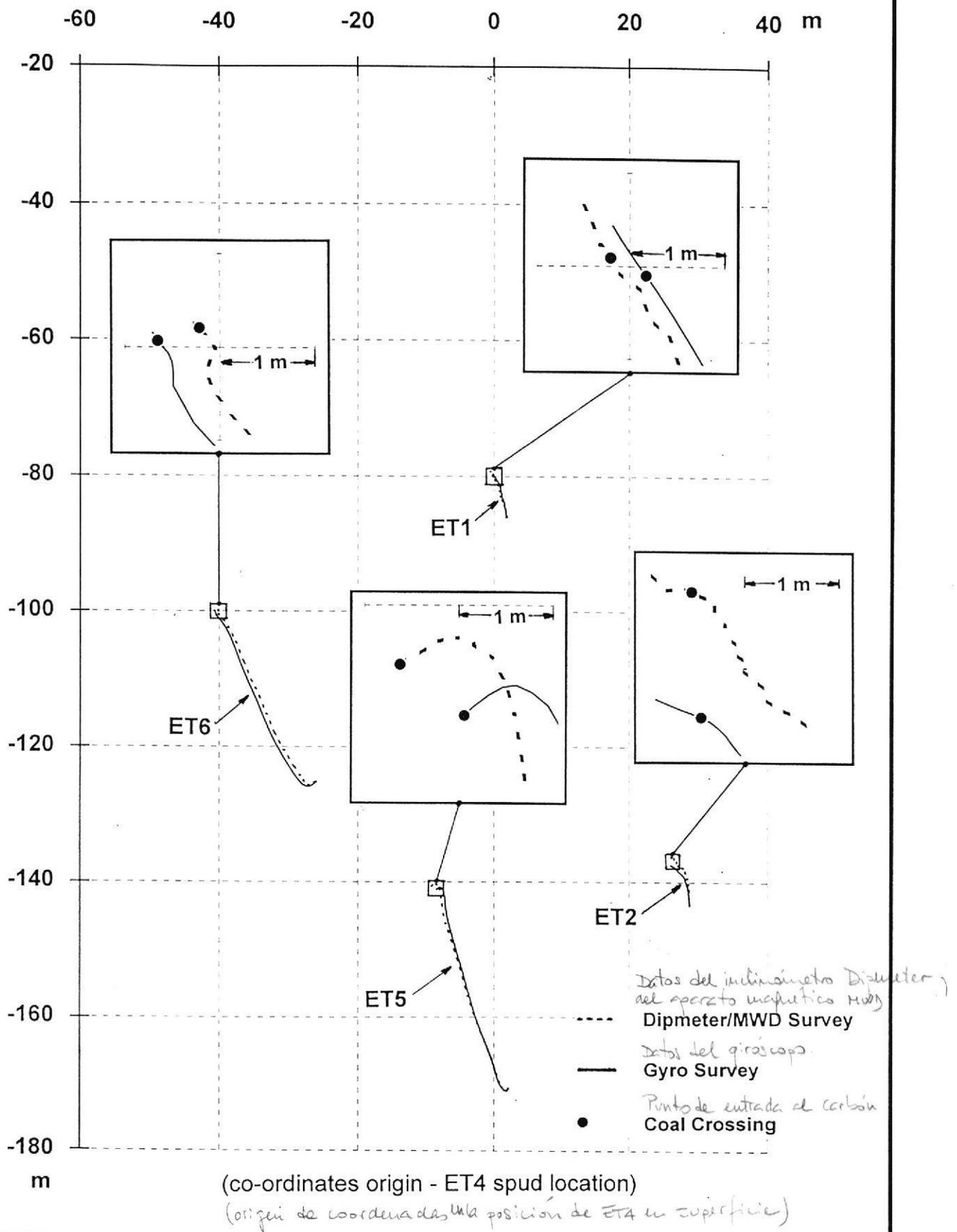
Profundidad lineal relativa al nivel suelo (m)	Inclinación (°)	Ázimut relativo al Norte UTM (°)	Profundidad vertical(*) (m)	Desplazamiento Este-Oeste (*) (m)	Desplazamiento Norte-Sur(*) (m)
0.00	0.00	360.00	-1.37	1.88	-86.01
14.30	0.51	342.49	12.93	1.86	-85.95
26.20	0.59	352.10	24.83	1.84	-85.84
38.10	0.65	359.08	36.73	1.83	-85.71
50.00	0.45	349.35	48.63	1.82	-85.60
64.00	0.52	352.49	62.63	1.80	-85.48
76.00	0.56	354.55	74.63	1.79	-85.37
88.00	0.58	354.55	86.63	1.77	-85.25
102.40	0.66	350.91	101.03	1.75	-85.09
114.20	0.72	347.33	112.82	1.73	-84.95
126.10	0.61	349.86	124.72	1.70	-84.82
138.10	0.61	350.00	136.72	1.68	-84.69
150.10	0.65	349.16	148.72	1.65	-84.56
162.10	0.61	351.26	160.72	1.63	-84.43
176.10	0.59	353.66	174.72	1.61	-84.29
190.00	0.59	349.82	188.62	1.59	-84.15
204.10	0.53	348.44	202.72	1.57	-84.01
216.10	0.67	346.44	214.72	1.54	-83.89
226.00	0.65	343.93	224.62	1.51	-83.78
238.10	0.64	341.31	236.72	1.47	-83.65
250.10	0.53	337.39	248.72	1.43	-83.53
264.10	0.50	334.08	262.72	1.37	-83.42
276.10	0.45	333.86	274.72	1.33	-83.33
288.20	0.37	337.93	286.82	1.29	-83.25
300.10	0.37	344.32	298.72	1.27	-83.18
312.00	0.38	340.61	310.61	1.25	-83.10
326.10	0.31	347.95	324.71	1.22	-83.02
340.00	0.40	357.86	338.61	1.21	-82.94
350.20	0.38	350.82	348.81	1.21	-82.87
364.10	0.52	350.23	362.71	1.19	-82.76
376.10	0.62	347.43	374.71	1.17	-82.64
388.20	0.63	345.38	386.81	1.13	-82.52
400.30	0.55	346.47	398.91	1.10	-82.39
414.10	0.67	350.42	412.71	1.07	-82.25
426.10	0.76	347.74	424.71	1.05	-82.10
442.20	0.72	364.06	440.81	1.03	-81.90
452.00	0.99	350.11	450.61	1.02	-81.75
464.00	1.26	345.78	462.61	0.97	-81.52
476.10	1.37	335.09	474.70	0.88	-81.26
488.20	1.28	330.23	486.80	0.75	-81.01
500.10	1.24	332.76	498.70	0.62	-80.79
514.10	1.34	325.71	512.69	0.46	-80.52
526.10	1.64	326.60	524.69	0.29	-80.26
(**) 528.30	1.65	325.72	526.89	0.25	-80.20
(**) 532.70	1.61	323.10	531.29	0.18	-80.10
(***) 538.40	1.54	321.70	536.98	0.09	-79.98
(***) 550.40	1.50	330.50	548.98	-0.09	-79.71
(***) 557.45	1.40	328.63	556.03	-0.18	-79.56

Cuadro I . Trayectoria de ET1 según medición realizada con giróscopo

(*) relativa a la posición de ET4 en superficie

(**) interpolado a partir de valores adyacentes

(***) basado en medición realizada mediante inclinómetro Dipmeter (sección de pozo desnudo)



**Figure 1 . Comparison of ET1, ET2, ET5 and ET6 Trajectories
 (Horizontal Section in Area of Wells)**

Comparación de las trayectorias de ET1, ET2, ET5 y ET6
 (Proyección Horizontal en el área de los pozos)

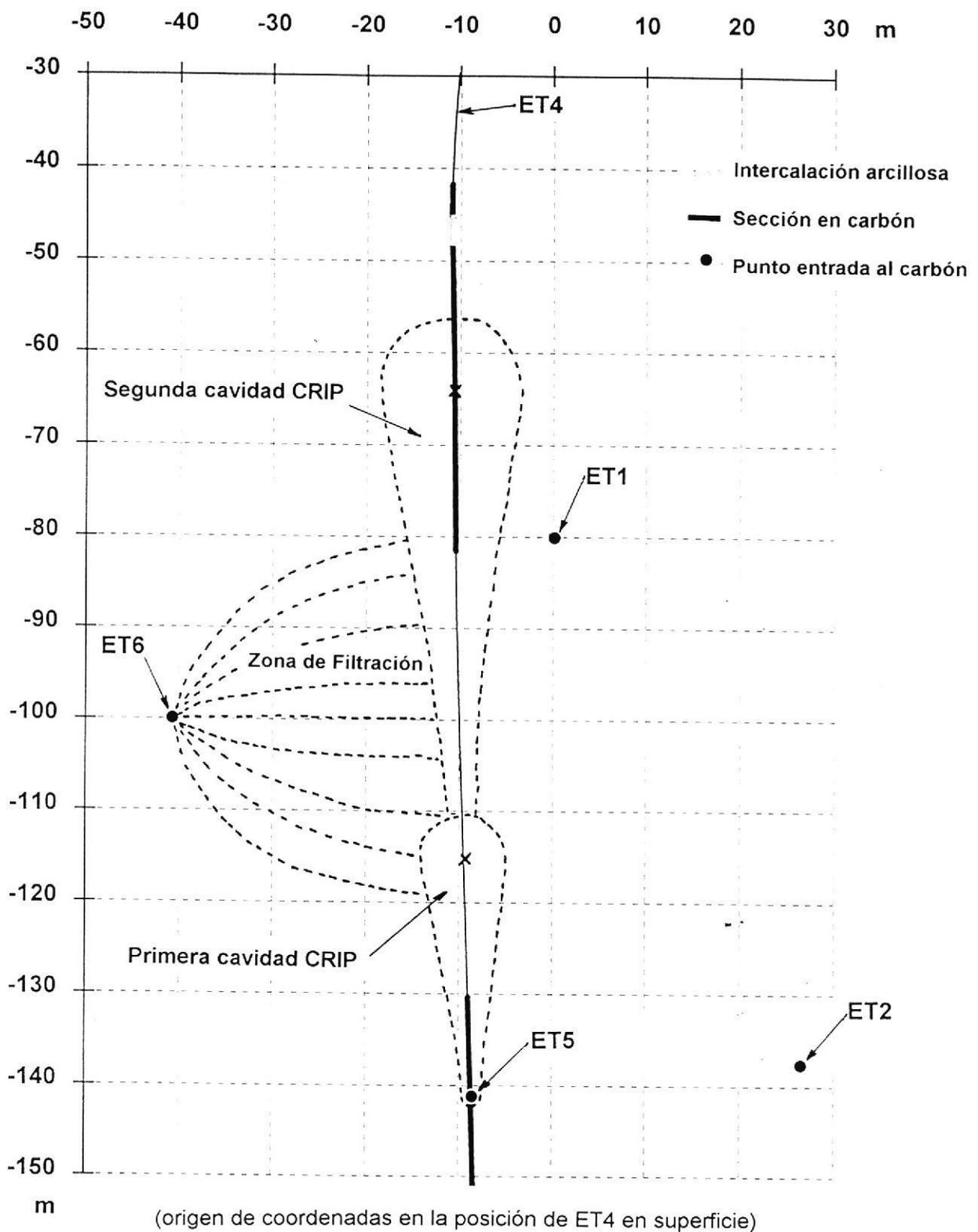


Figura 2a . Trayectorias de los pozos y sección dentro del carbón (Proyección horizontal en el área de los reactores teóricos de GSC)

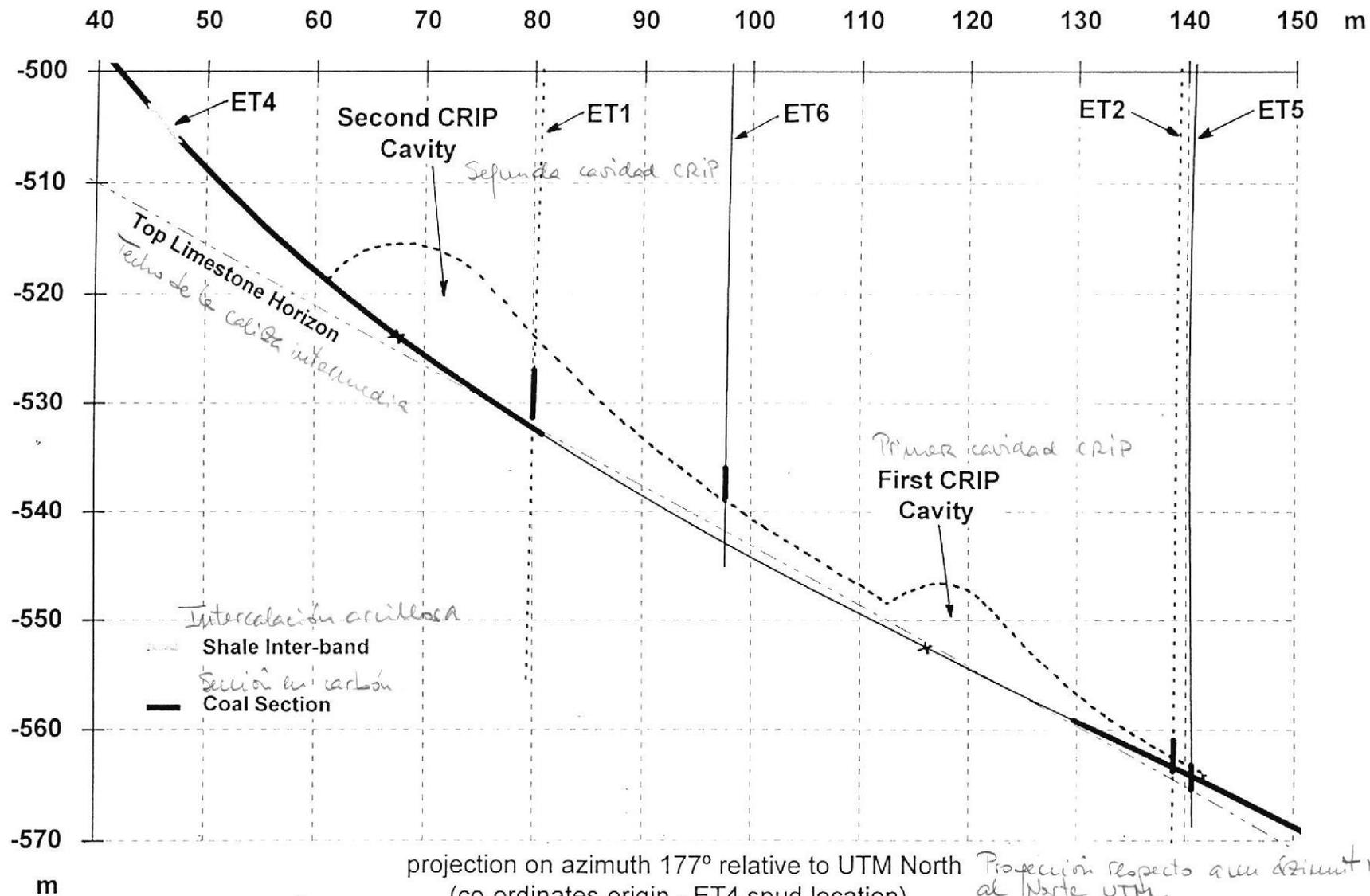
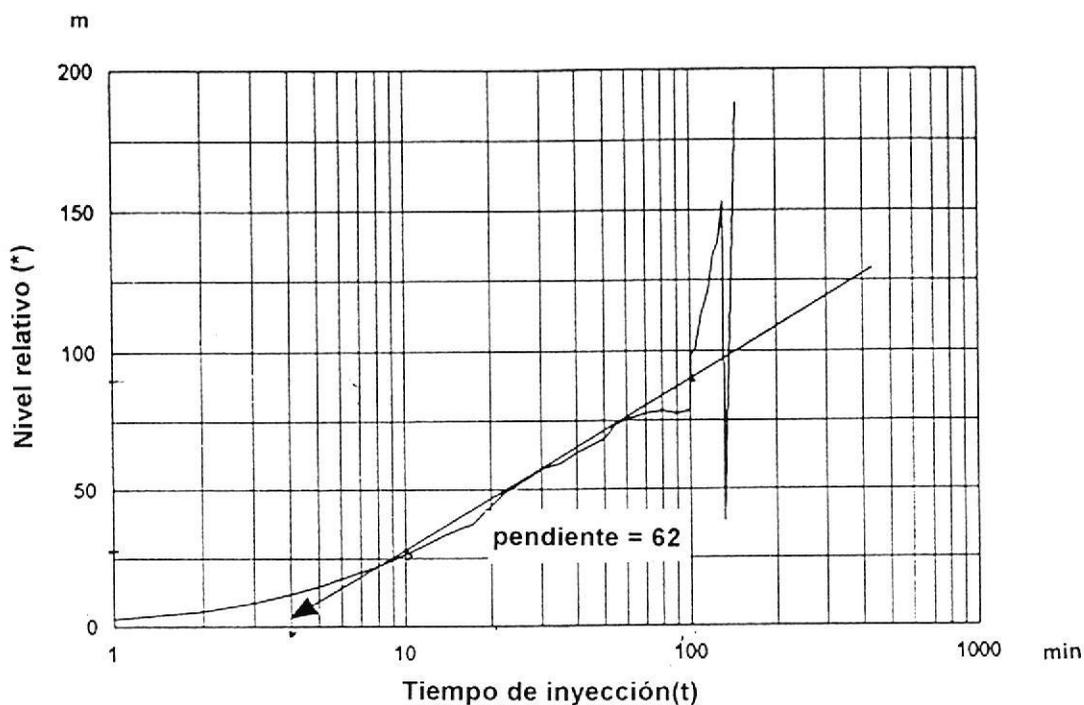


Figure 2b . Well Trajectories and Coal Sections
(Vertical Section in Area of Planned UCG Reactors)
(Corte en el área de los reactores teóricos de GSC)

Traectorias de los pozos y secciones en carbón

Fase de Inyección



(*) nivel de referencia = 38.36m bajo el nivel del suelo

Fase de Recuperación

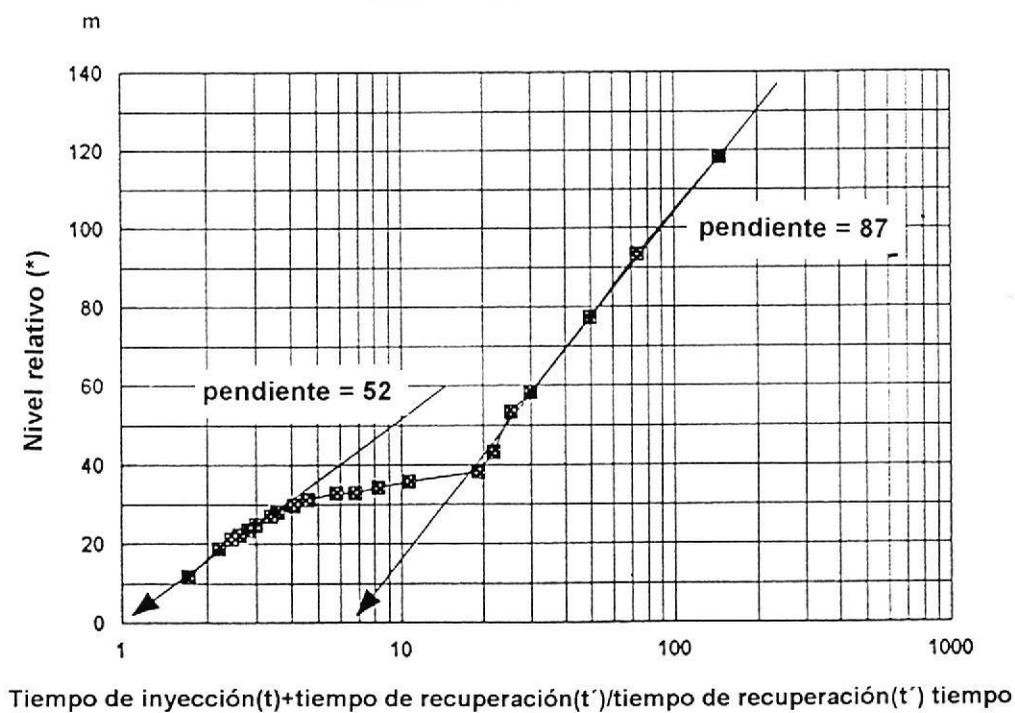


Figura 3 . Ensayos de inyección y recuperación en ET4

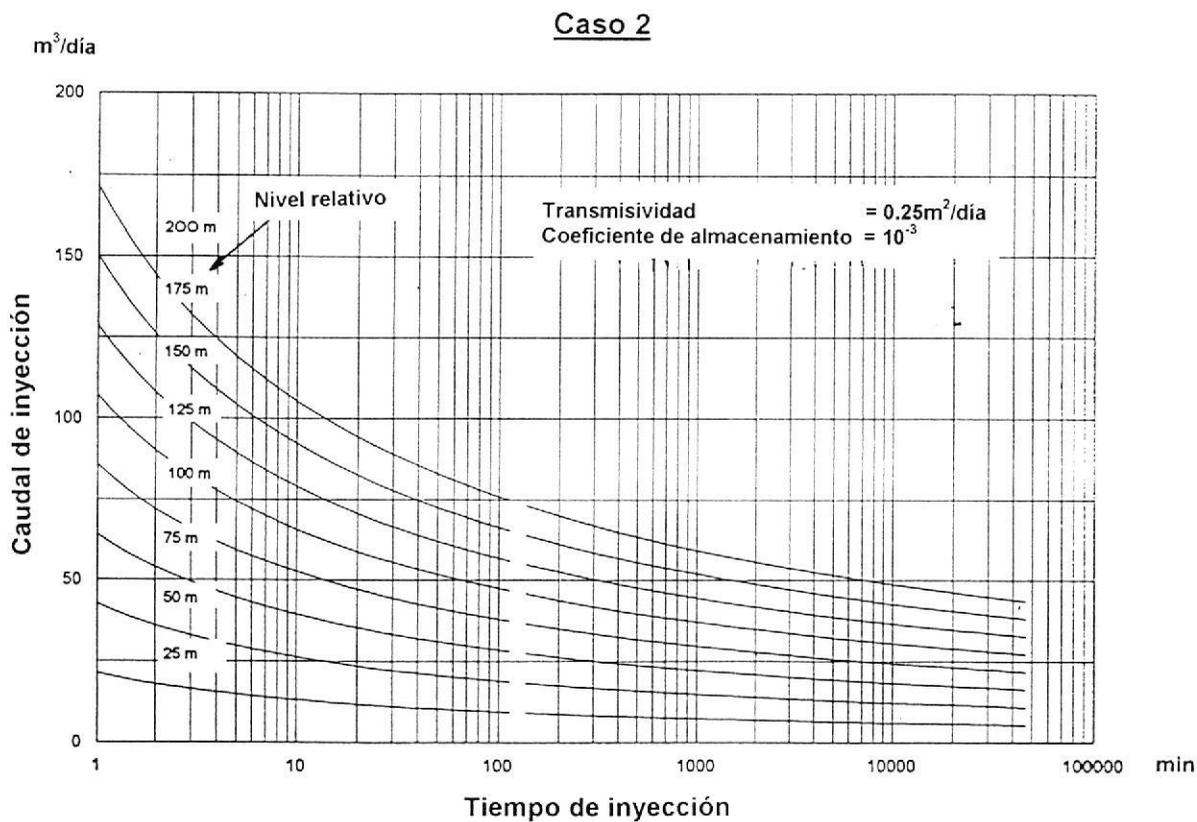
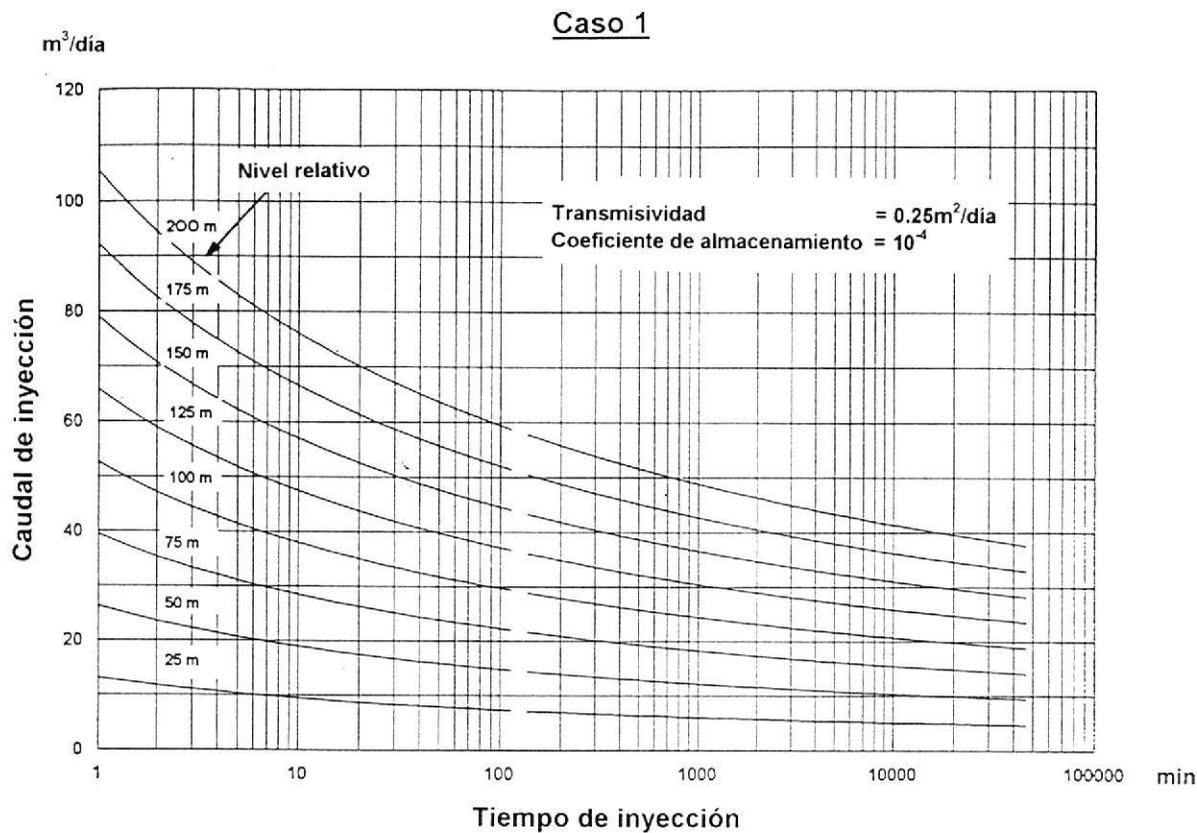
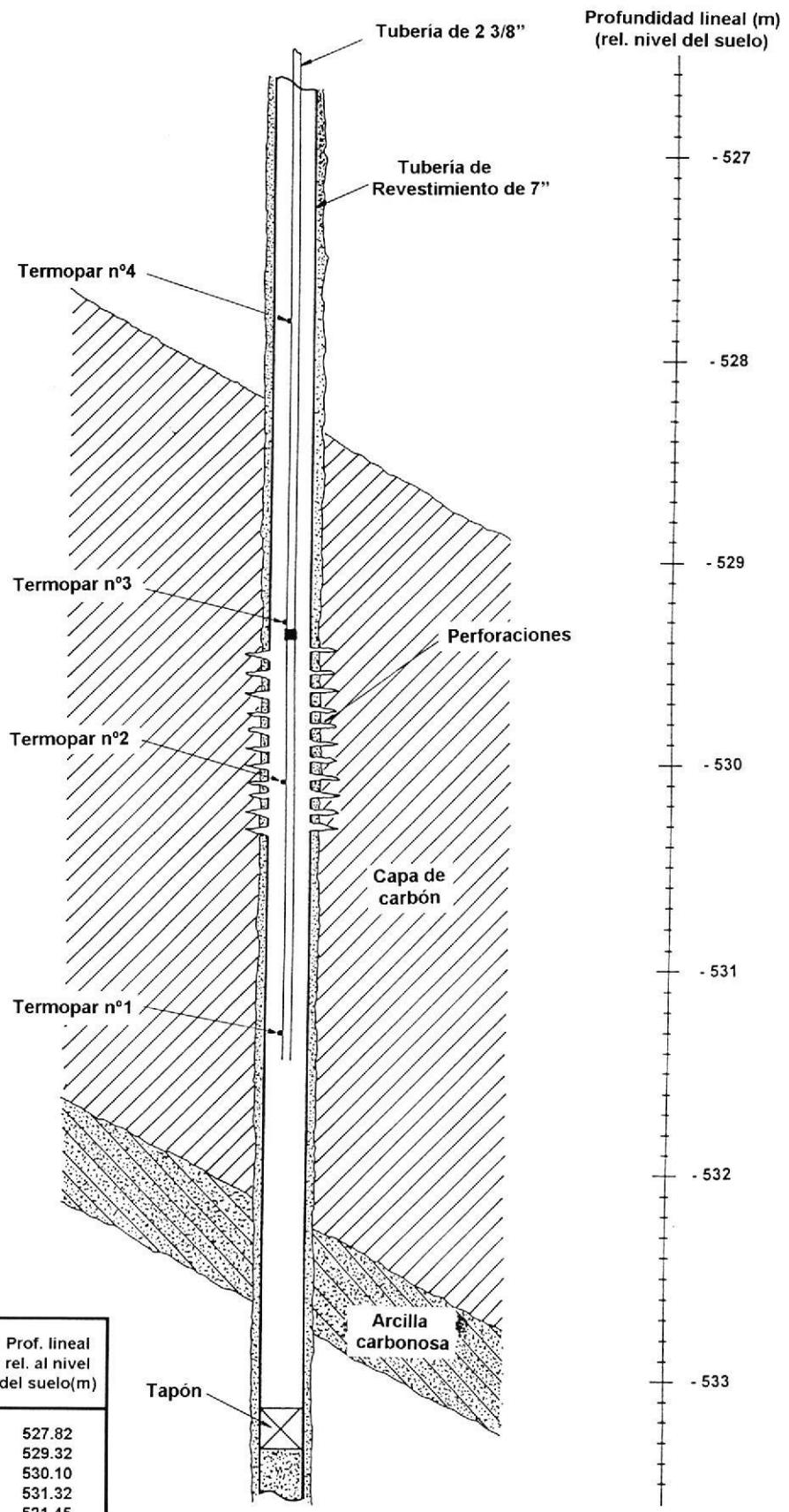


Figura 4 . Curvas maestras de inyección calculadas para ET4



Equip.	Prof. lineal rel. al nivel del suelo(m)
TC4	527.82
TC3	529.32
TC2	530.10
TC1	531.32
Zapata de 2 3/8"	531.45

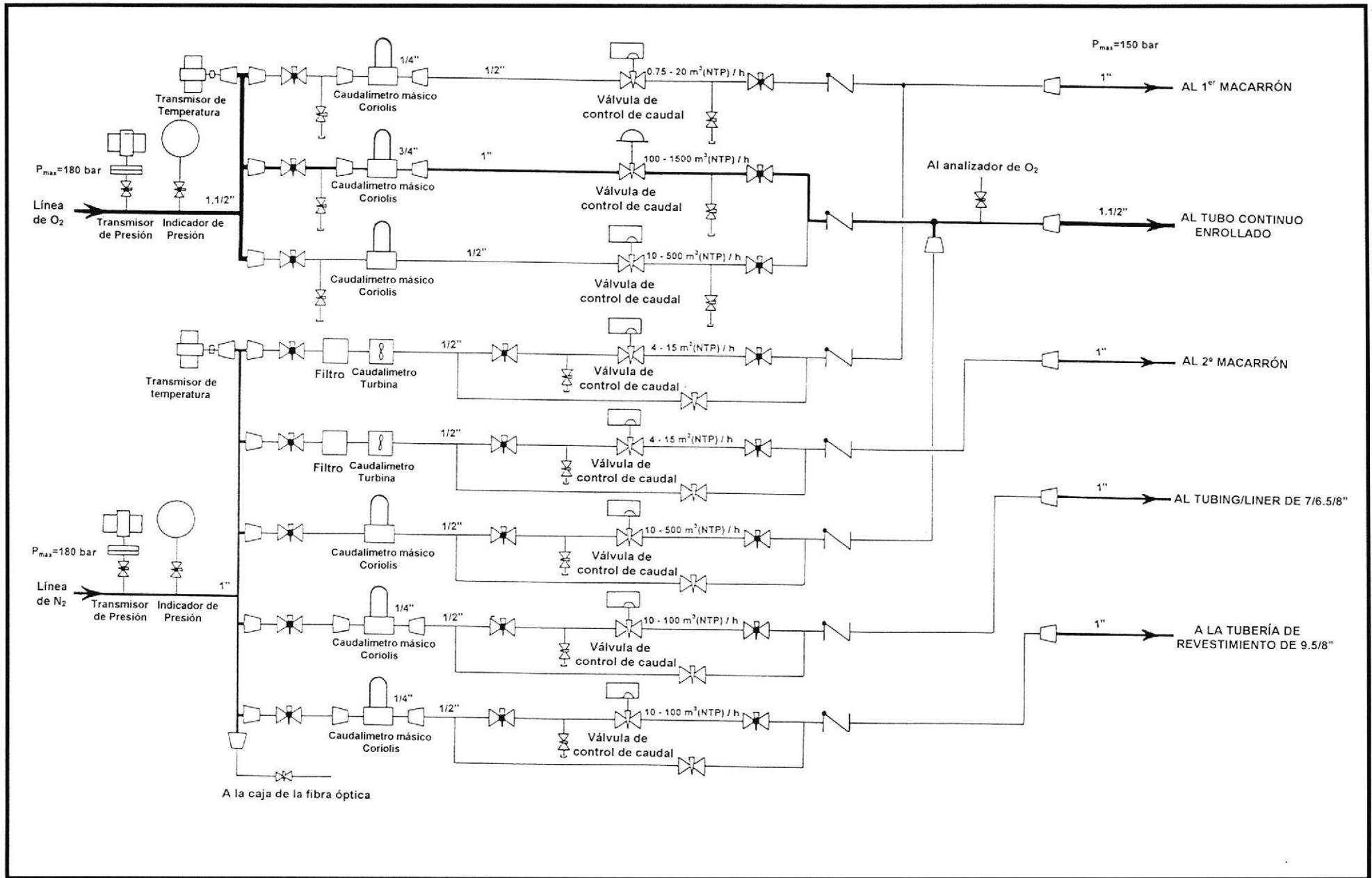


Figura 6 . Diagrama de flujo y control del "manifold" del Pozo Desviado de Inyección [IW1(ET4)]

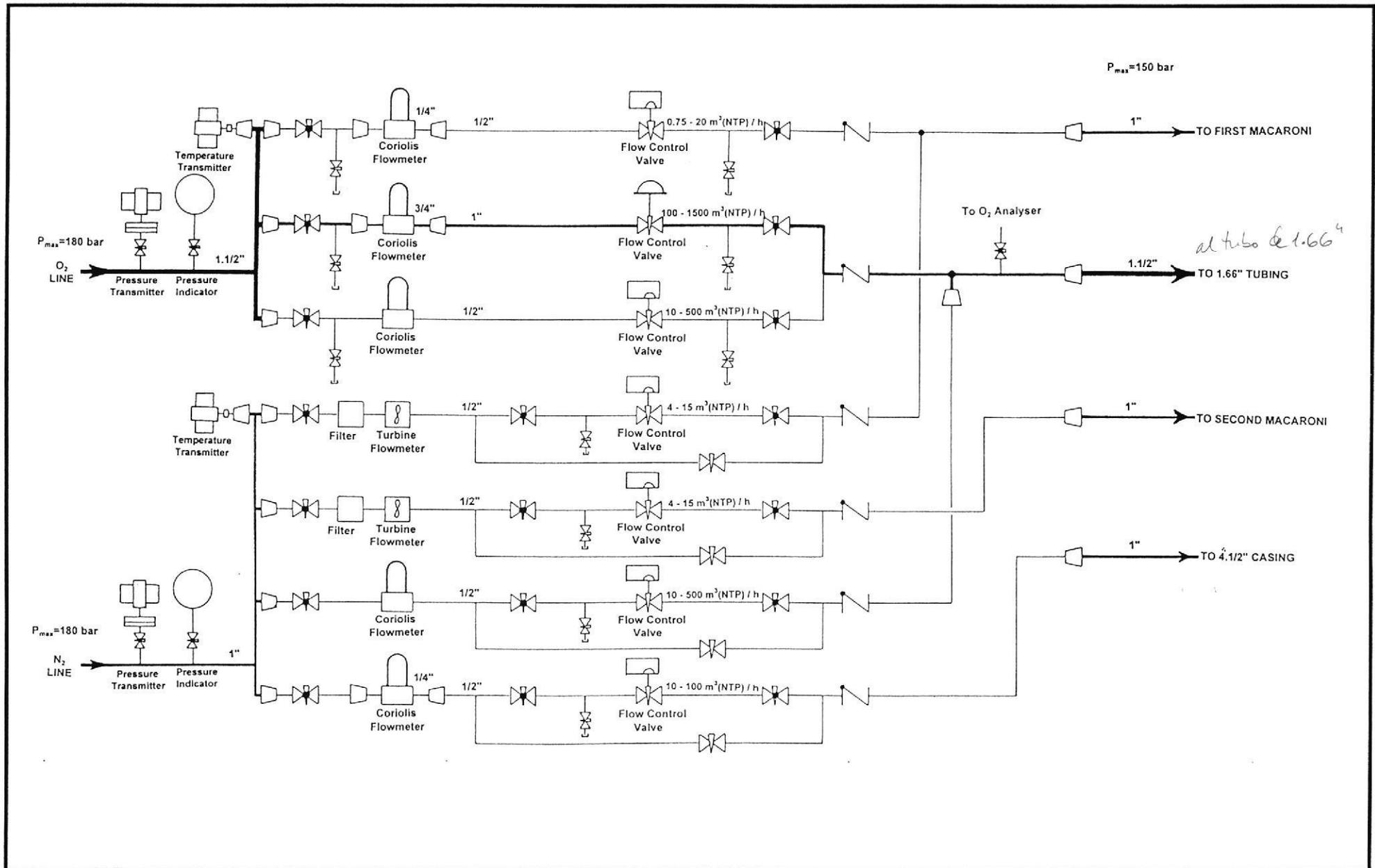


Figure 7 . Flow and Control Diagram of the Transverse Injection Well [IW2(ET6)] Manifold

idea fr 6

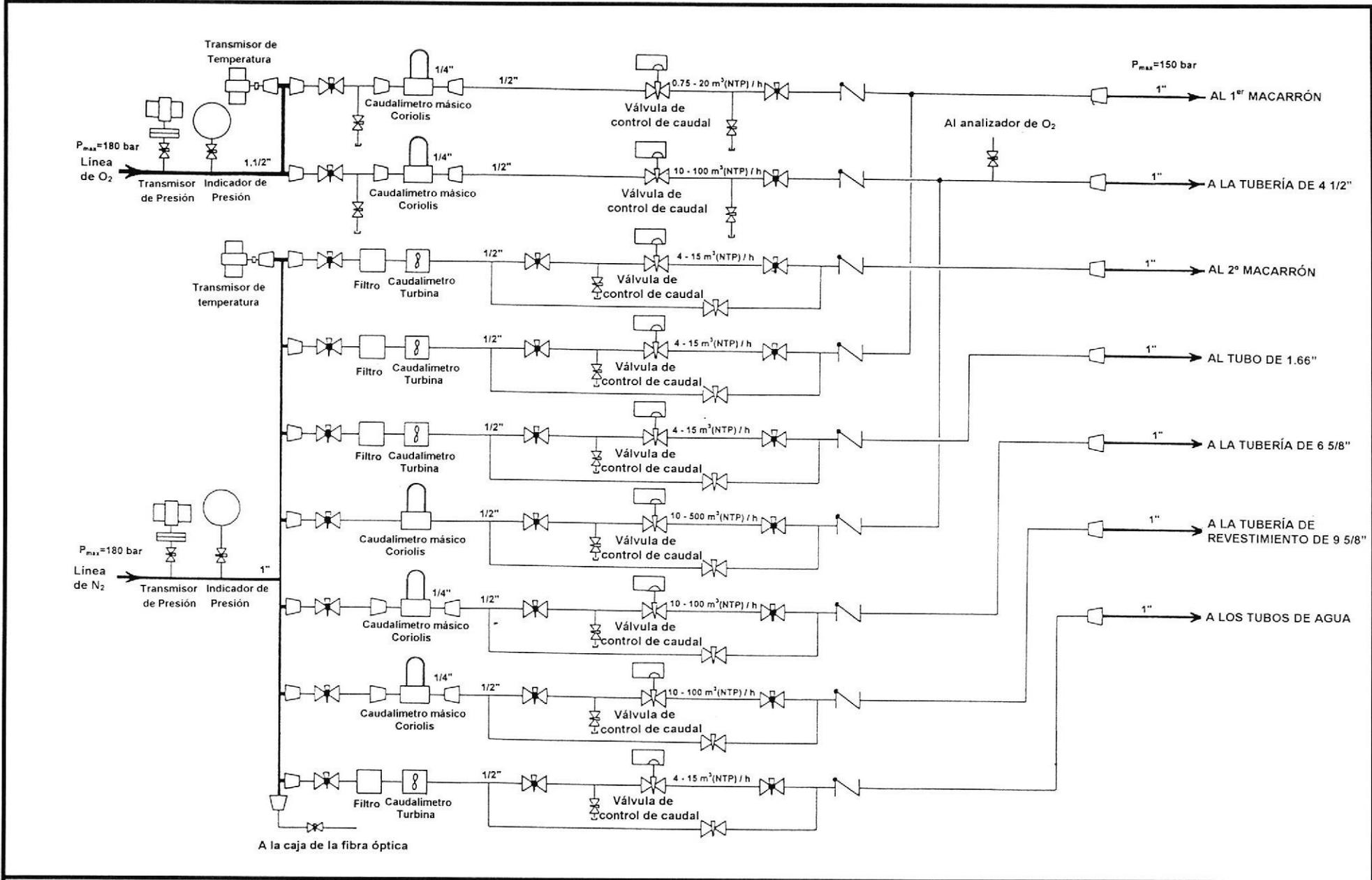


Figura 8 . Diagrama de flujo y control del "manifold" del Pozo Desviado de Inyección [RW(ET5)]

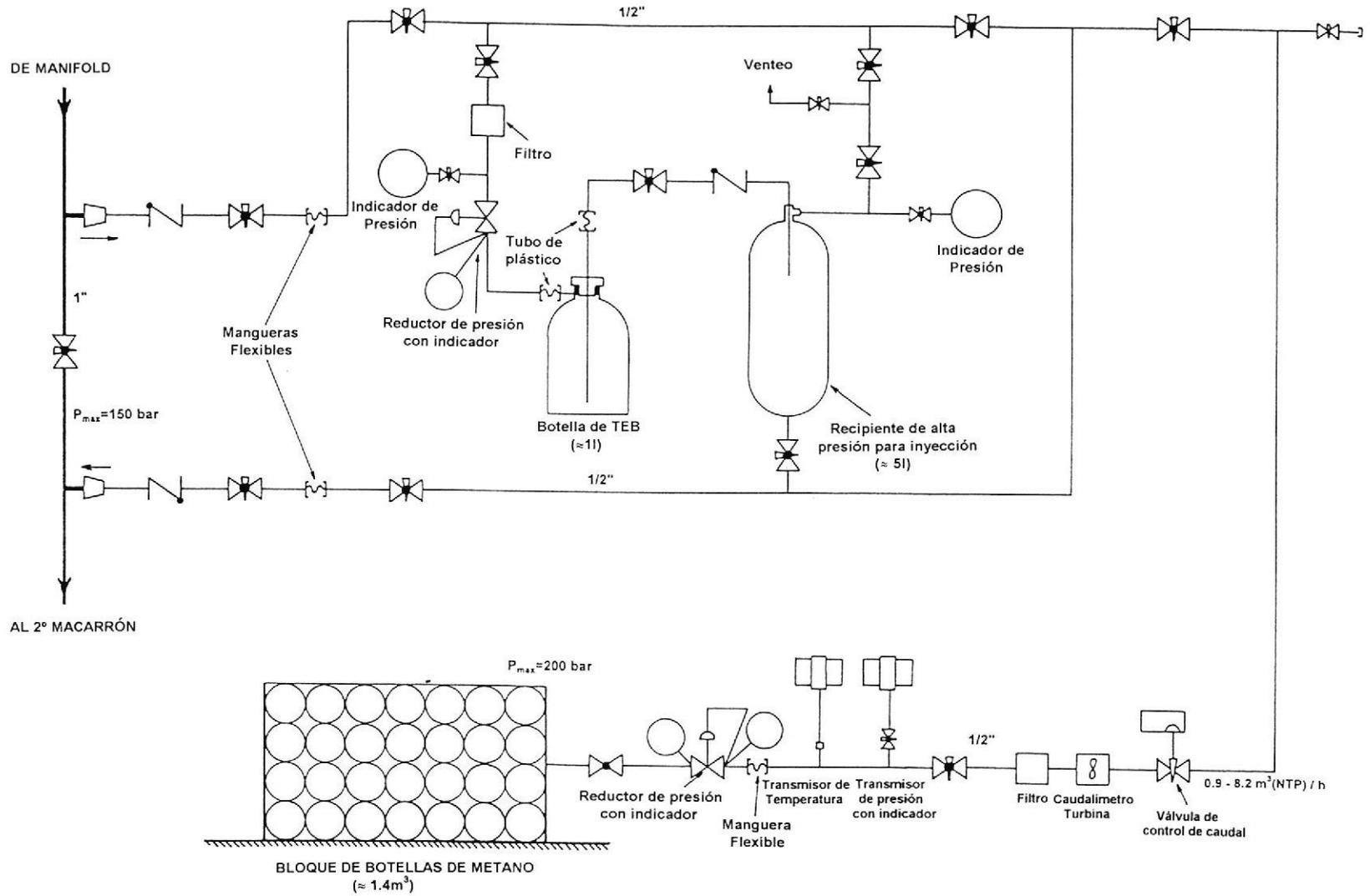


Figura 9 . Manifold de ignición con TEB y Metano

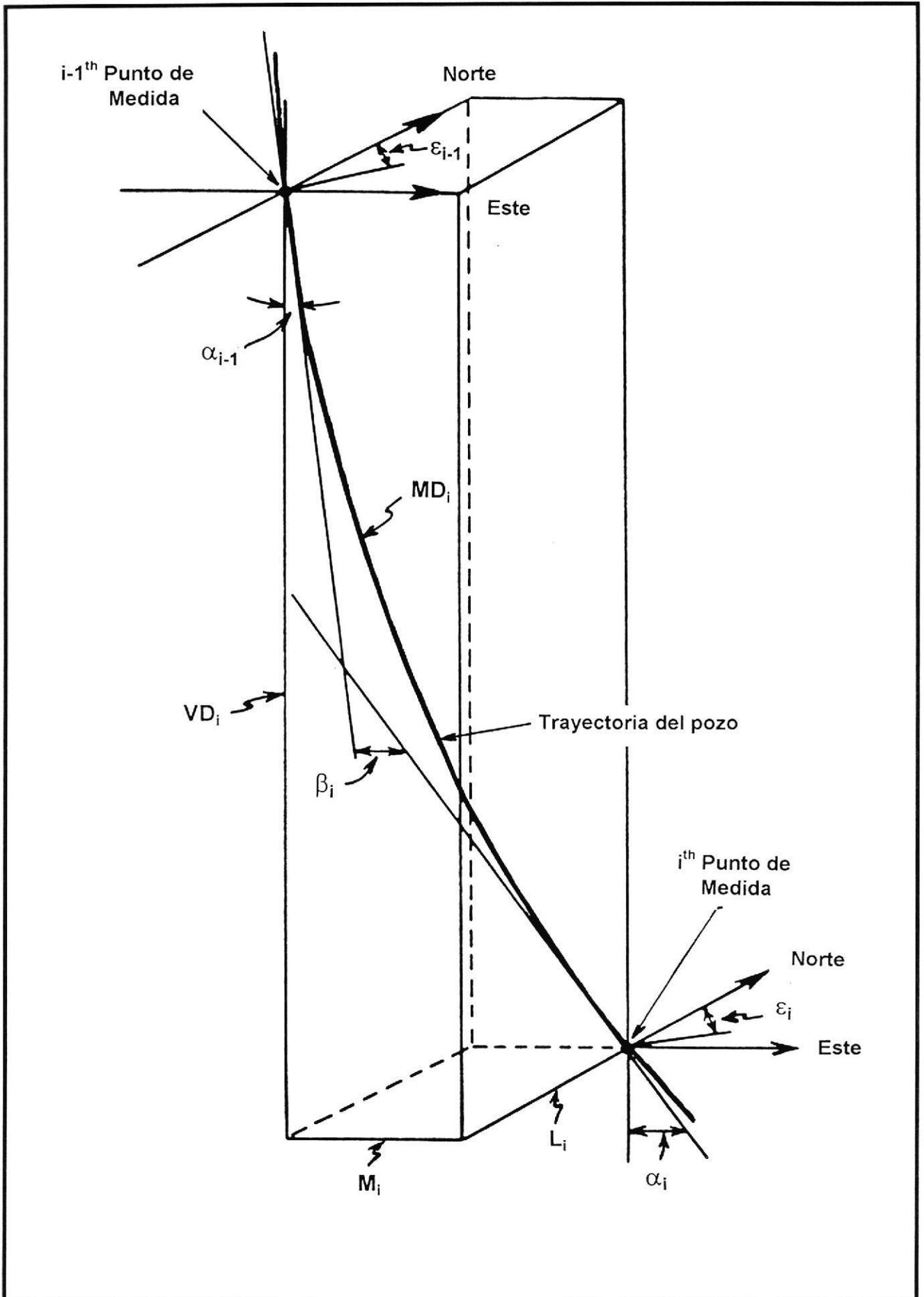


Figura B-1 . Representación del Método de Mínima Curvatura