

# **GASIFICACIÓN SUBTERRANEA DEL CARBÓN PRIMER ENSAYO EN EL MARCO DE UNA COLABORACIÓN COMUNITARIA**

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

**INFORME TÉCNICO  
ENERO 1997 - JUNIO 1997**

## **Directores**

M.B. GREEN (DIRECTOR)

A. OBIS ( DIRECTOR ADJUNTO OPERACIONES)

PH.FIEVEZ (DIRECTOR ADJUNTO TÉCNICO )

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

## CONTENIDO

### Sumario

1. Introducción
2. Planta Superficie
  - 2.1. Tubo Enrollable
  - 2.2. Modificaciones Sobresalientes de la Planta
  - 2.3. Análisis del gas producto e Instrumentación
  - 2.4. Puesta en Marcha
  - 2.5. Instalaciones de Seguridad
3. Operación de Planta y Programa de Seguimiento Medioambiental
4. Análisis de Proceso y Modelización
  - 4.1. Manual de las Fases de Proceso
  - 4.2. Modelización
  - 4.3. Análisis Geológico
5. Programa de Apoyo
6. Dirección del Proyecto
  - 6.1. Personal
  - 6.2. Equipo Directivo Interno
  - 6.3. Formación y Seguridad
  - 6.4. Autorizaciones /Legalizaciones
  - 6.5. Cambios en la Estrategia Técnica
  - 6.6. Futuros Trabajos
  - 6.7. Grupo de Trabajo Europeo
  - 6.8. Conferencias, Publicaciones e Informes

## **SUMARIO**

Durante este periodo las actividades más importantes fueron la finalización de la puesta en marcha de la planta, el desarrollo de los procedimientos de operación, la finalización de las modificaciones más importantes del sistema de ignición CRIP, y la obtención de la certificación y autorización de la planta.

Las operaciones de gasificación comenzaron al final del periodo (Junio 1997) habiéndose obtenido hasta el momento una buena comunicación entre los pozos de inyección y recuperación.

La formación del personal de UGE en los procedimientos de operación y seguridad fue una actividad importante. El uno de Abril se designó un nuevo director y la estructura interna de dirección se examinó con detalle para las operaciones de gasificación. Los procedimientos de operación de la planta se establecieron durante las etapas de formación y puesta en marcha, el personal está bien formado y la planta preparada para la ignición, que se espera tenga lugar durante las próximas semanas.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Este informe describe un periodo de intensa actividad en la preparación de la planta y el personal para las operaciones de gasificación.

Previamente se identificaron un número de modificaciones esenciales y se necesitaron los primeros meses del periodo para reunir nuevos componentes e instalarlos en el campo. La coordinación para el rediseño, manejo, puesta en marcha e instalación del nuevo tubo enrollable requirió visitas a Francia y Suiza y se llevaron a cabo ensayos de resistencia mecánica en Estados Unidos

Siguió la puesta en marcha de la planta, y se tuvo que adquirir rápidamente una gran experiencia en la integración de las unidades paquete en un sistema único operativo y seguro. La conversión de los ingenieros de UGE de realizar trabajos de diseño y construcción a operar la planta de una forma consciente y segura, incluyendo la ayuda de técnicos experimentados, fue un hito muy importante.

Paralelamente, se examinaron los procesos subterráneos, confirmados los puntos de ignición CRIP y se desarrolló un manual detallado de proceso que fue revisado por consultores externos.

Los trabajos de preparación, puesta en marcha y certificación de la planta finalizaron a mediados de Junio y este informe describe los resultados iniciales que se obtuvieron en las etapas de operación de pregasificación.

## **2. PLANTA DE SUPERFICIE**

### **2.1 TUBO ENROLLABLE**

Los problemas encontrados anteriormente durante la inserción del tubo enrollable en el pozo de inyección fueron estudiados por los ingenieros de UGE y la compañía DOWELL SCHLUMBERGER. Se inició una gran revisión y el nuevo diseño fue enviado para su fabricación después que DOWELL SCHLUMBERGER admitiera su responsabilidad y se ofreciera a solucionar la situación sin coste para UGE.

El nuevo tubo enrollable fue fabricado por ZM en Suiza y en la compañía Precision Tubing Technology de Houston (Texas) se llevaron a cabo intensos ensayos de resistencia mecánica (apéndice 1) para comprobar la calidad del nuevo tubo fabricado.

Los resultados fueron muy positivos. Al mismo tiempo se hicieron varias adaptaciones a la unidad para incrementar la seguridad en la presencia de O<sub>2</sub> y la confianza general.

Todavía no se ha encontrado la explicación del fallo producido en la intento de inserción en noviembre de 1996. A consecuencia de ello se realizaron una serie de pruebas en Pau (Francia) para confirmar el comportamiento de las líneas de control dentro del nuevo tubo enrollable a medida que el ensamblaje completo era introducido en el pozo de inyección. Al mismo tiempo se adaptaron el ensamblaje, ensayos, certificación y procedimientos de limpieza para simplificar la inserción y mejorar los sistemas de seguridad de su manejo durante la gasificación.

El día 8 de mayo de 1997 se completó con éxito la instalación del nuevo sistema de inyección en el pozo de inyección IW 1, y así mismo la conexión a la cabeza del pozo también se probó y logró sin mayores problemas .

Posteriormente se decidió reacondicionar algunos de los tubos 1.66" del primer ensamblaje de inyección como reserva.

### **2.2 MODIFICACIONES SOBRESALIENTES DE PLANTA**

#### **a) Combustor**

La conversión del combustor para quemar gas de cualquier calidad obligaba a la instalación de un nuevo inyector de propano y de los controles asociados. Los principales componentes se instalaron en Febrero 1997 cuando se realizaron y probaron los cambios en los sistemas básicos de control y seguridad. Sin embargo, el ordenador que debía calcular la proporción de propano a inyectar según el caudal y la calidad del gas producto supuso un

problema, según creemos, debido a la falta de experiencia del instalador en el control por ordenador.

Hubo fallos adicionales posteriores en el sistema de control y, por otro lado, la compañía instaladora entró en serias dificultades financieras. Como resultado el control del combustor continua sin ser clarificado y se buscan soluciones alternativas para resolver las dificultades mediante otras compañías. El combustor es una unidad crítica para la fase de ignición del programa de gasificación y se está empleando un esfuerzo considerable para resolver los problemas más importantes.

b) **Sistema de suspensión del pozo de Recuperación RW**

El sistema de suspensión para las líneas de producción próximas al pozo de recuperación (RW) se instalaron con éxito para permitir la expansión térmica de la cabeza del pozo hasta a un máximo de 10 mm. Las líneas están ahora literalmente flotando, aunque se desconocía su peso exacto, y se tomó una aproximación para el cálculo de su dimensionado. Las tres conexiones en T, identificadas como los puntos más débiles de las líneas, se reforzaron. Se reemplazó el aislamiento de las tuberías suspendidas y el del pozo de recuperación (RW).

## 2.3 ANÁLISIS DE GAS E INSTRUMENTACIÓN

a) **Instrumentación “On line”**

Se contrataron dos técnicos instrumentistas que trabajaron a turnos para cubrir:

- a) La instrumentación “on line” para los principales componentes del gas.
- b) El funcionamiento del espectrómetro de masas para un detallado análisis “on line” del gas y del vapor.
- c) La satisfactoria ejecución del sistema de toma de muestras para los productos en fases: gas, líquido y sólido.
- d) La recogida, conjuntamente con los ingenieros de UGE, de las muestras diarias.

b) **Análisis por Grupos**

Se facultó a un laboratorio analítico para transportar y analizar la composición del producto en las tres fases, sólido, líquido y gaseoso, usando el protocolo de análisis y sistema de muestras que aparece en el Apéndice 2 .

La combinación de la instrumentación “on line” y análisis por grupos son críticas para la determinación de los balances de masas y es la forma fundamental para poder seguir las operaciones subterráneas. El sistema de control ha sido programado para calcular los balances de masa “on line”.

Además se ha instalado un sistema de apoyo para la detección de oxígeno cercano al pozo de recuperación (RW), para controlar los niveles de oxígeno en la producción de gases. Esta es una medida adicional de seguridad que sería usada para parar el suministro de oxígeno en el improbable caso de que haya una derivación de oxígeno en las líneas de producción.

## **2.4 PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA**

La puesta en marcha de la planta, que ha sido cuidadosa e intensa, ha durado 5 meses y el proceso ha revelado un número de fallos en el diseño e instrumentación. Los más comunes fueron fugas en la línea de suministro, y fallos significativos en las microturbinas de los mecanismos de medidas de fluidos y el descubrimiento de que muchos de los tubos de entrada y las líneas de muestra necesitaban una extensa limpieza.

Sin embargo, los problemas más serios se presentaron en las bombas criogénicas, junto a las unidades de oxígeno líquido y nitrógeno. Estas tienen tendencia a cavitarse y tener fugas. El suministrador se ha ocupado del fallo sin encontrar una solución satisfactoria hasta ahora.

Por otro lado, la instrumentación “on line” y el espectrómetro de masas se pusieron en marcha sin dificultad, el sistema de suministro de corriente está funcionando correctamente y el equipo de tubo enrollable y la estructura de inserción ha funcionado satisfactoriamente. Se están realizando algunas modificaciones finales en el sistema de muestras de gas, para asegurar que la condensación completa de los líquidos tenga lugar antes que el análisis “on line”.

El ordenador Honeywell conectado con los sistemas de control, graba todas las variables de la planta, datos de la cabina de análisis, así como las medidas acumuladas de las temperaturas de la fibra óptica. Se realiza un promedio horario de estos resultados para preparar los informes diarios que son posteriormente enviados a los miembros de UGE. Cada semana se realiza un respaldo de los datos en cinta. Las pantallas del ordenador llevan procesos esquemáticos de todas las etapas de la planta con una lectura instantánea y control automático de los caudales clave y de las variables de temperatura.

Se han realizado unas pruebas en las líneas de alta y baja producción de fluidos usando una producción simulada con gas de nitrógeno y vapor de agua. El ensayo estableció que el agua puede condensar en las secciones horizontales y que el mantenimiento de una presión de alrededor de 5 bares en la sección de presión media requería una habilidad significativa del

operador. Consecuentemente, los lazos de control fueron adaptados para lograr un control automático más preciso y el problema se solucionó.

Se finalizó la construcción de las líneas de descompresión de los anulares 9<sup>5/8</sup> y 7" del IW 1 habiéndose conectado a la línea del combustor ( fase 10-11).

El programa de puesta en marcha se completó la semana 26 ( 23 de Junio ), todo estaba preparado para el inicio de la operación la semana siguiente.

## **2.5 INSTALACIÓN DE SEGURIDAD**

La seguridad de la planta ha sido una preocupación prioritaria durante todo el periodo de puesta en marcha. Las medidas que han sido llevadas a cabo incluyen:

- se mejoró el sistema contraincendios.
- se confirmó la calidad de la limpieza y desengrasado de las líneas de oxígeno.
- luz de emergencia.
- se refrescó el cursillo de primeras ayudas y se distribuyó equipo de protección personal.

Se añadieron al final dos barras de luz, ya que se requerían al estar situadas en un área de alto riesgo de la planta. Afortunadamente, cuando cayó un rayo en la planta unas pocas semanas después, las protecciones estaban instaladas.

Un consultor externo realizó una auditoria completa de la seguridad de la planta, un estudio de la disponibilidad y seguridad de los empleados y la ejecución de un simulacro de emergencia, incluyendo fuego y heridas personales. El resultado confirmó que se había logrado un alto standar de seguridad.

## **3. OPERACIONES DE PLANTA Y PROGRAMA AMBIENTAL DE SEGUIMIENTO**

### **OPERACIONES DE PLANTA**

A final de junio comenzaron los turnos de operación de 24 horas y los ensayos se centraron en comprobar la estanqueidad de los pozos y la conexión con agua entre los pozos de inyección y de recuperación.

#### **Ensayo de Presión con Agua**

Los dos pozos se llenaron con agua y posteriormente las cabezas del pozo se presurizaron a 30 bares. Después de un día de operación se vio que las

cabezas de los pozos se mantenían estancas.

### **Prueba de Comunicación con Agua**

El objetivo era comprobar la calidad de la comunicación entre el pozo desviado de inyección y el pozo de producción bajo condiciones de agua para saber la pérdida de la misma en la formación.

Se comprobó que en condiciones de flujo de 6.0 m<sup>3</sup>/hora y una presión en cabeza de 6-8 bares, el agua recuperada variaba entre el 65- 95%, lo que indica que se pierde en la formación una cantidad significativa de agua.

### **Caída de Presión en las Cabezas de Pozo**

Otro ensayo para la fase de conexión con agua es la variación en las presiones de las cabezas de los pozos y la relación entre la caída de presión y el flujo (Figuras 2 & 3). Estos indican que la caída de la presión del agua es lineal con respecto a la velocidad del fluido excepto cuando ésta es alta, ya que la presencia de materiales sueltos podría causar alguna resistencia extra. El aspecto del agua recuperada confirmó que una cantidad de partículas de carbón en suspensión fueron arrastradas a través del pozo.

Las fases de comunicación con agua fueron realizadas con éxito y la planta y el pozo estaban preparados para proceder a la fase de intercambio de agua y nitrógeno.

### **Prueba del Trazador de Helio**

Se hizo una prueba preliminar del sistema del trazador de Helio en las condiciones de "air lift" con Nitrógeno para probar el procedimiento del pulso de He y hacer una primera medida de la cavidad. Cuadro 4. El resultado dio un tiempo medio residencia de 240 segundos y sugirió una cavidad inicial de entre 400-500 litros .

### **Programa Ambiental de Seguimiento**

El programa ambiental de seguimiento está dirigido a establecer las condiciones de base de la hidrogeología de la zona del Tremedal con anterioridad a las fases de gasificación.

Dos grupos de datos son recogidos cada mes. El ITGE toma muestras y las analiza de :

- El suministro de agua de Alcorisa.
- El suministro de agua de Foz Calanda
- El pozo de agua de Foz Calanda

Y UGE toma muestras de:

El río de Alchozasa, en tres puntos  
 El pozo del Tremedal Nuevo  
 IW2 en la planta

Los últimos resultados están siendo recogidos por el laboratorio ENTIDAD COLABORADORA DE LA ADMINISTRACIÓN (ECA) de Zaragoza y se está llevando a cabo un análisis detallado, en la tabla 1 se da un ejemplo de ellos. Los primeros resultados muestran que la calidad del agua del río está dentro de las especificaciones para una buena agua de río, aunque el nivel de fenol es más alto que el límite. Este resultado está siendo investigado más ampliamente.

**Cuadro 1. Análisis de la Muestra de Agua de Junio**

	Río Alchozasa			Nuevo Pozo del Tremedal
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	
Calcio (mg/l)	128	120	125	195
Magnesio (mg/l)	45	40	45	120
Sodio (mg/l)	18,6	16,2	16,4	15,0
Potasio (mg/l)	2,1	1,8	1,7	10,8
Bicarbonato (mg HCO <sub>3</sub> /L)	278,16	272,06	274,5	45,14
Sulfatos (mg/l)	218,01	219,62	213,19	1080,15
Cloruros (mg/l)	45,3	43,5	40,0	40,0
DQO (mg/l)	5,63	5,76	3,84	1,90
Total sólidos disueltos	701,5	772,5	719,5	1557,5
Nitratos(mg/l)	1,90	2,61	2,75	0,19
Carbón orgánico (mg C/l)	5	5	5	3
Fenol (mg/l)	0,01	0,09	<0,01	0,08
Boro (mg/l)	<1	<1	<1	<1
Amoníaco	0,7	0,7	0,7	0,7
pH	7,952	7,872	8,108	7,140
Alcalinidad TAC (meq/l)	4,56	4,46	4,50	0,74
Conductividad( $\mu$ S/ cm)	864	865	906	1580
CO <sub>2</sub> disuelto (mg O <sub>2</sub> /l)	7,54	9,76	9,09	13,86
Benceno( $\mu$ g/l)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Hidrocarburos totales de petróleo (mg/Kg)	<2	<2	<2	<2

#### **4. ANÁLISIS DE PROCESO Y MODELIZACIÓN**

##### **4.1. MANUAL DE LA FASE DE PROCESO**

El desarrollo de un manual completo de operaciones ha sido una importante actividad durante este periodo.

La fase principal del proceso de gasificación se muestra en el cuadro 5. Para cada fase se preparó un procedimiento detallado para cubrir el objetivo descrito, duración y secuencia de operaciones y los criterios finales que debían seguirse para proceder a la fase siguiente. Para cada fase se analizaron y construyeron escenarios “Que hacer si” (What if).

El borrador del manual fue revisado en un proceso consistente en dos partes: primero por los técnicos de UGE y segundo en una reunión especialmente convocada con consejeros técnicos que tuvo lugar en Lieja en Abril de 1997.

## 4.2 PROCESO DE MODELIZACIÓN

- a) Dentro del sistema de control “on line”, se desarrolló y programó un balance de masas y energía.
- b) Los dos modelos básicos, en los que se describen separadamente las reacciones de pirólisis y la de gasificación, han sido reprogramados utilizando el programa EES (“engineering equation solver”). El modelo estaba disponible para la interpretación de los resultados durante el proceso de gasificación .
- c) Se han hecho estimaciones de la inflamabilidad de las posibles mezclas utilizando el programa de ordenador INFLAM de la universidad de Lieja. El estudio concluye que puede permitirse una cantidad de oxígeno no detectable en las líneas de producción, ya que el nivel de inflamabilidad a temperaturas por encima de  $100^{\circ}\text{C}$  está cerca de cero . Por esta razón el detector de oxígeno de reserva se instaló cerca del pozo de recuperación, para que en el caso de que haya niveles de  $\text{O}_2$  detectables en las líneas de producción, la alarma suene inmediatamente y se pueda iniciar una acción, por ejemplo, el corte del suministro de oxígeno.

## 4.3 ANÁLISIS GEOLÓGICO

### **Análisis de la trayectoria del Pozo de Inyección y la Selección de Puntos de Ignición**

Se ha llevado a cabo una reestimación de la trayectoria para fijar los posibles puntos de ignición CRIP. El análisis estableció que el máximo espesor aparente de caliza a lo largo de la trayectoria era de 1.4 m (Figura 6), y que el campo de ignición dentro de la capa en la sección cercana al pozo de recuperación estaba limitado a unos 10 y 11 metros hasta la zapata del tubo de 7” (“liner”).

Ensayos anteriores realizados en un horno con testigos de la caliza habían revelado un proceso en dos fases en el que al secado le sigue una formación de  $\text{CaO}$  y el posterior consumo de las partículas de carbón embebidas en la

caliza. Se estableció un criterio de 0,3m como la distancia máxima bajo la capa de carbón en la que puede lograrse la ignición: los posibles puntos CRIP que resultaron de este proceso están marcados en el diagrama.

### **El Reactor y el Proceso de Operación**

Se ha calculado para la formación la presión litostática, hidrostática y la de fractura en función de la profundidad vertical, para establecer el rango de presión de operación para el pozo. El resultado se muestra en el cuadro 7. Es importante operar por debajo de la presión de fractura para no dañar la estructura, y se ha ajustado un máximo provisional de 20 bares por debajo de la presión .

La entrada de agua ocurrirá a presiones por debajo de la hidrostática e idealmente esto debería equilibrarse con la presión del pozo para minimizar el ingreso de agua, tanto como sea posible. Actualmente estos resultados están siendo validados, y los procedimientos de operación definidos con los datos reales para la conexión con agua.

## **5. PROGRAMA DE APOYO**

El apoyo de técnicos externos vino principalmente de una reunión “ad hoc” del grupo de consejeros especializados que tuvo lugar en Abril en Lieja. Se dieron comentarios detallados así como consejo sobre el manual de las fases del proceso y se discutió una visión general de las condiciones de gasificación basadas en la experiencia de los asistentes de la INSTITUTION POUR LE DEVELOPPEMENT DE LA GAZEIFICATION SOUTERRAINE ( I.D.G.S.), de la universidad de Lovaina, la industria minera del Reino Unido y los ingenieros españoles de UGE. Algunos de los temas considerados fueron :

- (1) Mecánica del tubo enrollable: ensamblaje y procedimientos de instalación
- (2) Combustibilidad de la piedra caliza / mezclas de carbón.
- (3) Eficacia del proceso de gasificación.
- (4) Importancia de las pruebas de trazado y deuterio.

El apéndice 3 es el resumen de las conclusiones de la reunión.

Los miembros de UGE han prestado un apoyo adicional durante el periodo. En particular, el INSTITUTO TECNOLÓGICO Y GEOMINERO DE ESPAÑA (ITGE) ha preparado una propuesta de programa ambiental, para un periodo de 5 años después de que la gasificación finalice, I.D.G.S. ha prestado un apoyo de consultoría en la planta, para la interpretación de resultados y la

asistencia en la solución de los problemas más importantes de la puesta en marcha de la planta.

Expertos externos también han ayudado a desarrollar el manual de seguridad interna y a llevar a cabo una auditoria completa sobre la seguridad anterior al comienzo de la gasificación.

Ha sido formalizado un acuerdo con los miembros de UGE sobre el formato de los informes diarios para los turnos, proceso y planta, así como también se ha probado un sistema de e-mail para transmitir información.

## **6 DIRECCIÓN DEL PROYECTO**

### **6.1 PERSONAL**

Un nuevo director, Dr. Michael Green, anteriormente controlador técnico, R&D de British Gas fue nombrado el 1 de Abril para reemplazar al Dr. Alan Bailey quien había dirigido el proyecto desde el principio y se retiró por motivos de salud.

Seis técnicos de la compañía de servicios SIEMSA se unieron al proyecto, para dar apoyo durante los turnos de las operaciones de gasificación. Llevaron a cabo un curso de seguridad y operación durante dos semanas seguido de un entrenamiento del equipo de turnos antes de que comenzaran las operaciones de 24 horas a finales de Junio.

La enfermedad de un ingeniero de UGE durante seis semanas mermó el equipo de apoyo técnico pero esta pérdida fue compensada con la incorporación de tres empleados temporales, un químico, un estudiante de ingeniería y un experto en la combustión del carbón del INSTITUTO DE CARBOQUÍMICA, organismo experto en carbón de Zaragoza.

También fueron contratados como personal de apoyo dos técnicos instrumentistas de DENION, el ingeniero para operar el tubo enrollable de DOWELL SCHLUMBERGER y un guarda de PROSEGUR durante las 24 horas, todos ellos seguirán hasta el final de la operación.

### **6.2 DIRECCIÓN INTERNA**

La gasificación impondrá en UGE, la necesidad de una estructura que sea capaz de responder rápidamente a las condiciones de la operación.

Los directores revisaron los requerimientos de las fases de gasificación y acordaron que se operaría durante las 24 horas en la siguientes fases:

- Inyección de Nitrógeno
- Ignición, maniobra CRIP

- Gasificación en Canal
- Segundo CRIP
- Cierre

El tiempo programado para las operaciones de turnos de 24 horas es de 16 semanas, desde que se reciba la autorización final, pero este podría aumentar o disminuir dependiendo del proceso de gasificación, cualquier fallo mecánico o la parada de la operación subterránea. El sistema de turnos será revisado después de un mes de gasificación.

La estructura de la dirección interna del proyecto se muestra en el cuadro 8.

Las características clave son:

1. Los directores formarán un grupo, que se reunirá 2-3 veces por semana para revisar el progreso de la gasificación, tomar decisiones sobre fases futuras y dar recomendaciones al consejo sobre las etapas claves de la gasificación.
2. Un Director de Retén, nombrado cada semana, a quien han de informar los ingenieros de turno.
3. Ha sido elegido un oficial de prevención para aconsejar a las directores en materias de seguridad.
4. Se constituyó un grupo de ayuda en la oficina para analizar e interpretar los resultados.
5. El consejo es informado al menos cada semana.
6. El Director Facultativo será informado de los eventos operacionales más importantes por los del turno y el Grupo Directivo.

En el caso de que la operación a turnos de 24 horas sea suspendida, bien temporalmente o permanentemente, las funciones de los ingenieros volverán a la normalidad.

### **6.3 FORMACIÓN Y SEGURIDAD**

La cercanía de las operaciones de gasificación requirieron un programa de formación sobre el funcionamiento de la planta y de los procedimientos de seguridad que se deben realizar en la planta.

El manual de proceso contenía procedimientos de operación para la planta en sí misma, así como para las fases de proceso. Estas fueron estudiadas y aprendidas por los ingenieros de UGE y también se proporcionó una instrucción práctica para los técnicos contratados. Se realizó una serie de trabajos con el fin de crear los equipos de dos ingenieros y dos técnicos

necesarios en cada uno de los cuatro turnos. Lo más importante fue el uso simulado de gas en la línea de producción usando nitrógeno y vapor de agua. Esto requiere que todas las secciones de la planta (excepto oxígeno) estén operativas y proporciona una experiencia valiosa en el funcionamiento de la línea de producción.

El entrenamiento de seguridad estaba basado en un manual que fue preparado por un consultor externo, revisado con los empleados de UGE y finalmente aceptado por las autoridades mineras de la DGA ( Diputación General de Aragón).

Los temas incluyen los procedimientos básicos de seguridad, protección personal, reglas para el trabajo en la planta, acceso a la planta y el plan de emergencia. Todos los empleados han tenido una gran formación en los procedimientos de seguridad.

Además, un consultor externo ha realizado una completa auditoria de seguridad de la planta, un estudio de la preparación de la seguridad y el conocimiento de los empleados, y la ejecución de una situación de emergencia simulada consistente en fuego y heridas personales. Los resultados confirmaron que se había logrado un alto estándar de seguridad.

Finalmente, se creó un comité de seguridad para inspeccionar todas las actividades relacionadas con la seguridad y proporcionar un canal para la seguridad y el conocimiento de los empleados. Una de las primeras tareas fue investigar un incidente en el que un técnico fue levemente herido en un ojo mientras desconectaba una brida que contenía agua del pozo. La principal lección que se aprendió fue que se debía usar protección completa en los ojos y una mejora en la actuación en equipo de los miembros de los turnos.

#### **6.4 AUTORIZACIONES / LEGISLACIÓN**

Las últimas etapas para obtener la autorización para operar en la planta resultó ser un largo proceso.

Las dificultades contractuales con la compañía de diseño y control de la construcción (SERELAND) obligó a UGE a llevar a esta compañía ante el organismo regulador del cuerpo de ingenieros para cambiar el "Director de Obra"(persona autorizada para expedir los certificados de la adecuada construcción de la obra). Lo que significó un retraso de 2-3 meses.

Hubo que completarse una amplia documentación y 12 certificados para cubrir las unidades de la planta industrial y su puesta en funcionamiento. Diferentes entidades oficiales realizaron tres visitas al campo.

Una dificultad importante provino de la necesidad de obtener un seguro extenso que cubriera residuos tóxicos que pudieran producirse al final del ensayo y extraerse por el pozo hasta la superficie.

Posteriormente, se obtuvo una cobertura tanto para el derrame accidental de las materias tóxicas, como para la polución gradual ( donde las causa es menos obvia). El seguro del último tendrá que estar operativo por un periodo de 5 años después de finalizado el proyecto.

Un documento adicional importante para las operaciones son las Disposiciones Internas de Seguridad, que fue formalmente remitido por ENDESA en nombre de la UGE. El Director Facultativo de ENDESA es responsable en materias de seguridad frente a las autoridades y tiene que ser constantemente informado de todas las cuestiones relacionadas con la seguridad de la planta incluyendo cualquier incidente.

La certificación para operar en la planta se obtuvo finalmente el 24 de Junio a tiempo para que las operaciones comenzaran la semana siguiente.

## **6.5 CAMBIOS EN LA ESTRATEGIA TÉCNICA**

En el informe anterior se presta atención a la decisión del Consejo de UGE basada en un análisis más profundo de la geología de la zona, la preparación de la gasificación por filtración tuvo que ser suspendida en ese momento. Como la gasificación era inminente pareció prudente revisar la decisión una vez que los resultados de la fase de gasificación en canal estuvieran disponibles y, mientras tanto, el segundo pozo de filtración se mantuvo en buenas condiciones.

## **6.6 TRABAJO FUTURO**

La tarea más inmediata a acometer es iniciar el proceso de gasificación, en el cuadro 9 se presenta el programa. Se anticipa que el mantenimiento de las unidades de la planta y las posibles modificaciones de las unidades ocuparon la mayor parte del esfuerzo de los ingenieros.

Se formó un equipo de ayuda técnico para proporcionar apoyo de ingeniería en las fases de gasificación, ocuparse de los suministros y llevar a cabo una interpretación "on line" de los resultados.

También se prestó atención a las actividades inmediatas de postgasificación que incluyen el cierre satisfactorio y completo del proceso así como una investigación inicial de la corrosión de los componentes del pozo de recuperación e inyección. Tiene también alta prioridad el análisis de los resultados y la preparación del informe preliminar.

Además del análisis de datos, puesta en marcha e interpretación por los Ingenieros de UGE, se están teniendo en cuenta posibles contratos con I.D.G.S. y las universidades de DELFT y LIEJA y el INSTITUTO DE CARBOQUÍMICA para obtener apoyo en la modelización del proceso de

gasificación. También podría requerirse una evaluación geológica subterránea para una investigación de la cavidad.

Una vez que se haya recobrado el equipo de fondo de pozo, la parte inferior de cada pozo ha de ser sellada. La cavidad creada por la gasificación se llenará de agua, pero está en comunicación directa con la superficie y es muy corrosiva. Los pozos de recuperación e inyección entubados con acero al carbono serían rápidamente corroídos. La contaminación de los estratos de la zona superior con contaminantes tóxicos debe ser controlada.

El programa de seguimiento medioambiental está dirigido a seguir las condiciones existentes en pozos de agua remotos, donde el riesgo de contaminación es muy bajo.

Se considerará un programa de seguimiento medioambiental, durante el mismo periodo, pero mucho más cercano al gasificador para comprender con claridad la evolución de la migración de agua después de la gasificación y del cierre. Las muestras de agua durante los próximos 5 años del pozo existente proporcionarían el punto de muestra más cercano al área de gasificación.

Las unidades paquete tienen que ser desmanteladas, algunas podrían ser embaladas y almacenadas para su posterior aplicación, otras pueden ser vendidas. Todas las tuberías deberían ser desmanteladas y seguramente desguazadas. El desmantelamiento de las unidades puede ser realizado muy rápidamente.

Por consiguiente se deben tomar decisiones de acuerdo con el ayuntamiento de Alcorisa sobre la reestructuración de la planta y de cualquier construcción que haya de ser dejada en el lugar (piletas de agua, cercas, carretera,...). Todas estas actividades podrían ser subcontratadas y la etapa de revegetación podría ser realizada mientras que el programa de seguimiento del medio ambiente prosiga.

Se ha iniciado una búsqueda y revisión de patentes.

## **6.7 GRUPO DE TRABAJO EUROPEO**

El comienzo del contrato convenido con el "THERMIE B" para la "diseminación de resultados del proyecto existente y la formulación de un programa futuro" ha sido pospuesto hasta que se obtengan resultados significativos del proyecto en curso. Así pues se prevé hacer una reunión preliminar del grupo de trabajo en septiembre u octubre, a la que serán invitadas las organizaciones Europeas que muestren interés en los futuros programas de gasificación subterránea. En la actualidad, esto incluye los Miembros de UGE de España, U.K., y Bélgica junto con NOVEM y Gaz de France.

## **6.8 CONFERENCIAS, PUBLICACIONES E INFORMES**

### **Informes Internos**

Tubo Enrollable - Reunión Dowell Schlumberger- UGE, Alcorisa Enero 97 (150/IN/97/E) Informe Interno Preparado Por A. Herrero

Tubo Enrollable - Operaciones para la Recuperación de las Líneas de Control y las Muestras del Pozo - PAU, Enero 97 (151/IN/97/E)  
Informe Interno Preparado por A. Herrero.

Procedimiento de Ensamblaje del Tubo Enrollable- Pozo IW1 (152/IN/97/E)  
Informe Interno Preparado por A. Herrero

Tubo Enrollable, Reunión Dowell Schlumberger- UGE, Pau Febrero 97 (153/IN/97/E)  
Informe Interno Preparado por A. Herrero.

Ensayo de Presión - Informe de la Propuesta Técnica (155/IN/97/E)  
Informe Interno Preparado por J.L. Conchello.

Informe del Test de Baja Presión (156/IN/97/E)  
Informe Interno Preparado por J.L. Conchello.

Test de Presión - Informe de Propuesta Técnica (157/IN/97/E)  
Informe Interno Preparado por J.L. Conchello.

Reconocimiento de las Muestras de Oxígeno del IW-1 (158/IN/97/E)  
Informe Interno Preparado por J. Carrasco

Equipos Protección Personal (159/IN/97/E)  
Informe Interno Preparado por J.L. Arranz

Prácticas Extinción de Incendios ( 160/IN/97/E)  
Informe Interno Preparado por J.L. Arranz

Permisos/ Autorizaciones Equipos - Lista (161/IN/97/E)  
Informe Interno Preparado por E. Comín

Nueva Línea Para Descomprimir el Reactor - Propuesta ( 162/IN/97/E)  
Informe Interno Preparado Por J.L. Conchello.

Tabulación Ofertas Analizador de Oxígeno (165/IN/97/E)  
Informe Interno Preparado por J. Carrasco

Legalización de Equipos. Reunión DGA-UGE (166/IN/97/E)  
Informe Interno Preparado Por J.L. Conchello.

Actas Reunión IDGS-UGE, Lieja Abril 1997 (167/IN/97/E)  
Informe Interno Preparado por J.L. Arranz

Manual de Operaciones - Detector Múltiple de Gases (169/IN/97/E)  
Informe Interno Preparado por C. Barat

Informe Seguridad - Operaciones de Inserción del Tubo Enrollable  
Informe Interno Preparado por A. Herrero.

Manipulación de las Líneas de Oxígeno (172/IN/97/E)  
Informe Interno Preparado por J.L. Conchello

Manual de Seguridad (175/IN/97/E)  
Informe Interno Preparado por F. Adrian

Apoyo de las Líneas de Producción (177/IN/97/E)  
Informe Interno Preparado por J.L. Conchello

Normativa para el Uso de Material de Seguridad. (178/IN/97/E)  
Informe Interno Preparado por J.L. Conchello

Manual de Operaciones - Versión Abreviada (179/IN/97/E)  
Informe Interno Preparado por A. Herrero/J.L. Arranz

Manual de Operaciones - Versión Completa (180/IN/97/E)  
Informe Interno Preparado por A. Herrero/J.L. Arranz

Protocolo de Toma de Muestras (181/IN/97/E)  
Informe Interno Preparado por J.L. Arranz

### **Informes Realizados por Organizaciones Externas**

Desengrasado Preoperacional de Pozos  
(UGE Ref. 86/22.01.97)  
Informe Preparado por SOLARCA

Limpieza Química Preoperacional de las Tuberías de Acero al Carbono  
Inoxidable  
(UGE Ref. 87/22.01.97)  
Informe Preparado por SOLARCA

Inspección Válvulas  
(UGE Ref. 88/06.02.97)  
Informe Preparado por SOLARCA

Régimen de Organización Interna y de Organización de UGE  
(UGE Ref. 89/21.04.97)

Informe Preparado por Uria & Menéndez

Desengrasado Preoperacional del Pozo RW

(UGE Ref. 91/25.04.97)

Informe Preparado por SOLARCA

Informe Sobre Análisis de Aguas

(UGE Ref. 93/25.04.97)

Informe Preparado por ECA

Disposiciones Internas de Seguridad

(UGE Ref. 94/29.05.97)

Informe Preparado por D. Luis Constante

Estudio de las Instalaciones de Soportes

(UGE Ref. 97/25.04.97)

Informe Preparado por METALCAÑIZ

Site Installations of Prima 600

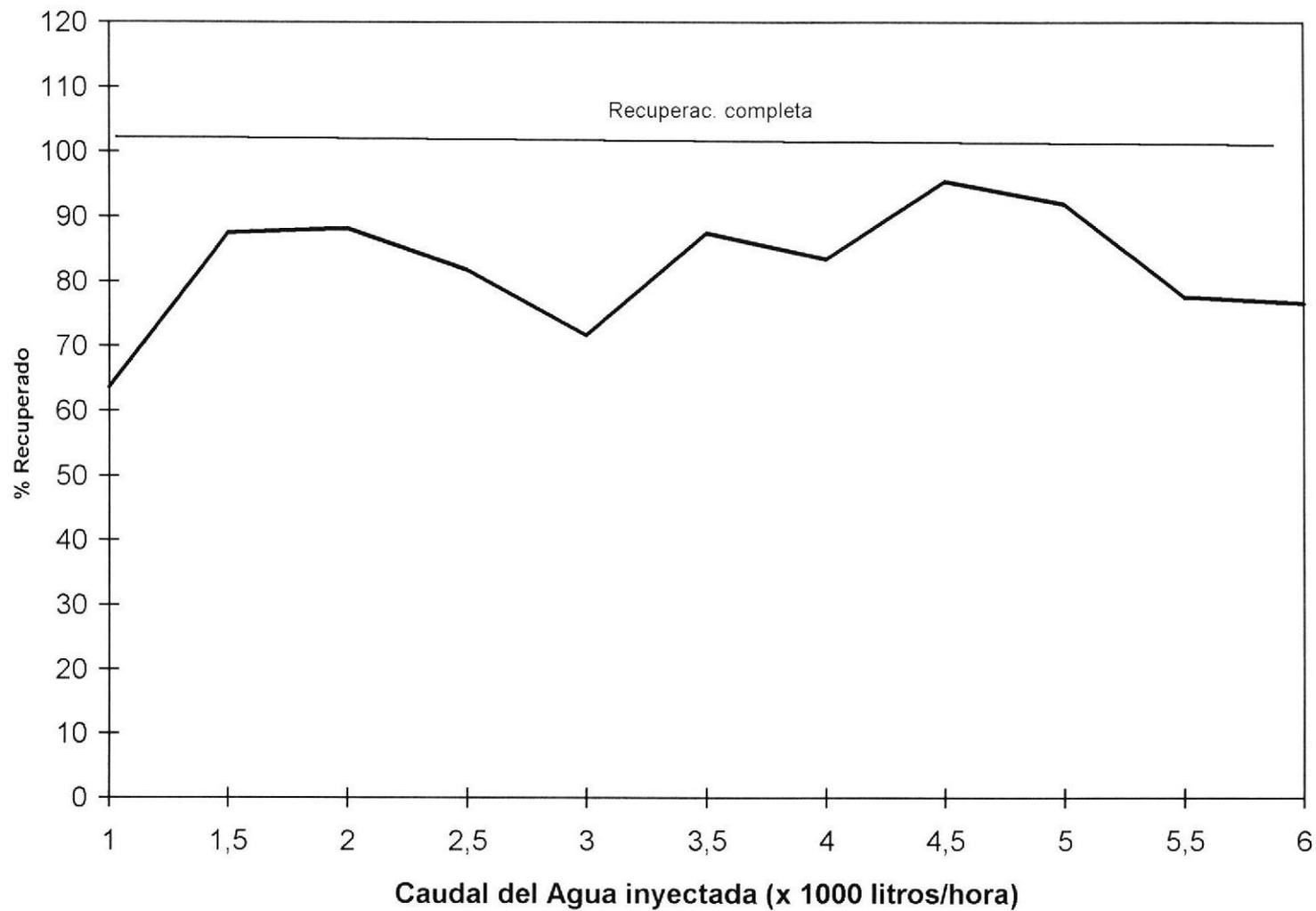
(UGE Ref.98/25.04.97)

Informe Preparado por VG GAS

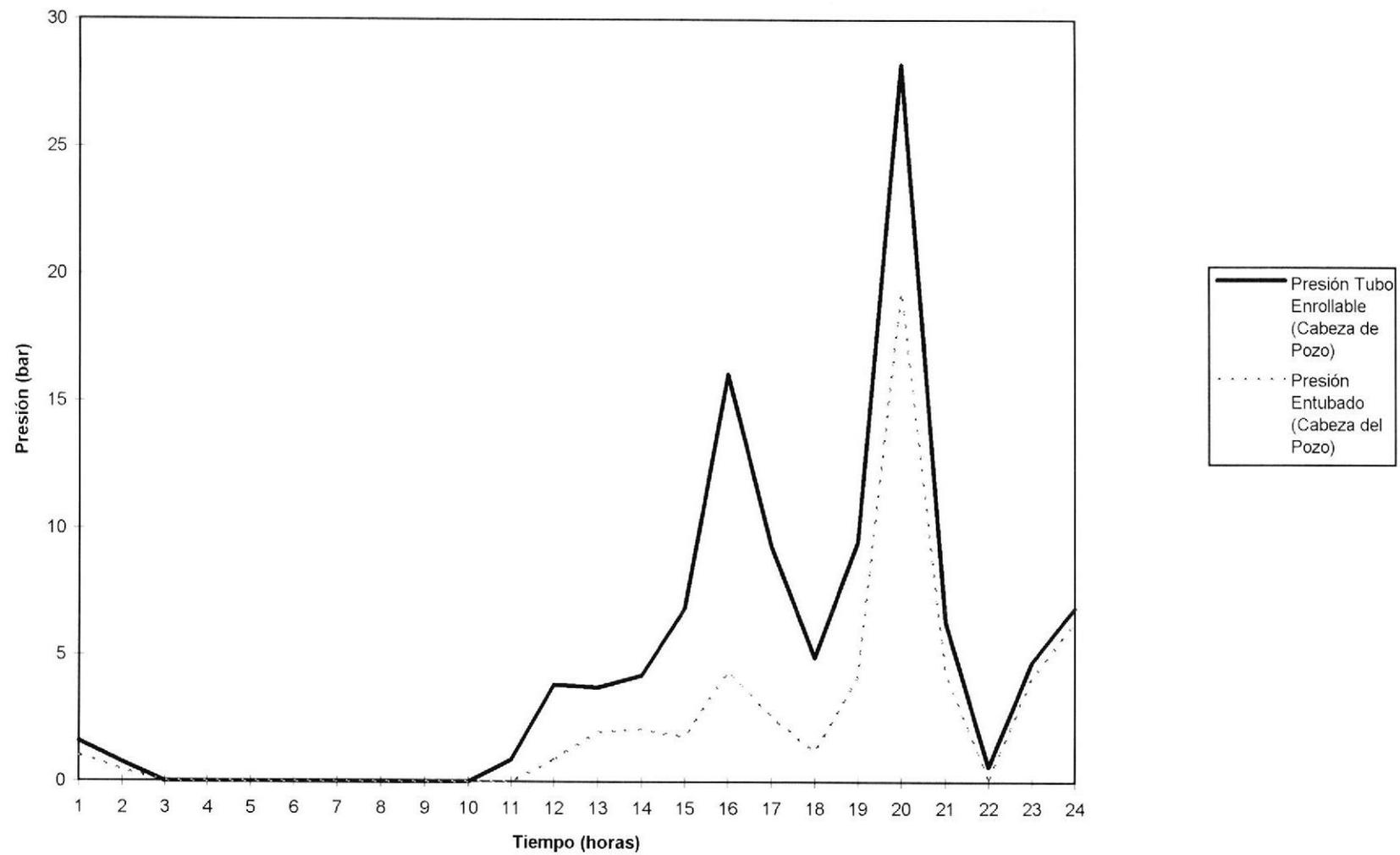
### **Publicaciones Externas**

“Equipamiento de pozos y actividades de Ingeniería en la preparación de la primera prueba de gasificación subterránea de carbón en el marco de una colaboración comunitaria, Alcorisa, España.”

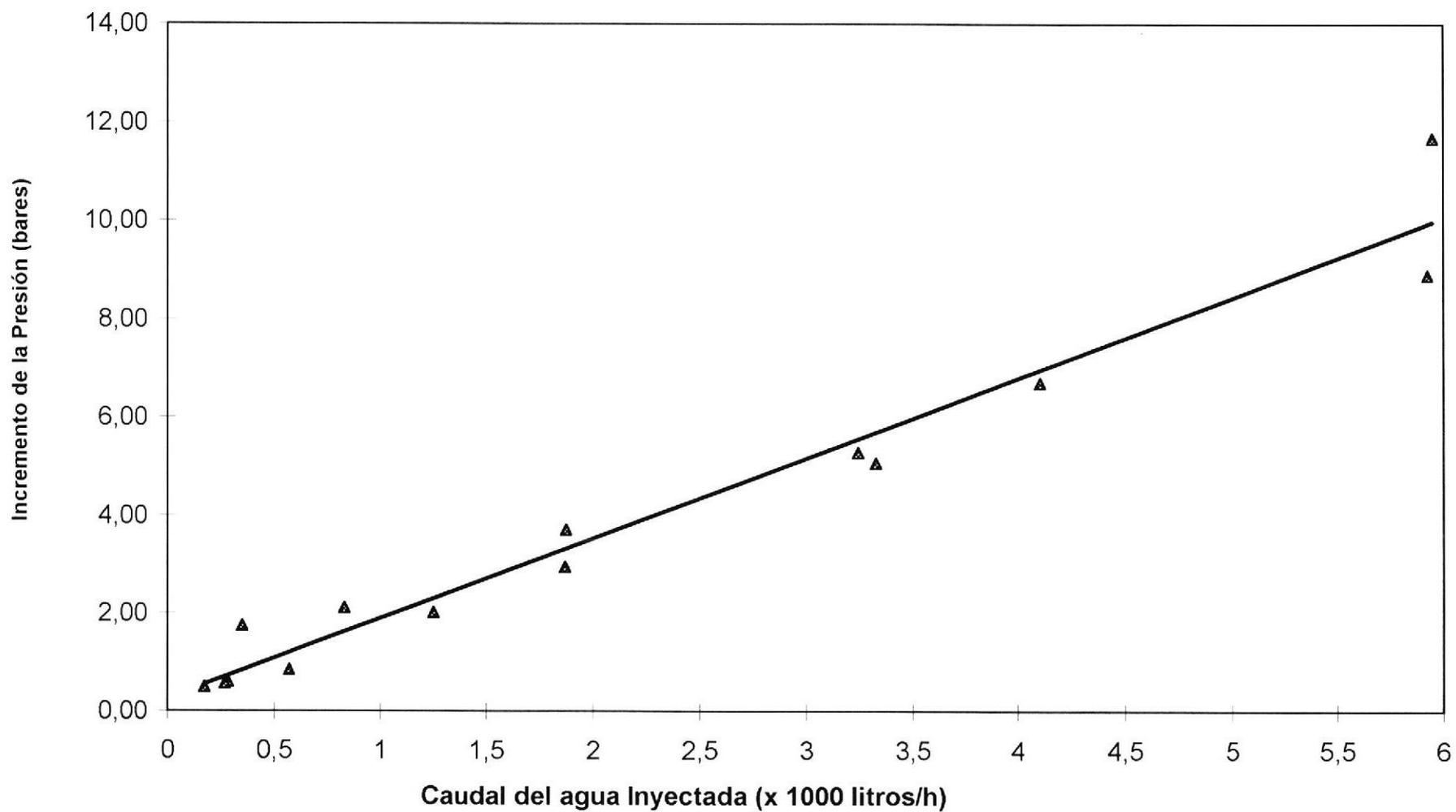
F.Fievez<sup>a</sup>, A. Goode<sup>b</sup>, M. Green<sup>a</sup>, J.M. Gonzalez Lago<sup>c</sup>, M.Mostade<sup>d</sup> and A. Obis<sup>a</sup>



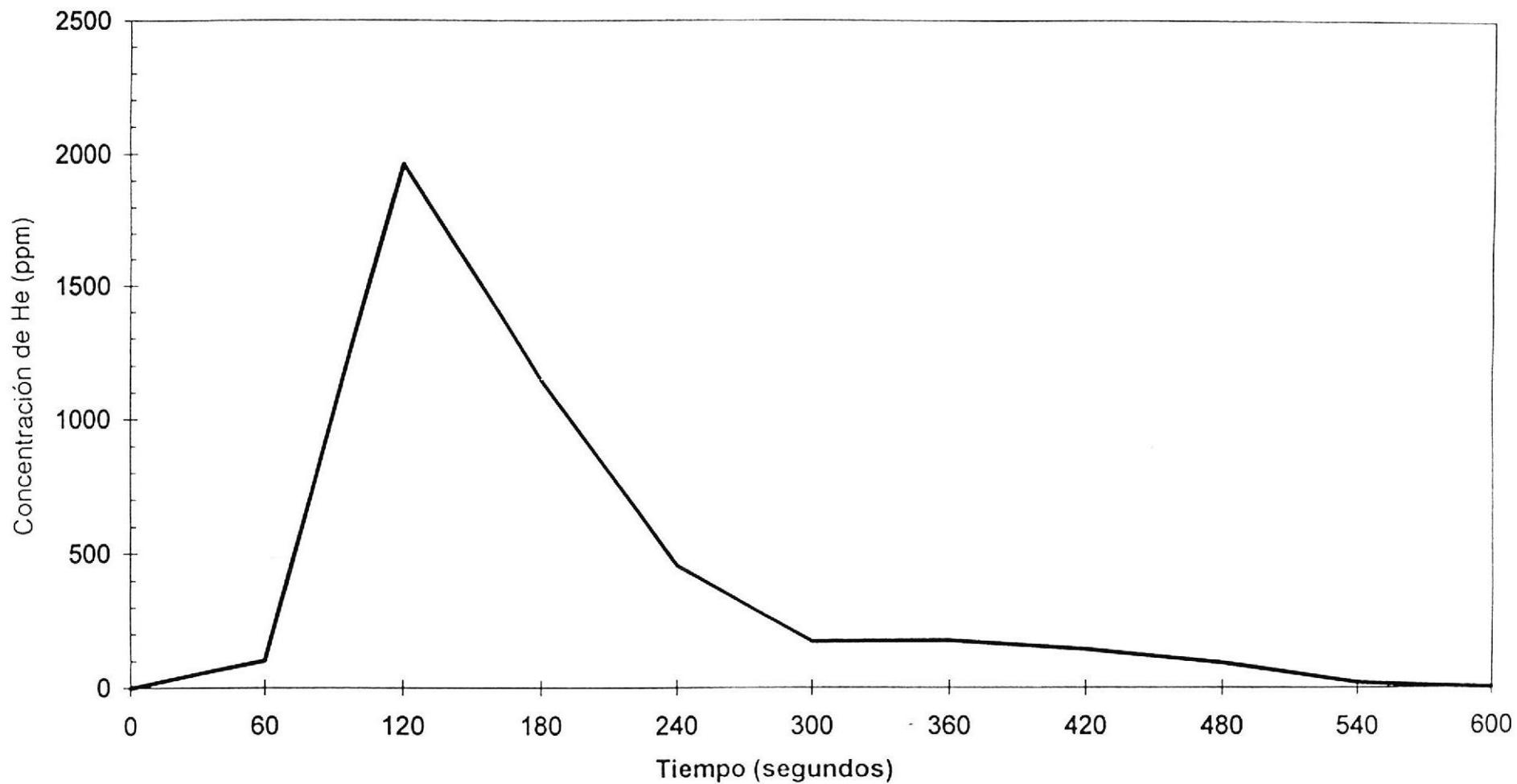
**Cuadro 1.** Test de Comunicación con Agua. % Recuperación del Caudal de Inyección en el Pozo de Recuperación



**Cuadro 2.** Test de Comunicación con Agua: Entrada y Presión de Recuperación frente al tiempo. Día 01-Julio-1997



**Cuadro 3.** Test de Comunicación con Agua: Caída de Presión frente al Caudal de Agua. Día 01-Julio-1997

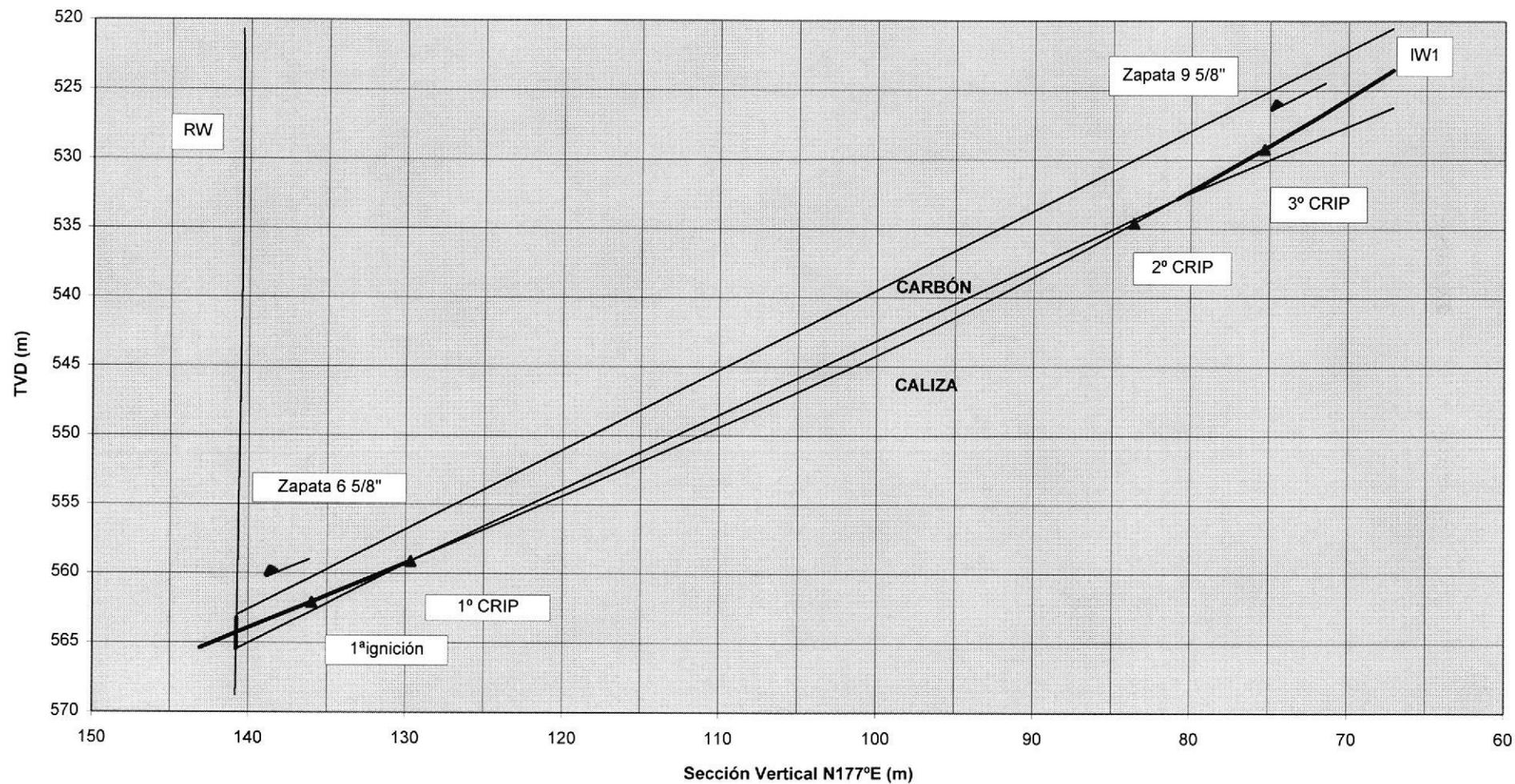


**Cuadro 4.** Test Trazador del Helio nº 4. Día 05/07/97 Hora 10:21



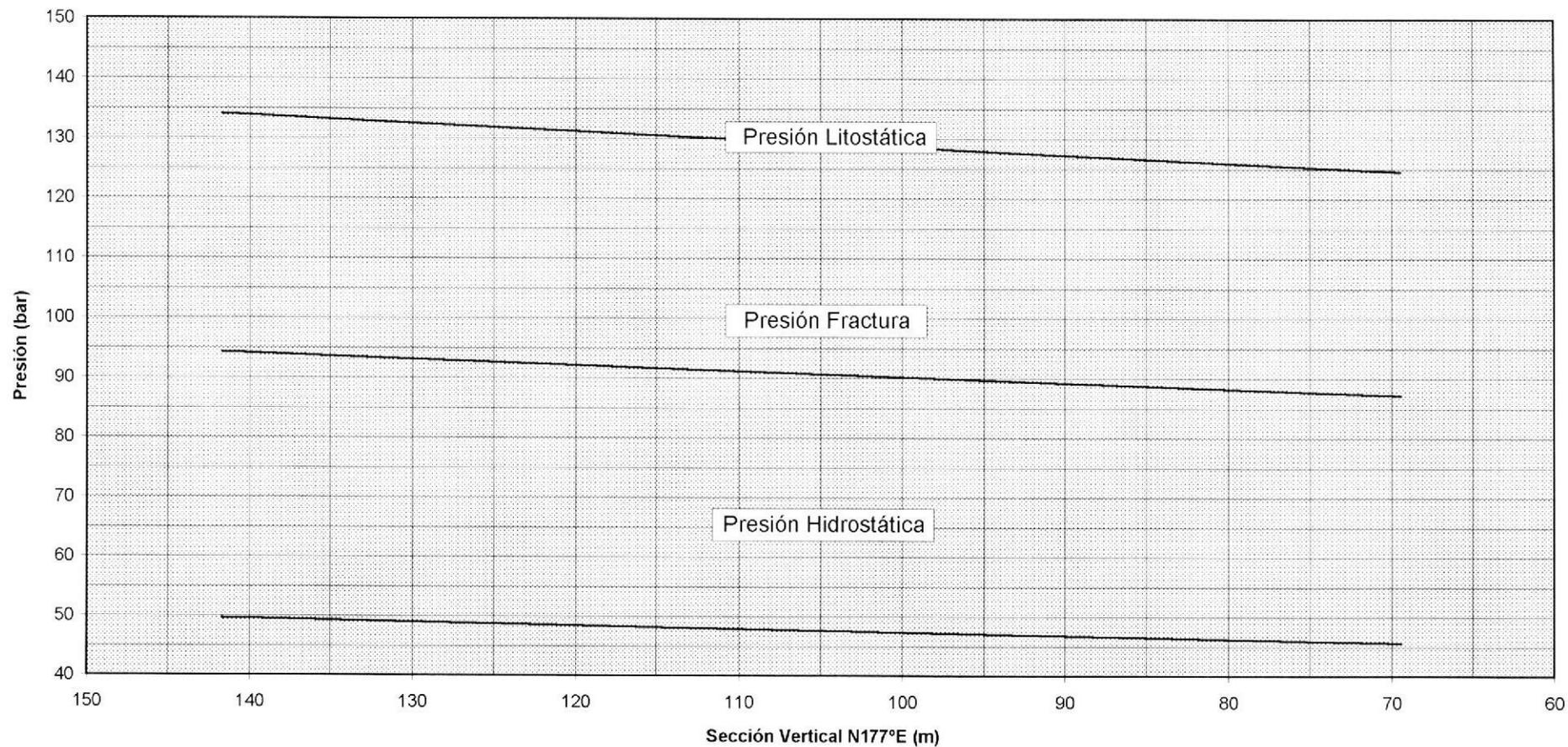
Cuadro 5. Secuencia de U.C.G.

**POZO DE INYECCIÓN-1 TRAYECTORIA Y SELECCIÓN DE PUNTOS DE IGNICIÓN**

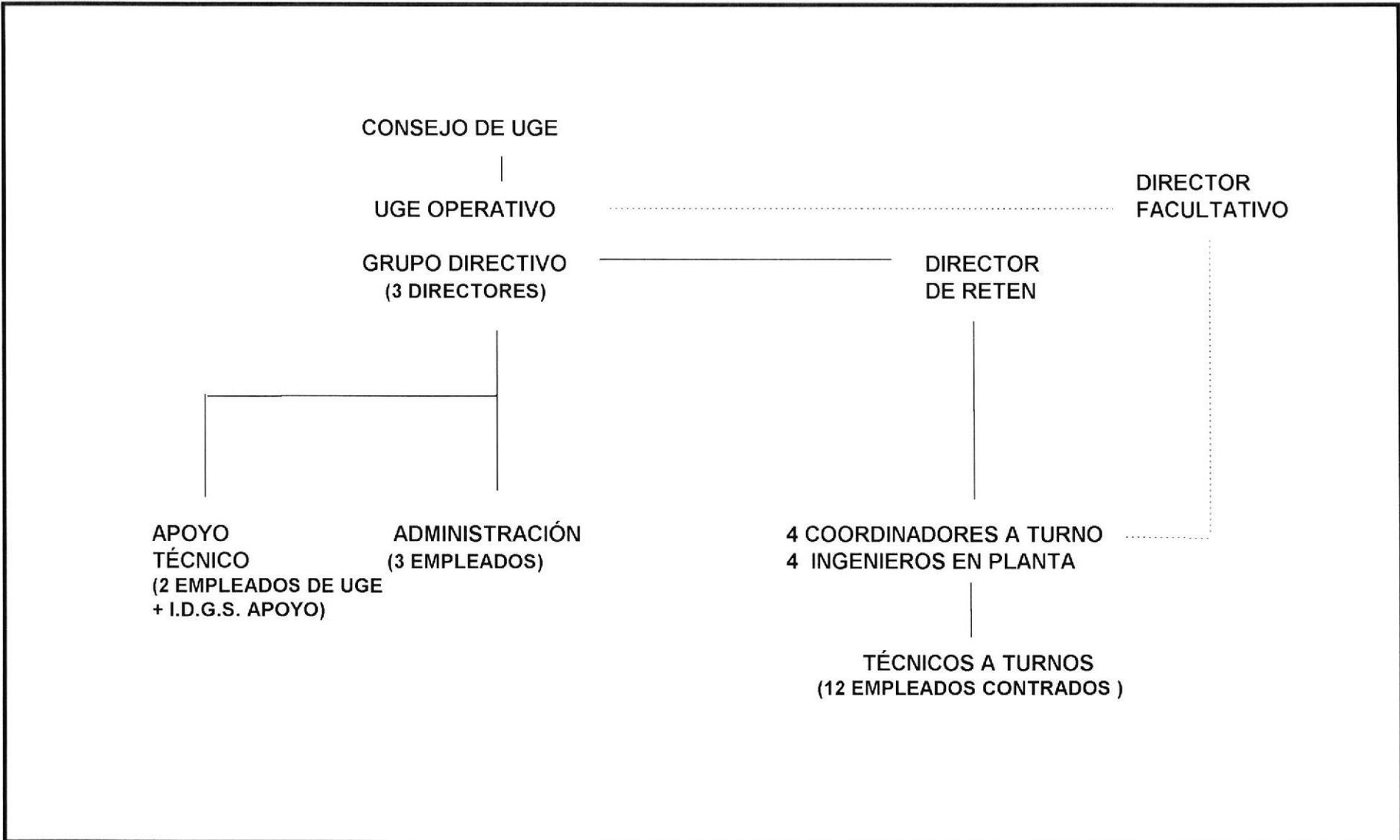


**Cuadro 6.** Pozo de Inyección - 1 Trayectoria y selección de los puntos de ignición

### Presión en la Capa de Carbón



Cuadro 7. Presiones en la Capa de Carbón



**Cuadro 8.** Informe de la Estructura durante las Operaciones en Turnos de 24 Horas





## QC Lab Report

P. O. Box 24746 • Houston, TX • 77229 • (281) 458-2883 • Fax (281) 458-2886

**Title** Fatigue Testing ER97-35

**Description** 1.750 & 1.880 / 316L Stainless Steel Tubing

### Background Information

Part 1: 9 pieces of coiled tubing total

(5) 1.880 X 0.102

(4) 1.750 X 0.102 (butt welds)

Part 2: Total of 3 samples of welded coiled tubing

(3) 1.750 X 0.118 - 0.123

### Visual Examination

The as received specimens were carefully examined visually.

### Testing Instructions

We received a fax sheet with a list of samples to be tested. First shipment, we received 9 samples. Second shipment we received 3 samples. All butt welded samples were 100% X-rayed in accordance with PTT specifications. We used a 72" radius on the fatigue machine and ran internal pressure at 600 and 3000 psi as requested. All welds were run on the radius. Samples were measured for actual outside diameters before and after testing. The number of cycles was recorded after fracture and the time elapsed was also recorded. Standard test forms were used. (see fatigue testing data sheets)

### Summary of Testing

#### Part 1

We received 9 pieces of coil tubing from Dowell Schlumberger (France), approximately in mid March. We started testing on 3/17/97, and ended on 3/24/97. We followed instructions by Andrew Zhang from Dowell Schlumberger to use a 72" radius with 600 and 3,000 psi internal pressure. Documentation supplied made identification easy. We spent approximately 93 man hours on part 1 of the project. This includes 8 hours x-ray (actual x-ray, developing, interpretations, and preparing of reports), 32 hours of set up time on fatigue machine (including welding fittings on the end of 1.750 tubing to adapt to fixtures for testing), 53 hours running time.

#### Part 2

Three pieces of coil tubing was received in mid April. Testing started 4/23/97 through 4/24/97. We spent approximately 23 man hours on part 2 of the project. This includes ten hours of set up time on fatigue machine, 13 hours running time.

**Total project hours: 116**

**Summary of Fatigue Testing**  
Part I (see Chart Below)

Tests No.	Grade	Internal Pressure	Diameter Growth	Fatigue Cycle Failure
1	316L SS	3000	2.193 / 2.332	145
2	316L SS	3000	2.003 / 2.402	179
3	316L SS	3000	2.215 / 2.316	120
W2	316L SS	600	1.720 / 1.891	1764
W3	316L SS	600	1.748 / 1.795	897
W4	316L SS	600	1.749 / 1.805	1089
W5	316L SS	600	1.754 / 1.767	618
4	316L SS	600	1.928 / 1.958	1761
5	316L SS	3000	2.240 / 2.312	137

**Summary of Strip Testing**  
Part I

Test No.	Dia.	Gauge	Yield (psi)	Tensile (psi)	Elong.
1	1.880	0.101	46,700	84,300	51
2	1.880	0.102	48,200	84,200	53

**Summary of Fatigue Testing**  
Part 2 (see Chart Below)

Tests No.	Grade	Internal Pressure	Diameter Growth	Fatigue Cycle Failure
1	316L SS	3000	1.906 / 1.969	577
2	316L SS	3000	1.950 / 2.060	666
3	316L SS	3000	1.991 / 2.067	540

**Summary of Strip Testing**  
Part 2

Test No.	Dia.	Gauge	Yield (psi)	Tensile (psi)	Elong.
1	1.75	0.123	42,400	85,800	47
2	1.75	0.115	66,300	90,100	40
3	1.75	0.118	67,000	90,200	40

Submitted April 25, 1997

Nick Morris  
Sr. Inspector  
Quality Control

**Análisis de la Composición de las Muestras del gas Producto**

**Composición del Gas**

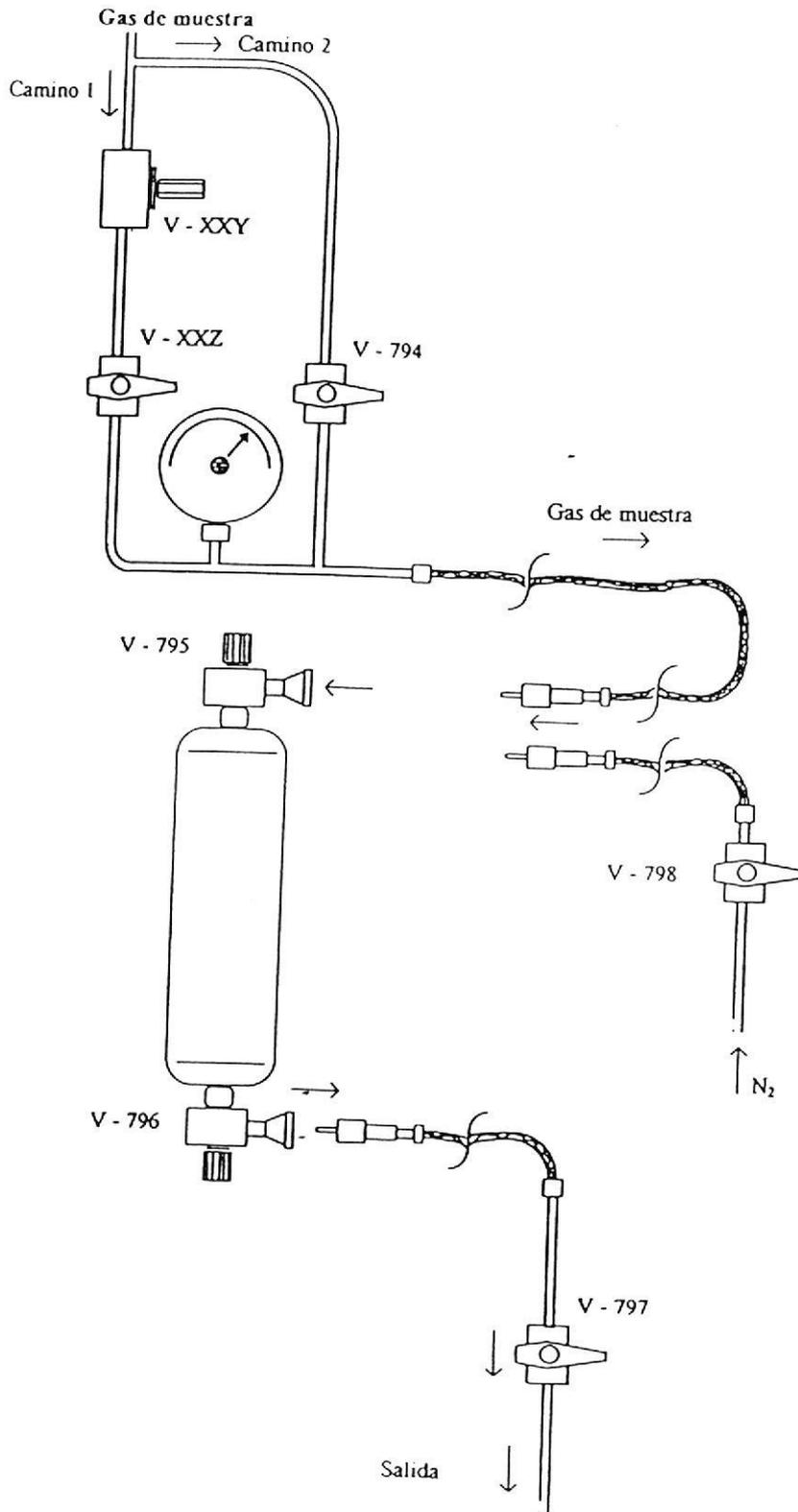
- |    |                         |   |
|----|-------------------------|---|
| a) | Componentes Principales | CO CO <sub>2</sub> H <sub>2</sub> N <sub>2</sub> NH <sub>3</sub> H <sub>2</sub> S<br>CH <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> |
| b) | Compuestos de Azufre    | Carbonato, mercaptanos, CS <sub>2</sub>   |
| c) | Hidrocarburos           | Alkanos y alkenos hasta C <sub>6</sub><br>tolueno   |
| d) | Nitrógeno               | HN <sub>3</sub> , HCN   |

**Líquidos Condensados y Agua de Purga**

- |    |  |   |
|----|--|---|
| 1) | Fracciones orgánicos condensables<br>inorgánicos | no y fracción<br>fracción   |
| 2) | Análisis inorgánicos                             | todos los metales trazas,<br>amonio SO <sub>4</sub> <sup>++</sup> , SO <sub>3</sub> <sup>++</sup> , CL, NO <sub>3</sub> ,<br>CN, (CN) <sub>3</sub> , ph, conductividad,<br>carbono total, oxígeno activo,<br>sólidos totales y suspendidos. |
|    | orgánicos  | ketanos, fenoles aromáticos,<br>piridinas y anilinas  |

**Sólidos**

Todos los metales trazadores  
análisis elemental  
partículas....?



Sistema de Muestreo de Gases

## CONCLUSIONES

Los técnicos de UGE realizaron un buen y completo análisis de las fases del proceso de GSC, como quedó reflejado en el Borrador del Manual de Operaciones

Los principales temas discutidos durante la reunión ( que se resumen más abajo), se tendrán en cuenta para desarrollar la 2ª versión del Manual de Operaciones.

Aparte de las sugerencias, los temas que son realmente nuevos (temas que no fueron discutidos por los técnicos de UGE) y afectan a lo que fue presentado (1ª versión) se señalan con un asterisco (\*):

### **1.- Fase 1-B: Test de Presión.**

La presión objetivo será de 20 bares en vez de 30, para evitar dañar la formación.

Los sólidos recogidos serán examinados para confirmar si la comunicación se realiza a través del carbón o de la arena (\*).

### **2.- Fase 2-B: Intercambio de Agua y Nitrógeno.- “Blow Off”**

El criterio final del “Blow Off” fue clarificado por Mr. M. Mostade esta fase terminará cuando el régimen se estabilice.

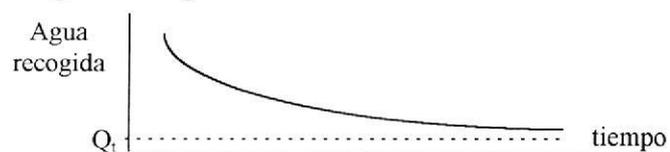
Si notamos tapones de agua e inestabilidades, la forma de proceder podría ser la siguiente:

- Primero, aumentar considerablemente las condiciones de “Water Lift”
- Después, manejando manualmente las válvulas de control para evitar que el agua forme tapones e inestabilidades.

### **3.- Fase 2-C: Intercambio de Agua y Nitrógeno .- Condiciones de Ascenso con Nitrógeno**

Debería examinarse el comportamiento de la cavidad debido a la contra presión.

Clarificación de los criterios finales: ésta fase terminará cuando los valores de la tendencia final del agua recogida se estabilicen dentro de un rango.



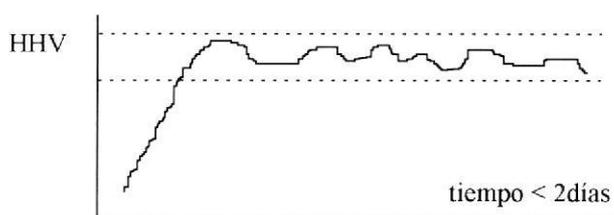
#### 4.- Fase 5-A: Ignición. Test de la unión final a temperatura.

Durante las igniciones ( en general), la presión dentro del reactor debería incrementarse ligeramente por encima del valor de la presión estática para evitar la entrada del agua. (\*)

#### 5.- Fase 6-A: Estabilización con aire.

Clarificación: Ésta fase tiene dos criterios finales:

1. Criterios de tiempo: el tiempo máximo disponible para ésta fase es de dos días.
2. Si el HHV( Poder Calorífico Superior) final del gas producto no cambia notablemente ( dentro del 20% de la tendencia debemos pasar a la siguiente fase):



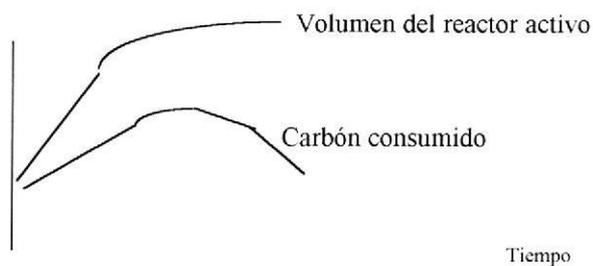
El objetivo de esta fase fue clarificado por Mr. Mostade: El objetivo es lograr la gasificación con aire (no la combustión), pero con un límite fijado.

#### 6.- Fase 6-B: Gasificación en Canal

- El camino mejor y más fácil para operar es fijando la proporción H<sub>2</sub>O/O<sub>2</sub> y cambiar el caudal de O<sub>2</sub> cuando sea necesario.
- De todos modos, durante las fases estables se debe observar la proporción y otros parámetros, como el espumante, para observar su influencia.

#### 7.- Fase 6-C: Gasificación en Canal. Test del Trazador de Helio

-El carbón consumido y volumen del reactor activo podrían ser parámetros importantes para comprobar si el gasificador está agotado o no:



## **8.- Fase 6-D: Gasificación en Canal.- Maniobra del segundo CRIP**

Debería llevarse a cabo un test con trazador antes de cambiar al punto del segundo CRIP.

Se abrirá una ventana en el IW1 a 30 cm. por debajo de la caliza a 568 m de profundidad a lo largo del pozo. La segunda posición CRIP a la salida de la tubería (9 5/8") del IW1. (\*)

### **Discusión acerca de que hacer si : (“What if “)**

Para evitar cualquier problema relacionado con el quemador, durante los procedimientos de ignición, debemos retraer el tubo enrollable algunos centímetros, justo antes de parar la inyección de CH<sub>4</sub> (\*):

Una vez lograda la ignición en el lugar del primer CRIP y que el quemador esta dentro del tubo de vs22 , si el suministro de O<sub>2</sub> falla. ¿Que hacer?. Se tendrán en cuenta estas opciones:(\*)

- Mantener el pozo bajo presión si es posible y cuando el oxígeno se recupere otra vez, abrir una ventana en el vs22 ( difícil pero posible)
- Otra alternativa podría ser recomenzar y reavivar la última área de combustión inyectando una corriente rica en O<sub>2</sub>, junto con una inyección TEB (similar a los procedimientos de inyección pero con algunas variaciones).

Sugerencia: Cuando haya inestabilidades y no este claro el comportamiento del fluido recogido, para evitar cambiar de HFL a LFL cuando el gas producto decrezca, podemos inyectar una corriente de Nitrógeno en el LFL para equilibrar el decremento del fluido de gas.