



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

APLICACION DE TECNICAS ESPECIALES AL ESTUDIO
HIDROGEOLOGICO DE ZONAS DE BAJA PERMEABILIDAD.
PROYECTO DE ASISTENCIA TECNICA PARA EL DESARROLLO
CONCEPTUAL DE INSTRUMENTACION PARA CARACTERIZACION
DE PARAMETROS HIDROGEOLOGICOS. 2^a FASE.

TOMO I.



SECRETARIA GENERAL DE LA ENERGIA Y RECURSOS MINERALES
MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

37070

DISEÑO CONCEPTUAL DE LA UNIDAD MOVIL.

4.1.2.4 SISTEMAS DE CIRCULACION DE AGUA

**4.1.2.5 SISTEMAS DE PROTECCION DE LOS EQUIPOS DE INSTRUMENTACION PERMANENTE DE
CONTROL Y SEGUIMIENTO**

4.1.3 ESTRATEGIA EMPLEADA EN LA CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA

4.1.3.1 MODELO CONCEPTUAL Y PLANIFICACION

4.1.3.2 CARACTERIZACION DE UN EMPLAZAMIENTO: OBJETIVOS Y ESTUDIOS A REALIZAR

4.1.3.3 SECUENCIA DE ACTIVIDADES A REALIZAR EN LOS SONDEOS

4.1. INSTRUMENTACION DESARROLLADA DENTRO DEL PROGRAMA DE INVESTIGACION DE SUECIA

4.1.1. EQUIPOS DE TESTIFICACION HIDRAULICA

Para la testificación hidráulica en sondeos IPA-Konsult AB y GEOSIGMA de Suecia, en colaboración con el SKB, han desarrollado dos tipos de equipos que permiten la realización de ensayos de permeabilidad en uno o varios tramos de un sondeo.

1. Sistema de tubería flexible ("Umbilical Hose system")
2. Sistema de tubería articulada o sarta rígida ("Pipe string system")

4.1.1.1. UMBILICAL HOSE SYSTEM (SISTEMA DE TUBERIA FLEXIBLE)

Este sistema, diseñado en 1981 con el objeto de reducir el tiempo necesario para realizar ensayos hidráulicos y/o de trazadores, ha sido utilizado desde entonces en el programa de Investigación sueco, lo que ha permitido diversas mejoras del equipo para adaptarlo a las experiencias obtenidas.

El Umbilical se ha diseñado para operar con diámetros de 56 mm hasta una profundidad de 1.000 m. Si se pretende trabajar con diámetros superiores se pueden cambiar los packers hasta un diámetro máximo de 165 mm.

El límite inferior de medida se alcanza para una conductividad hidráulica de $10 \text{ e-}11 \text{ m/s}$ en una sección aislada entre packers de 20 m.

El equipo se opera normalmente mediante dos personas, y la realización del test se lleva a cabo de una forma completamente automática, lo que garantiza una ejecución estandarizada de los test con un bajo coste de personal.

El Umbilical se controla mediante un ordenador exterior, que inicia la ejecución del test una vez que se han introducido e inflado los packers. Este puede ser un Digital de la serie 350.

El ordenador inicia el test a la presión estandar de 200 KPa, tras lo cual se aísla la sección escogida mediante una válvula y se realiza un registro del descenso de presión.

Si la sección tiene una conductividad por debajo del límite de detección del aparato, o la caída de presión se produce muy rápidamente, el operador puede interrumpir la secuencia con el fin de ahorrar tiempo.

La duración del ensayo puede ser de unas cinco horas, incluyendo dos horas de inyección y dos horas de registro. A continuación se colocan los packers en una nueva posición y se comienza otro ensayo, mientras se imprimen en un plotter los resultados del anterior, con lo que se pueden detectar fallos "in situ".

Consta fundamentalmente (figura 4.1.1.), de tres unidades móviles: la unidad de medida, la unidad de registro y procesado de la información y la destinada a transportar la fuente de energía.

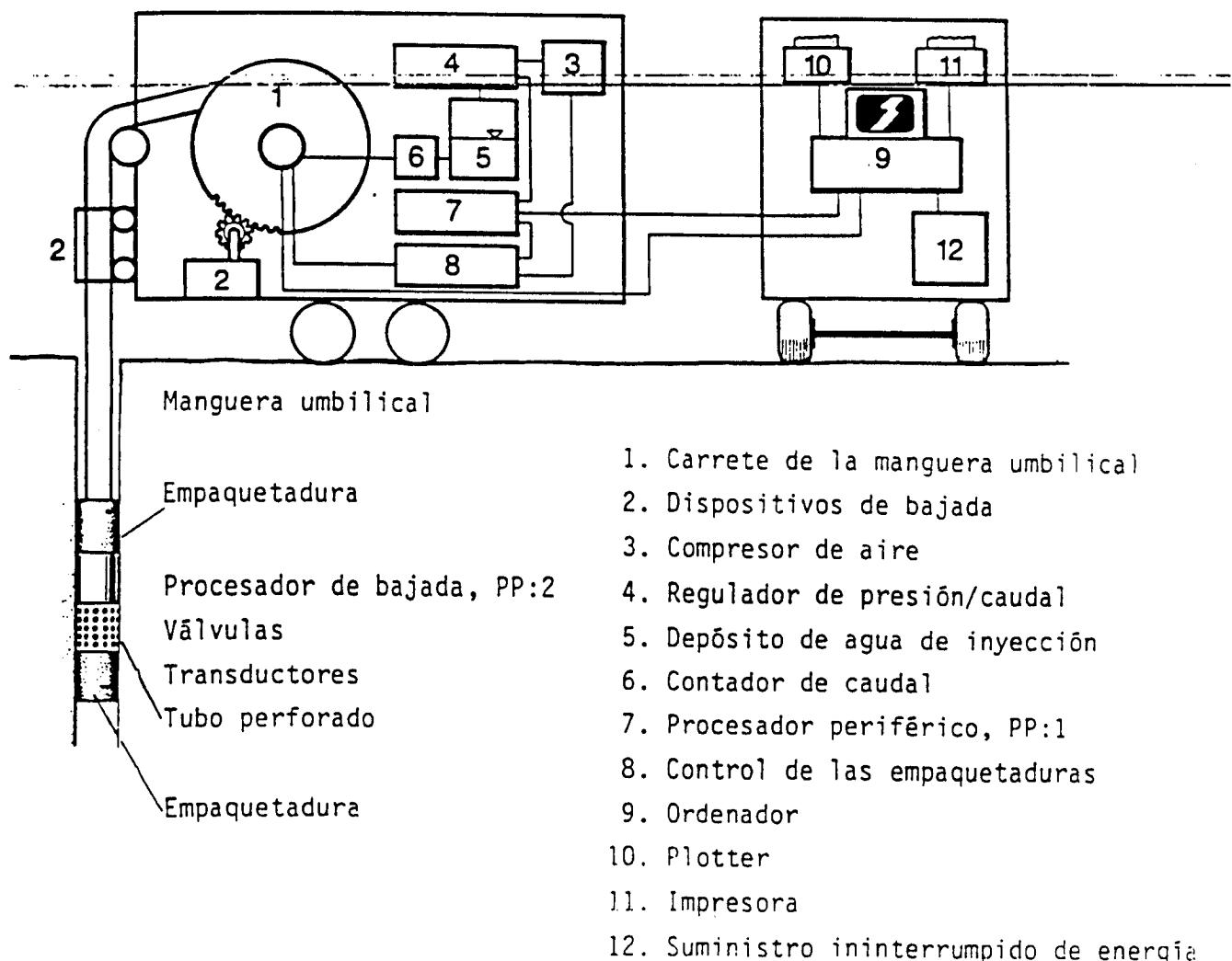


Fig. 4.1.1. Unidades móviles del "Umbilical Hose System"

4.1.1.1. Características técnicas de los equipos

Los componentes esenciales del sistema son:

A. Equipo de profundidad

Está constituido por la tubería flexible y la cabeza de ensayo.

A.1. Tubería flexible

La tubería flexible de poliuretano (foto 4.1.1), alberga el cableado eléctrico y todos los tubos hidráulicos y de comunicación entre el equipo de superficie y el equipo de profundidad.

Tiene un diámetro de 48 mm y una longitud de 1.000 metros. Esta enrollada en un tambor (ver apartado B.2.3.), operado hidráulicamente. Se introduce a una velocidad de 10 m/minuto.

Para realizar la conexión entre ésta y la cabeza de ensayo se emplea una conexión múltiple diseñada especialmente para tal fin, (foto 4.1.2).

La mayoría de las piezas de la cabeza de ensayo poseen dicha conexión en ambos extremos, lo que permite unirlas según diferentes configuraciones.

A.2. Cabeza de ensayo

Comprende (figura 4.1.2 y fotos 4.1.3. a 4.1.8.), los siguientes dispositivos funcionales:

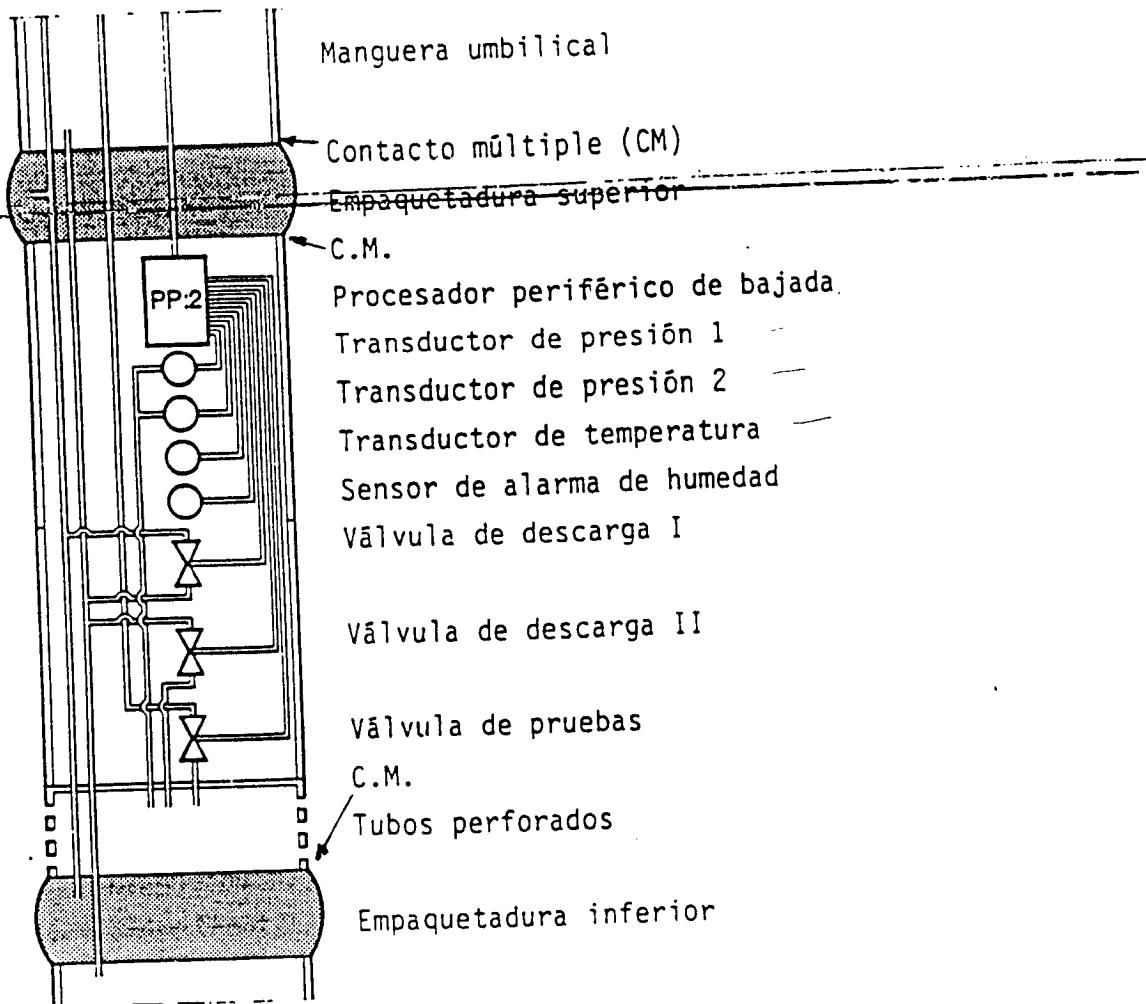


Fig. 4.1.2. Cabeza de ensayo del Umbilical Hose System

A.2.1. Packers

El sistema puede configurarse con dos o cuatro packers. Cada sección de ensayo está delimitada por dos packers separados por tubos de infiltración. Entre los packers pueden situarse bombas (fotos 4.1.5. y 4.1.6) que permiten la extracción de agua del tramo a ensayar. Los packers, de caucho reforzado, se acoplan a la tubería de acero con dos manglitos.

Hay una serie de tubos (foto 4.1.8.), que atraviesan el packer. De éstos el grande es para inyectar agua en el tramo a ensayar. Los más pequeños tienen la función de tubos de presión para los transductores de presión y las tuberías de descarga de presión.

Se ha diseñado packers de diferentes tamaños estando disponibles en la actualidad para sondeos con diámetros de 56 mm, 76 mm, 115 mm y 165 mm.

Los packers están conectados a un depósito de 15 litros por medio de un tubo hidráulico de 4 mm de diámetro, que va por el interior de la manguera umbilical. Ambos contienen agua o líquido anticongelante.

A.2.2. Válvulas

La cabeza de ensayo de equipo de profundidad incorpora tres tipos de válvulas:

- Válvula de ensayo.
- Válvula I de alivio para la sección de ensayo.
- Válvula II de alivio para los packers.

Todas ellas son válvulas del tipo solenoide y están reguladas por el microprocesador PP:2, a su vez controlado por el ordenador de superficie. Tanto el microprocesador PP:2, como las válvulas se montan debajo del packer superior.

La válvula de ensayo tiene por objeto iniciar y terminar el ensayo de inyección y aislar la sección durante el período de relajación o caída de presión que sigue a dicho ensayo.

La válvula I de alivio de la sección de ensayo permite conectar dicha sección con las situadas por encima y por debajo de ambos packers, y hace posible liberar la presión acumulada durante el inflado de los mismos.

La válvula II de alivio de los packers permite acelerar la deflación de éstos una vez terminado el ensayo. Esta válvula no debe abrirse cuando se utilice líquido anticongelante para el hinchado de los packers.

A.2.3. Transductores

El sistema dispone de transductores kistler tipo 4043 para las medidas de presión.

Estos son del tipo piezorresistivo y pueden medir bien presiones absolutas o presiones relativas. Medir estas últimas permite reducir el rango de presiones existentes mejorando la precisión de la medida, aunque requieren una caja de instrumentación a presión y la existencia de un transductor en superficie que mida la presión en la propia caja.

Para la medida de la presión en la sección de ensayo se utilizan dos transductores piezorresistivos con un rango de presión de unos 10 MPa y una sensibilidad del 0.1% al 0.3% del rango. Ambos transductores van montados debajo del packer superior, conectados al microprocesador del equipo de profundidad (PP:2).

Para medir la presión en los packers se utilizan transductores de presión semejantes a los anteriores, pero su conexión se establece con el microprocesador del equipo de superficie.

El nivel del agua en el sondeo se controla midiendo la presión del aire en un tubo de burbujas que se sitúa hasta algún metro por debajo del nivel del agua. Por último la medida de la presión barométrico se realiza mediante un transductor barométrico. Todos estos sensores están conectados al microprocesador de superficie PP:1.

A.2.4. Sensores de temperatura

La temperatura debe medirse en tres puntos:

- La temperatura del aire en superficie (en la unidad de medida).
- La temperatura del agua que se va a inyectar (en la unidad de medida y justo antes de entrar en la tubería flexible).
- La temperatura del agua en la misma sección de ensayo.

Las dos primeras lecturas se transfieren al microprocesador de superficie (PP:1), y la tercera, al del equipo de profundidad (PP:2).

A.2.5. Microprocesador (PP:2)

Las tareas de cuantificar, registrar y analizar las magnitudes eléctricas procedentes de los transductores se realizan mediante un sistema automatizado de medida de tipo digital. El control se hace

con un ordenador exterior localizado en la unidad de registro.

En estos sistemas, el equipo de toma de datos consta de un multiplexor y un convertidor analógico-digital. Las tareas de control se llevan a cabo en el ordenador exterior, actuando el equipo que realmente efectúa la medida como un periférico más de aquél.

El programa o programas que demanda las medidas o realizar reside en el ordenador exterior y la transmisión de datos entre éste y los equipos de medida se efectúa a través de interfases normalizadas del tipo HP-RS232, IEEE-488, etc. La única restricción a la gran cantidad de combinaciones que se pueden realizar con los equipos de medida y ordenadores disponibles en el mercado está en la compatibilidad en la forma de transmisión de los datos.

La precisión de la medida depende del número de bits del convertidor, siendo el mínimo aceptable 12 bits (212 divisiones del rango de valores establecido). Cada bit adicional aumenta el doble la sensibilidad del equipo, por lo que se recomienda utilizar entre 16 y 18 bits. También la velocidad de conversión depende del número de bits del equipo, disminuyendo a medida que aumenta dicho número. Como también el precio aumenta con el número de bits del convertidor, es necesario conocer tanto el rango de los transductores (normalmente del orden de los 10 V), como la ganancia del equipo acondicionador de señal para determinar el número de bits necesario para una sensibilidad dada, dentro de un rango de coste definido.

El microprocesador (PP:2), inserto en el equipo de profundidad de la unidad móvil de Instrumentación y medida se aloja en una caja estanca. Controla las dos válvulas de alivio (para la sección de ensayo y de los packers), la válvula de ensayo, los transductores de presión de la sección de ensayo, los transductores de temperatura en la sección y el sensor de humedad que, como se ha dicho, tiene como función proteger del agua a la propia caja estanca.

Es sumamente importante que todos los dispositivos incluidos en la cabeza de ensayo estén perfectamente calibrados, por lo cual se revisa periódicamente su correcto funcionamiento en laboratorio (fotos 4.1.9 a 4.1.14).

Uno de los dispositivos existentes para calibrar los transductores es el mostrado en la foto 4.1.12, que permite contrastar las medidas indicadas por el transductor situado en una columna vertical respecto a las medidas de la regleta existente en la misma.

Por su parte en la foto 4.1.13., se muestra un "Dead weight tester", de la casa Tradinco que permite medir hasta 120 bares con una precisión de 0.017% del valor medido. El valor inferior de medida es de 12 bares debiendo calibrarse con un manómetro los valores de presión menores a esa cantidad.

B. Equipo de superficie

Está constituido por el generador (ver apartado B.1.), y dos trailers en los que se ubica la unidad de medida (ver apartado B.2.), y la unidad de registro y procesado de la información respectivamente (ver apartado B.3.).

B.1. Generador

Utiliza un generador diesel manufacturado por la casa Sianzi equipado con cabina de control y regulación automática. Proporciona una potencia de salida de 12 kVA a 380 V. La unidad de instrumentación va equipada con un transformador de 5 kVA a 220 V.

B.2. Trailer de la unidad de medida

El trailer de la unidad de medida consta de diferentes elementos como se aprecia en la figura 4.1.3. y en las fotos 4.1.15 a 4.1.20.

B.2.1. Compresor

El compresor de aire es un Blabino tipo 2093 con un volumen de 40 l. de aire que proporciona una presión máxima de 1.5 MPa.

Inicialmente se aplica una presión de 1.4 MPa para presurizar un tanque conectado al sistema de packers.

El aire remanente es reducido a 0.9 MPa para la operación del sistema de inyección de agua. Una posterior reducción hasta 0.01 MPa permite su empleo en el sistema de medida del nivel del agua subterránea.

B.2.2. Sistema de calefacción

El trailer posee dos sistemas de calefacción independientes. Uno de ellos emplea radiadores

eléctricos controlados mediante termostatos y el segundo es un sistema de reserva con calentadores de gas regulados también mediante termostato.

B.2.3. Tambor o carrete

En él (fotos 4.1.21 y 4.1.22), se enrolla la tubería flexible que soporta la cabeza de ensayo. Está accionado hidráulicamente.

B.2.4. Caudalímetros

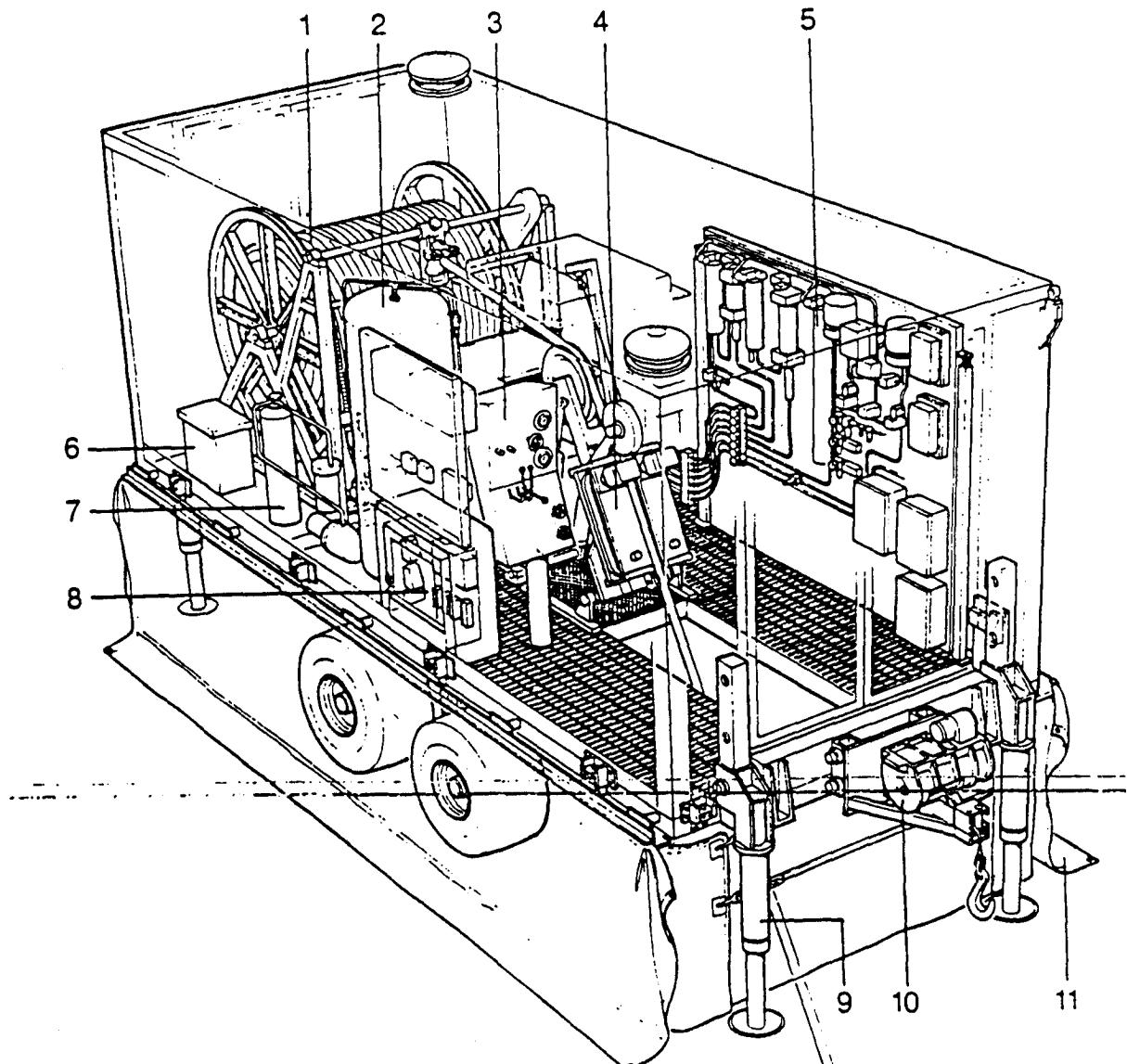
La medida de caudal se hace con un par de caudalímetros calibrados cada uno de ellos en un estrecho rango para optimizar la lectura y la repetibilidad del dato:

El primero (Q_1) es un caudalímetro "Minimag" manufacturado por la casa "Fisher and Porter". Su rango es de 0.09 a 7 l/min, con una precisión de + 1% del rango.

El segundo (Q_2) es un caudalímetro "Micromotion" modelo C6. Mide caudales hasta 0.1 l/min, con una precisión de + 0.4% del rango.

El caudalímetro de mayor rango (Q_1) está conectado permanentemente durante la medida del caudal, mientras que el de rango menor entrará en operación automáticamente cuando se alcanzan caudales de 0.09 l/minuto.

La precisión total del sistema será la comprendida por ambos ya que existe un solape de las medidas de ambos caudalímetros que están a su vez conectados con el microprocesador de superficie (PP:1).



CLAVE:

1. Carrete de la manguera umbilical
2. Depósito del agua de inyección
3. Panel de controles
4. Dispositivo de bajada
5. Panel de instrumentos
6. Transformador
7. Sistema de limpieza del agua de inyección
8. Energía eléctrica y transmisión de señales
9. Pata hidráulica
10. Cabrestante hidráulico
11. Cortinas térmicas

Fig. 4.1.3. Unidad de medida

B.2.5. Microprocesador (PP:1)

Instalado en el trailer de la unidad de medida, conecta los sistemas de regulación de la presión y del caudal de inyección, y de la operación de los packers con el microordenador situado en la unidad de registro. Controla así mismo ambos caudalímetros y los sensores de temperatura tanto del aire como del agua antes de su inyección.

Al igual que el del equipo de profundidad, el microprocesador de superficie se conecta al ordenador mediante una interfase RS-232/422.

B.2.6. Patas hidráulicas

Las patas hidráulicas proporcionan al trailer estabilidad y permiten nivelarlo (foto 4.1.23.).

B.3. Trailer de la unidad de registro y procesado de la información

En este trailer (foto 4.1.24.) van instalados el Hardware y Software necesarios para realizar los test hidráulicos que serán analizados con detalle en el apartado C.

Dispone además de otros elementos entre los que cabe destacar:

B.3.1. Sistema de calefacción

El trailer posee un sistema de calefacción (eléctrico y de gas) idéntico al descrito para el trailer de la unidad de medida.

B.3.2. Instalaciones auxiliares

El trailer va equipado con una serie de instalaciones auxiliares que permiten realizar los test hidráulicos en áreas sin ningún tipo de infraestructura, lo que proporciona una total independencia y mayor comodidad a los técnicos desplazados para realizar el trabajo de campo.

Así en la parte posterior del trailer (foto 4.1.25.) hay dos habitaciones destinadas a cuarto de baño y vestuario, respectivamente.

Por su parte en el habitáculo principal del trailer, además de los propios equipos de hardware y software, dispone de una pequeña cocina de gas (foto 4.1.26.) y una cama plegable (foto 4.1.27), elementos que pueden resultar muy útiles en áreas sin infraestructura hotelera o cuando sea preciso realizar test durante la noche.

C. Unidad de registro

Ubicada en la unidad de registro y procesado de la información, consta del hardware y software necesarios para la realización de test hidráulicos.

C.1. Hardware

Consta de un microordenador tipo Digital equipment PC 350 ó 380, HP Vectra RS/25C o equivalente al que se conecta un plotter y una impresora (foto 4.1.28.).

El microordenador se conecta a su vez (figura 4.1.4.) con los microprocesadores instalados, respectivamente, en el equipo de superficie de la unidad de instrumentación y medida y en el equipo de profundidad a través de una Interfase RS232. El microprocesador del equipo de superficie controla y regula ambos caudalímetros del sistema de inyección, la temperatura del agua en el mismo, la relación presión/caudal, la temperatura del aire, la presión barométrica, y la presión en los packers. El microprocesador del equipo de profundidad controla las válvulas de ensayo y alivio, el sensor de humedad y los transductores de presión y temperaturas.

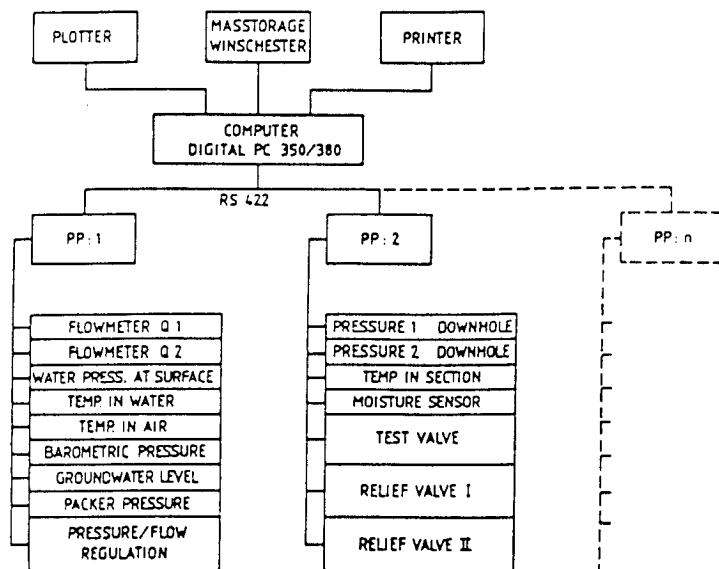


Fig. 4.1.4. Esquema del sistema de la unidad de registro

C.2. Software

El software incluye dos programas principales, el primero de los cuales se utiliza para la adquisición de datos durante la realización del test y el segundo para obtener una salida gráfica de los mismos.

* Programa de adquisición de datos

Denominado "WATER", tiene tres funciones: controlar el proceso de medida, mostrar al operador el desarrollo del ensayo y almacenar los datos obtenidos para un posterior procesado.

Las funciones de control se incluyen en forma de una tabla de secuencias, de forma que se realiza un ciclo completo de medidas una vez iniciado el proceso, que consta de un test de inyección inmediatamente seguido de un test durante el descenso de presiones.

* Programa para generar salidas gráficas

Incluye los siguientes diagramas:

- presión (en la sección de ensayo) - tiempo real
- presión (en la zona adyacente) - tiempo real
- caudal de inyección - tiempo real
- presión de inflado de los packers - tiempo real
- presión barométrica - tiempo real
- nivel plezométrico - tiempo real
- temperaturas - tiempo real

La toma de datos y su impresión pueden ser simultáneos (por ejemplo pueden obtenerse los resultados de un test mientras se realiza otro).

El operador puede imprimir cualquier variable en función de otra o del tiempo y obtenerla en pantalla. Tras los ajustes necesarios puede obtener la curva en el ploter.

4.1.1.1.2. Instalación del equipo

La instalación del equipo es extremadamente sencilla y consiste exclusivamente en introducir la cabeza de ensayo conectada a la tubería flexible (manguera umbilical).

Para ello se emplea el tambor, operado hidráulicamente, situado en el trailer de la unidad de medida. La velocidad a la que se introduce el equipo es aproximadamente de 10 m/minuto.

4.1.1.1.3. Aislamiento de cada tramo: Inflado de los packers

Los packers están conectados a un depósito de 15 litros por medio de un tubo hidráulico de 4 mm de diámetro que va por el interior de la manguera umbilical.

Ambos contienen agua o líquido anticongelante. El depósito está presurizado con aire comprimido normalmente a 1.4 MPa. El medio de transmisión de la presión es el agua. Una válvula regula el hinchado de los packers por inyección de agua en los mismos.

Durante el período de duración del ensayo la válvula permanece cerrada y se controla la presión de los packers mediante el ordenador. Si ésta disminuye más de 0.2 MPa el sistema interrumpe la realización del test.

4.1.1.1.4. Ensayos hidráulicos

La experiencia obtenida a lo largo del programa de investigación sueco en medios de baja permeabilidad, indica que los ensayos de inyección son los que proporcionan mejores resultados, por lo que son éstos los que realizan sistemáticamente.

El agua para la inyección suele proceder de la misma formación geológica a ensayar almacenándose en tanques, con una capacidad de 1 m³ normalmente, una vez que se han eliminado, mediante un filtro, las partículas mayores existentes en el agua de la formación.

Antes de iniciar un test de inyección se aplica la presión de inyección en todo el sistema hasta la válvula de ensayo, presurizando con aire comprimido un tanque de 500 l.

Se toma entonces una medida de referencia abriendo un tubo canular en el sistema. Se registra el flujo a través de dicha cánula y simultáneamente la presión y la temperatura.

Se inicia entonces momentáneamente el test de inyección abriendo la válvula de ensayo.

La presión de inyección medida en la sección de ensayo se mantiene constante regulando la presión de aire en el tanque de agua. Este sistema de regulación de la presión es controlado por el ordenador (figura 4.1.5), de la siguiente forma:

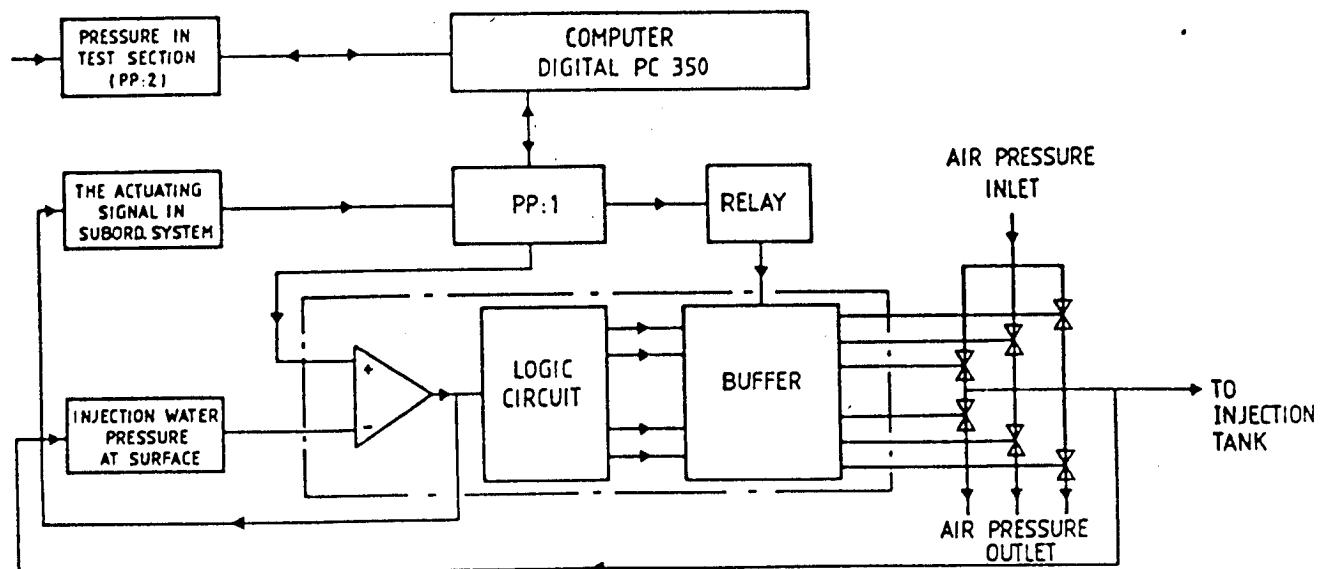


Fig. 4.1.5. Sistema de regulación presión/caudal

La señal de presión del agua de inyección en superficie se compara con una señal de referencia proveniente del procesador periférico PP:1. El sistema electrónico controla diversas válvulas de solenoide que regulan la entrada y salida de aire comprimido en el depósito de agua.

Las válvulas de solenoide son de tres tamaños diferentes, lo que permite rápidos ajustes en un amplio rango de caudales.

Cada vez que se transmite un nuevo valor de presión de la sección de ensayo de PP:2 a PP:1 se carga un nuevo valor de referencia, si es necesario, para mantener la presión de inyección constante en la sección ensayada.

Aunque suele emplearse una presión de inyección de 200 KPa el sistema permite regular presiones comprendidas entre 0.5 KPa y 900 KPa.

La precisión del sistema de regulación es de + 0.5 KPa.

Aunque el control de las válvulas se realiza usualmente mediante el ordenador también pueden ser operadas manualmente desde la unidad de medida empleando a tal fin un dispositivo eléctrico.

La secuencia de eventos al emplear el programa de adquisición de datos automatizado "WATER", es la siguiente:

Para un test estandard "T" significa minutos tras el comienzo de las medidas, pero puede modificarse a otros tiempos en caso necesario.

* T = 0 Se almacena la información tal como fecha, nombre del pozo, longitud de la sección ensayada, etc.

* T = 1 Realiza la apertura de la válvula I. Comienza el almacenamiento de datos.

* T = 2 Los packers se inflan y los datos comienzan a almacenarse de forma rápida (cada segundo). Se presuriza la tubería flexible y se conecta el caudalímetro de mayor rango.

* T = 3 Finaliza la grabación rápida de datos.

- * T = 10 Comprueba la no existencia de flujo. La válvula canular se abre y se produce el cambio automático de caudalímetros.
- * T = 15 Se cierra la válvula canular. Se mide el flujo para posteriores comprobaciones.
- * T = 25 Clipse de la válvula de alivio. Repite la comprobación de no existencia de flujo y conecta el caudalímetro de mayor rango.
- * T = 29 Comienza el almacenado rápido de datos.
- * T = 30 Se inflan los packers. Continua la monitorización de la presión en los mismos. Se abre la válvula de ensayo, comenzando el test de inyección.
- * T = 31 Se inicia el cambio automático de caudalímetros y la regulación de la presión de inyección.
- * T = 32 Finaliza el almacenado rápido de datos.
- * T = 149 Comienza el almacenado rápido de datos.
- * T = 150 Finaliza la regulación de la presión de inyección. Se cierra la válvula de ensayo y finaliza el ensayo de inyección, mientras comienza el ensayo de caída de presión.
- * T = 152 Finaliza el almacenado rápido de datos. Se comprueba la no existencia de flujo.
- * T = 170 Se abre la válvula canular.
- * T = 174 Se comprueba el flujo de drenaje igual que con anterioridad. Se desconectan los caudalímetros. Se inicia el test de caída de presión. Si dicha caída de presión es muy lenta el test puede ser interrumpido, por ejemplo el ordenador transfiere el control a T = 270.
- * T = 270 Finaliza el ensayo de caída de presión. Los packers se desinflan.

* T = 300 El ciclo completo de medidas se ha completado. Finaliza el almacenamiento de datos. Pueden introducirse comentarios en el archivo.

El operador sólo debe iniciar la secuencia normalmente. Una señal acústica avisa en caso de anomalías o cuando finaliza el ciclo. El operador puede interrumpir la secuencia y la función automática.

4.1.1.5. Toma de muestras

La adquisición de datos químicos fiables es de una crucial importancia en el estudio de caracterización de un lugar. Por ello es imprescindible la utilización de equipos que permitan obtener registros en el interior de los sondeos y un laboratorio de campo para análisis químicos completos a pie de los mismos. Esto evita los errores que se cometían al analizar los parámetros más sensibles en laboratorios alejados del área estudiada.

Con este fin IPA-KONSULT AB, en colaboración con SKB, ha desarrollado un equipo instalado en dos trailers (figura 4.1.6 y foto 4.1.29). Uno de ellos controla el equipo de profundidad que incluye una bomba y la sonda química. Este se conecta a la tubería flexible ya descrita en el "Umbilical Hose System", lo que permite alcanzar profundidades de 1.000 m con un diámetro de 56 mm.

Se bombea entonces desde el tramo a ensayar empleando la bomba de pistón situada en profundidad. Esta es operada hidráulicamente por agua a presión desde la superficie. La capacidad normal de bombeo es de 100-200 ml/minuto, lo que implica la necesidad de bombeos de larga duración para obtener agua de la formación sin contaminar.

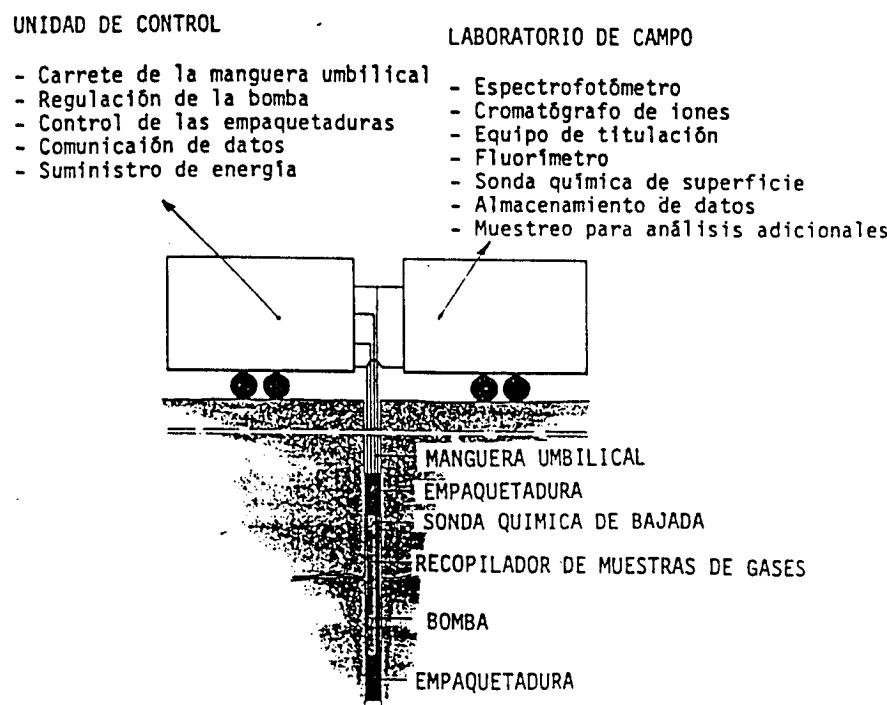


Fig. 4.1.6. Trailers de la unidad móvil de hidroquímica

En el tramo a ensayar el agua es bombeada a través de una sonda "Chemmac" (foto 4.1.30). Esta sonda contiene electrodos para medir el pH, Eh, pS, presión y temperatura.

Dispone además de un amplificador de señal, convertidor analógico/digital y transmisión de datos al ordenador situado en superficie.

Después de atravesar esta sonda es conducida a través de la tubería flexible hasta el segundo trailer destinado como laboratorio móvil, (figura 4.1.7 y fotos 4.1.31, 4.1.32 y 4.1.33). La sonda química de superficie es similar a la instalada en profundidad y permite medir, además de los parámetros antes indicados, la conductividad y el oxígeno disuelto.

A continuación se realizan el resto de los análisis.

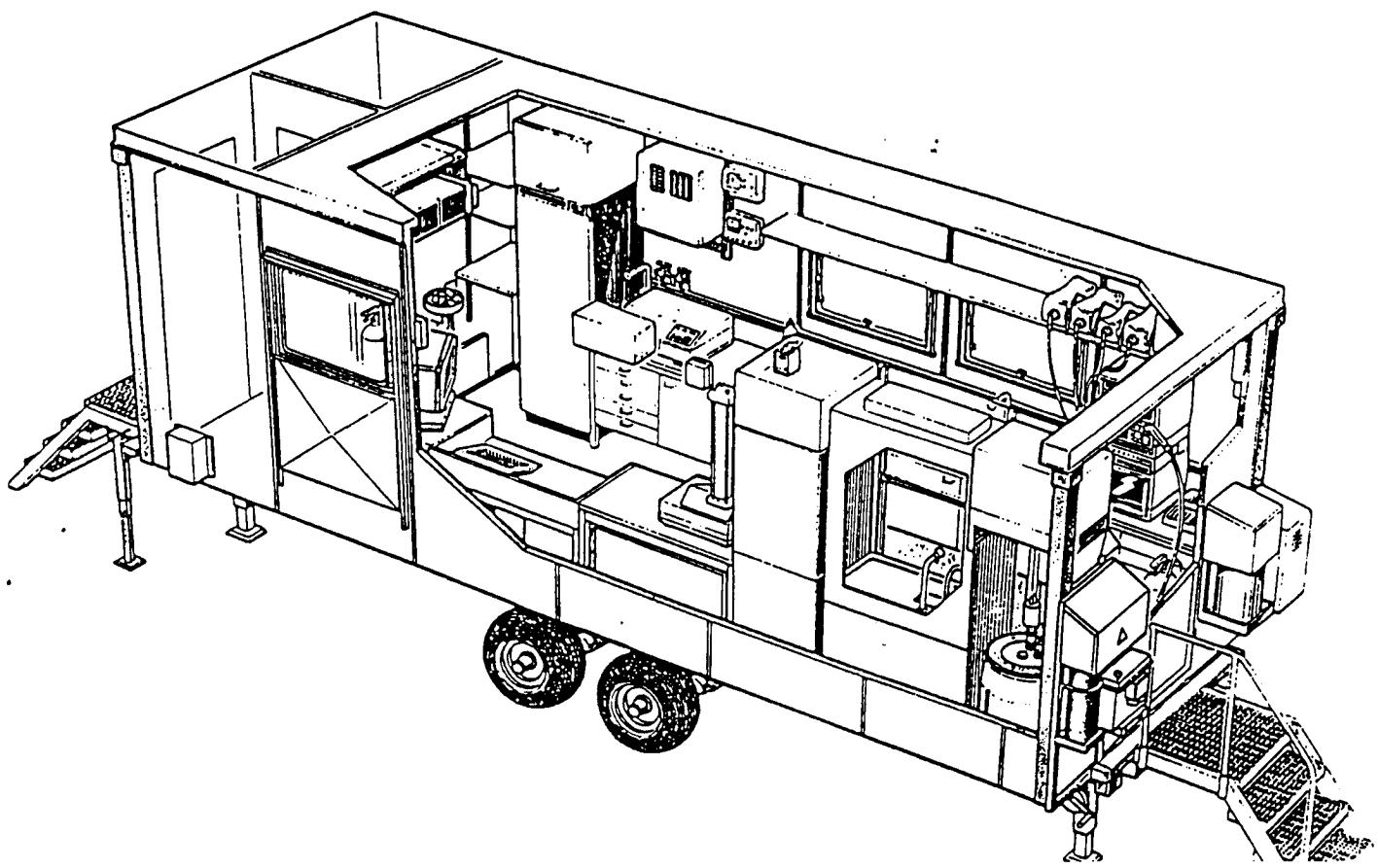


Fig. 4.1.7. Trailer del laboratorio (unidad móvil de hidroquímica)

El sistema permite utilizar también un toma muestras de gas (foto 4.1.34), que forma parte del equipo de profundidad. Se emplea para análisis cuantitativos de los gases disueltos en el agua subterránea. Permite conservar el agua en un cilindro con sus condiciones naturales de presión hasta su transporte al laboratorio, también puede emplearse para análisis bacteriológicos.

4.1.1.6. Análisis simultáneo de varios tramos

Como ya ha sido descrito en el apartado 1.A.2. el "Umbilical" puede configurarse con dos o cuatro packers, lo que permite el análisis simultáneo de varios tramos con gran comodidad.

4.1.1.2. PIPE STRING SYSTEM (SISTEMA DE TUBERIA RIGIDA)

El "Pipe String System", figura 4.1.8, ha sido desarrollado en el Swedish Geological Co para SKB. Este sistema, que permite operar desde galerías o desde la superficie, ha sido modificado para adoptarlo a las experiencia obtenidas de su empleo en campo. Entre éstas cabe destacar el que actualmente se monta en un contenedor de aluminio que puede transportarse empleando un camión de reducidas dimensiones, lo que le convierte en una unidad móvil para caracterización hidrogeológica. Otra importante mejora ha sido el incorporar al mismo una unidad de bombeo.

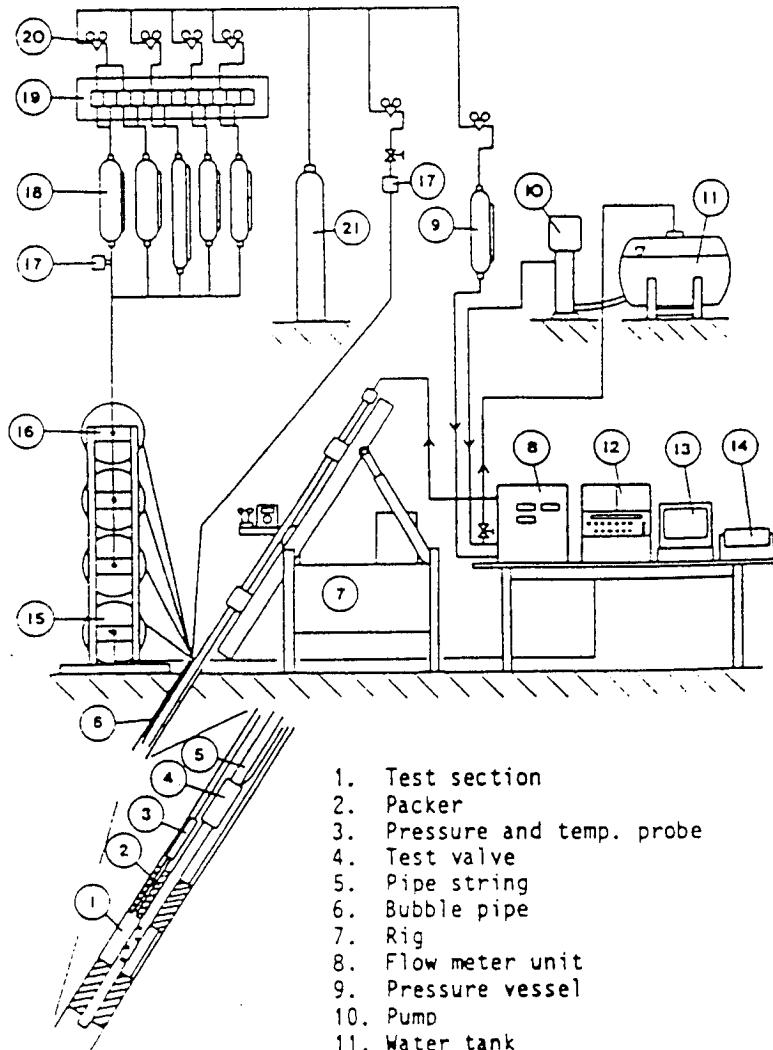
Ha sido diseñado para operar en diámetros de 56 mm hasta una profundidad de 1.000 m, aunque pueden alcanzarse diámetros de ensayo de hasta 165 mm cambiando los packers.

El límite inferior de medida es el mismo que el del "Umbilical", es decir, conductividad hidráulica de $10 \text{ e-}11 \text{ m/s}$ en una sección aislada entre packers de 20 m.

El equipo se opera mediante dos personas.

El test se lleva a cabo por regulación manual, a diferencia del "Umbilical Hose System", mientras un ordenador registra los valores de flujo y presión. Los datos se imprimen de la misma forma que en el "Umbilical".

Pueden utilizarse diversas configuraciones de packers lo que permite realizar el análisis simultáneo de varios tramos como será descrito posteriormente.



- | | |
|-----------------------------|--------------------------|
| 1. Test section | 12. Control unit |
| 2. Packer | 13. Computer |
| 3. Pressure and temp. probe | 14. Plotter |
| 4. Test valve | 15. Cable reel |
| 5. Pipe string | 16. Hose reel |
| 6. Bubble pipe | 17. Pressure transmitter |
| 7. Rig | 18. Pressure vessel |
| 8. Flow meter unit | 19. Solenoid valves |
| 9. Pressure vessel | 20. Gas regulator |
| 10. Pump | 21. Nitrogen vessel |
| 11. Water tank | |

Fig. 4.1.8. Principales elementos del "Pipe String System"

4.1.1.2.1. CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS EQUIPOS

Los componentes esenciales del sistema son:

A. Equipo de profundidad

Está formado por la cabeza de ensayo y el varillaje (figura 4.1.9).

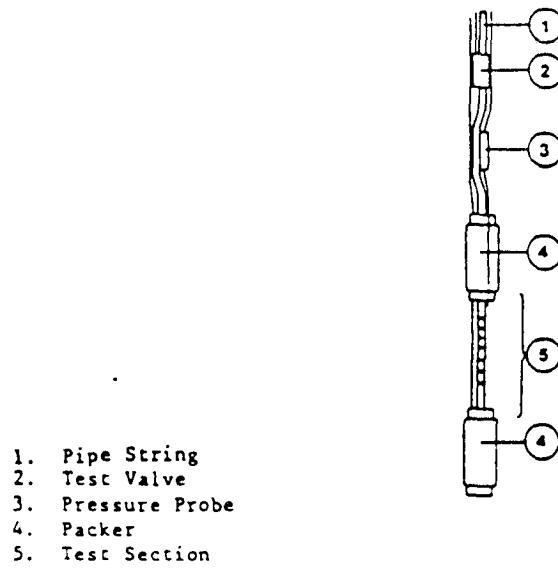


Fig. 4.1.9. Elementos del equipo de profundidad

A.1. Varillaje

Los tubos del varillaje (foto 4.1.35.) pueden ser de acero o de aluminio.

Los primeros tienen una longitud de 2 metros con un diámetro externo de 20 mm e interno de 10 mm. Puede soportar cargas de 4 toneladas.

Por su parte las varillas de aluminio tienen una longitud de 3 metros y un diámetro externo de 33 mm e interno de 21 mm. Soportan cargas de 9 toneladas.

Las uniones entre las diferentes varillas son totalmente estancas, lo que se consigue mediante el sistema de rosca y anillas de plástico de que disponen.

Como tal, la sarta tiene dos funciones: conducir la cabeza de ensayo hasta la sección correspondiente, y servir de soporte y protección al sistema de conexiones eléctricas e hidráulicas que

sirven para el inflado de los packers, para la inyección/extracción de agua durante el ensayo (ambas líneas, independientes entre sí, son tuberías reforzadas de alta presión), y para la transmisión de lecturas de presión y temperatura.

A.2. Cabeza de ensayo

La cabeza de ensayo consta de:

A.2.1. Packers

Normalmente se emplean dos aunque su número puede variar en función de los requerimientos del ensayo.

La longitud habitual de los packers, diseñados por la propia empresa GEOSIGMA, es de 1 m, ó de 2 m cuando se requieren altas presiones de inyección.

Se dispone de packers para trabajar en sondeos de 56 mm, 76 mm, 115 mm y 165 mm.

Hay dos o más tubos que pasan a través de los packers, el más grande para inyectar agua a la sección de ensayo y el pequeño que funciona como una línea de presión para el transductor y como línea de inflado de los mismos.

A.2.2. Válvulas

La cabeza de ensayo incorpora válvulas de ensayo y de tres pasos.

La válvula de ensayo se acciona hidráulicamente. Se sitúa entre el sensor de presión y temperatura y la parte inferior de la sarta de tubos. Tiene las siguientes funciones:

- a) Permitir una lectura precisa de la presión en la sección de ensayo, una vez cerrada aquella.
- b) Evacuar el aire de la sarta sin afectar al estado de la propia sección de ensayo.
- c) Iniciar y terminar el ensayo de inyección.

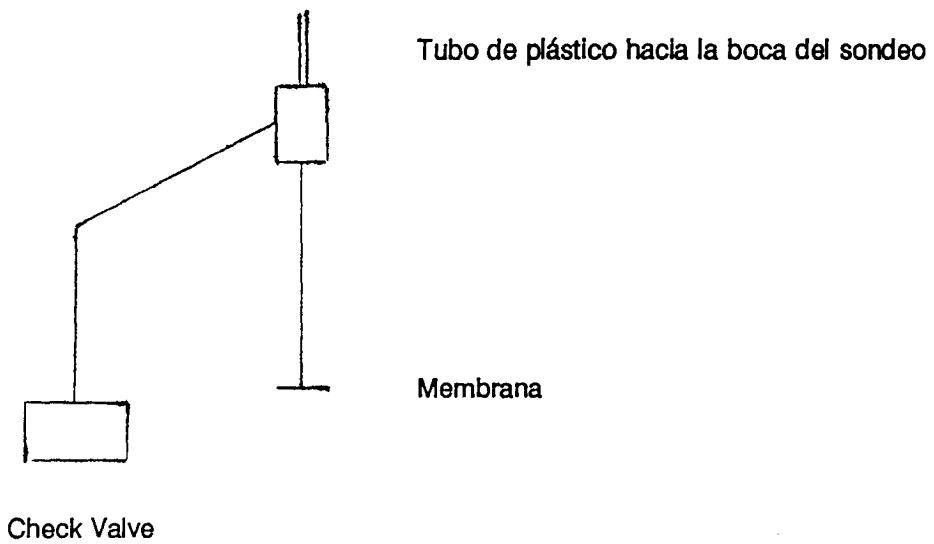
En el ensayo de relajación o de caída de presión, que sigue a la inyección de agua, la válvula de ensayo realiza su función aislando completamente la sección analizada.

En sí misma, la válvula de ensayo es un dispositivo tipo cerrojo que interrumpe, a voluntad del operador, la conexión entre las dos ramas del circuito de inyección de agua en dicho punto. Se acciona mediante una línea de presión independiente y recupera mediante un resorte.

La válvula de tres pasos se utiliza en los ensayos de inyección de corta duración, sección por sección, en configuraciones de cuatro packers y tres tubos de infiltración, habitualmente para reconocimientos detallados por tramos de 2 metros de sección.

Se sitúa en la sección superior de las tres practicables. Consiste en un vástago accionado hidráulicamente que permite conectar secuencialmente cada una de las tres embocaduras del circuito de agua de inyección, en función de los incrementos de presión, previamente establecidos, que se ejerzan sobre el vástago.

Para comprobar que no se producen pérdidas en los tubos que comunican con las secciones a analizar se coloca para cada tramo el dispositivo mostrado en la fotografía 4.1.36. y esquematizado en la siguiente figura:



Se introduce presión al tubo de plástico que comunica con el equipo de superficie. Como la "check valve" y la membrana están cerradas no hay pérdidas de presión. Si se producen pérdidas en el tubo de plástico se notará una variación en la presión controlada desde superficie.

Cuando quiere comprobarse que está correcto un sistema de circulación se emplean dos de estos elementos (uno para la línea de subida y otro para la de bajada).

A.2.3. Transductores de presión

Son de tipo plezoresistivo. Van conectados electrónicamente a transmisores del tipo Druck, PTX 160/D.

La corriente debe ser proporcional a la presión medida, con lo que la longitud del cable no tendrá efectos en la señal del transmisor. La precisión de estos sensores de presión es de 0.1%.

Se coloca uno, dos o tres transmisores justo sobre los packers. Uno de ellos está conectado al tramo a ensayar mientras que los otros dos se emplean para medir la presión en las secciones adyacentes.

La señal de los transmisores es recibida en superficie por el sistema de almacenado de los datos. La precisión de las medidas de presión obtenidas es de 0.1 KPa.

El nivel de agua en el tramo a ensayar se registra midiendo la presión del aire en un tubo de burbujeo que se introduce algunos metros bajo el nivel del agua.

Por último, también se controla la presión barométrica mediante un PTX 100 ABS de 120 KPa.

A.2.4. Sensores de temperatura

El sistema comprende cuatro sensores. Uno para controlar la temperatura del agua. Otro para registrar la del aire. Finalmente dos de los transmisores de presión también disponen de sensores de temperatura.

Todos los sensores de temperatura son de tipo semiconductor, con sistemas electrónicos incorporados en los transmisores de temperatura, la corriente debe ser proporcional a la temperatura absoluta. Deben admitir una resolución de 0.5°C en un rango de -55°C a +130°C. Se alojan en la misma carcasa que los sensores de presión.

A.2.5. Cableado de profundidad

Las medidas de presión y temperatura, procedentes de los sensores ubicados en la cabeza de ensayo, se conducen al equipo de superficie mediante un cable múltiple encastrado en una matriz de poliuretano, para que resulte sumergible e impermeable hasta una presión de 35 MPa.

Este cable, diseñado por una compañía de Estados Unidos, permite realizar uniones cuando sea necesario sin problemas de estanqueidad ni causar interferencias.

La limitación de espacio dentro del varillaje condiciona el número final de cables (y por tanto, de conexiones).

Existen varias configuraciones posibles, entre las que cabe citar:

- Tres transductores de presión y 1 de temperatura.
- Dos transductores de presión y dos de temperatura.

Este cable se controla mediante un carrete independiente.

B. Equipo de superficie

Está constituido por el generador (ver apartado B.1.) y un contenedor en el que se ubican los diferentes elementos del sistema de medida, registro y procesado de la información (unidad de superficie, ver apartado B.2.).

B.1. Generador

Se utiliza un generador diesel Volvo regulado automáticamente y diseñado para operar en continuo como alimentación eléctrica del sistema.

Este proporciona 15 KVA a 380 V. Incluye un transformador para 220 V.

B.2. Unidad de superficie

Consta de un contenedor de aluminio de dimensiones 6 m x 3 m dividido en dos habitáculos

en los que se sitúan todos los elementos del sistema. Este contenedor, cuyo peso total con dichos elementos es de 9.000 kg, puede ser montado en un camión de reducidas dimensiones, lo que proporciona al sistema una movilidad de la que carecía en sus primeras versiones.

En el habitáculo principal (figura 4.1.10 y foto 4.1.37), están alojados el castillete o aparejo ("Hoisting") (1), los carretes del cableado de profundidad (2), el compresor o botella de aire comprimido (3), armario para almacenar el varillaje, herramientas y otros elementos complementarios (4), un depósito de agua con calentador y bomba (5), así como un caudalímetro y regulador para ensayos de bombeo (6) y (foto 4.1.38).

Por su parte en el habitáculo (7) para los operadores (fig. 4.1.10 y foto 4.1.39), están ubicados el hardware y software (que serán descritos con detalle en el apartado C), y el sistema de inyección de agua.

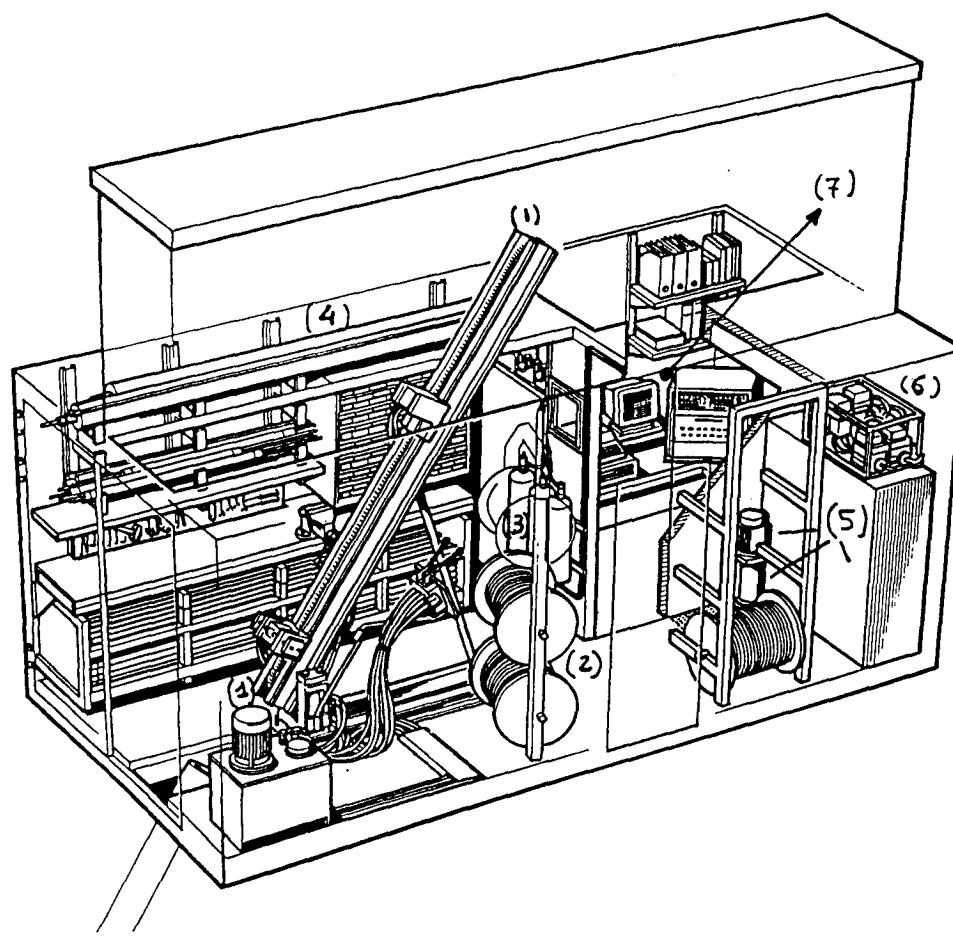


Fig. 4.1.10. Unidad de superficie ("Pipe String System")

- (1) "Hoisting" castillete o aparejo.
- (2) Carretes del cableado de profundidad.
- (3) Botellas de aire comprimido.
- (4) Armario para almacenar el varillaje, herramientos y elementos complementarios.
- (5) Depósito de agua cona calentador y bomba.
- (6) Habitáculo para los operadores.
- (7) Caudalímetro y regulador para ensayos de bombeo.

Por último, debe indicarse que una parte del techo del contenedor que constituye la unidad de superficie puede elevarse, lo que permite el manejo del "Hoisting" en las operaciones de montado y desmontado del varillaje.

A continuación se describen con detalle todos estos elementos:

B.2.1. Castillete o aparejo

Se emplea para el manejo del varillaje y cableado de profundidad.

En sí mismo, el castillete no ofrece ninguna singularidad, pudiéndose utilizar cualquier cabrestante convencional que admita una capacidad elevadora de unas 3 tm y una capacidad de freno del mismo orden.

El Swedish Geological Co. desarrolló un aparejo específico para el "Pipe String System" conocido como "Hoisting Rig RA2100" (fotos 4.1.37, 4.1.40 y 4.1.41). Es ajustable para sondeos de diferente inclinación (0-90°). Su capacidad elevadora es de 3.2 tm y puede ser empleado hasta profundidades de 1.000 m. Fue concebido inicialmente como un soporte fijo, utilizable tanto en superficie como en galería si bien posteriormente se instaló también en un trailer, lo que permitió reducir los tiempos de emplazamiento.

El varillaje se acciona mediante un juego de abrazaderas controladas hidráulicamente y un motor eléctrico a 380 V de 7.5 Kw, lo que permite introducir 60-80 m/hora.

B.2.2. Carretes del cableado de profundidad

El sistema consta de carretes para diferentes longitudes del cable (600 m, 1.000 m). Situados verticalmente (foto 4.1.36), que pueden unirse y conectarse con la boca del sondeo mediante un sistema de poleas y guías existentes en el techo.

B.2.3. Compresor o botellas de aire comprimido

Aunque podría utilizarse un compresor de aire, es más frecuente emplear botellas de nitrógeno.

B.2.4. Armario para almacenar varillaje, herramientas y elementos complementarios

La unidad de superficie incluye en una de sus paredes estanterías para almacenar las varillas, packers y otros elementos del equipo de profundidad, así como espacios con cajones para guardar las herramientas y elementos electrónicos de repuesto.

B.2.5. Sistema de inyección de agua

Para la realización de ensayos de inyección se emplea, siempre que sea posible, agua procedente de la misma formación filtrando las partículas mayores de 0,5 micras. Esta es almacenada en tanques de 1.000 litros en los cuales se mantiene constante la temperatura mediante un calentador eléctrico (figura 4.1.10).

Durante el ensayo de inyección el agua es aplicada a la sección de ensayo mediante una bomba centrífuga, del tipo Grundfos CP 2-200 o CP 2-120, que posee una capacidad de flujo de 20 a 45 l/minuto, con un incremento de presión de 1.0 MPa.

Cuando el caudal a inyectar es pequeño (< 0.1 litro/minuto), puede utilizarse una botella de nitrógeno a presión en lugar de la bomba.

El sistema de inyección de agua empleado (figura 4.1.11.), consiste en dos caudalímetros (3) y (6), conectados en serie.

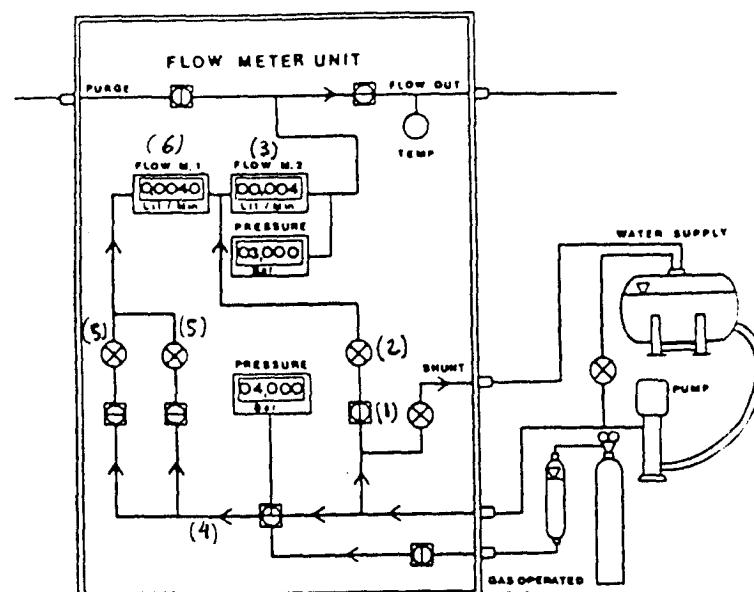


Fig. 4.1.11. Sistema de inyección de agua

Cuando los caudales son elevados el flujo se regula en primera aproximación mediante la válvula (2), empleándose a continuación para regulaciones más precisas la válvula (1) y pasa por el caudalímetro (3), quedando registrado a la vez que se muestra digitalmente el valor de la medida.

En el caso de caudales más bajos, el flujo se regula mediante dos válvulas (5), obteniéndose la medida del caudal mediante el caudalímetro (6).

Las características de los caudalímetros empleados son las siguientes:

Micromotion D 6: 0 - 1 l/min. Precisión: 0.4 % del rango.

Micromotion D 25: 0 - 40 l/min. Precisión : 0.4% del rango

C. Unidad de registro y procesado

Está ubicada en la unidad de superficie y comprende el hardware y software empleado.

C.1. Hardware

La unidad (figura 4.1.12), está formada por una unidad de control, un ordenador y un periférico provisto de plotter.

C.1.1. Ordenador

El microordenador puede ser un Digital Equipment PC 350 ó 380, o bien un HP VECTRA RS/25C o equivalente.

C.1.2. Unidad de control

Comprende un scanner, un multímetro, una pantalla y un procesador periférico con teclado.

Todos los sensores de medida se conectan a un scanner del tipo Kithley 705. El multímetro (Kithley 195), mide la corriente de los diferentes sensores con una resolución superior a 5 1/2 dígitos.

Ambos están conectados al ordenador mediante una interfase IEEE. Los intervalos temporales y la secuencia de registro están controladas por el correspondiente programa de ordenador, propio para cada aplicación.

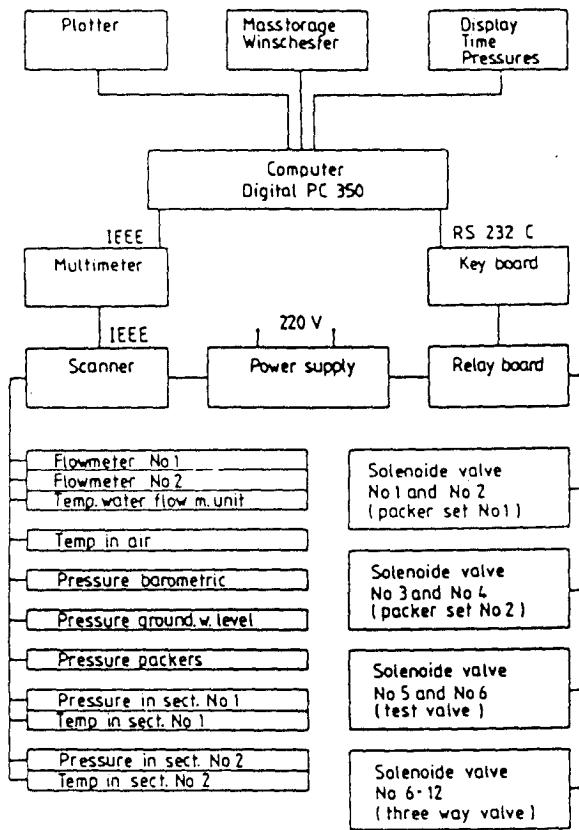


Fig. 4.1.12. Esquema de elementos de la unidad de registro y procesado

C.2. Software

La aplicación consta de dos programas diferentes, uno para obtener los valores (que será analizado en el apartado 4), y otro para obtener las salidas gráficas de los datos, que es idéntico al utilizado en el "Umbilical Hose System".

4.1.1.2.3. Aislamiento de cada tramo: Inflado de los packers

Los packers se inflan con una presión de 0.4 MPa, pero para asegurar un perfecto sellado de los tramos a ensayar se les comunica una presión de 1.5 MPa. Esta presión es controlada por un transductor. El elemento transmisor de la presión es el agua (o líquido anticongelante), a la que le es comunicada mediante nitrógeno.

Esto se debe a que si se utilizara solamente nitrógeno, debería comunicarse mayor presión (unas diez veces superior), además de que se producirían pérdidas de éste hacia la formación y no sería posible sellar secciones situadas a grandes profundidades (por ejemplo de 1.000 m).

4.1.1.2.4. Ensayos hidráulicos

El "Pipe String System", y el "Umbilical Hose System", descritos en el apartado anterior, permiten la realización de diferentes tipos de ensayos hidráulicos bajo muy diversas condiciones climáticas (incluso a temperaturas inferiores a - 20°C).

A. Ensayos de inyección

Una vez estabilizado el nivel en el tramo a ensayar (tras inflar los packers como fue descrito en el apartado previo), se llena el sistema de inyección de agua y se presuriza, tras lo cual se abre la válvula de ensayo situada en el equipo de profundidad comenzando así el ensayo.

La inyección se mantiene a presión constante (normalmente a 200 KPa sobre el nivel plezométrico), y se conserva así durante todo el período de inyección regulando el flujo. Se detiene la inyección cerrando la válvula de ensayo y se registra el descenso de los niveles (figura 4.1.13.).

La duración de estos ensayos suele ser de 4.5 horas. De estas media hora corresponde al inflado de los packers, 2 horas a la inyección y 2 horas a medir la recuperación de niveles.

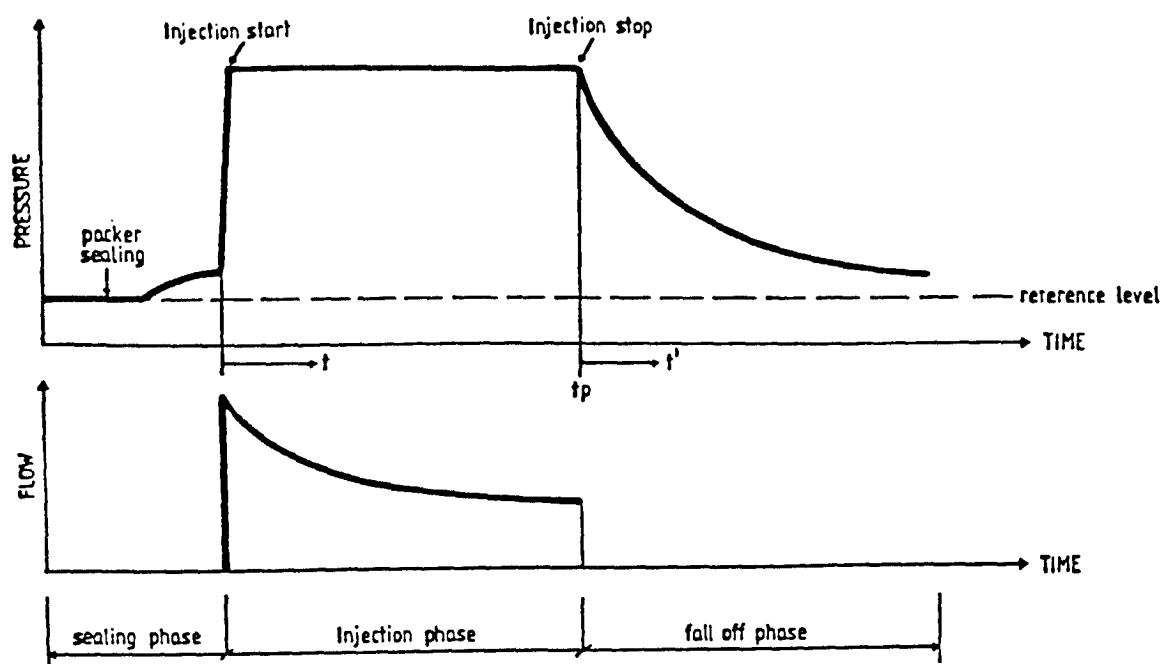


Fig. 4.1.13. Secuencia de un test de inyección

El sistema de adquisición de datos de ambos sistemas registra continuamente la presión en la sección ensayada y el flujo. Además, se controla el nivel piezométrico, la presión de los packers, la presión barométrica y la temperatura.

En el caso del "Pipe String System", el equipo dispone de una aplicación con dos programas diferentes para obtener los datos y obtener las salidas gráficas de los mismos.

* Programa de adquisición de datos

El programa comienza con la entrada de datos tales como constantes de calibración para los sensores, situación del sondeo, localización de la sección a ensayar, personal y equipo utilizados.

El intervalo entre registros es de dos segundos al comienzo del test, y se aumenta posteriormente de forma semilogarítmica.

Las medidas en los sensores se efectúan con cuatro dígitos significativos, pero la presión en las secciones de ensayo lo son con cinco.

Un test a presión constante con registro de la caída de presión se divide en las nueve fases siguientes:

Fase 0. Registro de la presión en el nivel del intervalo ensayado con los packers desinflados.

Fase 1. Elección de la presión de referencia para el test.

Fase 2. Inflado de los packers.

Fase 3. Cierre de la válvula de ensayo. En esta fase se eliminan las burbujas de aire y se comprueba la rigidez de todo el equipo.

Fase 4. Inyección. Comienza cuando se abre la válvula de ensayo en la sección escogida. La presión (normalmente 200 KPas sobre la presión de referencia), se regula en la unidad de medida de flujo.

Fase 5. Fase de caída de presión. Comienza cuando se cierra la válvula de ensayo. Se registra la presión y se indica el tiempo.

Fase 6. Fin de la fase de caída de presión.

Fase 7. Se desinflan los packers.

Fase 8. Fin del test. Se indican los comentarios precisos sobre el test y el ordenador se prepara de forma automática para ejecutar el siguiente test.

* Programa para generar salidas gráficas

Es idéntico al utilizado en el "Umbilical Hose System".

B. Ensayos de bombeo de interferencia

Consisten en bombear en un tramo de un sondeo y controlar los descensos que se producen en tramos seleccionados de otros sondeos adyacentes.

Estos ensayos pueden realizarse en los sondeos de 56 mm que tengan mayor diámetro en su parte superior, como se muestra en la figura 4.1.14.

La bomba se sitúa a unos 90 metros de profundidad en el tramo de mayor diámetro.

La duración del bombeo es de unos dos días controlándose a continuación la recuperación durante uno o dos días. El caudal bombeado dependerá de las características hidrogeológicas de cada zona. A nivel de ejemplo cabe indicar que, en diversos ensayos de este tipo realizados en el proyecto de laboratorio de Aspö, se bombeó con caudales de 8×10^{-6} a 8×10^{-4} m³/s.

El software empleado para la realización de estos ensayos es el mismo que el utilizado para los ensayos de inyección.

Los sondeos de observación se equipan con un sistema multipacker para observar la respuesta en diferentes secciones.

Estos ensayos permiten caracterizar tridimensionalmente la formación analizada.

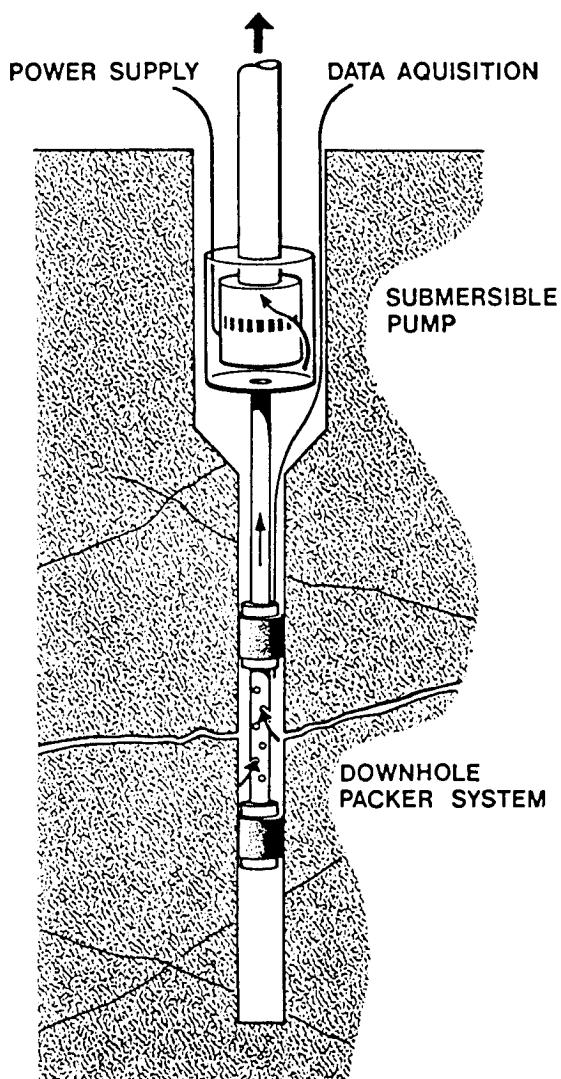


Fig. 4.1.14. Esquema del dispositivo empleado para realizar ensayos de bombeo de interferencia

C. Ensayos de bombeo de larga duración

Estos ensayos permiten obtener las características hidráulicas de la formación con mayor precisión al afectar a un volumen de roca mucho mayor. Su duración es de unos dos meses de bombeo a caudal constante, seguidos de un mes de recuperación.

La bomba, como en el caso anterior, se sitúa a unos 90 metros en la zona de mayor diámetro.

4.1.1.2.6. Análisis simultáneo de varios tramos

Se pueden utilizar diversas configuraciones del equipo (figura 4.1.15), lo que hace posible el análisis simultáneo de varios tramos, reduciendo así el tiempo requerido al realizar los test hidráulicos de cada tramo independientemente.

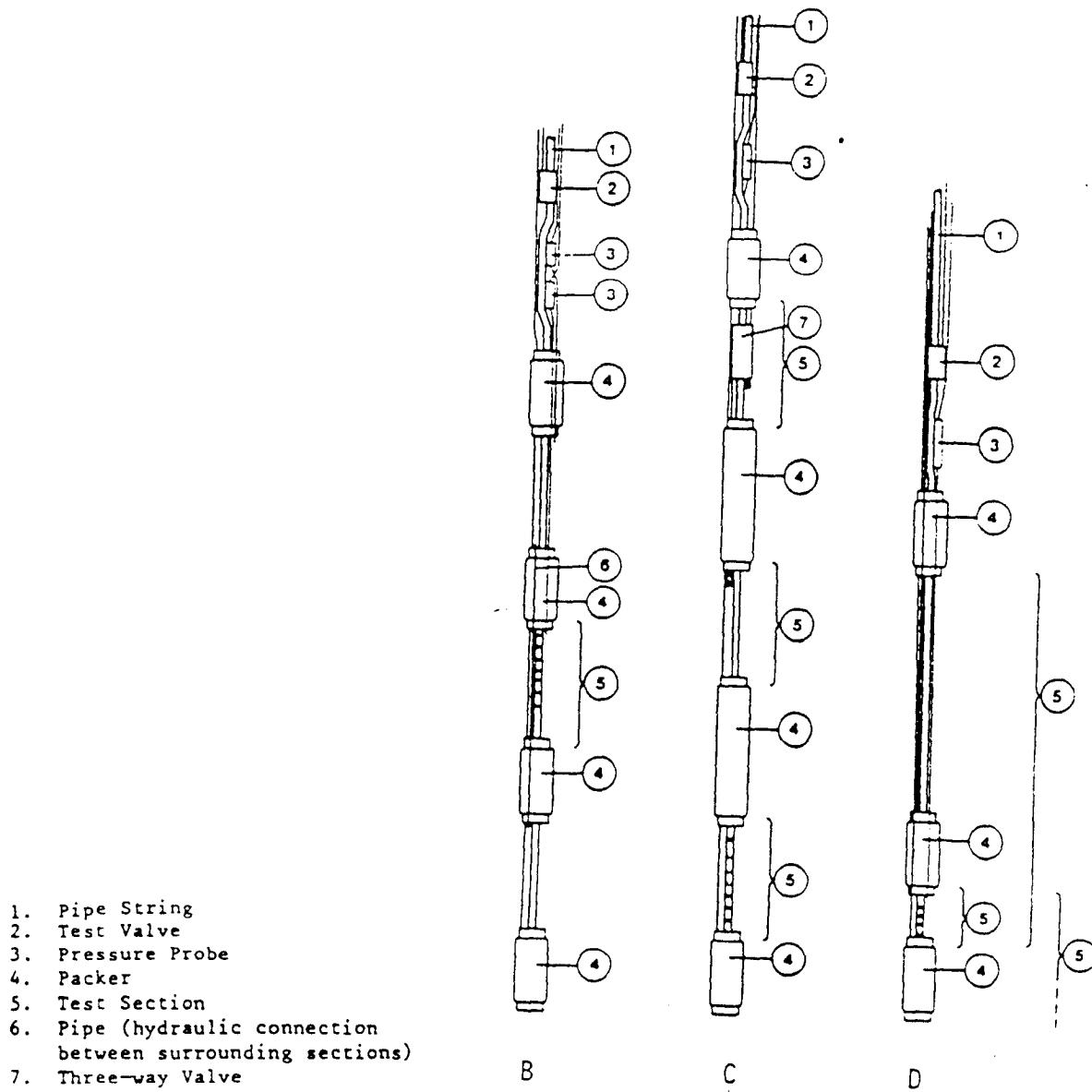


Fig. 4.1.15. Diversos tipos de configuraciones para el "Pipe String System"

La configuración B emplea un sistema de 4 packers para tests en secciones fracturadas en un sondeo. En este caso se registra la presión en las secciones adyacentes para comprobar cualquier flujo de agua a través de los packers que delimitan la sección a ensayar.

La configuración C se utiliza en tests de corta duración, sección por sección con una longitud para ésta de 2 metros.

Consiste en una válvula de 3 vías operada hidráulicamente, 2 packers en los extremos de 1 m de longitud y 2 packers en el medio de 2 m de longitud.

El modo de trabajo consiste en inflar simultáneamente todos los packers. Se inyecta el agua en las tres secciones secuencialmente (primero en la más profunda), por medio de la válvula de 3 vías. Se baja entonces el equipo 2 metros y se repite el proceso. Despues de la segunda secuencia del test se baja el equipo 10 metros.

Mediante el dispositivo D se consigue un test en una sección de longitud superior a las obtenidas con las configuraciones anteriores mediante fijación de los packers superior e inferior.

4.1.2. EQUIPOS DE INSTRUMENTACION PERMANENTE DE CONTROL Y SEGUIMIENTO

Para realizar una instrumentación permanente de control y seguimiento es muy útil la utilización de sistemas multipackers, ya que permiten mantener totalmente aislados diferentes tramos de los sondeos y evitar posibles fugas en el sistema que pusiesen en contacto los diversos tramos al controlar diferentes parámetros en períodos de tiempo muy dilatados. Este sistema ha sido por otra parte diseñado de tal modo que permite una fácil recolocación.

Los packers empleados permiten más de 9 líneas internas de transmisión de la presión y un cable de señal. En ocasiones se instalan secciones con sistemas de circulación de agua, lo que hace posible realizar ensayos de inyección de trazadores sin modificar la disposición del equipo instalado, como será descrito posteriormente.

Se utiliza una línea de presión para cada tramo (dos para las secciones instaladas con sistemas de circulación de agua), desde la sección hasta la superficie, que atraviesan los packers.

En la parte superior de los sondeos las líneas de presión se conectan a tuberías (figura 4.1.16).

El nivel del agua en estas tuberías, que es el propio de cada tramo, puede registrarse mediante sondas manuales convencionales o mediante transductores de presión.

Para la monitorización de largos períodos es preferible recurrir a sistemas de registros automatizados como los que serán analizados posteriormente.

El medir el nivel piezométrico en dichas tuberías conectadas a las secciones aisladas, en lugar de registrarlo en profundidad directamente, tiene como ventajas más significativas el permitir utilizar transductores de presión con pequeños rangos de medida, lo que proporciona mejor resolución y precisión, facilitar la instalación de los transductores y su reemplazo en caso de averías, así como facilitar su calibración.

Para la instalación de estos sistemas puede emplearse el "hoisting rig" del "Pipe String System", ya descrito previamente.

Para convertir las lecturas de presión en presiones absolutas de las secciones aisladas debe conocerse la densidad del agua en los tubos y la desviación del sondeo.

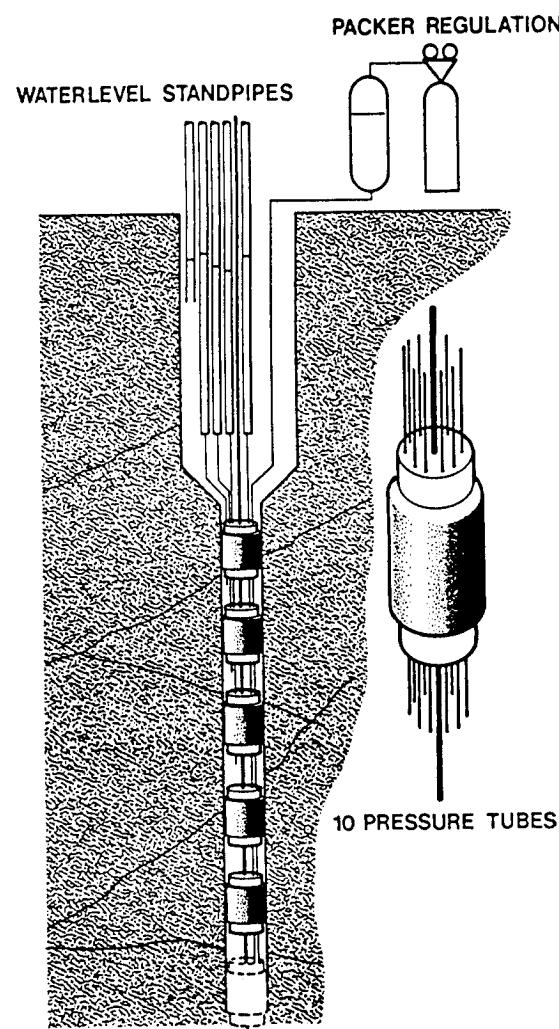


Fig. 4.1.16. Sistema multipacker en sondeos telescopicos

La densidad del agua en los tubos se termina mediante bombeo con aire comprimido en los mismos, lo que se realiza cuando el equipo ha sido instalado en su posición y los packers inflados (foto 4.1.42). Todos estos tubos son llenados entonces con agua de la formación cuya densidad es conocida. Además la densidad puede volver a determinarse en cualquier momento.

Para el registro de los datos se emplean 3 tipos diferentes de data loggers el Borre MDL, el GRUND y el PIEZOMAC.

4.1.2.1. BORRE MDL. "MEMORY DATA LOGGER".

El sistema Borre (figura 4.1.17., fotos 4.1.43, 4.1.44, 4.1.45, 4.1.46 y 4.1.47), desarrollado por IPA Instrument permite medir y almacenar la información suministrada por hasta 13 canales de entrada, lo que hace posible controlar simultáneamente diferentes parámetros (nivel piezométrico, pH, conductividad, etc.), en sondeos de profundidades incluso superiores a 1.000 metros. Consta de equipo de profundidad y equipo de superficie.

A. Equipo de profundidad

Es una cápsula de 0,5 m de longitud y un diámetro de 54 mm que incluye el "data logger" y la memoria.

El data logger es un microprocesador adaptado para los sensores de medida. Estos en el caso de la presión son del tipo Druck PDCR 830 o Druck PTX 160/D.

La memoria almacena todos los valores con un código de identificación. Su capacidad es de 64 kbyte (aproximadamente 32.000 medidas).

Cuando se llena la memoria el siguiente valor se sobreescribe al más antiguo registrado.

Los valores almacenados pueden transferirse al ordenador en cualquier momento sin afectar por ello al proceso de medida.

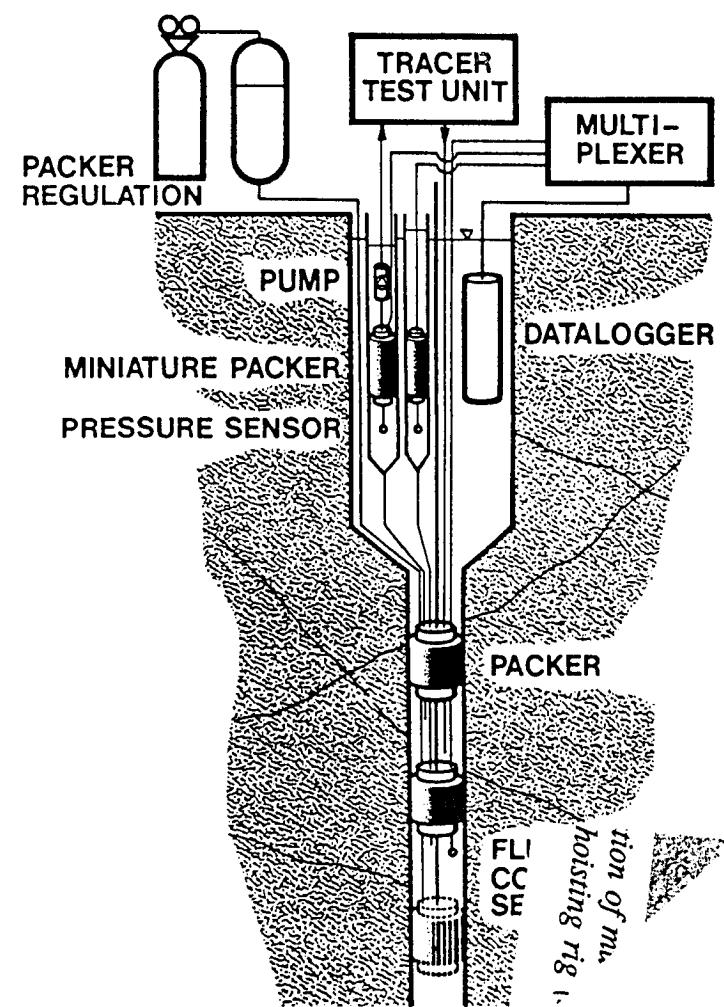


Fig. 4.1.17. Registro de niveles de agua en sondeos telescopicos (mostrando solamente dos de las seis secciones controladas normalmente), con el sistema "Borre data logger", así como equipo de circulación de agua (para una sección) y unidad para ensayos de trazadores

B. Equipo de superficie

Es una caja de conexiones situada en la superficie conectada al equipo de profundidad mediante el cable de conexión.

Consta de un multiplexor que permite conectar un ordenador al equipo de profundidad para leer y/o grabar la información y de un suministro de energía. Este lo constituyen baterías con un diseño especial que permite sustituirlas sin afectar al proceso de medida.

Las tarjetas y programas de que dispone el equipo de superficie, "Borre", permiten programar desde superficie el data logger para tomar medidas. El intervalo entre éstas es muy variable, oscilando entre 1 segundo y 4 horas.

El software puede emplearse durante el proceso de medidas para realizar lecturas o para reprogramar el equipo.

El modo de trabajo es muy sencillo. Consiste en introducir los sensores de medida y el equipo de profundidad en el sondeo, conectarlo a la caja de conexiones del equipo de superficie y programar las medidas mediante el software "Borre". Para obtener la información basta con conectar a la unidad de superficie un ordenador portátil y, empleando el "Borre", obtener los datos almacenados. Este software no incluye análisis de datos que deberán realizarse mediante otros programas.

4.1.2.2. GROUND WATER TABLE MONITORING SYSTEM (GRUND)

Con el fin de realizar la monitorización del nivel piezométrico en un sondeo IPA-Konsult AB ha desarrollado el GRUND, (foto 4.1.48), que consta de las siguientes partes:

A. Sonda de monitorización

La sonda de monitorización es una unidad electrónica que incluye un microprocesador, un transductor de presión, un convertidor analógico-digital y acumuladores. Su finalidad es la medida del nivel piezométrico en el sondeo. Es por tanto, un data logger de un único canal de entrada. Sus dimensiones son 50 x 1240 mm.

El equipo va en una cápsula resistente al agua que se instala entre 5 y 10 metros bajo el nivel piezométrico. No necesita mantenimiento en varios meses. El equipo (figura 4.1.18), no es visible una vez que se ha instalado el cierre.

La unidad mide y registra los niveles a intervalos de tiempo preestablecidos con almacenamiento condicional de datos entre esos intervalos, lo cual quiere decir que cualquier medida que difiera del último valor almacenado en una cantidad igual o mayor que un límite preestablecido también será grabada.

Tiene una memoria RAM de 4 kbyte y PROM de 2 kbyte, lo que la proporciona una capacidad para 2.096 valores, lo cual, dependiendo de las fluctuaciones del nivel, puede ser suficiente para que el correspondiente período de grabación de datos sea de varios meses (Corresponde por ejemplo a un año de control registrando los datos cada seis horas).

Cubre una gama de presiones de 0-100 KPa.

Para un rango de columna de agua de diez metros, proporciona una resolución de 4 mm. Por otra parte el rango de temperatura para el ensayo es de 0° a -50°C.

El ordenador portátil sólo es necesario en el proceso de registro y volcado de datos, que tarda solo unos minutos.

El tiempo requerido para la recarga de los acumuladores en una unidad es de 10 a 14 horas.

B. Packer

El equipo ha sido diseñado para sondeos de 56 mm de diámetro pero puede adaptarse a diámetros mayores cambiando los packers.

Para sondeos de mayor profundidad se incluye un packer en el equipo con objeto de aislar la parte superior del resto del sondeo.

C. Cableado y sistema de bajada del equipo

A través del cable se recargan los acumuladores, se puede testear los elementos electrónicos y se transmiten los datos hasta el ordenador que se sitúa en superficie.

D. Ordenador portátil

Los datos almacenados en la sonda se pueden volcar a un ordenador portátil del tipo Epson Hx-20, cuya comunicación con superficie se realiza por medio de un canal I/O de 300 baudios mediante los cables a superficie.

El ordenador se utiliza también para fijar el comienzo de las medidas y comprobar ciertas funciones tales como el reloj y voltaje del acumulador.

El software consiste en siete programas interactivos:

- "Fetch": recoge la información almacenada en la unidad GRUND, y la almacena en la memoria del Hx-20 junto con la fecha de recogida en la memoria RAM de la computadora.
- "SIO": permite al operador usar los comandos del GRUND, actuando el Hx-20 como una terminal. Los caracteres se transmiten desde el teclado y las respuestas aparecen en el display LCD.
- "Tape out": los datos almacenados en la memoria RAM se salvan en un microcasette.
- "Printer": los datos de la memoria RAM se listan e imprimen por medio de una impresora.

- "Read tape": los datos almacenados en una cinta de cassette se leen por la memoria RAM.
- "Start": mediante este mandato se introducen el intervalo de medida, el intervalo entre grabación de datos y el valor límite para el almacenamiento condicional.
- "Export data": permite la transferencia de datos a otro ordenador.

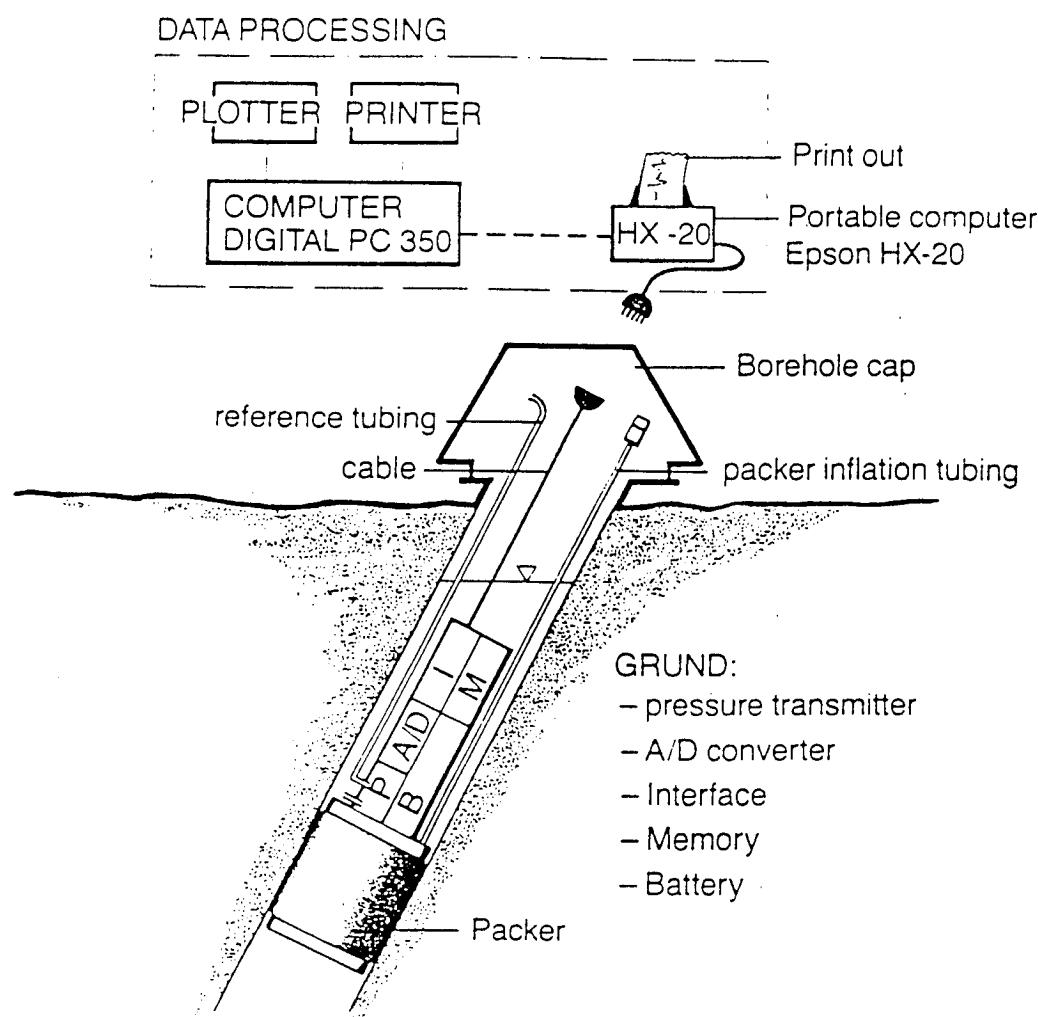


Fig. 4.1.18. Diseño del sistema GRUND

4.1.2.3. HYDRAULIC HEAD MONITORING SYSTEM (PIEZOMAC II)

Este data logger ha sido diseñado por SGAB para SKB. Hay dos versiones del PIEZOMAC II (IIA y IID).

El Piezomac IIA se utiliza para registrar el nivel piezométrico cuando hay grupos de dos o más sondeos siempre que la distancia entre los transductores de presión en los sondeos y el data logger sea inferior a 1.000 m.

Posee 24 canales analógicos y su memoria es de 220 kbyte (unas 40.000 medidas).

En este caso se emplean transmisiones de presión del tipo Druck PTX 160/D.

El Piezomac IID (figura 4.1.19) se emplea para registrar el nivel piezométrico en diversas secciones de un sondeo.

Posee 8 canales digitales.

Aunque el Piezomac IID ha sido diseñado para sondeos de 56 mm de diámetro, es también utilizable para diámetros de 76 mm cambiando los packers. Consta (figura 4.1.20) de un equipo de profundidad y otro de superficie.

A. Equipo de profundidad

Está formado por una sonda de presión múltiple, packers y tubos de conexión.

Las secciones escogidas se aislan por medio de packers, utilizando packers adicionales para las secciones ciegas que se decida situar entre los intervalos de medida. Con ello se previenen posibles interferencias debidas al flujo vertical en el sondeo.

Va equipado con una válvula multipuerto lo que permite tomar medidas en más de 5 secciones con un único transductor de presión. Este es del tipo Druck PTX 120/WL.

Usando un transductor para todas las secciones se puede evitar el error debido a las diferencias entre transductores.

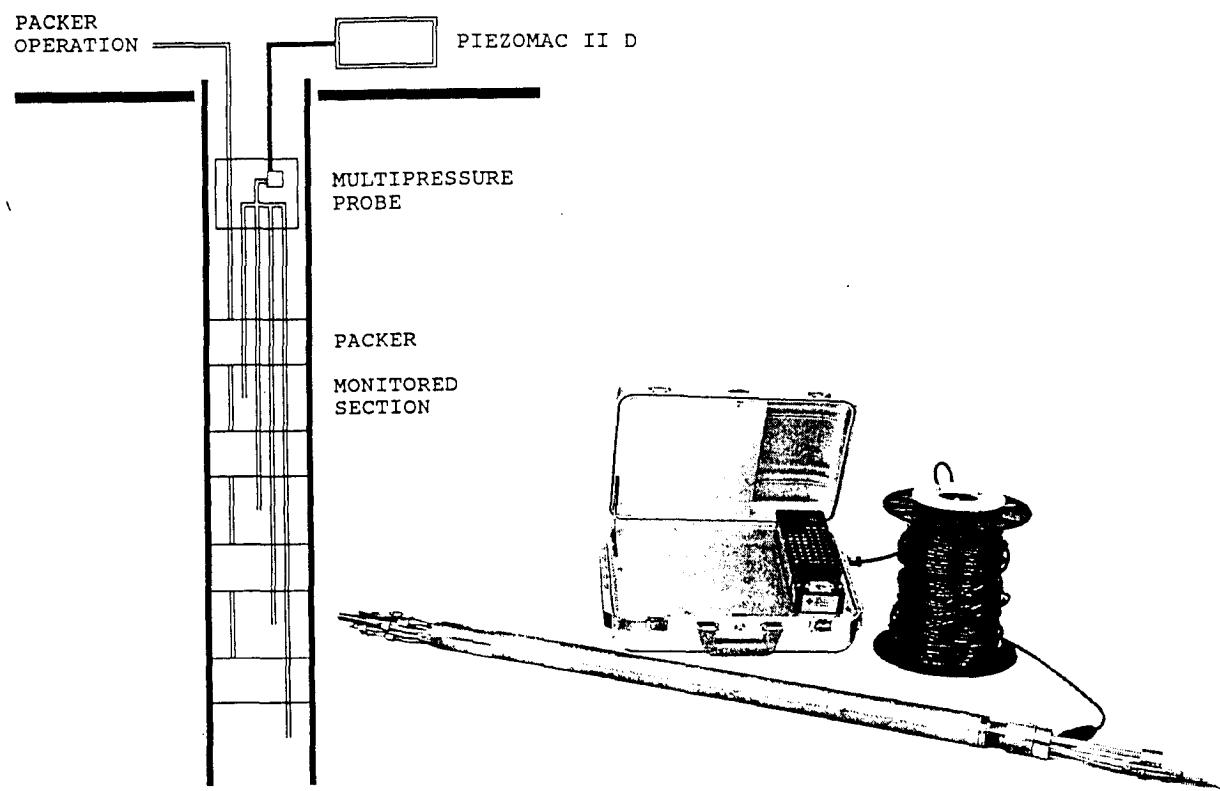


Fig. 4.1.20. Sistema Piezomac IID

La sonda va colocada encima del packer más próximo a superficie y se aloja en una carcasa herméticamente estanca. La válvula que abre las conexiones con cada una de las secciones se acciona desde superficie.

El rango de presión diferencial es de 700 KPa (7 atm.), y una precisión de 0.1% en toda la escala.

El equipo puede incorporar además una sonda analógica, concebida para los ensayos de interferencia, capaz de suministrar hasta ocho señales analógicas independientes. Su conexión a la unidad de registro y control es la misma que la de la sonda de presión.

Para la realización de dichos ensayos es preciso incorporar además una bomba sumergible y un regulador automático de caudal.

B. Equipo de superficie

Consta de una unidad de control y toma de datos diseñada para el control de hasta ocho sondeos, un carrete o tambor con el cableado de conexión, un registrador con impresora, una pluma ligera para la instalación del equipo de profundidad y botellas de aire comprimido para el inflado de los packers.

La capacidad portante de la pluma debe ser de unas cuatro toneladas para una velocidad de descenso de 100 m/hora, contabilizando el armado del varillaje que separa los packers y los empalmes de tubos y cables. La energía del equipo es proporcionada por un generador diesel.

El ordenador empleado es del tipo Digital PC 350. Normalmente, y siempre cuando se están realizando las medidas, la unidad de control y toma de datos se alimenta mediante una batería de 24 V. Dado que el sistema tiene un consumo de corriente muy bajo puede ser alimentado de forma continua con una célula solar y una batería de seguridad externa para operar de noche.

Especificaciones técnicas:

| | | |
|-----------------------------|---|------------------------------------|
| Peso | 9 kg | |
| Tamaño | 500 x 360 x 160 mm | |
| Rango de temperaturas | -25 a 70°C | |
| Ordenador | Geomac II | |
| Capacidad de almacenamiento | 2500 medidas (valor y tiempo) | |
| Pantalla | LCD de 2 x 16 caracteres alfanuméricos | |
| Fuente de energía | Voltaje | 24 cc (20-28 V) batería externa |
| | Corriente | <20 mA sin ninguna sonda conectada |
| Batería interna | 18 V, 1 Ah. | |
| Célula solar | 16 v, 2 A | |
| Conexiones de la sonda | 8 RS-232, 300 Baudios y fuente de energía | |
| Puertos | Radio, impresora, terminal con interfaces Rs-232 y software | |

Programa de medida

Se divide en las siguientes rutinas:

- Presentación de medidas previas en el canal seleccionados.
- Información sobre las medidas (tiempo de comienzo, usuario, sondas, válvulas, etc.)

- Información sobre los comandos, presentación de los datos y forma de realización de las medidas.
- Secuencia de medida, constituida para el registro de una medida por:
 - * Registro del tiempo de comienzo.
 - * Cálculo del tiempo para el siguiente registro.
 - * Suministro del energía a las sondas. Mediante las válvulas se conecta la primera sección al transductor en todas las sondas con secciones conectadas.
 - * Espera de un tiempo de retardo prefijado (unos pocos segundos). A continuación lectura de la presión en todas las sondas y registro de los valores y el tiempo (año, mes, día, hora, minuto y segundo).
 - * Medida de la siguiente sección, etc.
 - * Impresión
- Secuencia de transferencia de datos por radio.

Transferencia de datos y presentación

Es posible la transferencia de los datos a un equipo de grabación, o bien vía modem a una red telefónica, con lo cual es posible la comprobación e identificación con objeto de procesarlos y posteriormente plotearlos en un monitor o en papel. De esta forma es posible la supervisión de los datos en gabinete de forma continua. Desde el ordenador principal es también posible reprogramar la instrumentación de campo durante el proceso de medida.

Aplicaciones para la realización de tests de interferencia

El PIEZOMAC II puede ser utilizado como unidad de registro en tests de interferencia entre dos o más sondeos. Es posible la ejecución de tests de inyección o bombeo.

El agua se bombea desde el pozo a caudal constante mediante una bomba sumergible y un regulador automático de flujo, que mantiene el flujo constante (precisión del 1%).

4.1.2.4. SISTEMAS DE CIRCULACION DE AGUA

Como ya fue comentado al inicio de este capítulo, en los sondeos equipados con sistemas de instrumentación permanente de control y seguimiento, puede instalarse en dos secciones sistemas de circulación de agua para realizar ensayos de trazadores y medidas de dilución.

Para ello se debe montar una segunda línea de presión y una tubería más larga además del resto de los elementos (ya descritos), utilizados para el control piezométrico.

El sistema para realizar test de inyección consiste en un filtro, una bomba sumergible de reducidas dimensiones, un minipacker y un transductor de presión, que se introducen en la tubería para reemplazar el minipacker y el transductor de presión empleados para controlar el nivel piezométrico.

Durante la circulación el agua es bombeada hasta la superficie, pasa por una unidad para realizar el ensayo de trazadores y vuelve a inyectarse, mediante una bomba, en la sección mediante el segundo tubo.

La unidad para ensayos de trazadores consta de un caudalímetro, válvulas y un sistema para tomar muestras de agua (foto 4.1.49).

4.1.2.5. SISTEMAS DE PROTECCION DE LOS EQUIPOS DE INSTRUMENTACION PERMANENTE DE CONTROL Y SEGUIMIENTO

En las primeras etapas de la investigación hidrogeológica se emplean sistemas temporales, como el mostrado en la fotografía 4.1.50, mientras se realizan las pruebas en los sondeos.

Cuando la instrumentación pretende realizarse durante períodos de tiempo dilatados suele emplearse sistemas multipackers como los ya descritos, quedando usualmente la boca del sondeo protegida por cabinas especiales.

Estas cabinas metálicas (fotos 4.1.51 a 4.1.55), son portables, lo que permite su utilización en diversos sondeos a lo largo del proyecto, pero lo suficientemente robustas como para impedir actos vandálicos en el instrumental o el propio sondeo protegido.

En ocasiones (foto 4.1.51.) van equipados con antenas para transmitir por radio la información obtenida.

4.1.3. ESTRATEGIA EMPLEADA EN LA CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA

4.1.3.1. MODELO CONCEPTUAL Y PLANIFICACION

Las investigaciones relacionadas con la gestión y el almacenamiento de los residuos radiactivos comenzaron en Suecia en la década de los setenta, cuando el gobierno requirió que los propietarios de las centrales demostrasen que era factible técnicamente almacenar estos residuos, en formaciones geológicas profundas, con las garantías de seguridad necesarias. En caso contrario se procedería a la paralización de la construcción de nuevas centrales, aunque estuviesen ya iniciadas las obras en las mismas.

En la actualidad el programa nuclear sueco consta de 12 reactores situados en 4 localidades de la costa (Ringhals, Barsebäck, Oskarshamn y Forsmark), que suministran 9650 MW, lo que supone el 50% del total de la electricidad producida en el país, y dos reactores de investigación.

Los residuos que será preciso almacenar han sido estimados en 7800 toneladas de combustible gastado de las centrales nucleares (residuos de alta actividad), y unos 300.000 m³ de residuos de bajo y medio nivel de actividad.

El gobierno sueco supervisa, mediante diferentes agencias gubernamentales (SKI, SSI, SKN y KASAM), las actividades realizadas por la "Swedish nuclear fuel and waste management company" (SKB). Esta compañía fue creada en 1977 por los propietarios de los centros de producción de residuos radiactivos con el objetivo de asumir el manejo, transporte y almacenamiento (temporal y definitivo), de los residuos radiactivos. Su financiación proviene de un porcentaje en el precio del kilovatio pagado por el usuario.

Para la realización de los trabajos que le han sido encomendados, SKB actúa como gestor del proyecto, define las líneas maestras de la investigación, así como supervisa y coordina a una serie de grupos asociados formados por expertos de universidades, organismos de investigación y compañías consultoras.

Estos grupos son los encargados de planificar, evaluar, realizar modelos conceptuales e informes y en un segundo escalón de la organización realizar diversos trabajos de campo (toma de medidas, testificación, análisis, etc.), en función de objetivos que les son previamente definidos.

En total trabajan cerca de 500 personas en el proyecto, de las cuales unas 70 pertenecen a SKB.

SKB financia el desarrollo, diseño y control de los instrumentos necesarios para alcanzar los objetivos del proyecto, éstos son de su propiedad, si bien, alguno de los grupos asociados está encargado del almacenamiento y mantenimiento de los equipos.

El programa de gestión de los residuos radiactivos que ha sido aprobado por el gobierno sueco, consta de los siguientes elementos:

Sistema de transporte de los residuos.

Dada la ubicación en la costa de las de las centrales nucleares se ha elegido el transporte por vía marítima de los mismos. Para ello ya ha sido diseñado un barco específicamente adaptado a este fin, el "Vessel M/S sigyn", y vehículos especiales para su transporte por tierra, protegiendo los residuos mediante contenedores especiales (foto 4.1.56.).

Un almacenamiento definitivo para los residuos de bajo y medio nivel, generados en los reactores nucleares, hospitales y centros de investigación.

Este almacenamiento (SFR) está ubicado en la localidad de Forsmark y entró en operación en 1988. Ha sido construido a 60 m de profundidad, bajo el mar Báltico, depositándose los residuos en depósitos ubicados en pozos, rellenos a su vez éstos de bentonita.

Un almacenamiento temporal para el combustible gastado de las centrales.

A él se llevan los residuos después de haber sido almacenado durante por lo menos 1 año en las piscinas de las centrales nucleares.

Ya en operación en la localidad de Oskarshamn (foto 4.1.57), tendrá capacidad para almacenar 7800 toneladas de residuos en piscinas de agua durante 40 años. En este tiempo su actividad se reducirá en un 90%, siendo entonces transportados a un emplazamiento definitivo, cuya ubicación aún no ha sido seleccionada.

Un almacenamiento definitivo.

El combustible gastado situado en tubos metálicos se introducirá en contenedores

sellados de cobre (o de una aleación de cobre y acero), con paredes de 6 cm de espesor. Estos se colocarán en pozos, llenos de bentonita compactada, que se ubicará en galerías de un depósito excavado a unos 500 metros de profundidad en materiales cristalinos (figura 4.1.21.).

Estos dispositivos permitirán mantener los residuos aislados de la biosfera durante 100.000 años, aunque debe señalarse que después de 1.000 años sólo perdurará menos del 1% de su radiactividad.

Está previsto que su selección y construcción esté terminada en el año 2.008 y que sea operativo aproximadamente en el año 2.020.

Hasta esta fecha continuará implementándose un amplio programa de investigación que permita seleccionar el emplazamiento idóneo, así como disponer de los instrumentos y técnicas precisas para su construcción y caracterización, garantizando que el depósito funcionará satisfactoriamente durante el dilatado período de tiempo en que deben mantener aislados los residuos.

Dentro de este fin se enmarcan los estudios de caracterización ya realizados en diez áreas (todas en granitos menos una en gabros), desde el comienzo del proyecto, con más de 75.000 metros de sondeos perforados e investigados. Especial interés tienen los laboratorios subterráneos de Stripa (1980-1991), y de Åspö (en construcción desde 1991 a 1994), ya que en ellos pueden validarse los métodos y técnicas de caracterización de la formación geológica, así como aprender a resolver los problemas planteados en la ejecución de las obras en condiciones reales. Estas experiencias serán complementadas en los estudios de caracterización previstos en los próximos años en 3 zonas y en las investigaciones de detalle que se realizarán en dos de las áreas que se consideren como posible ubicación del almacenamiento definitivo.

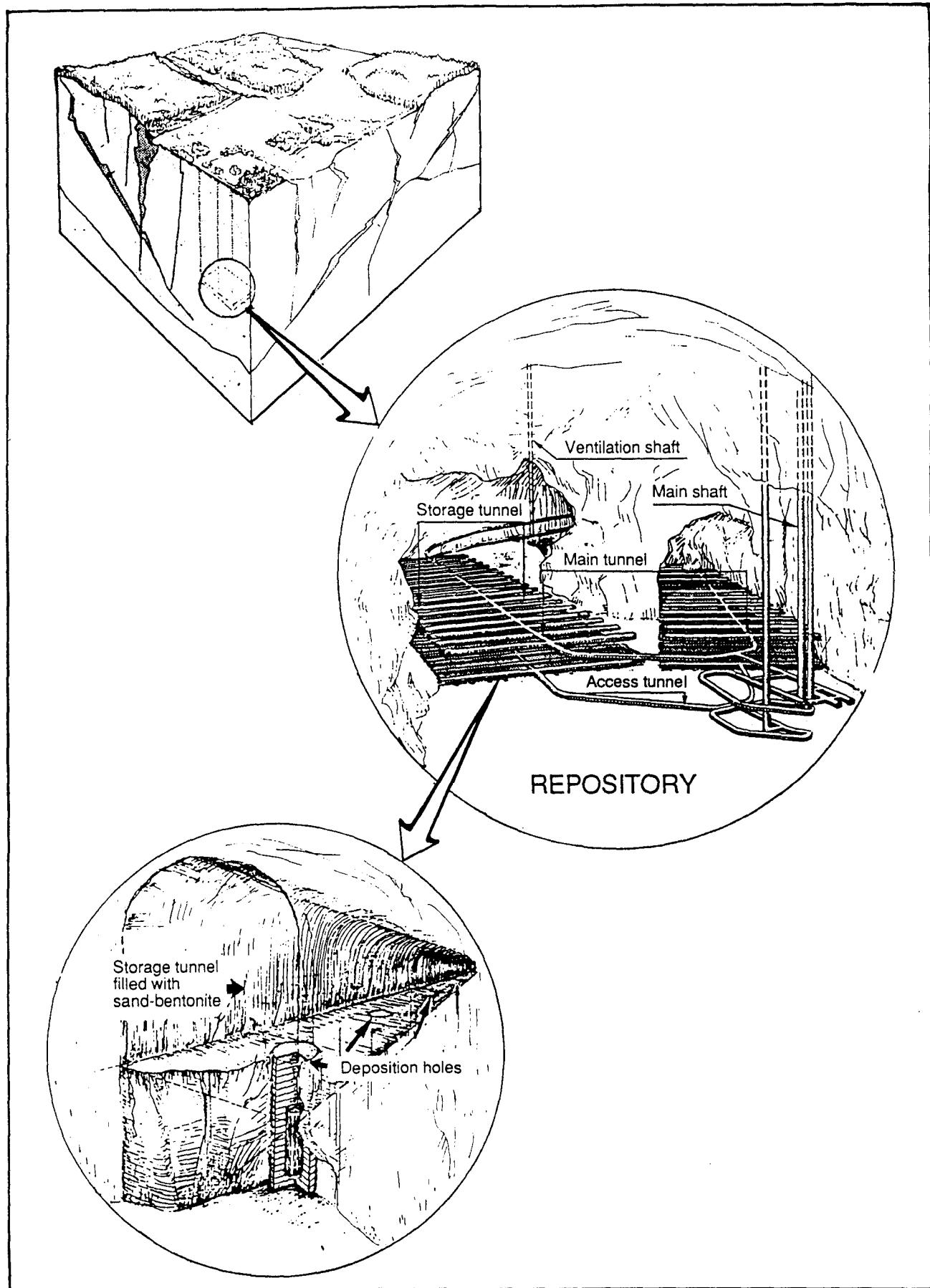


Fig. 4.1.21. Esquemas del almacenamiento definitivo para residuos radiactivos de alta actividad

4.1.3.2. CARACTERIZACION DE UN EMPLAZAMIENTO: OBJETIVOS Y ESTUDIOS A REALIZAR

En este apartado se describirá con detalle la metodología empleada en el programa de investigación sueco, con el objetivo de seleccionar un área para el establecimiento de un laboratorio de Investigación subterráneo y su caracterización, al ser ésta fácilmente extrapolable a los programas de investigación de otros países.

Los objetivos que pretenden cumplirse con este laboratorio son:

- Verificar la exactitud de los métodos empleados en la etapa de preinvestigación.
- Definir la metodología a aplicar en los estudios de detalle.
- Evaluar los modelos de flujo y transporte de solutos.
- Resolver los problemas técnicos e implementar la metodología aplicable en la etapa de construcción del almacenamiento.
- Evaluar la idoneidad del modelo conceptual previsto para el almacenamiento.
- Evaluar los métodos existentes para caracterizar las formaciones geológicas en todos aquellos aspectos de interés para la caracterización del almacenamiento definitivo de los residuos.
- Definir y mejorar los métodos previstos para adaptar el almacenamiento a las propiedades locales de la roca.
- Obtener un volumen de datos suficiente para poder analizar con garantía la seguridad en el emplazamiento.

En el caso del laboratorio de Åspö los trabajos a realizar para alcanzar los objetivos propuestos se dividieron en las siguientes fases:

I.- Fase de preinvestigación (1986-1990)

Su objetivo era definir el modelo conceptual y predecir como afectaría al sistema hidrogeológico

la construcción del laboratorio.

Los estudios realizados en la misma fueron:

1^a Etapa ("Siting stage")

análisis del terreno

Se efectuaron inicialmente estudios de carácter regional. Para ello, tras la recopilación bibliográfica de la información existente sobre el área analizada, se emplearon los métodos utilizables desde aviones y satélites. Estos permitieron realizar estudios topográficos (para elaborar modelos digitales de la topografía de los terrenos), análisis de lineamientos y cartografía (mediante fotografía aérea e imágenes de satélite), destacando especialmente los estudios geofísicos.

Se aplicaron los siguientes métodos geofísicos:

- Magnéticos
- Electromagnéticos
- Gravimétricos
- Radiométricos (U, Th, K)

El análisis de esta información permitió realizar un modelo litológico estructural a escala regional.

Posteriormente se efectuaron en las 3 áreas estudiadas (Äspö, Avrō y Laxemar), desde la superficie del terreno:

- Cartografía geológica
- Estudios geofísicos: estos fueron del tipo gravimétrico (con una estación por cada km²), magnético y de refracción sísmica.
- Estudios petrofísicos.
- Análisis hidrogeológico. Este consistió en un inventario de puntos de agua y en una campaña de sondeos a percusión de poca profundidad. En ellos se realizaron "loggs"

geofísicos, descripción de los testigos, testificación hidráulica y toma de muestras para análisis hidroquímicos.

Esta primera etapa concluyó con la selección de un área (Äspö), de las tres que habían sido estudiadas.

2^a Etapa ("Site description stage")

En esta segunda etapa se realizaron los siguientes estudios en la zona de Äspö:

- Cartografía geológica de detalle.
- Estudios geofísicos de detalle.
- Perforación de 3 sondeos profundos en Äspö y 1 en la zona de Laxemar para ser empleado como área de referencia.

En ellos se efectuaron "loggs" geofísicos, y una testificación hidrogeológica muy precisa, siguiendo la metodología que será descrita al final de este apartado.

Estos trabajos permiten la realización de un modelo conceptual revisado de la zona estudiada que contemple la litología, estructuras tectónicas regionales, sistemas de fracturación locales, así como las características hidrogeológicas e hidroquímicas de las formaciones analizadas.

Al finalizar esta etapa se seleccionará el extremo sur de la isla de Äspö como el área más favorable.

3^a Etapa ("Prediction stage")

En ellas se efectuó una caracterización más precisa de la zona seleccionada (extremo sur de la isla), y se predijo como afectaría la construcción del laboratorio al régimen hidrogeológico del volumen rocoso analizado.

Para ello se perforaron sondeos con la orientación y profundidad precisa para determinar la dirección y caracterizar las zonas de fracturas, estructuras importantes y anomalías en el macizo rocoso.

En estos sondeos, varios de ellos profundos, se realizó una testificación hidráulica, incluyendo test de interferencia, para realizar una caracterización tridimensional y definir con precisión los principales conductos. Igualmente se utilizaron para investigar el área del túnel para acceso al laboratorio.

La realización de ensayos de bombeo de larga duración y los estudios con trazadores permitieron caracterizar la conexión entre los principales conductos y predecir los efectos de las obras de construcción del laboratorio. Toda esta información hizo posible calibrar el modelo numérico que se utilizó para predecir la influencia de la excavación en el funcionamiento hidrogeológico del área afectada (foto 4.1.58).

En total en la fase de preinvestigación (Etapas 1 a 3), se perforaron 14 sondeos a rotación con obtención de testigo (con profundidades de 99 a 1002 m), y 20 sondeos a percusión (comprendidos entre 93 y 200 metros de profundidad), en la Isla de Åspö.

En las otras dos áreas estudiadas se perforaron 4 sondeos a rotación con obtención de testigo (con profundidades de 97 a 1078 m) y 15 sondeos a percusión (comprendidos entre 63 y 175 m de profundidad).

Durante las tres etapas descritas previamente se implementó un programa de monitorización de este área (e incluso de las otras dos que se estudiaron al comienzo de la investigación). Este debe comenzar tan pronto como sea posible después de los test preliminares en los sondeos y continuar durante toda la fase de preinvestigación, ya que la información que proporciona es imprescindible para efectuar predicciones de como afectarán las excavaciones al funcionamiento hidrogeológico del sistema.

En la fase de preinvestigación del laboratorio de Åspö consistió en:

- Monitorización de 142 secciones de sondeos. De ellas 118 fueron monitorizadas mediante sistemas automáticos de registro y 24 manualmente.
- La periodicidad fue: medidas cada 2 ó 4 horas en los registros automáticos y semanalmente en los manuales.
Calibración mensual: transferencia de datos para su procesado cada 2 meses.
- Monitorización de otros datos hidrogeológicos y meteorológicos. Se controló la presión

barométrica, temperatura, precipitación, evapotranspiración potencial y mareas terrestres.

Por último, cabe señalar la gran utilidad de los sondeos monitorizados para ser empleados como piezómetros durante la realización de ensayos de bombeo y test de interferencia.

II.- Fase de construcción (1990-1994)

En la fase de construcción
En ella se realiza una monitorización detallada de los efectos producidos por la construcción del laboratorio, lo que permitirá efectuar una validación de las predicciones realizadas en la fase de preinvestigación y analizar las variaciones producidas en el sistema hidrogeológico en tiempo real.

Para ello se definió el "Sistema de Monitorización Hidrogeológica" (H.M.S.) (figura 4.1.22).

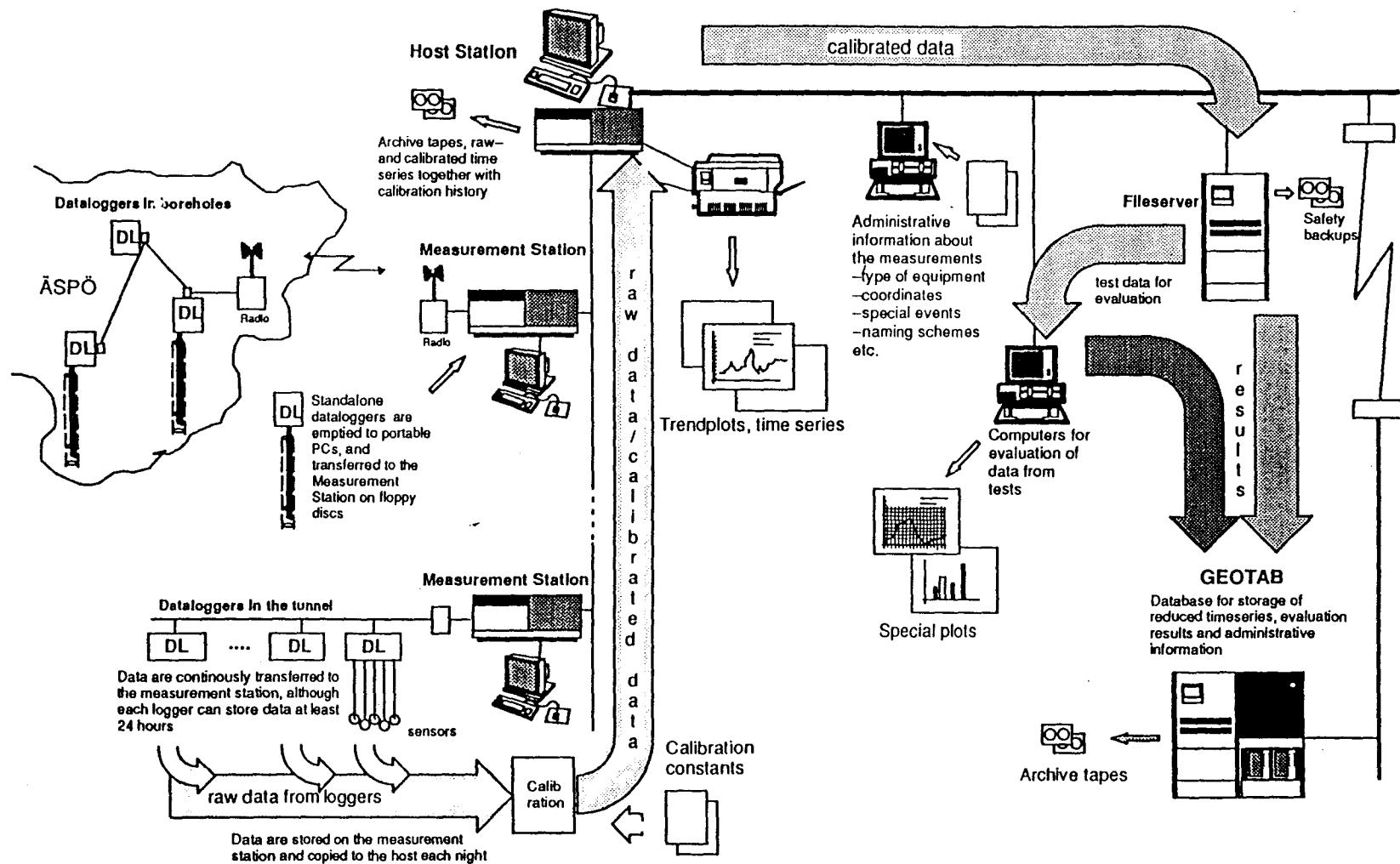
En éste los datos obtenidos mediante los "dataloggers" de los sondeos realizados desde superficie (existentes desde la fase de preinvestigación), son enviados por radio a una estación de medida, existiendo otra para almacenar la información procedente de los "dataloggers" instalados en la propia galería, que controlan las entradas de agua a la galería, los bombeos desde ésta, así como de los sondeos perforados desde la misma.

Ambas están conectadas a una estación central ("Host Station"). El sistema incluye un paquete de software para el procesado de los datos, control de calidad y presentación de los resultados.

El H.M.S. está conectado a las oficinas centrales de SKB que disponen de un ordenador VAX (empleado para la base de datos GEOTAB), un CONVEX (utilizado para los cálculos numéricos), y diversos PCs.

También tienen acceso otras oficinas de SKB así como universidades y empresas consultoras ~~envueltas~~ en el programa.

Fig. 4.1.22. Sistema de monitorización hidrogeológica (Äspö)



Anexo V

Para gestionar toda la información obtenida se creó la base de datos GEOTAB Integrada en el HMS. En ella los datos están almacenados en tablas.

El contenido de éstas es:

- "BACKGROUND":Localización de las áreas estudiadas y de los sondeos, así como información sobre la perforación de éstos.
- "GEOLOGY":Información geológica de superficie y de sondeos.
- "GSGPHYS":Datos de geofísica de superficie.
- "BHGPHYS":Investigaciones geofísicas desde sondeos.
- "PETRO":Medidas petrofísicas obtenidas en laboratorio de muestras de roca procedentes de superficie y de sondeos.
- "HYDRO":Almacena la información de todas las investigaciones hidrogeológicas. Se subdivide en 15 métodos de los cuales 11 se refieren a investigaciones efectuadas y otros 4 comprenden datos que han sido calculados en base a los resultados de los otros métodos.
- "CHEMICAL":Metodología y resultados obtenidos en la caracterización hidroquímica, análisis, así como los cálculos realizados a partir de éstos.
- "TRACER":Datos sobre los ensayos de trazadores.
- "DOC":Información sobre la documentación e informes generados en el proyecto.

Esta estructuración permite añadir las tablas que se considere necesario en las siguientes fases de la investigación.

El laboratorio, ubicado a una profundidad de 500 metros (foto 4.1.59), contará con un sistema de túneles y una rampa de acceso.

En la actualidad (Septiembre, 1992), se está construyendo el pozo principal de acceso al laboratorio (fotos 4.1.60 y 4.1.61), así como la rampa de acceso (fotos 4.1.62 y 4.1.63).

El modo de trabajo consiste en realizar sondeos desde dicha rampa, con una longitud de unos 50 metros, para conocer los materiales y fracturas que serán atravesados antes de continuar la perforación de la galería.

En ésta se realiza, según programa su construcción, descripciones detalladas de los materiales atravesados, fracturas y zonas de alteración.

Su realización ha puesto de manifiesto la existencia de fracturas que han debido ser selladas debido a los altos caudales que proporcionan (15-20 l/s), (fotos 4.1.64 y 4.1.65).

Cabe señalar que los packers que se emplean en los sondeos perforados lateralmente desde la galería para caracterización hidrogeológica, son mecánicos. Esto se debe al riesgo de inundación que supondría un corte accidental de la línea de inflado.

III.- Fase de operación (> 1995)

Una vez en operación se realizarán en el laboratorio diversos test y experimentos relativos al almacenamiento definitivo que permitan responder a los interrogantes planteados previamente.

El coste total de las tres fases será de unos 9.500 millones de pesetas (500 millones de SEK), de los que prácticamente la mitad se destinarán al propio laboratorio.

4.1.3.3. SECUENCIA DE ACTIVIDADES A REALIZAR EN LOS SONDEOS

Dada la diversidad de métodos que deben utilizarse en los sondeos durante las 3 fases citadas, con el fin de obtener la información necesaria para caracterizarlos con precisión, es imprescindible definir una estructura lógica de cuándo y cómo deben aplicarse. Se dispondrá así de los diferentes tipos de medidas economizando tiempo y dinero. Permite además, especialmente, evitar las interferencias entre los diferentes técnicos envueltos en el programa, así como poder modificar los trabajos previstos en función de los resultados parciales.

Las actividades a realizar son:

A. Sondeos a rotación (con obtención de testigo)

En este tipo de sondeos se efectúa una caracterización mucho más precisa que en los realizados a percusión en el programa de investigación sueco.

Cabe señalar, no obstante, que la secuencia que será expuesta a continuación no se realiza completa en todos los sondeos.

Consta de:

A.1. Perforación

Se utiliza normalmente un diseño telescópico del sondeo (figura 4.1.23), que permite reducir la contaminación creada por el fluido de perforación en el agua de la formación, respecto a la producida empleando los sistemas convencionales de rotación. Esto se consigue al disminuir la presión hidráulica en el anular gracias al bombeo mediante aire comprimido.

Este sistema permite además la realización de un número de ensayos mayor, al permitir instalar bombas convencionales en la parte superior.

El agua empleada como fluido de perforación procede, siempre que sea posible, de la misma formación. Se le añade un trazador (normalmente uranina con concentraciones de 1 mg/l), para poder evaluar, al tomar muestras de agua, la contaminación producida en el agua de la formación.

Para obtener el modelo telescopico se perfora en primer lugar a rotación 101 m con un diámetro de 66 mm. Este es ampliado, empleando un sistema de percusión, hasta un diámetro de 155 mm en los cien primeros metros.

Se instala entonces una tubería auxiliar en esos 101 metros y continúa la perforación a rotación (con el sistema convencional que permite alcanzar profundidades de 1.000 a 1.500 m), con un diámetro de 56 mm.

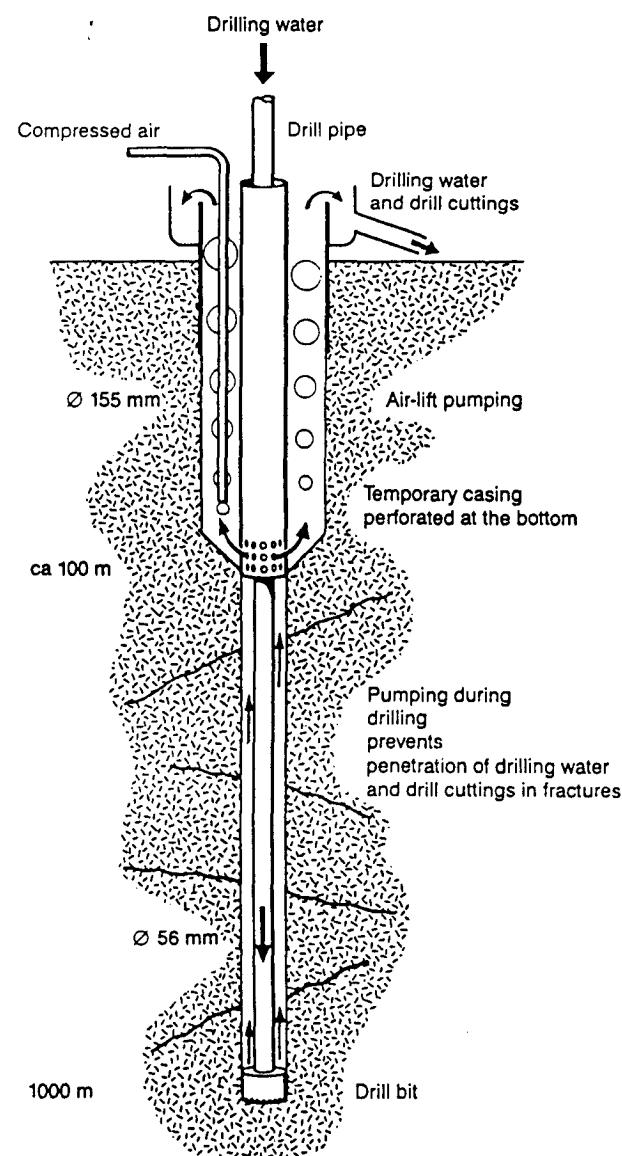


Fig. 4.1.23. Diseño telescopico de los sondeos con bombeo mediante aire comprimido

Este es en ocasiones de 76 mm, especialmente cuando deben realizarse medidas de stress y para disminuir las desviaciones en las perforaciones.

Para evitar vibraciones durante la perforación se instalan estabilizadores en la tubería auxiliar cada diez metros. Los diez últimos metros de esta tubería están perforados, para permitir que el agua pase al espacio anular existente entre ésta y la pared del sondeo.

Se instala dos tubos de aire de 1" en éste, hasta 5 ó 10 metros del final, inyectándose por ellos durante las labores de perforación. Las burbujas de aire hacen disminuir la densidad de la columna de agua y producen la subida del agua, materiales perforados y aire.

La capacidad del bombeo mediante aire comprimido es, normalmente, de unos 5 a 10 l/minuto, empleándose un compresor de aire eléctrico con una capacidad de flujo de 3-8 m³/minuto y 13 bares de presión.

Como el bombeo se realiza continuamente (tanto durante la perforación como en las interrupciones), el volumen total de agua bombeado es de 2 a 3 veces mayor que el introducido en el sondeo como líquido de perforación.

Cada 100 metros se detiene la perforación y se realiza un test hidráulico como será descrito en el apartado A.2.

A.2. Estudios a efectuar durante la perforación

Una vez perforados los 100 primeros metros, con un diámetro de 155 mm, se realiza el primer test hidráulico. Este consiste en un bombeo mediante aire comprimido, con flujo constante, durante algunas horas y el consiguiente registro de la recuperación durante un período similar.

Se procede además a la toma de muestras de agua durante el bombeo.

En el resto del sondeo los test hidráulicos se ejecutan durante interrupciones en la perforación, aproximadamente cada 100 metros.

Para ello se emplea un dispositivo (figura 4.1.24), consistente en un packer y una válvula instalada en el propio sondeo.

El packer se infla con agua a presión, estando la sección de ensayo conectada hidráulicamente a la tubería de perforación mediante la válvula. Se introducen líneas de aire 60-80 metros en la tubería conectados a un compresor de aire. El nivel se registra manualmente en un tubo auxiliar.

La duración del bombeo suele ser de 6 horas, empleándose un período similar para controlar la recuperación.

Este bombeo es utilizado para obtener muestras de agua aunque el sistema empleado produce cambios en las condiciones redox, por lo que deben tomarse estos resultados sólo como una primera aproximación.

A.3. Medidas tridimensionales "in situ" del "stress" de la roca

Se realizan durante la perforación de sondeos que tengan un diámetro mínimo de 76 mm (a los que corresponde un testigo de 62 mm).

Para su realización, una vez alcanzada la profundidad requerida, se continúa perforando con un diámetro de 36 mm durante algunos centímetros.

Se introduce entonces un dispositivo que cementa un tramo para tomar las medidas, siendo éste posteriormente reperforado a 76 mm de diámetro.

Una vez realizado el ensayo continúa la perforación del sondeo normalmente.

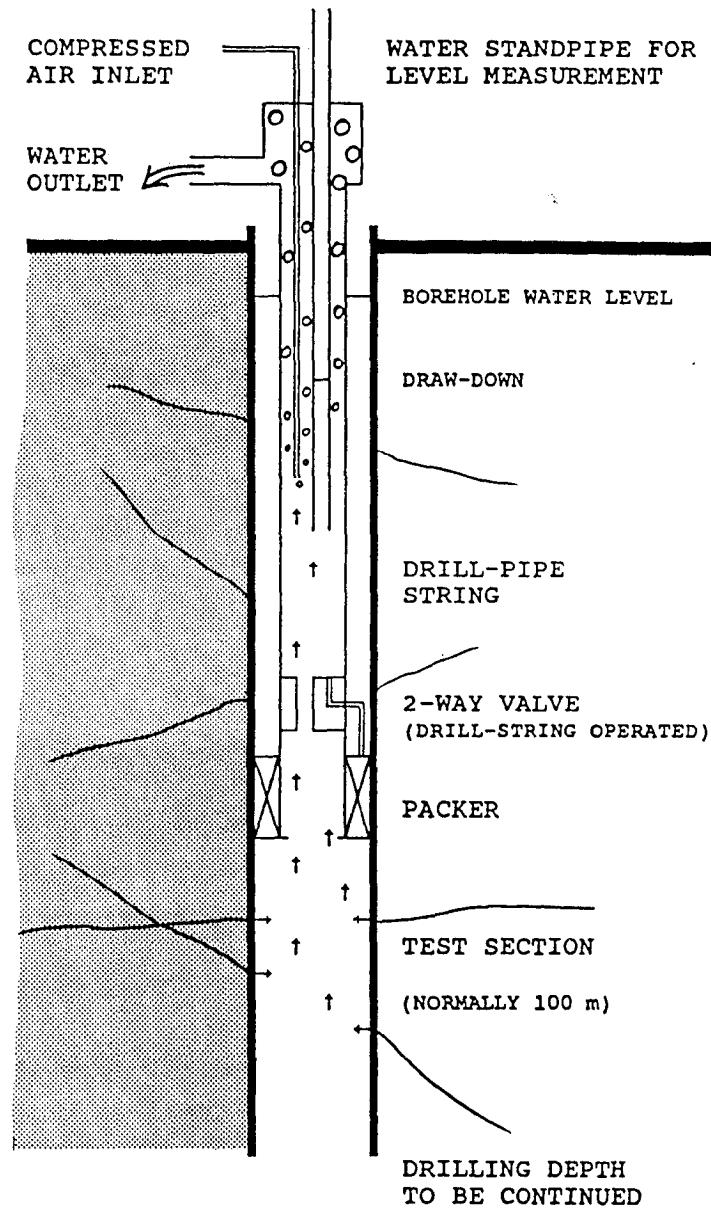


Fig. 4.1.24. Dispositivo para testificación hidráulica durante la perforación

A.4. "Core logging"

Se realiza en dos etapas. La primera consiste en una descripción preliminar del testigo a pie de sondeo, en la que se registran solamente sus características más significativas.

La segunda etapa, realizada en el laboratorio, debe concluir con una descripción muy detallada del testigo obtenido. Para realizarlo suele emplearse el sistema "Petro Core". Este instrumento permite medir

automáticamente la longitud de cada pieza del testigo, comparándose la total con la correspondiente a la longitud perforada. Posee además un software específico para proceder a la entrada de datos (en intervalos de 5 cm).

Los resultados pueden mostrarse de diferentes maneras inmediatamente después de haber sido cargados. Permite además realizar un análisis estadístico y la presentación gráfica de los resultados.

Lo primero que debe realizarse es una "reconstrucción" del testigo que, aunque requiere mucho tiempo, es necesaria para medir los ángulos de las fracturas. En ocasiones se utiliza para ello el "Acoustic televiwer" o imágenes de televisión.

Una vez concluida se pinta una línea de referencia a lo largo del testigo y éste es fotografiado.

Los datos que se introducen en los ficheros del sistema son los siguientes:

- Litología. Se registran las variaciones de litología mayores de 100 cm.
- Roturas. Son las producidas por efecto de la perforación, en ellas no hay mineralizaciones ni alteraciones.
- Fracturas. Se dividen en naturales y selladas. Ambas poseen mineralizaciones y/o alteraciones. Las primeras parten además el testigo, lo que no ocurre con el segundo tipo.
- Venas. No se emplea en su sentido genérico, resumiéndose para cambios litológicos con potencia menor de 100 cm, no parten el testigo.

- Orientación de fracturas y otras estructuras:

- * Ángulo de inclinación respecto al eje del testigo.
- * Ángulo respecto a la línea de referencia en el testigo.
- Zona de fracturas. Se utiliza para describir aquellos tramos del testigo que están tan fracturados que es imposible reconstruirlos.
- Alteración. Se describe el tipo e intensidad.

Posteriormente se desarrolló otro, de tipo acústico, que tiene mayor precisión. Se obtiene la velocidad de flujo realizando una medida precisa de la diferencia de tiempo de tránsito entre dos ondas ultrasónicas. Una propagada una distancia por el agua y otra transmitida simultáneamente en la dirección opuesta en la misma distancia.

El rango de medidas es de 0.001 m/s a 3 m/s y la resolución es de 0.001 m/s. Estos valores corresponden a valores de flujo de 0.15 l/minuto, 450 l/minuto y 0.15 l/minuto respectivamente en sondeos de 56 mm de diámetro.

Este "flow-meter" permite medir, además del flujo, la temperatura (-5° a 45°C con resolución de 0.001°C), y la resistividad (sensor de conductividad de 15-0.13 Ohmm con resolución de 0.03 mScm, y de resistividad, 4-500 Ohmm, con resolución de 0.1 Ohmm).

El instrumento debe calibrarse para los diferentes diámetros y caudales, a ser posible antes de emplearse cada vez. Esta operación suele durar unas 2 ó 3 horas.

A.7. "Loggs" geofísicos

En el programa de investigación sueco se emplean los sistemas "BOREMAC" o "WELLMAC", para realizar la testificación geofísica en sondeos de 56 mm de diámetro o superiores a profundidades superiores a los 1.000 m.

Los métodos empleados normalmente, son:

- Desviaciones en el sondeo (Boremac D2, Maxibor).
- Caliper.
- Radiación gamma natural.
- Gamma - gamma (densidad).
- Neutrón (porosidad).
- Resistividad.

- Sonic.
- Susceptibilidad magnética.
- Potencial espontáneo.
- Temperatura.

A.8. Técnicas geofísicas especiales

Estas son:

- Radar.
- Sísmica (VSP).
- Televisión (B/N).
- "Acoustic televiever".

A.9. Ensayos de inyección

El método de trabajo más frecuente consiste en caracterizar inicialmente secciones de 20 ó 30 metros de longitud mediante ensayos con una duración de 30 minutos, (15 minutos para la inyección y otros tantos para controlar la recuperación).

Se realizan también ensayos en secciones más pequeñas (2-10 m), para obtener información de las zonas de fracturas y determinar su frecuencia. Estos suelen realizarse con mayor precisión y consisten en unas dos horas de inyección y otras tantas de recuperación.

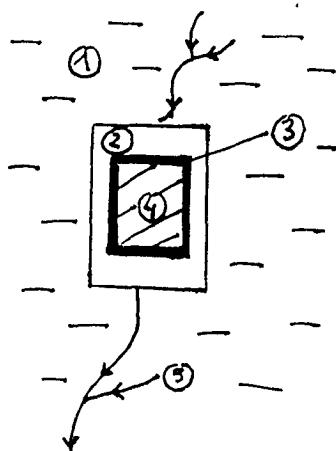
La realización de estos ensayos empleando el "Pipe String System", para un sondeo de 1.000 metros supone unos 40 ó 50 días. Este tiempo es menor si se emplea el "Umbilical Hose System".

A.10. Caracterización hidroquímica de detalle

Es sumamente importante realizar una caracterización hidroquímica precisa, ya que la composición del

agua afecta enormemente a la seguridad del almacenamiento y es esencial para caracterizar el funcionamiento hidrogeológico del sistema.

Esta influencia se manifiesta en diferentes ámbitos, como se refleja en el esquema siguiente:



1. Condiciones naturales del medio geológico: Influencia de la cobertura, procesos de disolución y precipitación.
2. Estabilidad del material de relleno ("Buffer"), que separa los contenedores del medio geológico, analizando los principales constituyentes del agua subterránea.
3. Corrosión del contenedor. Deben considerarse el pH, Eh y determinados elementos (Cl^- , S^{2-}).
4. Disolución de los residuos. Analizando pH, Eh, CO_3H^- , PO_4^{3-} y elementos orgánicos.
5. Migración de radionuclidos. Estará afectada por procesos de sorción, precipitación y disolución.

Las muestras se obtienen especialmente en las zonas de fracturas aislando las previamente mediante packers para evitar mezclas de agua de diferentes tramos.

La bomba eléctrica desarrollada a tal fin permite bombejar caudales muy reducidos (50-60 ml/minuto), durante una o dos semanas.

El agua debe analizarse lo antes posible por los cambios que se producen en su composición.

La unidad móvil de hidroquímica (descrita en apartados precedentes), permite analizar en el propio sondeo el pH, Eh y temperatura. En superficie se determina inicialmente, además de las anteriores, la conductividad eléctrica.

A continuación en el propio laboratorio de campo se analizan diversos elementos (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , CO_3H^- , Cl^- , SO_4^{2-} , SiO_2 , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+}), cuya composición podría variar con el traslado a laboratorios más lejanos. Se controla además el contenido del trazado empleado durante la perforación (en general uranina).

Hay otros elementos que por el contrario se analizan en otros laboratorios (U , Ra , Rn , Th , ${}^{2\text{H}}$, ${}^{3\text{H}}$, ${}^{13\text{C}}$, ${}^{14\text{C}}$, ${}^{18\text{O}}$, ${}^{238\text{U}}/{}^{234\text{U}}$, elementos orgánicos y ciertos gases).

A.11. Hidrogeología

Estos estudios tienen como objetivo determinar la dirección y magnitud del "stress" de las rocas para ayudar a la comprensión del funcionamiento hidrogeológico. Además, se utiliza al planificar y diseñar el almacenamiento, dada la influencia que tienen sobre su estabilidad.

La magnitud del "stress" se determina analizando los registros presión-tiempo obtenidos al inducir y presurizar (inyectando agua a alta presión), una fractura en las paredes del sondeo. Su dirección se calcula mediante impresiones orientadas de estas fracturas inducidas.

A.12. Monitorización del nivel piezométrico

En primer lugar se instala un sistema multipacker, lo que permite aislar diferentes secciones y realizar la monitorización de las mismas independientemente. Esta continuará durante las siguientes fases de construcción y operación.

A.13. Monitorización hidroquímica

Consistirá en la toma de muestras y realización de los consiguientes análisis.

A.14. Estudios de dilución

Los estudios de dilución de trazadores en sondeos pueden aplicarse en condiciones naturales (para determinar el flujo del agua subterránea), o durante ensayos de bombeo (para obtener información adicional sobre la distribución del flujo en los conductos en conexión con el sondeo).

Consisten básicamente en introducir un trazador en una sección aislada mediante packers y medir la dilución de su concentración, debida al flujo, a lo largo del tiempo, para lo cual existen diferentes equipos.

La duración de estos ensayos suele estar comprendida entre 5 y 10 días dependiendo del flujo existente.

En la figura 4.1.25. se muestra como ejemplo las investigaciones realizadas en diferentes sondeos de rotación con obtención de testigo, durante la fase de preinvestigación en la caracterización del laboratorio de Åspö.

| | CORED BOREHOLES KAS02-KAS14 | | | | | | | | | | | | | | KBH 02 | KLX 01 |
|---------------------------------|-----------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 708/45 | | |
| LENGTH (M)/DIP | 824/85 | 1002/85 | 481/80 | 560/85 | 602/80 | 604/59 | 601/80 | 450/60 | 99/60 | 249/89 | 380/69 | 408/62 | 212/60 | 702/85 | KBH 02 | KLX 01 |
| CORE LOGGING | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lithology | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Thin section analyses | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Chemical rock analyses | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Fracture mapping + RQD | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Fracture mineral analyses | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| TV-orientation/Televue* | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| PETROPHYSICS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Density + Porosity | ● | | | | | | | | | | | | | | | ● |
| Magn. suscep. + Remanence | ● | | | | | | | | | | | | | | | ● |
| Resistivity + IP | ● | | | | | | | | | | | | | | | ● |
| U,Th,K | ● | | | | | | | | | | | | | | | |
| GEOPHYSICAL LOGGING | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Borehole deviation | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Caliper + Magnetic suscept. | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Sonic | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Natural gamma | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Density + Neutron | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Resistivity+Spontaneous potent. | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Temperature | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Borehole fluid resistivity | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Radar | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| ROCK STRESS MEASUREMENT | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hydraulic fracturing | ● | ● | | | | | | | | | | | | | | |
| Overcoreing | | | | | ● | | | | | | | | | | | |
| Lab. tests | ● | ● | | | | | | | | | | | | | | |
| GEOHYDROLOGY | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Airlift test, intervals | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Injection test, 3m interval | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Injection test, 30m interval | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Spinner(flow meter logging) | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Pumping test | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Pumping interference test | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Dilution test, intervals | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Observation, packer settings | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Fluid conductivity | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Circulation sections | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| GROUNDWATER CHEMISTRY | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Complete chemical character. | ● | ● | ● | ● | | | | | | | | | | | | ● |
| Sampling during pumping test | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Sampling during drilling | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Fracture mineral statistics | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Fracture mineral chemistry | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |

Fig. 4.1.25. Investigaciones realizadas en diferentes sondeos de rotación durante la fase de preinvestigación en la caracterización del laboratorio de Äspö

B. Sondeos a percusión

Se emplean básicamente en las primeras etapas de la caracterización hidrogeológica de un área para verificar anomalías geológicas o hidrogeológicas indicadas por los estudios de superficie.

La secuencia de actividades a realizar en ellos dependerá del objetivo perseguido. No obstante, una distribución típica es la siguiente:

B.1. Perforación

El diámetro de perforación más frecuente es de 115 mm (4"), aunque también se empleó en algunos casos 165 mm (6"). La profundidad a la que se realizan suele ser inferior a los 200 metros, debiéndose conectar en serie dos o más compresores, o utilizar algún amplificador de presión, para alcanzar profundidades mayores.

Las muestras obtenidas se analizan de "visu" y mediante un microscopio binocular para describir los materiales atravesados, la localización de las fracturas, así como las mineralizaciones y secciones de alteración.

El registro de la velocidad de perforación servirá también para complementar dicha información.

B.2. Estudios a efectuar durante la perforación

Se realiza una toma de muestras de agua y testificación hidráulica cada 50 metros y al terminar la perforación.

Para ello se emplea el bombeo mediante aire comprimido y se controla la posterior recuperación de niveles de modo similar a los realizados para los sondeos a rotación ya descritos.

B.3. Ensayo de bombeo

Se ejecuta al terminar la perforación. Es similar al ya descrito en sondeos de rotación. Durante el mismo se procede también a tomar muestras de agua.

B.4. "Logs" geofísicos

Se emplean los métodos estandar ya indicados en el apartado A.7.

B.5. Técnicas geofísicas especiales

Cabe destacar el rádar aunque se realiza en pocos sondeos.

B.6. Monitorización del nivel piezométrico

Suele efectuarse solamente en una o dos secciones. Continuará durante las siguientes fases de construcción y operación.

En la figura 4.1.26. se muestra como ejemplo las investigaciones realizadas en diferentes sondeos de percusión durante la fase de preinvestigación en la caracterización del laboratorio de Åspö.

Fig.4.1.26. Investigaciones realizadas en diferentes sondeos de percusión durante la fase de preinvestigación en la caracterización del laboratorio de Åspö.

C. Estudios empleando varios sondeos

Tienen especial importancia por su utilidad para efectuar una caracterización hidrogeológica regional, al afectar a un volumen de roca sensiblemente superior al envuelto en los casos anteriores (A y B).

C.1. Ensayos de bombeo con sondeos de observación

Se efectúa un ensayo de bombeo en un sondeo abierto (sin aislar secciones del mismo), controlándose la evolución de niveles en otras captaciones empleadas como piezómetros. Para ello suele utilizarse sistemas de monitorización como los ya indicados previamente.

La permeabilidad más alta que puede calcularse es de 10^{-3} m/s debido a la capacidad de las tuberías para portar agua, ya que no podrían producirse descensos de nivel si ésta fuese mayor.

C.2. Ensayos de bombeo de Interferencia

Se realizan con el objetivo de definir la geometría y características de los principales conductos. Consisten en bombear en un tramo seleccionado de un sondeo (aislado mediante packers), controlándose la evolución de niveles en tramos seleccionados de los sondeos de observación.

Además se toman muestras de agua durante el bombeo, se registran los parámetros químicos de la misma y en ocasiones se realizan ensayos de dilución en tramos seleccionados, para analizar el efecto producido por el bombeo.

Los ensayos de interferencia suelen consistir en dos días de bombeo y otros dos de recuperación, si bien, en algún caso su duración ha sido mucho mayor (hasta de 2 meses de bombeo y 1 de recuperación).

C.3. Ensayos de bombeo de larga duración

Afectan a un gran volumen de roca, por lo que permite calcular los parámetros hidráulicos con gran precisión.

Se bombea durante 2 a 3 meses en un sondeo abierto y se monitoriza la evolución en los empleados como piezómetros durante 1 ó 2 meses.

Como en el caso anterior, en ocasiones se analiza mediante ensayos de dilución las modificaciones producidas en el flujo en secciones aisladas mediante packers.

C.4. Ensayos de trazadores

Tienen una gran importancia, ya que proporcionan información sobre el flujo, su dirección, conectividad entre diferentes fracturas y geometría de las mismas, así como relativas a las características del transporte de solutos en la formación analizada (tiempo de residencia, fenómenos de dispersión, asorción, etc.).

Suelen realizarse en conjunción con un ensayo de bombeo de larga duración empleando diversos tipos de trazadores, entre los que cabe destacar la uranina e isótopos radiactivos (I-131 . In-114 . Re-186).

Hay dos grandes ventajas al emplear trazadores radiactivos. Una de ellas es que son fáciles de detectar y la segunda es que desaparecen transcurrido un cierto período de tiempo, por lo que no producen cambios en la hidroquímica del medio.

La distancia entre los sondeos de inyección y extracción del trazador en los estudios realizados por SKB, ha sido siempre inferior a los 400 metros. Para controlar la entrada de los trazadores a los sondeos de extracción se toman muestras de agua diariamente en los tramos donde las fracturas conductivas (previamente determinadas en la testificación hidráulica), son intersectadas por el sondeo. Para ello se emplean tubos independientes que alcanzan esas zonas de interés.

| | | |
|----------------|---------------------|--------------------|
| PROYECTO PUMOC | REFERENCIA PUMDOC 7 | LOCALIZADO 131-2-7 |
|----------------|---------------------|--------------------|

**ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE MEDIOS DE BAJA PERMEABILIDAD
PROGRAMA GLOBAL DE ACTUACION
(REVISION NUM-1)**

| | | |
|----------------|---------------------|--------------------|
| PROYECTO PUMOC | REFERENCIA PUMDOC 7 | LOCALIZADO 131-2-7 |
|----------------|---------------------|--------------------|

INDICE

1. **ANTECEDENTES**
2. **FORMACION GEOLOGICA A ENSAYAR**
3. **OBJETIVOS**
 - 3.1. **PERFORACION**
 - 3.1.1. Método de perforación
 - 3.1.2. Programa de perforación
 - 3.1.3. Fluido de perforación, tratamiento y trazado del mismo
 - 3.1.4. Toma de testigos y manipulación
 - 3.1.5. Levantamiento geológico y control del sondeo
 - 3.1.6. Limpieza del sondeo
 - 3.1.7. Embalaje de protección de las muestras para su posterior análisis
 - 3.1.8. Análisis en Laboratorio
 - 3.1.9. Incidencias y consideraciones respecto al programa de perforación
 - 3.2. **TESTIFICACION GEOFISICA DE APOYO A LA INTERPRETACION GEOLOGICA E HIDROGEOLOGICA**
 - 3.2.1. Introducción
 - 3.2.2. Objetivos y herramientas
 - 3.2.3. Juego de logs
 - 3.3. **DETERMINACION DE PARAMETROS HIDRAULICOS**
 - 3.3.1. Descripción de los principales ensayos
 - 3.3.2. Elección de ensayos a realizar
 - 3.3.3. Protocolo de actuación
 - 3.4. **CARACTERIZACION HIDROQUIMICA PRELIMINAR**
 - 3.5. **INSTRUMENTACION PERMANENTE DE CONTROL Y SEGUIMIENTO**
 - 3.5.1. Medidas en sondeos a diferentes profundidades
 - 3.5.2. Sistemas multipacker de monitorización

| | | |
|----------------|---------------------|--------------------|
| PROYECTO PUMOC | REFERENCIA PUMDOC 7 | LOCALIZADO 131-2-7 |
|----------------|---------------------|--------------------|

4. **RECURSOS HUMANOS Y ECONOMICOS PARA LA REALIZACION DE LOS OBJETIVOS**
 - 4.1. **SONDEO DE INVESTIGACION**
 - 4.1.1. Personal
 - 4.1.2. Técnicas a emplear
 - 4.1.3. Coste
 - 4.2. **TESTIFICACION GEOFISICA DE APOYO A LA INTERPRETACION GEOLOGICA E HIDROGEOLOGICA**
 - 4.2.1. Personal
 - 4.2.2. Propuestas sobre técnicas a emplear
 - 4.2.3. Coste
 - 4.3. **DETERMINACION DE PARAMETROS HIDRAULICOS**
 - 4.3.1. Personal
 - 4.3.2. Técnicas a emplear
 - 4.3.3. Coste
 - 4.4. **CARACTERIZACION HIDROQUIMICA PRELIMINAR**
 - 4.4.1. Personal
 - 4.4.2. Técnicas a emplear
 - 4.4.3. Coste
 - 4.5. **INSTRUMENTACION PERMANENTE DE CONTROL Y SEGUIMIENTO**
 - 4.5.1. Personal
 - 4.5.2. Técnicas a emplear
 - 4.5.3. Coste
5. **BIBLIOGRAFIA**
6. **GLOSARIO DE TERMINOS**
7. **ESTIMACION PROVISIONAL DE GASTOS**

| | | |
|----------------|---------------------|--------------------|
| PROYECTO PUMOC | REFERENCIA PUMDOC 7 | LOCALIZADO 131-2-7 |
|----------------|---------------------|--------------------|

1. ANTECEDENTES

El presente documento se encuadra dentro del "Acuerdo Específico entre la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (ENRESA) y el Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE) para Estudio Hidrogeológico de medios de baja permeabilidad".

El fin último del citado Acuerdo es el diseño y construcción de una unidad móvil de caracterización hidrogeológica que permita la ejecución de ensayos hidráulicos y facilite el acceso a los lugares de ensayo.

En primer lugar se ha realizado una síntesis del estado del arte en función: de la bibliografía recopilada en la Base de Datos PUMOC.DBF, de las estancias de trabajo en diversos países (Canadá, Suecia, Suiza) y en la Estación Experimental de "El Berrocal".

Actualmente se está trabajando en el diseño preliminar y en las especificaciones técnicas de la Unidad Móvil de Hidrogeología, fase en la que se incluye el presente trabajo sobre el programa global de actuación, donde se recogen diversas alternativas y líneas de actuación.

2. FORMACION GEOLOGICA A ENSAYAR

La UMH (Unidad Móvil de Hidrogeología) centrará su actividad, en principio, en la realización de ensayos hidráulicos en rocas plutónicas; éstas constituyen uno de los tres medios, junto con las arcillas y las sales, de mayor interés para el almacenamiento de diferentes tipos de residuos.

El estudio hidrogeológico de formaciones graníticas con la finalidad indicada, difiere bastante de los métodos clásicos de la hidrogeología convencional. Son materiales cuya permeabilidad es de carácter secundario, debida a la existencia de fracturas y diaclasas.

3. OBJETIVOS

| SINTESIS | |
|------------------|---|
| <u>OBJETIVOS</u> | |
| * | Caracterización geológica del medio |
| * | Determinación de parámetros hidráulicos e hidroquímicos de la formación |
| <u>MEDIOS</u> | |
| * | Aplicación de Unidad Móvil de Caracterización |
| * | Construcción de un sondeo de 1.000 m |
| <u>PROBLEMAS</u> | |
| * | Tipo de perforación inadecuada |
| * | Utilización de fluidos de perforación |

Se considera la realización de un sondeo de 1.000 m. con los siguientes objetivos:

- 1.- Caracterizar geológicamente el medio.
- 2.- Determinar los parámetros hidráulicos de la formación en el entorno de perforación.
- 3.- Caracterizar hidroquímicamente la formación.

Para llevar a cabo estos objetivos es necesario realizar una perforación cuyas características constructivas permitan:

- Obtención de testigo continuo.
- Posibilidad de testificación geofísica.
- Introducir el equipo de testificación hidráulica y de muestreo hidroquímico.

Cada una de estas operaciones en principio, puede presentar problemas de interferencia con el resto, cuestionando la fiabilidad de la información obtenidas.

Para conseguir unos resultados óptimos sería necesario tener en consideración:

- No alterar la formación geológica por la utilización de herramientas de perforación inadecuadas.

| | | |
|----------------|---------------------|--------------------|
| PROYECTO PUMOC | REFERENCIA PUMDOC 7 | LOCALIZADO 131-2-7 |
|----------------|---------------------|--------------------|

- No utilizar fluidos de perforación que puedan deteriorar la formación geológica y las características hidráulicas e hidroquímicas de la misma.

3.1. PERFORACION

3.1.1. Método de perforación

Se trata de realizar un sondeo vertical en granito, con una profundidad final estimada en torno a unos 1000 m., con obtención de testigo continuo en toda la perforación. El objetivo final consiste en la caracterización del terreno perforado, mediante la información obtenida directamente del testigo y posteriores ensayos en laboratorio.

Teniendo en cuenta las características litológicas del terreno a perforar (roca consolidada, dura y abrasiva), la necesidad de obtener testigo continuo y la profundidad de 1000 m. del sondeo a ejecutar, se recomienda como método más idóneo el de ROTACION CON CIRCULACION DIRECTA Y OBTENCION DE TESTIGO CONTINUO.

El desarrollo de un programa de testificación que implique grandes diámetros puede plantear la realización de un programa mixto de perforación, utilizando, junto a la técnica antes señalada, el método de ROTOPERCUSION.

3.1.2. Programa de perforación.

El diseño del programa de perforación está supeditado al diámetro final del sondeo que a su vez se encuentra condicionado por el de las herramientas a utilizar en la testificación geofísica y en los ensayos hidrogeológicos.

Asimismo, en función de las características geológicas e hidrogeológicas estimadas de la formación a perforar, se han considerado tres fases de perforación. La primera, con una profundidad aproximada de 20 m, tiene por objeto sobrepasar el granito descompuesto o alterado. La segunda fase, con una profundidad aproximada de 200 m, tiene como objetivo facilitar el acceso al diámetro final necesario. No obstante, ésta puede ser modificada o eliminada en función de las incidencias que se originen durante la perforación. La tercera fase, con una profundidad aproximada de 1000 m, permitirá obtener el diámetro requerido.

Otro factor determinante, como el económico, pueden tener incidencia a la hora de plantear el programa de perforación, teniendo presente que el objetivo final debe cumplirse.

3.1.2.1. Alternativas en el programa de perforación.

Para conseguir los objetivos propuestos se plantean dos alternativas en el programa de diseño y construcción de los sondeos a realizar.

I) **REALIZACION DE UN SOLO SONDEO DE INVESTIGACION.**

En función del diámetro final se proponen los siguientes diseños constructivos:

A) **Método: ROTACION a DIRECTA con obtención de TESTIGO CONTINUO.**

Diámetro final del sondeo. Alternativas:

- 127 mm (5")
- 131 mm.
- 134 mm.

1^a FASE (De 0 - 20 metros)

La perforación se inicia con diámetro de 7 3/4" (196.8 mm) y batería convencional de doble tubo, obteniéndose un testigo de 6" (152.4 mm) de diámetro.

Realizado el programa de testificación en esta zona se efectuará una entubación con tubería SW de diámetros 168.2 x 152.4, y su cementación al objeto de aislar los posibles niveles productivos.

2^a FASE (De 20 - 200 metros)

Se procede a perforar, hasta una profundidad estimada de 200 metros, con corona de diamante de diámetro 146 mm, obteniéndose un testigo de 123 mm de diámetro con batería convencional de doble tubo.

Llevado a cabo el programa de testificación, se procederá, si fuera necesario, a entubar con tubería de diámetros 143 x 133.5 mm y su posterior cementación.

3^a FASE (De 200 - 1000 metros)

En esta última fase se han planteado varias alternativas:

- Perforación con wire-line de PQ, sobredimensionando la corona de 122.6 mm a 127 mm, y obteniendo un testigo de diámetro 85 mm.
- Perforación con batería convencional con testiguera de doble tubo de 131 mm, obteniéndose un testigo de diámetro 108 mm.
- Perforación con wire-line del tipo CHD-134 con un diámetro de 134 mm, obteniendo un testigo de 85 mm.

B) **Método:** ROTACION a DIRECTA con obtención de TESTIGO CONTINUO.

Diámetro final del sondeo : 6 1/4" (158.7 mm)

Fases establecidas en el diseño de la perforación:

1^a FASE (De 0 - 20m)

Se inicia la perforación con una batería convencional de 116 mm. y obtención de testigo de 86 mm. de diámetros respectivos. Posteriormente se reperfora el sondeo a 12 1/4" (311.1mm) y entubación de 230 X 220 mm.

2^a FASE (De 20 - 200 m)

Se continúa la perforación con batería convencional de 116 mm e igual diámetro de testigo. Posteriormente se reperfora con 8 1/2" (215.9 mm) y entubación de 180 X 170 mm.

3^a FASE (De 200 - 1000 m)

Perforación con batería convencional de diámetro 116 mm, 86 mm de testigo, y reperforación a 6 1/4" (158,7 mm).

Reperforación a 6 1/4" (158.7 mm)

REALIZACION DE UN SONDEO DE INVESTIGACION

| METODO | ROTACION A CIRCULACION DIRECTA CON OBTENCION DE TESTIGO CONTINUO | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|--|--------------|-----------|-------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|---------|--------|---------------|-----------|--|--|--|
| OPCION | A | | | | | B | | | C | | | | | | |
| FASES | F1 | F2 | F3 | | | F1 | F2 | F3 | F1 | F2 | F3 | | | | |
| | 0-20 | 20-200 | 200-1000 | | | 0-20 | 20-200 | 200-1000 | 0-20 | 20-200 | 200-1000 | | | | |
| ♦ Perf. | 7 3/4" (196,8) | 146 | PQ 127 | 131 CONV | CHD 134 | 116 CONV -12 1/4" R 311,1 | 116 CONV -8 1/2" R 215,9 | 116 CONV -6 1/4" R 158,7 | 116 | HQ-101 | 101-T CONV | HQ 101 | | | |
| TESTIGO | 152,4 | 116 | 85 | 108 | 85 | 86 | 86 | 86 | 86 | 63,5 | 72 | 63,5 | | | |
| ♦ Entub. | SW 168,2x152,4 | 143x133,5 | — | | | 230x220 | 180x170 | — | 114x103 | — | — | — | | | |
| LODOS | AGUA Y/O PROGRAMA ALTERNATIVO | | | | | | | | | | | | | | |
| DURACION ESTIMADA | 2,8 | | | | 3,5 | | | 2,5 | | | | | | | |
| TESTIF. GEOFISICA | CONVENCIONAL | SCHLUMBERGER | | | CONV. | | SCHL | CONV. | | | | | | | |
| TESTIF. HIDRAUL. | PROGRAMA ENSAYOS HIDRAULICOS + BOMBEO | | | | PROGRAMA ENSAY. HIDRAULICOS + BOMBEO | | | PROGRAMA ENSAYOS HIDRAULICOS | | | | | | | |
| VENTAJAS | BAJO COSTE DE PERFORACION | | | | DIAMETRO FINAL ELEVADO | | | BAJO COSTE PERFORACION | | | | | | | |
| INCONVEN | TECHO DE LA MAQUINA MUY PROXIMO. EN CASO DE UTILIZAR VARILLAJE REFORZADO ESPECIFICIDAD DEL MISMO | | | | ALTO COSTE PERFORACION | | | IMPOSIB. DE TESTIFICAR CON MICROESCANER POSIBLES PROBLEMAS EN EL BOMBEO EN PROFUNDIDAD | | | | | | | |
| COSTE X 10 ³ | | | 43 | | 43 + Amortiz. | | | ADM 90 | | | 29 | 37 | | | |

| | REALIZACION DE DOS SONDEOS DE INVESTIGACION | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--|-----------|------------|------------------------------------|-----|-----|---|-----------|------------|-----------------------------|------|-----------------------|---------------|----------------|--|
| METODO | ROTAC. DIRECTA CON T.C. | | | ROTOPERCUSION | | | ROTAC. DIRECTA CON T.C. | | | ROTOPERCUSION | | ROTAC. DIRECTA | | | |
| OPCIONES | D | | | | | | E | | | | | | | | |
| FASES | F1 0-20 | | | F2 20-200 | | | F3 200-1000 | | | F1 0-20 | | F2 20-200 | | F3 200-1000 | |
| φ Perf. | 116 CONV. | HQ 101 | NQ 75,8 | 250 | 200 | 165 | 116 CONV. | HQ 101 | NQ 75,8 | 250 | 200 | 6 ¼ (158,7) | 101 6 ¼" R | | |
| φ Testigo | 86 | 63,5 | 47,6 | -- | -- | -- | 86 | 63,5 | 47,6 | -- | -- | -- | 72 | | |
| φ Ent. | 113x104 | 98x89 | -- | 215x205 | 180 | -- | 113x104 | 98x89 | -- | 215x205 | 180 | -- | -- | | |
| Lodos | AGUA Y/O PROG. ALTERN. | | | AIRE Y/O AGUA (ESPUMA) | | | AGUA Y/O PROG. ALTERN. | | | AGUA(ESPUMA) | | AGUA Y/O PROG. ALT | | | |
| DURAC. ESTIM. (Meses) | 2,5 | | | 1 | | | 2,5 | | | 2 | | 2,5 | | | |
| T.G. | CONVENCIONAL | | | CONVENCIONAL/SCHLUMB | | | CONVENCIONAL | | | CONVENCIONAL | | SCHLUMBERGER | | | |
| T.H. | PROGRAMA ENSAYOS HIDRAULICOS | | | PROGRAMA ENS. HIDRAUL. + BOMBEO | | | PROGR. ENS. HIDRAULIC. | | | PROGRAMA ENS. HID. + BOMBEO | | | | | |
| COSTE x 10 ⁶ | 27 | | | ADM. | | | 27 | | | ADM. | ADM. | ADM. | | | |
| VENTAJAS | GRANDES DIAMETROS. POSIBILIDAD DE REALIZAR ENSAYOS DE INTERFERENCIA | | | | | | GRANDES DIAMETROS. POSIBILIDAD DE REALIZAR ENSAYOS DE INTERFERENCIA. EN CASO DE OBTENER DOS TESTIGOS POSIBILIDAD DE CONFRONTAR LITOLOGIAS | | | | | | | | |
| INCONVEN | POSIBLE COLMATAACION DE FRACTURAS Y ALTERACION DEL REGIMEN HIDRAULICO | | | | | | POSIBLE COLMATAACION DE FRACTURAS Y ALTERACION DEL REGIMEN HIDRAULICO | | | | | | | | |

C) Método: ROTACION a DIRECTA con obtención de TESTIGO CONTINUO.

Diámetro final del sondeo: 101 mm.

Fases establecidas en el diseño de la perforación:

1^a FASE. (De 0 - 20 m)

Se perfora con corona de diamante de 116 mm, y entubación con tubería de 114 X 103 mm.

2^a FASE. (de 20 - 200 m)

Cubierta la primera etapa, se perforará con wire-line HQ (96 mm), sobredimensionado para obtener diámetro final de 101 mm y un testigo continuo de 63,5 mm de diámetro.

3^a FASE. (De 200-1000 m)

Se plantean varias alternativas:

- Perforación con batería convencional de 101-T.
- Perforación con wire-line HQ (96 mm.) preparada para 101 mm.

II) REALIZACION DE DOS SONDEOS DE INVESTIGACION.

Para la consecución de los objetivos anteriormente mencionados se planteó la ejecución de los sondeos de investigación con el fin de eliminar problemas de grandes diámetros en perforación e interferencias de los fluidos utilizados durante el desarrollo de ella. El primero de ellos a rotación directa con obtención de testigo continuo y diámetro de 47,6 mm dirigido a la caracterización geológica de la formación; el segundo a rotoperCUSIÓN con mayor diámetro que permitiría la testificación geofísica, hidráulica e hidroquímica.

Como alternativas se plantean:

D) **Método: ROTACION/ROTOPERCUSION**

Primer sondeo: ROTACION a DIRECTA con TESTIGO CONTINUO

1^a FASE (De 0 - 20 m)

La perforación se realiza a 116 mm y entubación de 113 X 104 mm de diámetros respectivos.

2^a FASE (De 20 - 200 m)

Perforación con HQ (96 mm) y entubación 98 X 89 mm de diámetros respectivos.

3^a FASE (De 200 - 1000 m)

Perforación con diámetro NQ (75.8 mm)

Segundo sondeo: ROTOPERCUSION

1^a FASE (De 0 - 20 m)

Perforación con martillo en fondo de 250 mm y entubación con tubería de 215 X 205 mm de diámetros respectivos.

2^a FASE (De 20 - 200 m)

Perforación con martillo en fondo de 200 mm y entubación con tubería de 180 mm de diámetros respectivos.

3^a FASE (De 200 - 1000 m)

Perforación con martillo en fondo con diámetro 165 mm.

E) Método: ROTACION/ROTOPERCUSION+ROTACION**Primer sondeo: ROTACION a DIRECTA con TESTIGO CONTINUO****1^a FASE (De 0 - 20 m)**

Perforación con 116 mm y entubación 113 X 104 mm de diámetros respectivos.

2^a FASE (De 20 - 200 m)

Perforación con diámetro HQ (96 mm) y entubación 98 X 89 mm de diámetros respectivos.

3^a FASE (De 200 - 1000 m)

Perforación con diámetro NQ (75.8 mm)

Segundo sondeo: ROTOPERCUSION - ROTACION**1^a FASE (De 0 - 20 m).****ROTOPERCUSION**

Perforación con martillo en fondo de 250 mm y entubación con tubería de 215 X 205 mm de diámetros respectivos.

2^a FASE (De 20 - 200 m)**ROTOPERCUSION**

Perforación con martillo en fondo de 200 mm y entubación con tubería de 180 mm de diámetros respectivos.

3^a FASE (De 200 - 1000 m)**ROTACION a DIRECTA**

| | | |
|----------------|---------------------|--------------------|
| PROYECTO PUMOC | REFERENCIA PUMDOC 7 | LOCALIZADO 131-2-7 |
|----------------|---------------------|--------------------|

Se plantean dos alternativas:

- Obtención de testigo continuo.
Perforación con 116 mm y reperforación a 6 1/4"
- Técnica destructiva.
Perforación con tricono de 6 1/4".

3.1.3. Fluido de perforación, tratamiento y trazado del mismo

En la perforación se utilizará como único fluido de perforación el agua, a fin de no alterar la composición natural del agua de la formación.

Debe considerarse la viabilidad de un programa alternativo de fluidos de perforación cuando las condiciones del sondeo así lo requieran, para solucionar problemas puntuales, como: zonas alteradas en profundidad, pérdidas de agua, o necesidad de extraer el detritus.

En función de las características del material a perforar se presentan varias opciones:

3.1.3.1. Programa de todos.

- Opción A.

Fluido de perforación: **Aqua / Tapones de XC-Polímer.**

El polímero reúne entre sus características las de buena capacidad de limpieza, y no ser reductor de filtrado, evitándose el efecto indeseado de taponar las posibles zonas fracturadas de la formación.

Este tipo de polímeros presenta buenas viscosidades a bajas concentraciones, es ambientalmente aceptable, y se degrada con facilidad. Además de las características reseñadas, no presenta ningún tipo de alteración química que pueda interferir en los análisis a realizar.

| | | |
|----------------|---------------------|--------------------|
| PROYECTO PUMOC | REFERENCIA PUMDOC 7 | LOCALIZADO 131-2-7 |
|----------------|---------------------|--------------------|

- **Opción B.**

Fluido de perforación: **Free solids polymer.**

La opción más deseable para conseguir un buen seguimiento con trazadores es la anterior, no descartándose otras opciones, que pueden llegar a ser necesarias, al no quedar garantizado que, a las profundidades deseadas se llegue con agua pura. Como opciones válidas en determinadas circunstancias se presentan las siguientes:

- **LODO PHPA.- Poliacrilamida parcialmente hidrolizada/Poliacrilato.**

- **LODO XC-POLYMER.**

El primero se caracteriza por un mayor poder encapsulante , con lo cual aisla y evita el roce de éste con las paredes, presentando buen comportamiento en la perforación de sólidos no consolidados. Igualmente es más aconsejable en el caso de presentarse alteración del granito (Caolinización).

El segundo ofrece mejores condiciones de limpieza.

Ambos cumplen el requisito de no ser reductores de filtrado, por lo que no forman "Cake", siendo más acentuado este efecto en el segundo.

No debe descartarse el uso de un sistema combinado de ambos, o su utilización en función de los problemas encontrados durante la perforación con agua.

3.1.4. Toma de testigos, manipulación y descripción

Definido el programa de perforación a seguir entre las diferentes alternativas anteriormente expuestas, se pasa a definir la metodología relativa a la toma de testigos, su manipulación y descripción, que se incluirán en el proyecto siendo de obligado cumplimiento por parte del Contratista, bajo la supervisión del Técnico responsable del sondeo.

Si el programa de perforación se realiza con batería convencional, el testiguero será del tipo tubo doble permitiendo así la protección del testigo.

| | | |
|----------------|---------------------|--------------------|
| PROYECTO PUMOC | REFERENCIA PUMDOC 7 | LOCALIZADO 131-2-7 |
|----------------|---------------------|--------------------|

En la extracción de testigo se controlarán los parámetros de la perforación en relación con el tipo de batería y la corona, con objeto de obtener la máxima recuperación del testigo. La detección de bloqueos del testigo en los tubos implicará la parada de la perforación no imputable al cliente y la comprobación del testiguero, de la corona y del resto del equipo, asegurando su perfecto funcionamiento.

En tramos de difícil recuperación se efectuará una reducción de la longitud de los testigos.

El testigo se extraerá del tubo con precaución, al objeto de mantenerlo lo más intacto posible, midiéndose a continuación el porcentaje de recuperación.

Se colocará en la caja de testigo de izquierda a derecha, de arriba hacia abajo, con tablillas de separación entre las distintas maniobras, con su cota, indicando en la caja el principio y el final de la misma así como unas flechas indicadoras de la colocación del testigo.

Una vez que la caja de testigo se haya completado, deberá indicar en su tapa el nombre del sondeo y el número de caja dentro del sondeo, indicando al mismo tiempo el número de cajas correspondiente al mismo, y los metros a los que corresponde.

A continuación, se harán fotografías en color en tamaño de 18 X 24 cm de cada caja de testigos, mostrando en lugar visible la identificación del sondeo, el número de caja y la profundidad de los testigos.

El encargado del sondeo entregará al Técnico responsable el parte de trabajo diario, reflejando todas las operaciones realizadas en la jornada. En él figurará la siguiente información:

1. Identificación del sondeo y del equipo utilizado.
2. Cota de la boca del sondeo.
3. Metros perforados por jornada de trabajo.
4. Diámetros de perforación y diferentes profundidades.
5. Características del útil de perforación.
6. Diámetros de entubación y sus profundidades.
7. Características de las tuberías.
8. Cotas superior e inferior de cada maniobra.
9. Fluido de perforación.
10. Porcentaje de recuperación de testigos de roca.

| | | |
|----------------|---------------------|--------------------|
| PROYECTO PUMOC | REFERENCIA PUMDOC 7 | LOCALIZADO 131-2-7 |
|----------------|---------------------|--------------------|

11. Descripción del terreno perforado.
12. Observaciones.
13. Consumos.
14. Equipo y nombre del encargado del mismo.

Deberá especificarse el tiempo de comienzo y terminación del trabajo, indicando su reparto en las diferentes actividades realizadas.

Es muy valiosa la información que puede suministrar el sondista sobre las pérdidas o ganancias de fluido o cualquier otra incidencia durante la perforación y extracción de los testigos. Igualmente, los cambios bruscos en la velocidad de avance pueden indicar cambios en la litología como consecuencia de un cambio en la porosidad y resistencia mecánica.

Se asegurará el registro continuo de parámetros de perforación tales como: avance, r.p.m. de la herramienta de perforación y peso sobre la misma.

3.1.5. Levantamiento geológico y control del sondeo

Para obtener información de los terrenos atravesados, es primordial haber realizado con anterioridad una descripción de detalle de las muestras extraídas. Esta labor, encomendada al Técnico responsable del sondeo, deberá ser diaria y se aconseja su realización en una cabina geológica, donde se dispondrá de todo el material necesario para la identificación.

La descripción del terreno atravesado debe basarse en las siguientes características litológicas y geotécnicas:

- CARACTERISTICAS LITOLOGICAS:

- Tipo de roca: Identificación de la misma.
- Minerales: Identificación de "visu".
- Color: Indicando el color básico Se adjetivarán como claro, oscuro, moteado, mezclado, etc., pudiendo utilizarse la carta de colores de la Geological Society of América.

- Textura: Indicando si tiene grano grueso, medio, fino, etc.
- Porosidad: Según escala de excelente a mala o en tanto por ciento.
- Brillo: Si es vítreo, adamantino, terroso, lustroso, etc.
- Dureza: Según escala de muy dura a blanda.
- Estado: Si es compacta, alterada, descompuesta, etc.
- Grado de alteración: Según escala que va de desde roca sana a completamente alterada.
- Estructura: Si es maciza o estratificada.
- CARACTERISTICAS GEOTECNICAS.
- R.Q.D.: Designación de la calidad de la roca. (Indice de Fracturación).
- Fracturación: Número de fracturas cada 30 cm.
- Orientación de las fracturas: Dirección y buzamiento.
- Tipo de fractura: Si es concoidal, subconcoidal, tubular, regular, etc.
- Rugosidad.
- Separación entre fracturas: Según escala de muy próximas a muy separadas, indicando cualquier indicio de circulación de fluidos en las mismas.
- Relleno de fracturas: Indicando el depósito de minerales o identificando el material de relleno.
- Estructuras secundarias.

Se aconseja seguir las escalas de valoración para el levantamiento de discontinuidades en medios rocosos (ISRM, 1978), así como las normas recomendadas por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas.

La realización del Master Log debe ser diaria, indicando fundamentalmente:

- Datos de identificación del sondeo: Cabecera, coordenadas, etc.

- Datos de características técnicas de la perforación:

Características de la perforación: Avance, revoluciones, peso, desviación, ganancias, pérdidas, etc.

Características del útil de perforación: Tipo, diámetro, número de serie, etc.

Características del fluido de perforación: Densidad, viscosidad, pH, etc.

Datos de características geológicas:

Litología: Descripción de los testigos, indicando sus características.

3.1.6. Limpieza del sondeo

Una vez finalizada la perforación se procederá a la limpieza del pozo. En granito, esta etapa de limpieza no debe dar ningún problema, estimando que en un plazo máximo de 72 horas la limpieza del sondeo, más aun si se ha perforado con agua pura. No obstante, dicho plazo puede variar en función del comportamiento del sondeo y la profundidad del nivel del agua.

3.1.7. Embalaje de protección de las muestras para posteriores análisis

Una vez identificadas las cajas de testigo, es conveniente disponer de un almacén para su conservación de forma ordenada. Además, situados los testigos en sus respectivas cajas no se moverán sin acuerdo por escrito del técnico supervisor del sondeo.

Las cajas de testigo que permanezcan en el lugar del sondeo deberán estar debidamente resguardadas y protegidas.

El Técnico responsable del sondeo establecerá aquellos tramos sobre los que se tomarán muestras para su posterior ensayo en laboratorio. Las muestras escogidas para los análisis deberán ser empaquetadas adecuadamente en cajas de madera, con la adecuada protección a fin de evitar deterioros debidos al transporte.

Si las muestras de testigos no son de roca sana se introducirán dentro de una bolsa de plástico en las que se indicará el nombre del sondeo y las cotas del horizonte al que corresponden. En ocasiones puede escogerse otro método de embalaje teniendo presente la seguridad de las muestras.

El Contratista tomará todas las precauciones para que las muestras lleguen al laboratorio en perfectas condiciones.

3.1.8. Análisis de laboratorio.

La selección de muestras debe hacerse bajo diferentes planteamientos metodológicos. Los ensayos efectuados sobre testigos se realizaran por grupos de características homogéneas. Análogamente se seleccionarán aquéllas muestras que por su peculiaridad o heterogeneidad presenten cierto interés.

Tipos de ensayos a realizar:

- IDENTIFICACION DE LA ROCA Y DE SUS COMPONENTES MINERALES:
- Descripción macroscópica de la roca: indicando la petrología, estructura, grado de alteración y permeabilidad por fisuración.
- Descripción microscópica de la roca: realizando láminas delgadas y probetas pulidas (opacos) para poder establecer paragénesis minerales, sustituciones, alteraciones, etc., determinando minerales primarios y secundarios.
- Difracción de RX de las fases minerales que se sitúan en las zonas de fractura y por lo tanto implican una circulación de fluido a través de la roca.

- ENSAYOS FISICOS Y DE RESISTENCIA:

- Absorción de agua de la muestra. Permeabilidad. Porosidad. Saturación.
- Peso específico. Densidad aparente.
- Ensayos de resistencia a compresión simple con medida de las deformaciones. **Ensayo Brasileño de resistencia indirecta.**
- Ensayos triaxiales.
- Humedad. Sequedad
- Heladividad.

3.1.9. Incidencias y consideraciones respecto del programa de perforación.

Ante la posibilidad de encontrar en profundidad zonas alteradas y fracturas que puedan poner en peligro los objetivos del sondeo, y la imposibilidad de entubar o cementar para no alterar los parámetros de las pruebas finales, se propone la realización de los ensayos de testificación y de los ensayos hidrogeológicos en avance, cuando las condiciones de seguridad en el pozo así lo requiera.

La presencia de zonas fracturadas o alteradas en profundidad, puede implicar el tener que perforar con pérdidas totales de fluido de perforación. Este problema se soluciona utilizando lodos que por sus características impidan que el fluido de perforación se pierda, utilizando entubaciones auxiliares o cementando la zona problemática y reperforando posteriormente.

Esta pérdida de fluido, a priori perjudicial para la ejecución del sondeo, puede ayudar a descargar el peso de la columna hidráulica y mejorar la limpieza del sondeo, aunque no se produce habitualmente.

Si se detectan pérdidas de fluido y no se pueden utilizar las herramientas antes expuestas, hay que disponer de agua para no perforar en seco, problema que puede solventarse con menor dificultad si se dispone de agua en las proximidades del sondeo. En esta última situación, dependiendo de la distancia al punto de agua más cercano, la incidencia en el coste de la perforación puede ser importante. Por otra parte, la introducción en el sondeo de agua de un químico diferente al de la formación puede alterar de forma importante la química del sondeo.

Por último, la previsión de avances con las coronas a los diámetros previstos debe venir avalado por una experiencia de perforación en la zona, dado que el avance medio de la perforación o la duración de una corona dependen de cada caso específico.

En determinadas circunstancias, debido a un determinado comportamiento del granito, la matriz de las coronas no se gasta y por tanto no se auto-afila, por lo que es necesaria la extracción del tren de varillaje con objeto de sustituir la corona de forma sistemática, lo que afecta a la eficacia del wire-line frente al método de perforación convencional.

Cuando se perfora en granito hay que tener presente su diferente comportamiento según la zona en la que se realice el sondeo, ya que su diferente composición mineral o la presencia de alteraciones puede implicar un comportamiento diferente durante la perforación. Si se añade la presencia de zonas

tectonizadas, es necesario, a la hora de plantearse un programa de perforación, un conocimiento previo de la geología de la zona, los terrenos a cortar y su estado tectónico.

Hay que añadir a la incertidumbre antes expresada, la poca experiencia que se tiene en el campo de la perforación en España en sondeos en granito de 1000 m. de profundidad con los diámetros que se plantean.

3.2. TESTIFICACION GEOFISICA DE APOYO A LA INTERPRETACION GEOLOGICA E HIDROGEOLOGICA

3.2.1. Introducción

Los granitos se caracterizan generalmente por presentar densidad y magnetización relativamente uniforme, elevada resistividad eléctrica y una velocidad sísmica también elevada. Mediante métodos geofísicos pueden caracterizarse zonas que presenten propiedades físicas diferenciadas, y por lo tanto los contactos de los cuerpos graníticos y zonas no homogéneas en su interior.

Por otra parte, el flujo de agua subterránea está influenciada por la presencia de fracturas. La testificación geofísica juega un importante papel en el reconocimiento y caracterización de las mismas.

Probablemente uno de los objetivos mas importantes de la testificación geofísica es la estimación in-situ de la permeabilidad y aunque los logs geofísicos no pueden medirla directamente, algunas medidas pueden correlacionarse con ella.

3.2.2. Objetivos y herramientas.

Mediante la testificación geofísica de sondeos en medio granítico se trata de obtener información que permita establecer:

- a) Inhomogeneidades litológicas.
- b) Localización y caracterización de fracturas existentes.
- c) Estimación de parámetros hidrogeológicos.

A la hora de seleccionar uno o varios métodos para cumplir los objetivos enumerados debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- Una fractura puede identificarse en tanto en cuanto produzca una variación que afecte a la respuesta de algunas herramientas de testificación.
- Para confirmar la presencia de fracturas es conveniente la utilización simultánea de varios parámetros.
- Los métodos geofísicos pueden proporcionar una estimación de la permeabilidad de las fracturas.

Existe una costumbre de diferenciar entre los logs denominados convencionales, de uso común en campañas mineras, hidrogeológicas y petrolíferas y otros denominados especiales tanto por su extrema especialización como por su reciente desarrollo y utilización.

Dentro de los logs convencionales para este tipo de campañas cabe mencionar:

El Calibre, temperatura, resistividad del fluido, eléctrico, neutrón, densidad y sónico, que proporcionan información sobre fracturas.

Densidad, neutrón, sónico, gamma natural y resistividad, que proporcionan información sobre inhomogeneidades o cambios litológicos presentes.

Katsube y Hume (1987) establecieron una relación empírica, basada en la relación entre el factor de formación obtenido de un log eléctrico focalizado y el factor de formación de un log de densidad que se puede utilizar para obtener la conductividad hidráulica de la zona fracturada.

LOGS EMPLEADOS

| SONDAS | E.A.C.L.(1) | S.K.B.(2) |
|-----------------------------------|-------------|-----------|
| - Gamma natural | * | * |
| - Calibre | * | * |
| - Resistencia monoelectródica | * | * |
| - Resistividad | * | * |
| - Potencial espontaneo | * | * |
| - Sónico | * | * |
| - Neutrón | * | * |
| - Densidad | * | * |
| - Temperatura, resist. del fluido | * | * |
| - Borehole Televiwer | * | * |
| - Sónico de onda completa | * | * |
| - Flowmeter | * | * |
| - Susceptibilidad Magnetica | * | * |
| - Georadar | * | * |
| - T.V. en sondeo | * | * |
| - V.S.P. | * | * |

(1)Diametro empleado: 7.5 cm

(2)Diametro empleado: 7.5 y 6.5 cm

Dentro de los logs denominados especiales se incluyen:

- Televisión en Sondeo.- Consiste en una cámara de T.V. que recorre el sondeo de arriba abajo (para evitar turbulencia). Cuando la sonda alcanza una fractura se detiene el descenso, a fin de realizar medidas sobre la propia pantalla del monitor de T.V. Este método es subjetivo y utilizado aisladamente es a menudo poco fiable (Davison et al, 1982).
- Buzometría (Dipmeter).- Consiste en un sistema de orientación de la herramienta (acelerómetro y magnetómetro) que proporciona una información precisa de la desviación y el acimut y de tres o más dispositivos de microresistividad distribuidos en patines alrededor de la sonda. Puede ser un buen indicador de fracturas pequeñas a lo largo de la pared del sondeo.
- Formation MicroScanner (Schlumberger).- Es una extensión de la tecnología del Dipmeter, en la que se utiliza un juego de electrodos para proporcionar un muestreo espacial de la microresistividad de la formación. Con estos datos se confecciona una imagen de la pared del sondeo.
- Borehole Televiwer.- Es un scanner acústico, que mediante la emisión de ondas de alta frecuencia (2.3 Mhz) y la recepción de las reflexiones producidas en la pared del sondeo, proporciona una imagen de la misma. La posición rotacional de la herramienta se determina mediante un magnetómetro.
- Sonda Sónica de tren de ondas completo.- Utiliza un transmisor y varios receptores espaciados, registrando el tren acústico de ondas completo. Del análisis del tren de ondas puede extraerse el At de las ondas p, s y las tube wave, y la amplitud de las ondas p y s así como la atenuación de las tube wave.
- V.S.P.- Consiste en el registro de las ondas sísmicas emitidas desde la superficie, en los geófonos situados en el interior del sondeo. En este caso las tube wave son generadas por el empuje sobre el fluido que se encuentra en la fractura, detectando el hidrófono del pozo un aumento de presión. La amplitud de las tube wave es máxima cuando el hidrófono está en frente de la fractura abierta. Paillet y White (1982) llegarán a la conclusión de que la permeabilidad de fractura está relacionada con la atenuación

de la amplitud de las ondas tube wave. Estas son una ondas de superficie que poseen baja frecuencia y viajan a una velocidad próxima a la del sonido en el agua (5000 ft/s).

Radar.- Consiste en el registro de la reflexión en fracturas u otras inhomogeneidades, emitidas a alta frecuencia (20 a 40 Mhz). En rocas graníticas puede llegar a tener una penetración de hasta 100 m. Es una herramienta útil para la localización de fracturas e inhomogeneidades en el granito.

Sonda de Susceptibilidad Magnética.- Este registro se aplica a la detección de zonas meteorizadas y de fractura. También se aplica para determinar la composición litológica de la roca por ser muy sensible a la presencia de minerales máficos magnéticos.

3.2.3. Juego de logs.

Puesto que todos ellos, tanto los convencionales como los especiales, proporcionan información que ayuda a cumplir los objetivos propuestos, para precisar el juego de herramientas más apropiado en una campaña de este tipo es preciso considerar otros factores.

Es muy probable que pocas compañías dispongan de la totalidad de ellas, además del coste económico tan alto que supondría la utilización de la totalidad de las herramientas existentes.

Otro factor que hay que tener en cuenta es el diámetro del sondeo, ya que una herramienta de origen petrolífero puede requerir un diámetro mínimo bastante amplio (más de 14 cm. p. e.), lo cual condiciona los trabajos de realización del sondeo y encarece la campaña.

En la tabla anexa se adjuntan los juegos de herramientas que se han utilizado en la fase de preinvestigación del AECL de Canadá y el SKB de Suecia. (Según datos disponibles).

3.3. DETERMINACION DE PARAMETROS HIDRAULICOS

3.3.1. Descripción de los principales ensayos

La Unidad Móvil de Hidrogeología (UHM) está diseñada para realizar los siguientes tipos de ensayos hidráulicos: Pulse, Slug, Inyección a presión constante, Inyección a caudal constante y Ensayos de bombeo a caudal constante o a nivel constante, quedando abierta la posibilidad de realizar algún otro tipo de ensayo si durante la experiencia de trabajo se considerase necesario.

La elección de este grupo de ensayos, se ha realizado en función del estado del arte realizado, e intentando prever las condiciones de trabajo aplicables al caso español.

Sin entrar en la descripción de cada ensayo y en la instrumentación de los mismos, (reflejado en los informes trimestrales (PUMIT) y los documentos de trabajo (PUMDOC), conviene recordar algunos aspectos destacables de los mismos, así como que estos ensayos se realizarán principalmente en materiales graníticos y en sondeos cuya profundidad máxima se estima en 1.000 m.

En general los test se realizan en secciones de longitud variable, aisladas mediante packers. Estos se inflan con nitrógeno o agua a una presión de unos 10 bares, requiriéndose 1 bar adicional por cada 10 m. de columna de agua sobre los mismos. El tiempo necesario para ésta operación está en torno a 15-30 minutos.

La finalidad de los tests es hallar una serie de parámetros que permitan caracterizar hidráulicamente una formación. Estos parámetros son: Conductividad hidráulica, Temperatura (formación y fluido), Peso Específico del fluido, Viscosidad del fluido y Coeficiente de Almacenamiento.

Otros parámetros a tener en cuenta al realizar el test son: diámetro de la sección para una longitud de ensayo, radio de influencia para cada sección, efecto de almacenamiento del pozo y efecto "skin".

En general, los cambios en la presión y caudal registrados en los test hidráulicos dependen de: la formación, las propiedades elásticas del agua, los equipos de medida y las condiciones del sondeo.

De los cinco tipos de ensayos de posible realización con la UHM, se pueden diferenciar tres grupos: el primero, constituido por los Pulse y Slug; el segundo, por los ensayos de inyección (a presión constante, en que se miden caudales y a caudal constante, en que se registran presiones) y el tercero, por los ensayos de bombeo convencionales.

En el primer grupo, ensayos Pulse y Slug, la conductividad hidráulica de la sección ensayada se calcula a partir de las gráficas semilogarítmicas obtenidas, resultando muy difícil obtener con estos tests valores inferiores a 1.8×10^{-11} m/s. Además, estos ensayos solo analizan los primeros centímetros de la formación desde la pared del sondeo.

El segundo grupo lo constituyen los ensayos de inyección. Una ventaja esencial de éstos es que afectan a un mayor espesor de la formación, lo que implica una mayor representatividad de las medidas

obtenidas. En este tipo de ensayos se registran los valores durante el período de inyección así como los valores de caída de presión (Pressure fall-off tests after injection).

Durante el tiempo de realización de los ensayos de inyección se toman medidas de: presión en el intervalo aislado, caudal, presión de los packers, presión barométrica y temperatura atmosférica. En estos ensayos se debe prestar especial atención al almacenamiento de pozo, ya que puede afectar de una forma significativa los resultados obtenidos.

- A.- Ensayos de inyección a presión constante: Se suelen realizar a una presión de 200 Kpa sobre el nivel plezométrico. Se mantiene la inyección durante 2-3 horas, midiendo el caudal necesario para mantener la presión constante hasta que el caudal se estabilice. Posteriormente se registra la recuperación de presiones durante otras 2-3 horas. En total, la duración del test, incluido el tiempo de inflado de los packers oscila entre 4,5 y 6,5 horas.
- B.- Ensayos de inyección a caudal constante: El caudal injectado se controla mediante caudalímetros de precisión. Una vez fijado el caudal de inyección se miden las variaciones de presión. La variación de presiones se registra en función del tiempo en gráficas semilogarítmicas, de donde se obtienen los parámetros hidráulicos. La representación de dichos cambios de presión en función de $t^{1/4}$, facilita la identificación de los diferentes tipos de flujos.

Una vez finalizada la fase de inyección, se realiza como en el caso anterior el " Pressure fall-off test".

En ambos tipos de ensayos de inyección, el intervalo entre registros puede ser de dos segundos al comienzo del test y aumentar luego de forma semilogarítmica.

Cuando en una misma sección se realizan dos tests, un orden de magnitud de tiempo entre la realización de ambos es de 14 horas.

El tercer grupo de ensayos está constituido por los ensayos de bombeo tradicionales, que se utilizan con tres finalidades: dar una idea global de los parámetros hidráulicos, obtener éstos en secciones que tengan una alta permeabilidad y realizar una limpieza del sondeo tras la perforación.

3.3.2. Elección de ensayos a realizar

El utilizar un ensayo u otro depende de los objetivos perseguidos (estudios de reconocimiento o de detalle) y de la permeabilidad que se espera encontrar en el tramo analizado.

Los límites de medida de los diversos métodos dependen a su vez del tipo de equipo empleado y en ocasiones de la duración del test.

Los ensayos Pulse y Slug deben utilizarse para conductividades hidráulicas inferiores a 10^4 m/día, ya que por encima de ese valor el pulso se amortigua demasiado rápido para poder interpretarlo con fiabilidad. En algunas ocasiones los resultados de conductividad hidráulica de los Pulse son de uno ó dos órdenes de magnitud menores que los calculados con los tests de inyección. En cuanto a los Slug, los valores de conductividad hidráulica obtenidos son superiores a los obtenidos con los tests de inyección. La desviación es mayor cuanto menor es la conductividad hidráulica.

En cuanto a los ensayos de inyección, es aconsejable un tiempo de dos horas de inyección para proporcionar la máxima cantidad de información, ya que a partir de este tiempo se considera significativo el volumen de roca afectado por el test, que depende del tiempo de ensayo y de los parámetros hidráulicos de la formación.

Para valores de permeabilidad bajos a muy bajos es preferible realizar ensayos de inyección a presión constante, ya que los de caudal constante pueden producir que desde los primeros instantes se alcance la presión máxima. Además, la inyección de agua con exceso de presión puede producir hidrofracturación, que falsearía los datos, por lo que es recomendable dejar este tipo de ensayos para permeabilidades medias a bajas.

Los tests a presión constante ofrecen muchas ventajas, entre las que cabe citar:

- Amplio rango de medida de conductividad hidráulica.
- Mayores radios de influencia, que permiten obtener valores de conductividad hidráulica más representativos.
- Posibilidad de determinar: efecto "Skin", radio efectivo, apertura de las fracturas y sus parámetros.

Deben compararse los valores de transmisividad obtenidos en la fase de inyección y en la de recuperación (Pressure fall-off test) para comprobar la correspondencia entre ambos.

Para la correcta evaluación de este tipo de tests, se requiere que el período de inyección sea suficientemente largo, y que la duración del Pressure fall-off test sea del mismo orden que el tiempo de inyección.

Los ensayos de bombeo tradicionales se realizarán en zonas con fracturas de permeabilidad media/alta y en los primeros metros del sondeo (zona de alteración) donde se espera encontrar valores altos de conductividad hidráulica.

Los rangos de utilización de los ensayos hidráulicos que se podrán realizar con la UHM son los siguientes:

| | | |
|---------------------|------------------|-----------------|
| - Ensayo de bombeo | Cond. Hidráulica | ALTA a MEDIA |
| - Slug Test | " " | MEDIA a BAJA |
| - Pulse test | " " | MEDIA a BAJA |
| - Iny. caudal cte. | " " | BAJA |
| - Iny. presión cte. | " " | BAJA a MUY BAJA |

Los ensayos de inyección se emplearán sobre todo en los dos últimos, aunque tienen un amplio rango de medida.

3.3.3. Protocolo de actuación

La realización en campo de los ensayos hidráulicos requiere una cuidada planificación con vistas a obtener los mejores resultados optimizando el tiempo empleado.

Se pueden diferenciar dos fases:

- 1.- Ensayos realizados en los primeros 150 a 300 m del sondeo, que incluyen la zona de alteración.
- 2.- Ensayos a realizar en el resto de la zona no alterada del macizo en estudio.

| | | |
|----------------|---------------------|--------------------|
| PROYECTO PUMOC | REFERENCIA PUMDOC 7 | LOCALIZADO 131-2-7 |
|----------------|---------------------|--------------------|

Para realizar una primera planificación de la campaña de ensayos en un sondeo se dispondrá de la siguiente información:

- Estudios geológicos, hidrogeológicos, tectónicos etc..
- Información del sondeo (litología, mineralogía, fracturas etc..).
- Testificación geofísica.

En la primera fase se realizará la testificación hidráulica de los 150 a 300 primeros metros del sondeo. Tras esta primera etapa de perforación y en función de los datos aportados por la información antes señalada, se elegirá el tipo de ensayos a realizar. En primer lugar se realizará un ensayo de bombeo a caudal constante con una bomba convencional durante unas horas, con la finalidad de limpiar esta parte del sondeo y realizar una primera testificación hidráulica de la zona de alteración.

Posteriormente se realizará la testificación en secciones en torno a 50 m., pudiendo realizar ensayos en zonas específicas, cuando de los datos aportados se estime la necesidad de caracterizar de una forma más detallada algún tramo. Como normalmente será una zona de permeabilidad media a media-alta, se realizarán ensayos de bombeo tradicional a caudal constante y/o Pulse-Slug test.

Una vez caracterizada esta primera zona se continuará la perforación hasta la profundidad final del sondeo.

Durante ésta segunda etapa de perforación no se contempla en principio la realización de ensayos al avance por el elevado encarecimiento de costes que puede producir, excepto si existieran zonas con fuertes perdidas de agua que dificulten el ritmo normal de perforación, en cuyo caso se realizarán los ensayos que se consideren necesarios para caracterizar la sección, procediendo posteriormente a su entubado y cementación.

Una vez finalizada la perforación se realizarán varios ensayos de bombeo, en función de los caudales existentes. Su objetivo es limpiar el sondeo y la formación circundante, especialmente las fracturas atravesadas por el sondeo, y realizar una primera testificación hidráulica. Esta limpieza del sondeo se controlará en función del agua trazada empleada en la perforación.

Estos primeros ensayos de bombeo pueden durar unos dos días, una vez finalizados los cuales se continúa registrando los niveles durante uno ó dos días más.

Finalizados los ensayos de bombeo y recuperadas las condiciones iniciales del sondeo, se registrarán una serie de parámetros que ayudarán a la planificación de ensayos, aportando una serie de datos complementarios: estimación de conductividad hidráulica, cambios en el diámetro del sondeo y estado de las paredes, conductividad, temperatura y caracterización hidroquímica somera. Para ello la UMH contará con: Flowmeter, Caliper, sonda de Conductividad y Temperatura y sonda de Caracterización Hidroquímica. El tiempo empleado en la obtención de estos perfiles estará en torno a 4 días.

Posteriormente se realizarán los ensayos hidráulicos, utilizando principalmente ensayos de inyección con las características ya descritas.

En una primera fase se realizarán este tipo de ensayos en secciones de 3 a 5 metros, con tiempos tanto de inyección como de recuperación de 15 minutos. A continuación se realizarán ensayos en secciones de longitud variable, para caracterizar las fracturas que se consideren de interés con tiempos de inyección y recuperación de dos horas. El número de estas secciones a caracterizar y su longitud será muy variable en función de cada sondeo.

No se contempla en esta primera etapa la realización de ensayos de interferencia y trazadores, incluidos posiblemente en etapas posteriores.

3.4. CARACTERIZACION HIDROQUIMICA PRELIMINAR

Otro de los objetivos de la UMH es la realización de una primera caracterización química, con la que obtener una serie de datos que puedan servir de apoyo para la caracterización hidrogeológica.

Esta actividad se llevará a cabo una vez finalizada la perforación, realizados los primeros ensayos de bombeo de la totalidad del sondeo y recuperadas en la mayor medida posible las condiciones iniciales.

Se medirán los siguientes parámetros:

- Presión (Altura de la columna de agua por encima de la sonda).
- Temperatura
- Conductividad eléctrica
- Oxígeno disuelto

| | | |
|----------------|---------------------|--------------------|
| PROYECTO PUMOC | REFERENCIA PUMDOC 7 | LOCALIZADO 131-2-7 |
|----------------|---------------------|--------------------|

- pH
- Potencial Redox

El perfil geoquímico se realizará con una sonda geoquímica, hasta una profundidad de 1.000 m., tomando medidas a diferentes intervalos de tiempo, según la variabilidad obtenida en los datos.

3.5. INSTRUMENTACION PERMANENTE DE CONTROL Y SEGUIMIENTO

Con objeto de controlar los parámetros hidráulicos es necesaria la implementación de una instrumentación permanente de control y seguimiento una vez finalizada la perforación y la testificación geofísica e hidráulica. Con ello se obtendrá la evolución de los valores de diferentes parámetros en períodos de tiempo dilatados.

Deben instalarse, por tanto, sistemas que permitan mantener totalmente aislados diferentes tramos del sondeo y eviten posibles fugas en el sistema que pondrán en contacto los diversos tramos aislados.

Existen diferentes soluciones en cuanto a la resolución técnica del problema, entre las que se encuentran las que a continuación se citan:

3.5.1. Medidas en sondeos a diferentes profundidades

Es la solución de menor complejidad técnica en cuanto a su instalación, ya que consiste en la introducción de piezómetros de cuerda vibrante en las secciones a controlar, que permiten el control de presión intersticial y a los que puede acoplarse igualmente un termistor para medir la temperatura en la zona de ubicación del sensor. En aplicaciones muy críticas existen modelos que llevan acoplados con el transductor de cuerda vibrante un transductor neumático que permite una segunda evaluación de las presiones medidas. El rango de medida varía entre 0,35 y 140 kg/cm².

Para su instalación se introduce en primer lugar un lecho de arena lavada hasta la cota teórica del piezómetro, bajando éste a continuación (bien dejándolo caer directamente y gobernándolo con el cable auxiliar unido a la parte superior del piezómetro o ayudado por el varillaje del sondeo) hasta su cota correspondiente. Encima del mismo se coloca una capa de bentonita con objeto de evitar posibles filtrados de secciones superiores.

Posteriormente se cementa hasta una profundidad cercana al segundo piezómetro y se rellena con arena hasta cubrir por completo el segundo piezómetro. De nuevo vuelve a introducirse una capa de bentonita y se repite el proceso tantas veces como secciones a ensayar se requieran.

En principio el método es adecuado para profundidades medias a bajas y formaciones blandas; la eficacia del material de sellado y su buena ejecución resultan factores críticos para su utilización en formaciones de baja permeabilidad.

Como inconvenientes principales cabe citar la imposibilidad de realizar cualquier operación una vez realizada la instalación, la dificultad de lograr la debida estanqueidad entre los diferentes tramos a medida que aumenta el número de secciones aisladas y la imposibilidad de reparación de sensores en caso de avería. Por ello es recomendable la instalación de dos sensores por sección.

La lectura de los datos puede realizarse mediante una unidad portátil o mediante conexión a un sistema automatizado de adquisición de datos.

3.5.2. Sistemas multipacker de control

Consiste en la introducción de un entubado de menor diámetro que el sondeo provisto de los packers correspondientes que, una vez inflados, asentarán contra la pared de aquél, produciendo la división en tramos. El entubado puede hacerse con rejilla en los intervalos de medición, o bien pueden utilizarse elementos de conexión provistos de válvula de apertura y cierre de orificios (sistema MP de westbay Ltd). Estos elementos pueden llevar puertos para medición o bombeo y se conectan entre tramos de entubado convencional.

Se utilizará una línea de presión para cada tramo (dos para las secciones instaladas con sistemas de circulación de agua), desde la sección hasta la superficie, que atraviesan los packers.

El nivel del agua en estas tuberías, que es el propio de cada tramo, puede registrarse mediante sondas manuales convencionales o mediante transductores de presión. Para el control durante largos períodos es preferible recurrir a sistemas de registros automatizados.

El medir el nivel piezométrico en dichas tuberías conectadas a las secciones aisladas, en lugar de registrarla en profundidad directamente, tiene como ventajas más significativas el permitir utilizar transductores de presión con pequeños rangos de medida, lo que proporciona mejor resolución y

precisión, facilitar la instalación de los transductores y su reemplazo en caso de averías, así como facilitar su calibración.

Para convertir las lecturas de presión en presiones absolutas de las secciones aisladas debe conocerse la densidad del agua en los tubos y la desviación del sondeo.

La densidad del agua en los tubos se determinará mediante bombeo con aire comprimido en los mismos, lo que se realiza cuando el equipo ha sido instalado en su posición y los packers inflados. Todos estos tubos son llenados entonces con agua de la formación cuya densidad es conocida. Además, la densidad puede volver a determinarse en cualquier instante.

La metodología de trabajo se basa en introducir los sensores de medida y el equipo de profundidad en el sondeo, unirlos al equipo de superficie y programar las medidas mediante el software. Para obtener la información basta con conectar a la unidad de superficie un ordenador portátil y obtener los datos almacenados.

Generalmente las sondas registradoras de presión proporcionan únicamente la medición correspondiente al punto en que se hallan instaladas.

No obstante, SwedPower ofrece un sistema de control de niveles piezométricos para piezómetros multicapa denominado PIEZOMAC II, que puede medir hasta nueve secciones en un sondeo de 76 mm de diámetro y está basado en una sonda multipresión. En ocasiones se instalarán secciones con sistemas de circulación de agua, lo que hace posible realizar ensayos de inyección de trazadores sin modificar la disposición del equipo instalado. Además de la citada sonda, el referido sistema consta de una unidad analógica, una de control, una de transferencia de datos, una célula solar y los mecanismos de ascenso y descenso en el pozo. Cada sección de éste se conecta hidráulicamente a una válvula de la sonda de presión. Sólo se abre una válvula, de modo que la medición es secuencial, siendo cada señal convertida y transferida al sistema de almacenamiento de datos, que incluye un microcomputador (Geomac II). La unidad de control puede controlar simultáneamente hasta ocho sondas de presión, y los intervalos de medida pueden programarse desde un minuto hasta 17 horas. La comunicación puede hacerse vía radio o telefónicamente mediante modem.

El sistema MOSDAX de Westbay Ltd utiliza sondas independientes, emplazadas en cada tramo de medición del piezómetro multicapa, conectadas mediante un solo par de conductores entre ellas y al módulo de superficie, realizándose la comunicación por técnicas digitales. Cada sonda lleva un número de identificación grabado en memoria, de modo que puede identificar y distinguir mensajes.

Cada sonda puede obtener hasta siete medidas por segundo con quince sondas conectadas al módulo de superficie. Este se halla diseñado para funcionar automáticamente con bajo consumo y autonomía de varios meses, y comprende un microordenador de 1 Mbyte y un sensor de presión barométrica, diseñado para transferir los datos a un ordenador portátil y siendo éstos convertibles posteriormente a archivos de formatos convencionales como el Lotus 1-2-3. También es posible la telecomunicación vía radio o telefónica (Goodrich et al, 1990).

El sistema MP de SOLEXPERTS AG ha sido diseñado para realizar ensayos de permeabilidad "in situ" y controlar niveles en medios de baja permeabilidad (10^{-6} a 10^{-12} m/s). Permite su instalación en sondeos estables de cualquier orientación.

Consta fundamentalmente de tres componentes, la Unidad de Packers Downhole, la Unidad de Control y el Sistema de Adquisición de datos.

La Unidad de Packers Downhole consta de un tubing central y una serie de packers inflados neumáticamente o hidráulicamente. Para controlar a largo plazo se utiliza generalmente agua como medio de inflado. Los packers se controlan individualmente y aislan secciones específicas del sondeo. Cada sección aislada tiene una línea de inyección de agua a través de la cual pueden realizarse ensayos hidráulicos. Los intervalos se encuentran equipados con transductores de presión localizados en el interior del sondeo o en superficie si existen condiciones artesianas.

La Unidad de control registra las presiones en los packers, mide los caudales desde o hacia los intervalos y la presión en los mismos.

El Sistema de adquisición de datos consta de un Datalogger y un compatible IBM. El software de adquisición permite un registro continuo de datos para almacenamiento o registro en una impresora externa. Para análisis en campo de los datos puede realizarse un volcado de éstos datos en un segundo ordenador.

4.- RECURSOS HUMANOS Y ECONOMICOS PARA LA REALIZACION DE LOS OBJETIVOS**4.1. SONDEO DE INVESTIGACION****4.1.1. Personal****- REALIZACION DEL SONDEO.**

El sondeo debe ser realizado por un personal experimentado y capacitado, respondiendo de ello la empresa contratista. Trabajará preferentemente en dos turnos de 12 horas, siete días a la semana.

- CONTROL DE LODOS.

Se pone de manifiesto la necesidad de tener un especialista a pie de sondeo, para que pueda actuar en el momento en que las condiciones lo requieran, siguiendo el programa previamente estipulado.

- CONTROL GEOLOGICO DEL SONDEO.

Se necesitan dos Técnicos especialistas en control geológico en granito, con amplios conocimientos en sondeos. Su labor será velar por el cumplimiento de las especificaciones del programa de perforación, el estudio de los testigos y la realización del Master Log. Serán los interlocutores entre la dirección del sondeo y el personal que lo realiza, enviando el parte de trabajo diario de perforación.

4.1.2. Técnicas a emplear.

En el apartado 3.1.2. se han desarrollado los diferentes programas alternativos y las técnicas a emplear, que pueden resumirse en los cuadros adjuntos.

4.1.3. Coste.**4.1.3.1. Coste de Personal****- Técnico especialista en lodos: 45.000 pts/día**

Se incluyen los equipos de laboratorio necesarios para realizar el control de lodos.

En caso de parada durante los fines de semana se facturará kilometraje ida y vuelta sondeo-base (Madrid) a razón de 26 pts/km.

- Técnico especialista en control geológico: 50.000 pts/día

4.1.3.2. Coste del sondeo.

Se ha expresado en los cuadros adjuntos, a modo de resumen cada programa de perforación y su coste en órdenes de magnitud.

4.1.3.3. Prestaciones no valoradas.

- Permisos oficiales o particulares.
- Accesos y explanaciones.
- Agua en perdidas.
- Lodos de perforación.
- Cabina geológica.
- Almacén.
- Imprevistos.

4.2. TESTIFICACION GEOFISICA DE APOYO A LA INTERPRETACION GEOLOGICA E HIDROGEOLOGICA

El trabajo a realizar consiste en la testificación geofísica de un sondeo de mil metros, realizados en granito, con los objetivos anteriormente indicados, teniéndose además en cuenta las recomendaciones realizadas por ENRESA, sobre la utilización de agua limpia como fluido de perforación.

Un primer plan de trabajo establecido consiste en la realización del sondeo, posiblemente en dos etapas, la primera de las cuales comprendería los primeros 150 a 200 m. Una vez testificados geofísica e hidrogeológicamente, se procederá a su entubación, continuándose la perforación hasta la profundidad total prevista de mil metros.

También puede contemplarse la realización de dos sondeos próximos uno del otro, uno de ellos de pequeño diámetro para la obtención de testigo, y otro de mayor diámetro, para realizar las testificaciones geofísicas e hidrogeológicas. En este caso sería válido todo lo que se expresa en el

apartado que se refiere al segundo tramo. Únicamente variarán los costes de una forma proporcional al testificarse 1000 m y no 800 m.

4.2.1. Personal

Dado que la ejecución de los trabajos será encargada a una compañía de servicios, será esta la que facilite el personal necesario para la completa realización del estudio, desde la fase de toma de datos en campo, hasta la redacción y presentación del informe final con la interpretación geofísica de los registros.

En el caso de ser contratada la compañía Schlumberger existe la posibilidad de reservar una workstation geológica, en su centro de París, para llevar a cabo una interpretación geológica de los registros. En este caso sería necesaria la asistencia de un experto en medios graníticos y buen conocedor de la zona del trabajo, que bien podría ser el geólogo de pozo, para realizar esta labor. No obstante, sería conveniente contar con el concurso de esta persona para la interpretación geológica de los logs, independientemente de la compañía que realice los trabajos.

4.2.2. Propuestas sobre técnicas a emplear

4.2.2.1. Primer tramo

Como ya se ha indicado anteriormente se trataría de la testificación geofísica de los primeros 150 - 200 m del sondeo. Se procedería como una testificación convencional, teniendo en cuenta que el diámetro mínimo del sondeo es de 101 mm.

Para esta trabajo se recomienda una compañía española utilizando las sondas disponibles por la misma. Según las respuestas recibidas se dispone de las siguientes opciones:

ADARO:

Eléctrica focalizada

Calibre

Sónico onda completa (B.P.B.)

Sónico multicanal

Buzometría (B.P.B.)

Temperatura y conductividad del fluido (B.P.B.)

Televídeo (B.P.B.)

RESUMEN CAMPAÑA

| SONDA | ADARO | CGS | IGT | SCH. | DIAMETRO |
|-------------------|-------|-----|-----|------|----------|
| GAMMA NATURAL (1) | * | * | * | * | 4 |
| CALIBRE (1) | * | * | * | * | 4 |
| R. FOCALIZADA (2) | * | | * | | 4 |
| R. NORMAL (2E)(2) | | * | | | 4 |
| R. LATERAL (1) | | * | | ARI | 4 |
| SONICO (1) | * | * | * | * | 4 |
| TEMPERATURA (2) | (*) | * | * | | 4 |
| GRAD. TEMP. (2) | | * | | | 4 |
| C. FLUIDO (3) | (*) | * | | | 4 |
| S. ONDA COMPL.(1) | (*) | * | * | DSI | 4 |
| BUZOMETRIA (1) | (*) | * | | | 4 |
| TELEVIEWER (1) | (*) | | | * | 4 |
| FMS (1) | | | | * | 5 Y 6.25 |

(*) SONDAS TRAIDAS DE INGLATERRA (BPB)
DIAMETRO EN PULGADAS

- (1) NECESARIA
- (2) CONVENIENTE
- (3) AUXILIAR

CUADRO 1

| | | |
|----------------|---------------------|--------------------|
| PROYECTO PUMOC | REFERENCIA PUMDOC 7 | LOCALIZADO 131-2-7 |
|----------------|---------------------|--------------------|

Las indicadas con B.P.B. son las herramientas cuyo envío debe realizarse desde Inglaterra.

C.G.S.:

Sonda 9040: S.P., Resistividad del fluido, Resistividad normal con dos espaciados, Resistividad lateral, Temperatura y Gradiente de temperatura.

Sonda 9030: Gamma natural, Resistividad focalizada y Calibre.

Sonda 9300: t, Atenuación de ondas sonoras, Tiempos de llegada a los receptores cercano y lejano.

Sónico de onda completa.

Buzometría.

I.G.T.:

Eléctrico focalizada

Sónico de onda completa

Temperatura

Gamma natural

Los juegos de sondas ofertadas por las distintas compañías son suficientes para cubrir los objetivos propuestos.

Los inconvenientes que presentan las distintas ofertas son los siguientes:

ADARO: Oferta un buen juego de sondas que incluye el Televídeo; sin embargo, la mayoría de las sondas de interés deben ser enviadas desde Inglaterra, donde se procesarán e interpretarán igualmente los datos.

C.G.S.: Ofrece también un juego de sondas bastante completo y suficiente para el trabajo. No obstante no puede asegurarse la disponibilidad de la sonda sónica de onda completa, ni de los medios para el procesado e interpretación de los datos de ciertas sondas, como son el sónico de onda completa y la sonda de Buzometría, de gran interés para el trabajo.

I.G.T.: Ofrece los servicios de la compañía francesa SEMM. Ofrece un juego de sondas suficiente para cubrir los objetivos del trabajo. La sonda de onda completa que posee esta compañía dispone de

| | | |
|----------------|---------------------|--------------------|
| PROYECTO PUMOC | REFERENCIA PUMDOC 7 | LOCALIZADO 131-2-7 |
|----------------|---------------------|--------------------|

receptores próximos que miden el tránsito de las primeras llegadas y otros más lejanos que miden el tren de ondas completo.

En el cuadro 1 puede observarse un resumen de estas propuestas.

4.2.2.2. Segundo tramo

Se trataría de la testificación de los 800 m restantes del sondeo; en este caso se contemplan varias opciones en función del diámetro final del sondeo.

a.- Diámetro de 101 mm. (4 pulgadas)

Se utilizarían las mismas herramientas que en el primer tramo, con las características ya señaladas.

También se puede incluir la oferta de la compañía Schlumberger, aunque debido al pequeño diámetro del sondeo no podría utilizarse la herramienta Formation Microscanner ni la de Buzometría, lo que limita mucho los resultados. La campaña con esta compañía constaría de las siguientes herramientas:

- Dipole Shear Sonic Imager (DSI): Esta herramienta combina transductores monopolares y dipolares, que permiten registrar las ondas p, s y tube en todas las formaciones. Mediante el análisis de la onda completa es posible obtener una estimación de las fracturas y su apertura, así como las propiedades mecánicas de la formación.
- Thermal Decay Time (T.D.T.): Esta herramienta es equivalente a la sonda Neutrón, pero con la particularidad de que utiliza como fuente de neutrones un acelerador electrónico (minitrón). Proporciona información acerca de las fracturas existentes y las inhomogeneidades y cambios litológicos.
- Azimuthal Resistivity Imager (A.R.I.): Es una nueva herramienta que proporciona doce medidas de resistividad, una cada 30 grados, posee una mayor penetración (es equivalente a un laterolog profundo) y proporciona una imagen del interior de la formación.
- Borehole Televiwer Tool (B.T.T.): Proporciona una imagen de la pared del sondeo, mediante la emisión de ondas sónicas de alta frecuencia.

| | | |
|----------------|---------------------|--------------------|
| PROYECTO PUMOC | REFERENCIA PUMDOC 7 | LOCALIZADO 131-2-7 |
|----------------|---------------------|--------------------|

- Natural Gamma Spectrometry (N.G.S.): Utiliza la espectrometría de rayos gamma para la identificación de los tres elementos más comunes, que actúan como emisores naturales, potasio, torio y uranio. Esta sonda puede ser interesante en formaciones ígneas como es el caso actual.

b.- Sondeo de 127 mm. (5 pulgadas)

En este caso sería válido todo lo anterior, añadiendo la herramienta Formation Microscanner, puesto que Schlumberger dispone de una herramienta (FMS-B) de cuatro patines, que puede utilizarse en sondeos de 5 pulgadas de diámetro.

c.- Sondeo de 160 mm (6 1/4 pulgadas)

Schlumberger dispone de una herramienta, Formation Microscanner (FMS-C), de cuatro patines y un Fullbore Formation Microlmager. Ambas necesitan de un diámetro mínimo de 6.25 pulgadas, empleándose una de las dos en la campaña. Caso de utilizarse la herramienta Fullbore Microlimage y dada su alta resolución no se recomienda el empleo de la herramienta B.T.T.

4.2.3. Coste

Conviene hacer notar que los costes aquí indicados son estimativos y han sido facilitados por las mismas compañías con fecha de Febrero-Marzo de 1993, por lo que en el momento de ejecución de los trabajos pueden sufrir alguna modificación.

4.2.3.1. Primer tramo

- ADARO

El coste aproximado de la campaña, midiéndose con todas estas sondas, e incluyendo los costes de desplazamiento del equipo desde Inglaterra es de: 1.534.800 pts.

- C.G.S.

El coste aproximado de la medición con estos equipos es de: 971.000 pts.

- I.G.T.

El coste de los trabajos de: 1.066.200 pts (cantidad estimada, ya que no se dispone de precios unitarios).

4.2.3.2. Segundo tramo

a.- Diámetro de 101 mm (4 pulgadas)

ADARO

El coste total de la testificación asciende a: 2.813.200 pts.

C.G.S.

El coste total asciende a: 3.119.000 pts.

I.G.T.

Teniendo en cuenta lo ya reseñado con anterioridad el coste aproximado sería: 2.174.000 pts.

SCHLUMBERGER

El coste se indica en dólares. Suponiendo un cambio de 1\$= 125 pts., el costo es: 97994.5\$ (12.249.313 pts)

b.- Diámetro de 127 mm (5 pulgadas)

En este caso, en la oferta de la compañía Schlumberger se podría incluir la herramienta Formation MicroScanner-B. Su coste sería de: 132318.5\$ (16.539.813 pts).

c.- Diámetro de 160 mm (6 1/4 pulgadas)

Se utilizaría la herramienta Fullbore Formation Microlmager, de mayor resolución que las anteriores, por lo que no sería necesario la utilización del B.T.T. Su coste: 138766.5\$ (17.345.813 pts).

Hay que tener en cuenta que estos costes incluyen la disponibilidad de las herramientas en la base de Pau (Francia). De no ser así éstos costos pueden incrementarse en unos 4000\$ por el desplazamiento de cada herramienta hasta Pau.

| | | |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------|
| PROYECTO PUMOC | REFERENCIA PUMDOC 7 | LOCALIZADO 131-2-7 |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------|

El coste de un Titulado experto en medios graníticos para apoyo, en caso necesario, a la interpretación geológica:

Titulado (5 días)

Gelogical Workstation (Schlumberger) con ayuda de un analista de Schlumberger 2790\$/día
(348750pts/día)

Desplazamiento a París

4.3. DETERMINACION DE PARAMETROS HIDRAULICOS

4.3.1. Personal

La determinación de los parámetros hidráulicos se realizará con la UMH. Por tanto, el personal será el adscrito permanentemente a ésta, no suponiendo ningún incremento respecto a lo establecido en el capítulo presupuestario referente a personal en el Acuerdo ITGE-ENRESA.

3.3.2. Técnicas a emplear

Para la realización de los ensayos, se emplearán los medios técnicos ya descritos en los documentos de trabajo relativos a las especificaciones técnicas de la UMH (PUMDOC 2, 4 y 5). En cuanto a los ensayos a realizar: Pulse, Slug, Inyección a presión constante, Inyección a caudal constante y Ensayo de bombeo, ya han sido descritos en el apartado 3.3.1.

4.3.3. Coste

El coste de los ensayos a realizar se encuentra incluido en el presupuesto contemplado para la construcción de la Unidad Móvil de Caracterización Hidrogeológica (UMH).

4.4. CARACTERIZACION HIDROQUIMICA PRELIMINAR

4.4.1. Personal

El personal para el manejo de la sonda geoquímica será el equipo básico de trabajo del proyecto.

4.4.2. Técnicas a emplear

Registro continuo downhole de los parámetros citados mediante un sistema de control y registro.

4.4.3. Coste

Presupuesto de la sonda geoquímica: aproximadamente 5 millones pts.

4.5. INSTRUMENTACION PERMANENTE DE CONTROL Y SEGUIMIENTO

4.5.1. Personal

Para la instalación de un sistema multipacker de control son necesarios dos técnicos durante un período de unos 14 días. Durante las operaciones de instalación el sistema de descenso utilizado es un hoisting rig.

4.5.2. Técnicas a emplear

Una vez realizada la instalación es necesario proceder a un volcado de datos cuya duración oscila entre 1 y 3 horas. Para ello se utiliza un datalogger y un software de medida.

Es posible realizar una interpretación "in situ" de los datos en campo mediante un laptop en el que se realiza el volcado de datos. La capacidad de memoria varía entre 32.000 y 40.000 medidas, por lo que en función del intervalo de toma de datos puede obtenerse el tiempo máximo de recogida de datos. Posteriormente los datos son tratados en gabinete para su transformación, calibración y presentación.

4.5.3. Coste

Como precios indicativos del coste de un sistema de control se cita el sistema PIEZOMAC.

- A) Datalogger y software de medida: 100.000 coronas suecas, que equivalen a 1.684.000 pesetas.
- B) Sistema multipacker: 600.000 coronas suecas, que equivalen a 10.104.000 pesetas.

5.- BIBLIOGRAFIA

Carrera, J. Nota técnica sobre los ensayos a realizar durante la perforación de los sondeos de El Berrocal.

CIEMAT-BGS. Informe sobre la metodología empleada en la realización de los ensayos hidrogeológicos en la estación experimental de "El Berrocal".

K-E Almen, O. Zellman. Aspo Hard Rock Laboratory. Field Investigation methodology and Instruments in the pre-investigation phase, 1986-1990. S.K.B. Technical Report 91-21. Diciembre 1991.

W.F. Howard, Ken. Geophysical Well Logging Methods for the Detection and Characterization of Fractures in Hard Rocks. Geotechnical and Environmental Geophysics, vol. 1, pag.287-307.

Enresa. Revisión de métodos geofísicos aplicables al estudio y caracterización de emplazamientos para almacenamiento de residuos radiactivos de alta actividad en granitos, sales y arcillas. Publicación técnica 06/92. 1992.

Katsube T. J., Hume J.P. Permeability determination in crystalline rocks by standard geophysical logs. Geophysics, vol. 52, no. 3, pag. 342-352. 1987.

López Geta J.A., Grima Olmedo J., Martínez Navarrete C. (ITGE). Informe Trimestral núm 1. Período Enero-Marzo 1992.

López Geta J.A., Grima Olmedo J., Martínez Navarrete C. (ITGE). Informe Trimestral núm 2. Período Abril-Junio 1992.

López Geta J.A., Grima Olmedo J., Martínez Navarrete C., Mejías Moreno M. (ITGE). Informe Trimestral núm 3. Período Julio-Septiembre 1992 (Suecia).

López Geta J.A., Grima Olmedo J., Martínez Navarrete C., Mejías Moreno M. (ITGE). Informe Trimestral núm 3. Período Julio-Septiembre 1992 (Suiza).

López Geta J.A., Grima Olmedo J., Martínez Navarrete C., Mejías Moreno M. (ITGE). Diseño de la unidad móvil (documento de trabajo).

López Geta J.A., Grima Olmedo J., Martínez Navarrete C., Mejías Moreno M. (ITGE). Segundo borrador sobre el diseño y construcción de la unidad móvil de caracterización hidrogeológica. Asignación provisional de presupuesto.

Paillet F.L., White J.E. Acoustic modes of propagation in the borehole and their relationship to rock properties. Geophysics, vol. 47, no. 8, pag. 1215-1228. 1982.

Paillet F.L. Use of geophysical well logs in evaluating crystalline rocks for siting of radioactive-waste repositories. The Log Analyst march-april 1991, pag. 85-107. 1991.

Samper J., Vives L., Guimera J. Ensayos de pulso: una revisión sobre su realización e interpretación. V Simposio de hidrogeología.

Schlumberger. Wireline Services catalog. 1991.

SKB. Hydraulic testing in crystalline rock. A comparative study of single hole test methods. SKB. Technical report 86-27.

SKB. Aspo hard rock laboratory. Field investigation methodology and instruments used in the preinvestigation phase, 1986-1990. SKB. Technical Report 91-21.

6.- GLOSARIO DE TERMINOS

| | | |
|-----|---|--|
| COM | PACKER COMPLIANCE (before Shut in) | ESTABILIZACION PACKER (antes de cerrar válvula) |
| DEF | PACKER DEFlation | DESINFLADO PACKER |
| HI | CONSTANT HEAD INJECTION | INYECCION A NIVEL CONSTANTE |
| HIR | PRESSURE RECOVERY AFTER CONSTANT HEAD INJECTION | RECUPERACION DE PRESION TRAS INYECCION A NIVEL CONSTANTE |
| HIS | PRESSURE RECOVERY AFTER CONSTANT HEAD INJECTION (Shut in) | RECUPERACION DE PRESION TRAS INYECCION A NIVEL CONSTANTE (Cierre de la válvula) |
| HW | CONSTANT HEAD WITHDRAWAL | EXTRACCION A NIVEL CONSTANTE |
| HWR | PRESSURE RECOVERY AFTER CONSTANT HEAD WITHDRAWAL | RECUPERACION DE PRESION TRAS EXTRACCION A NIVEL CONSTANTE |
| HWS | PRESSURE RECOVERY AFTER CONSTANT HEAD WITHDRAWAL (Shut in) | RECUPERACION DE PRESION TRAS ESTRACCION A NIVEL CONSTANTE (Cierre de la válvula) |
| INF | PACKER INFLATION | INFLADO PACKER |
| PI | PULSE INJECTION | PULSE DE INYECCION |
| PSR | STATIC PRESSURE RECOVERY (Shut in) | RECUPERACION DE LA PRESION ESTATICA (Cierre de la válvula) |
| PW | PULSE WITHDRAWAL | PULSE DE EXTRACCION |
| RI | CONSTANT RATE INJECTION | INYECCION A CAUDAL CONSTANTE |
| RIR | PRESSURE RECOVERY AFTER CONSTANT RATE INJECTION | RECUPERACION DE PRESION TRAS INYECCION A CAUDAL CONSTANTE |
| RIS | PRESSURE RECOVERY AFTER CONSTANT RATE INJECTION (Shut in) | RECUPERACION DE PRESION TRAS INYECCION A CAUDAL CONSTANTE (Cierre de la válvula) |
| RW | CONSTANT RATE WITHDRAWAL | EXTRACCION A CAUDAL CONSTANTE |
| RWR | PRESSURE RECOVERY AFTER CONSTANT RATE WITHDRAWAL | RECUPERACION DE PRESION TRAS EXTRACCION A CAUDAL CONSTANTE |
| RWS | PRESSURE RECOVERY AFTER CONSTANT RATE WITHDRAWAL (Shut in) | RECUPERACION DE PRESION TRAS EXTRACCION A CAUDAL CONSTANTE (Cierre de la válvula) |
| SI | SLUG INJECTION | SLUG DE INYECCION |
| SIS | PRESSURE RECOVERY AFTER SLUG INJECTION (Shut in) | RECUPERACION DE PRESION TRAS SLUG DE INYECCION (Cierre de la válvula) |
| SW | SLUG WITHDRAWAL | SLUG DE EXTRACCION |
| SWS | PRESSURE RECOVERY AFTER SLUG WITHDRAWAL (Shut in) | RECUPERACION DE PRESION TRAS SLUG DE EXTRACCION (Cierre de la válvula) |

| | | |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------|
| PROYECTO PUMOC | REFERENCIA PUMDOC 7 | LOCALIZADO 131-2-7 |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------|

7. ESTIMACION PROVISIONAL DE GASTOS

1.- Perforación (1 sondeo de 1.000 mts)

| | Opción A (CHD 134) 43.000.000 | Opción C (101-T) 29.000.000 | |
|---|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------|
| Técnico especialista en lodos | | | 4.050.000 |
| Técnico especialista en control geológico | | | 4.500.000 |
| (IVA no incluido) | | | |

2.- Testificación geofísica

| | ADARO | CGS | IGT | SCHLUMBERGER |
|---|-----------|-----------|-----------|--------------|
| - Primer tramo | 1.534.800 | 971.000 | 1.066.200 | |
| - Segundo tramo | | | | |
| A (ϕ 101 mm) | 2.813.200 | 3.119.000 | 2.174.000 | 12.249.313 |
| B (ϕ 127 mm) con Formation MicroScanner B | | | | 16.539.813 |
| C (ϕ 160 mm) con Fullbore Formation Microlmager | | | | 17.345.813 |
| - Titulado experto en medios graníticos de apoyo a la interpretación geofísica | | | | 1.750.000 |
| (IVA no incluido) | | | | |

3.- Unidad móvil

| | |
|--------------------------|------------|
| Camión todoterreno VD. | 11.152.458 |
| Camión todoterreno VB. | 11.945.882 |
| Vehículo todoterreno VP. | 2.849.700 |
| (IVA incluido) | |

| | | |
|----------------|---------------------|--------------------|
| PROYECTO PUMOC | REFERENCIA PUMDOC 7 | LOCALIZADO 131-2-7 |
|----------------|---------------------|--------------------|

Instrumentación y carrozado VD

| | |
|-----------------|------------|
| Pluma descenso | 13.225.000 |
| Carrozado | 10.350.000 |
| Varillaje | 5.980.000 |
| Cabrestante | 902.000 |
| Grúa hidráulica | 902.750 |
| Generador | 1.955.000 |

(IVA incluido)

Instrumentación y carrozado VB. (Estimación global)

| | |
|---|------------|
| Equipo de profundidad, flowboard (flowmeters), líneas de conducción, booster de presión, cuadro de control packers, tanque de agua, sistema de adquisición de datos, Software (adquisición e interpretación), vasija de presión. | 54.000.000 |
|---|------------|

(IVA no incluido)

Instrumentación y carrozado VP.

| | |
|-----------------|------------|
| Instrumentación | 13.879.350 |
| Carrozado | 575.000 |

(IVA incluido)

4.- Consultores 20.000.000

(IVA no incluido)

A N E X O 1
ESTIMACION PROVISIONAL DE GASTOS. DOCUMENTACION

URO, VEHICULOS ESPECIALES, S. A.



FABRICA Y OFICINAS:

Via Edison, 17
Polígono del Tambor
15890 SANTIAGO DE COMPOSTELA
CORUÑA - ESPAÑA
Teléf.: Oficinas - ventas (9) 81 - 58 01 89
Recambios - post-venta (9) 81 - 58 05 89
FAX (981) 56 51 70

DIRECCION COMERCIAL:

Francisco Giralt, 2
Teléf. (9) 1 - 411 41 77
FAX (9) 1 - 261 56 20
Teléx: 47346 OFTE E
28002 MADRID

INSTITUTO TECNOLOGICO
GEOMINERO DE ESPAÑA
A/A.: JUAN GRIMA OLMEDO
C/ Ríos Rosas, 23
MADRID

UNOVESA - Vía Edison, 17, Polígono del Tambor - 15890 SANTIAGO DE COMPOSTELA

S/ Referencia:

Nº Referencia: CN/380

Fecha: 29.01.93

A cuenta:

Muy Sres. nuestros:

Después de la conversación mantenida con ustedes les pasamos oferta orientativa del vehículo URO de nuestra fabricación.

| | |
|--|-------------|
| * Vehículo URO modelo F-18.16/23 en versión chasis-cabina, con bloajes de diferencial en ambos ejes | 9.108.407,- |
| * Tacógrafo 24 horas 1/2 conductores | 100.752,- |
| * Asiento conductor gran confort | 70.527,- |
| * Suspensión delantera reforzada | 58.772,- |
| * Suspensión trasera reforzada | 58.772,- |
| * Barra estabilizadora trasera | 86.395,- |
| * Válvula de regulación de frenado en función de la carga .. | 88.158,- |
| * Cabrestante hidráulico de 5.500 Kg. de tracción | 793.424,- |
| * Juego de gatos delanteros y traseros extensibles manualmente, con válvulas de retención pilotadas | 925.290,- |
| * Equipo hidráulico compuesta por bomba, toma de fuerza, depósito, distribuidores, etc. para manejo de gatos | 262.085,- |
| * Aire acondicionado en cabina vehículo | 393.300,- |

Todos los precios anteriormente mencionados llevan IVA incluido (15%)

NOTA: Estos precios son del catálogo de bienes de adquisición centralizada
vigentes hasta el 26.05.93 con el IVA rectificado al 15%.

Atentamente

CARLOS NUÑO
Delegado Técnico Comercial

| MOTOR | CORTO | | | LARGO | |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | 4 cilindros | 6 cilindros | 4 cilindros | 6 cilindros | 6 cilindros |
| Opción | DIESEL | DIESEL | DIESEL | DIESEL | DIESEL |
| Tipo | A4.28 II | RD 28 | A4.28II | RD 28 | RD 28 |
| Ciclo | Diesel | Diesel | Diesel | Diesel | Diesel |
| Configuración | 4 cil. en línea | 6 cil. en línea | 4 cil. en línea | 6 cil. en línea | 6 cil. en línea |
| Cilindrada | 2.800 c.c. | 2.826 c.c. | 2.820 c.c. | 2.826 c.c. | 2.826 c.c. |
| Diametro x carrera | 94x101,6 | 85x83 | 94x101,6 | 85x83 | 85x83 |
| Relación de compresión | 22:1 | 21,2:1 | 22:1 | 21,2:1 | 21,2:1 |
| Potencia máxima | 62 kw 84 CV a 3.800 r.p.m. | 69,8 kw 95 CV a 4.800 r.p.m. | 62 kw 84 CV a 3.800 r.p.m. | 69,8 kw 95 CV a 4.800 r.p.m. | 62 kw 84 CV a 3.800 r.p.m. |
| Par máximo: | 180 Nm (18,3 mkg) a 2.000 r.p.m. | 169 Nm (17,3 mkg) a 2.400 r.p.m. | 180 Nm (18,3 mkg) a 2.000 r.p.m. | 169 Nm (17,3 mkg) a 2.400 r.p.m. | 180 Nm (18,3 mkg) a 2.000 r.p.m. |

TRANSMISION

| | | | | | |
|---|---|-----------|---------|-----------|-----------|
| Embrague: | Diafragma en seco con mando hidráulico. | | | | |
| Caja de cambios: Manual de 5 velocidades, todas sincronizadas | M5-25 | FS 5R 30A | M5-25 | FS 5R 30A | FS 5R 30A |
| Relaciones 1: | 4,431:1 | 4,061:1 | 4,431:1 | 4,061:1 | 4,061:1 |
| Relaciones 2: | 2,560:1 | 2,357:1 | 2,560:1 | 2,357:1 | 2,357:1 |
| Relaciones 3: | 1,726:1 | 1,490:1 | 1,726:1 | 1,490:1 | 1,490:1 |
| Relaciones 4: | 1,269:1 | 1,000:1 | 1,269:1 | 1,000:1 | 1,000:1 |
| Relaciones 5: | 1,000:1 | 0,862:1 | 1,000:1 | 0,862:1 | 0,862:1 |
| Relaciones M.A. | 3,938:1 | 4,125:1 | 3,938:1 | 4,125:1 | 4,125:1 |
| Reducción: | 2,22:1 | 2,02:1 | 2,22:1 | 2,02:1 | 2,02:1 |
| Ventil trasero: | 3,900:1 | 5,143:1 | 3,75:1 | 3,75:1 | 3,75:1 |
| Reducción final: | | | | | |

FRENOS

| | | | | | |
|------------------|---|--|--|--|--|
| Delantero: Disco | Hidráulicos. Dos circuitos independientes. Servofreno de vacío. | | | | |
| Trasero: Tambor | Válvula reguladora de frenado | | | | |

SISTEMA ELECTRICO

| | | | | |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Batería, Alternador: | 12 V, 55A | 12 V, 70A | 12 V, 55A | 12 V, 55A |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|

SUSPENSION

| | | | | | |
|------------|---|--|--|--|--|
| Delantera: | Ballestas parabólicas con amortiguadores telescópicos de doble efecto y barra estabilizadora. | | | | |
| Trasera: | Ballestas semielípticas con amortiguadores telescópicos de doble efecto. | | | | |

RUEDAS Y NEUMATICOS

| | | | | | |
|----------------------------|---|---|---|---|---|
| Llantas 6Jx16 DC | • | • | • | • | • |
| Neumáticos 205 SR 16 REINF | • | • | • | • | • |

DIRECCION

| | | | | | |
|----------------------|---|--------|--------|--------|--------|
| Tipo | Recirculación de bolas con asistencia integral. | | | | |
| Diámetro de giro (m) | 11,1 m | 11,1 m | 13,5 m | 13,5 m | 13,5 m |

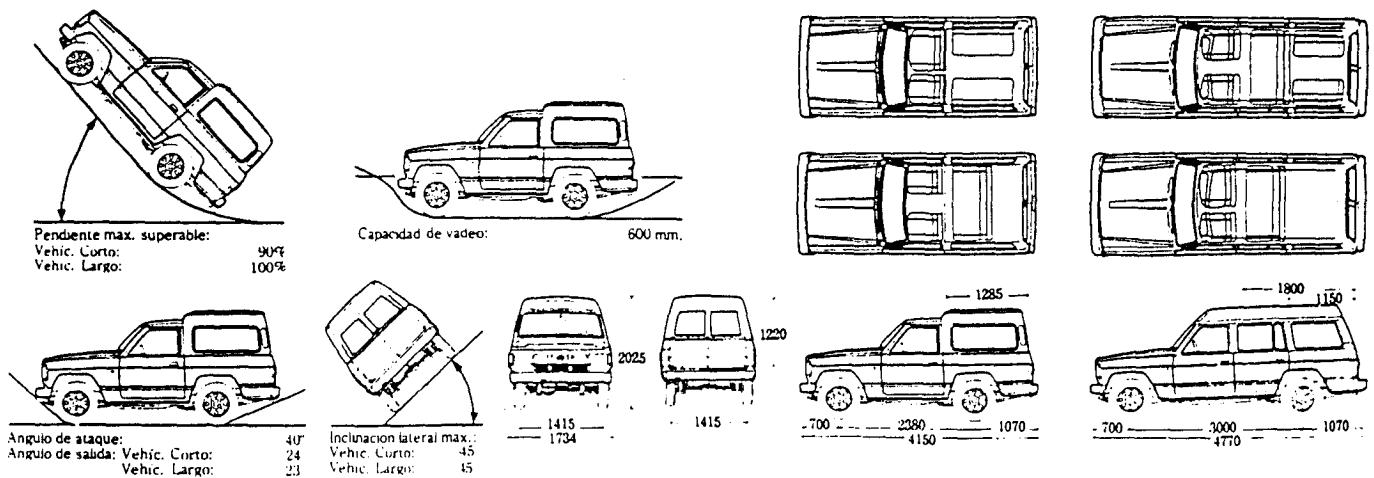
PESOS

| | | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| En orden de marcha | 1.860 | 1.860 | 1.985 | 2.020 | 2.020 |
| MA | 2.550 | 2.550 | 2.800 | 2.800 | 2.800 |
| Larga máxima | 690 | 690 | 815 | 830 | 830 |
| Con freno auxiliar | 1.700 | 3.500 | 1.500 | 3.500 | 3.500 |
| Sin freno auxiliar | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 |
| Peso total combinado | 4.250 | 6.050 | 4.300 | 6.300 | 6.300 |

PRESTACIONES

| | | | | | |
|--|-----|------|-----|------|------|
| Vel. máx. (km/h) | 128 | 133 | 125 | 133 | 133 |
| Pendiente máx. superable a plena carga | 90% | 100% | 90% | 100% | 100% |
| Depósito combustible 821 | • | • | • | • | • |

Debido a las continuas innovaciones introducidas en los vehículos, estas características se dan a título de indicación y no de compromiso.



Feb 12-1993 OFERTA N° 1100.931.037 HOJA N° 5/6

8. VARILLAJE

340 Varillas GMV de 33'5 x 3000

9. PRECIOS APROXIMADOS

2. VEHICULO URO F-14.16/10S_____ 9.500.000

3., 4., 5., 6. EQUIPO CANARIAS_____ 11.500.000

7. CARROZADO_____ 9.000.000

8. VARILLAJE_____ 3.500.000

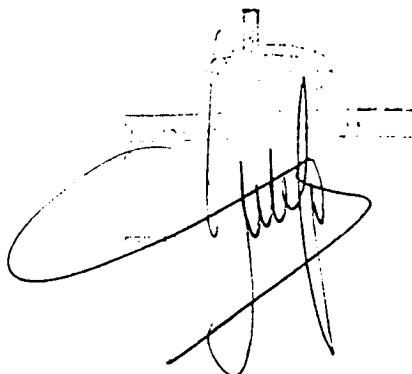
PESETAS_____ 33.500.000

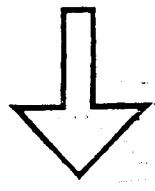
GENERADOR , COMPRESOR, BOMBA, DIVERSO
MATERIAL E IMPREVISTOS_____ 4.000.000

TOTAL PESETAS ANTEPROYECTO 37.500.000

15% I.V.A. NO INCLUIDO EN EL PRECIO

DIEZ PREMIOS
AL PRESTIGIO,
IMAGEN Y
CONFIANZA

A large, handwritten signature is written over a stylized oval shape, which appears to be a graphic element or a redacted area.



Mar 31-1993 OFERTA N° 1101.931.065 HOJA N° 3/3

PRECIOS APROXIMADOS

| | |
|-----------------|-----------|
| CABRESTANTE | 800.000 |
| GRUA HIDRAULICA | 785.000 |
| GENERADOR | 1.700.000 |
| VARILLAJE | 5.200.000 |

TOTAL PESETAS COMPLEMENTO ANTEPROYECTO 8.485.000

15% I.V.A. NO INCLUIDO EN EL PRECIO

[Large handwritten signature over the form]

| | | | | | |
|--|-----------|-------|---------|-------|-------|
| Cognome | Nome | Città | Prov. | Cap. | Prov. |
| PIRELLI | FRANCESCO | MIAMI | FLORIDA | 33142 | MIAMI |
| Via | | | | | |
| SANTO DOMINGO | | | | | |
| Città | | | | | |
| MIAMI | | | | | |
| Prov. | | | | | |
| FLORIDA | | | | | |
| Cap. | | | | | |
| 33142 | | | | | |
| Paese | | | | | |
| ITALIA | | | | | |
| Data | | | | | |
| 10-10-1988 | | | | | |
| Firma | | | | | |
| <i>[Handwritten signature over the signature line]</i> | | | | | |

DIEZ PREMIOS
AL PRESTIGIO,
IMAGEN Y
CONFIANZA



SOLEXPERTS AG

STUDIEN- UND BERATUNGSBUREAU FÜR ANWENDUNGEN DER GEOTECHNIK
BUREAU D'ÉTUDES POUR LES APPLICATIONS DE LA GÉOTECHNIQUE
RESEARCH AND CONSULTING OFFICE FOR APPLIED ROCK AND SOIL MECHANICS

Briefadresse: Ifangstr. 12, Postfach 230,
CH-8603 Schwerzenbach (Zürich)
Telefon: 01/825 29 29
Telefax: 01/825 00 63

Geo Minero de España
Rios Rosas, 23
E-28003 MADRID

att. Mr. Juan Grima Olmedo

Schwerzenbach, March 17, 1993
ATH/ct o2576

QUOTATION NO. 2576

Cost Estimation for the Solexperts DP/SP-Test System

The test system consists of:

- 2 downhole 4-1/4" double packer assemblies (5 a 6 1/4" de diámetro de sondeo)
- 1 flowboard including two mass flowmeters and two back-up mass flowmeters (range: 0 to 18 l/min)
- triple flat pack (1000 m) on automatic winch with hydraulic control unit, packer control board, pressure booster, source tank, pressure tank, 2 transducers, hoisting reel, several steel lines, repair kit
- 2 triple probes (downhole) with probe carrier and triple subs, calibrated with test certificate
- data acquisition system including data acquisition PC, 2 signal conditioners, 2 frequency counters, analog/digital converter Helios for surface transducer and flowmeters signals, printer
- software: Solexperts data acquisition program SDQ, Solexperts data handling program SDH
- pressure vessel to conduct constant head injection tests

Estimated total cost:

SFr. 600'000.00

+ 10%

SOLEXPERTS LTD.

4 - 1 - 2

GEOTRÓN, S.L.

VIRGEN DEL VAL, 28
TELEFONO 404 85 34

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE
INSTRUMENTAL ELECTRONICO

EQUIPOS PARA PROSPECCION
GEOFISICA
SISMICOS, MAGNETOMETRIA
GRAVIMETRIA, ELECTROMAGNETICOS
GEO-RADAR, POLARIZACION INDUCIDA

N/Ref.: EIF: C-2820007-I

S/Ref.:

Fecha: 21-6-93

Pro-forma
FACTURA N.^o 4.186

INSTITUTO TECNOLOGICO GEOMINERO
DE ESPAÑA.

Dirección de Aguas Subterráneas
y Geotécnica.
C/ Ríos Rosas, 23
28003 Madrid.

| POSIC. | CANTIDAD | DESCRIPCION, MARCA Y MODELO | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
|------------------------------|----------|------------------------------------|---------------------|--------------|
| | 1 | Unidad de superficie WELLFAC | | 3.798.900,- |
| | 1 | Sonda de control | | 521.100,- |
| | 1 | Carrete eléctrico de 220V | | 3.564.000,- |
| | 1 | Tábile de 500, de acero, ptsym | 1.080,- | 540.000,- |
| | 1 | Trípode | | 367.200,- |
| | 1 | Sonda de Temperatura | | 915.300,- |
| | 1 | Sonda Calíper | | 1.736.600,- |
| | 1 | Flowmeter | | 1.125.900,- |
| OBSERVACIONES: | | Iva no incluido | SUBTOTAL PTAS | 12.069.000,- |
| fecha aproximada de entrega: | | | I.V.A. | |
| | | | TOTAL PTAS. | |

A N E X O
FIGURAS Y TABLAS

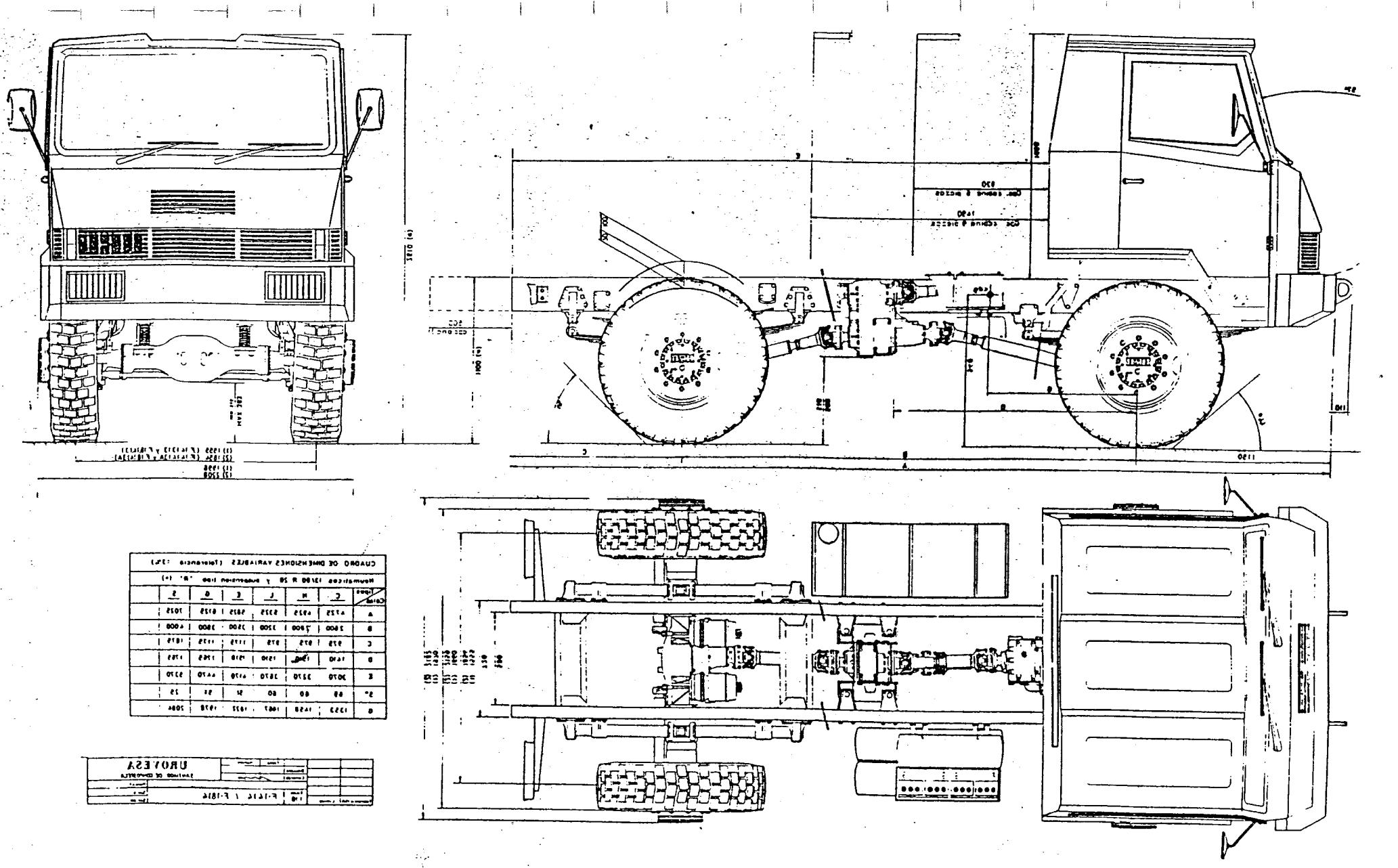
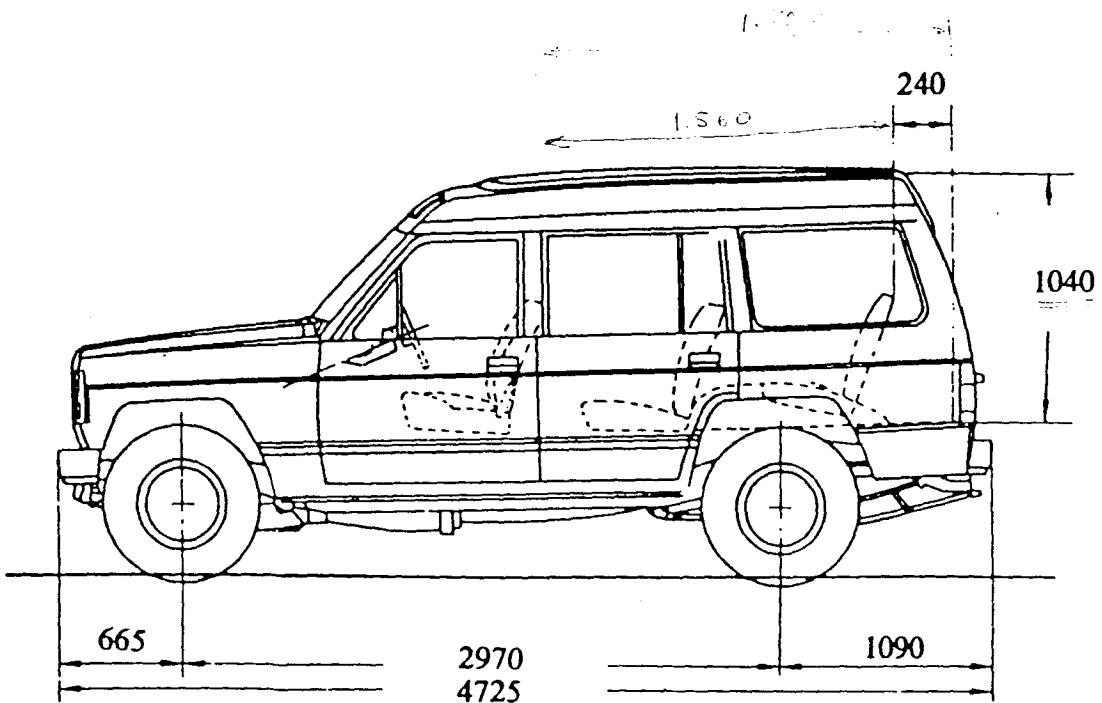
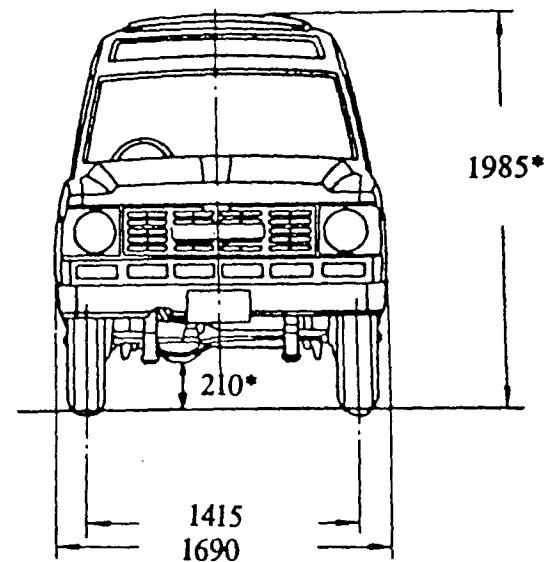
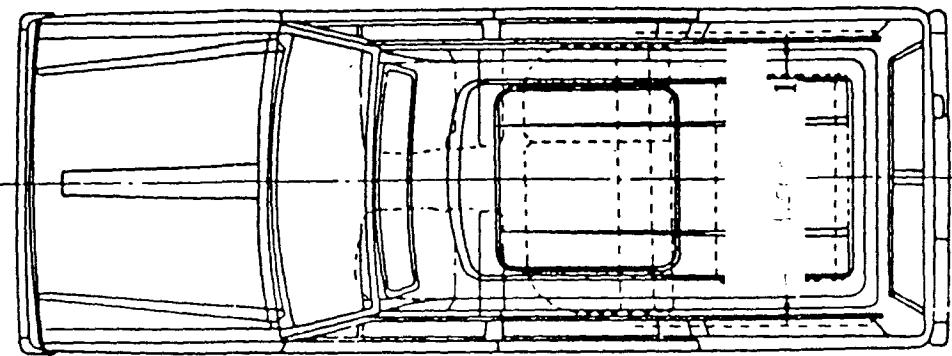
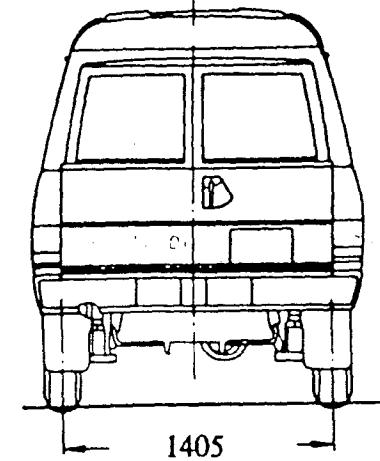


FIGURA-1

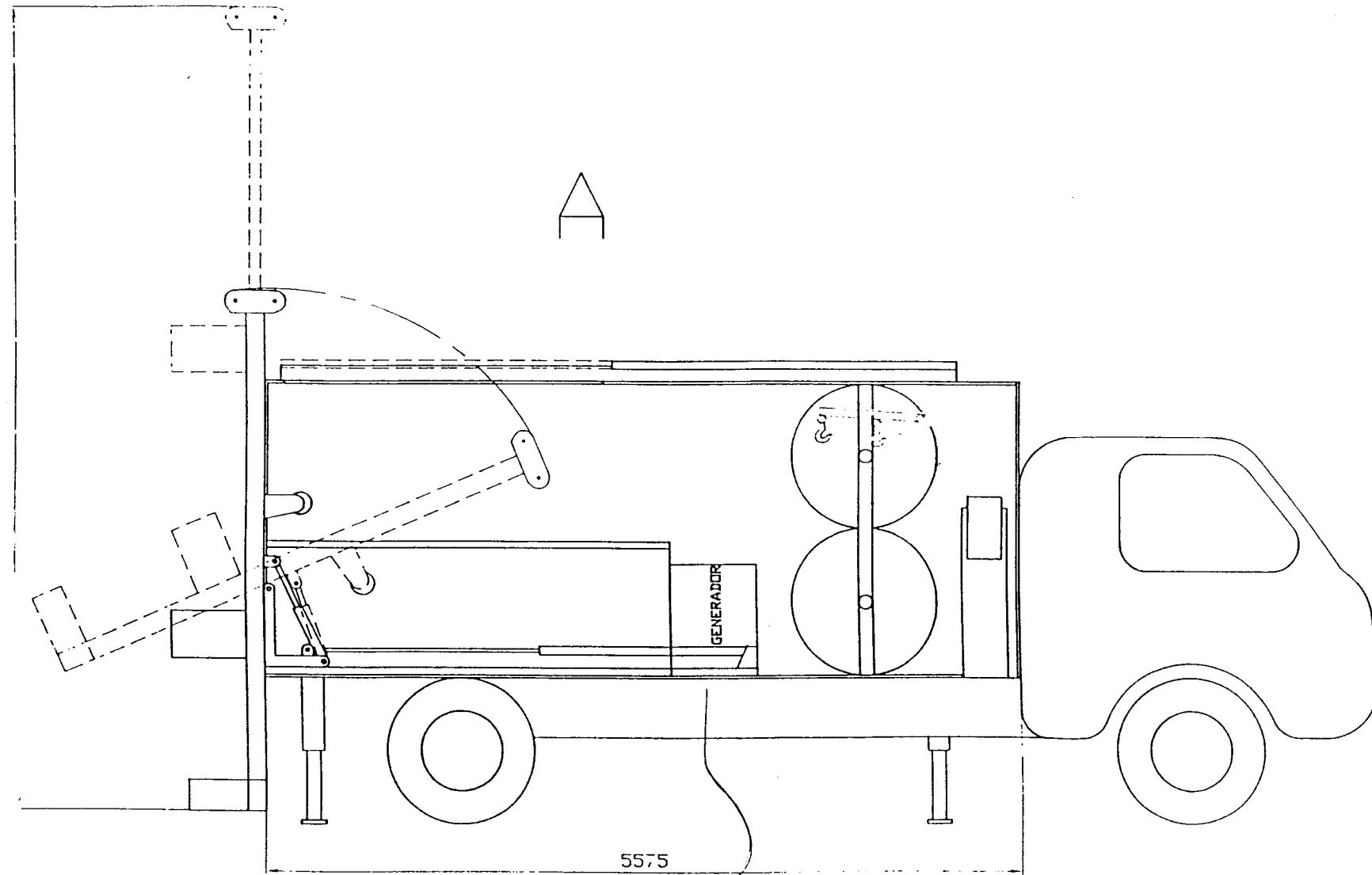


vacío

.061

Unidad: mm

FIGURA-2



Ficha
30

3

Material

industrial de sondeos, s. a.

ANTEPROYECTO PARA ITGM

1/1/6

Escala
1:30

FIGURA-3

A1

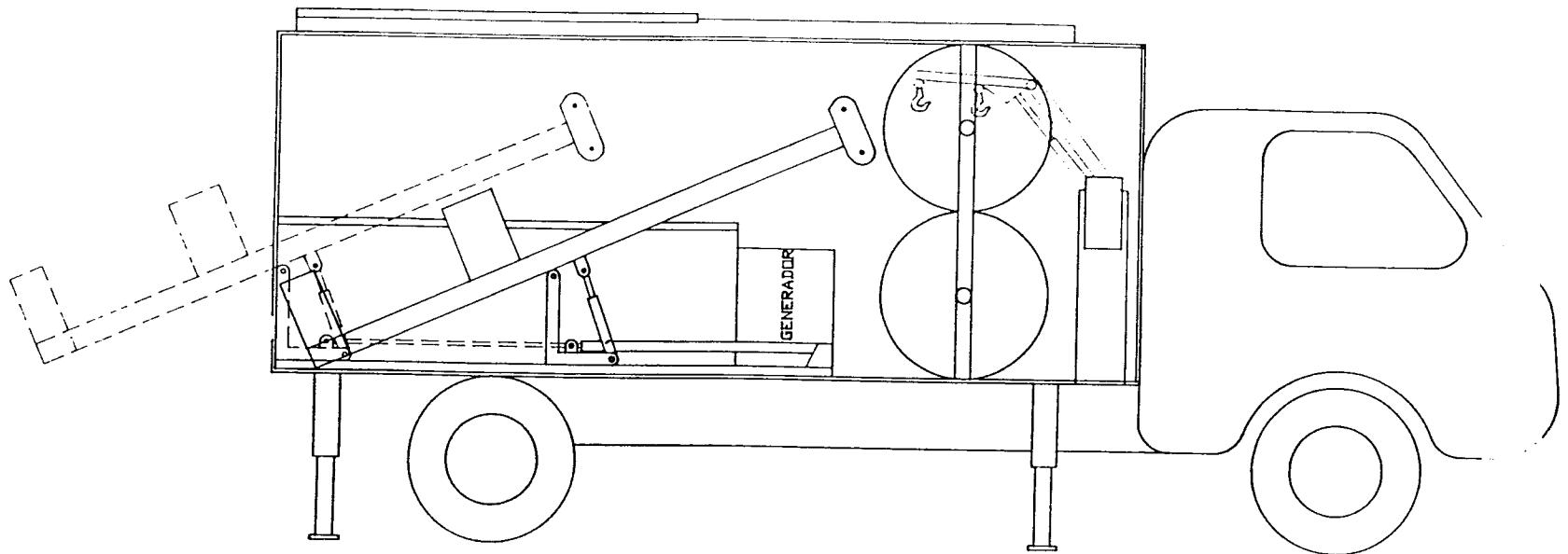


Figura
30-1-1993

Automa

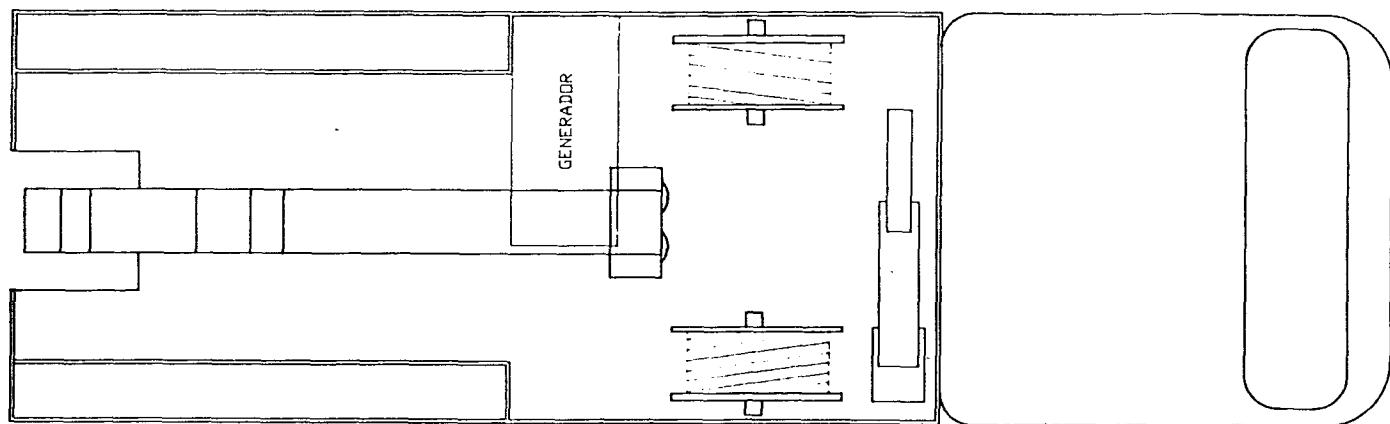
industrial de sondeos, s. a.

ANTEPROYECTO PARA ITGM 1/1

Escale
1:1

FIGURA-4

A2

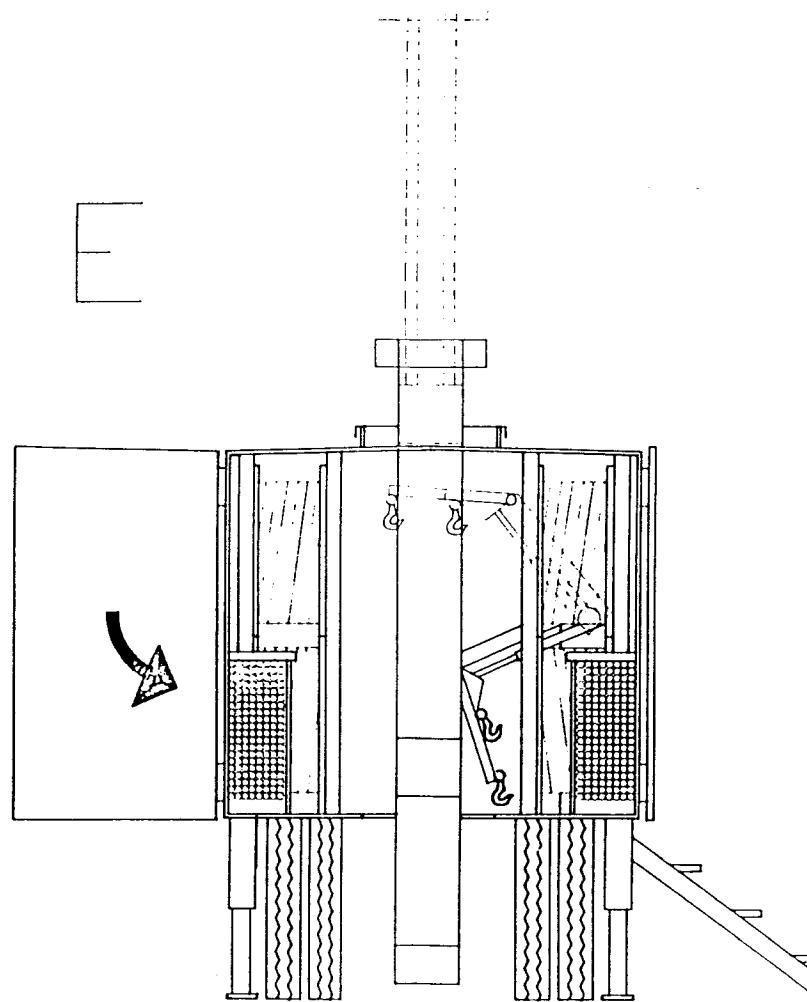


30-1-1993
1/1

industrial de sondeos, s. a.

ANTEPROYECTO PARA ITGM 1/176 E1

FIGURA-5



30-1-1993
F. A. M. S. A. /

industrial de sondeos, s. a.

ANTEPROYECTO PARA ITGM 1 /

6 | E.
1 |

FIGURA- 6

40.192

Sustituye a:
Sustituido por:

△△(△, ~)

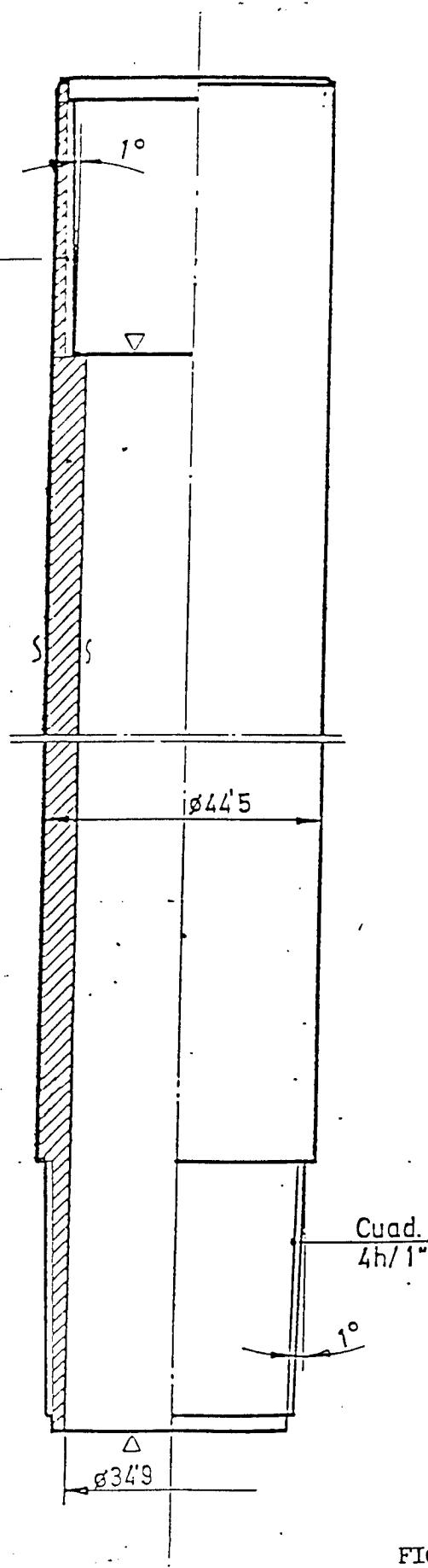


FIGURA-7

11

Material: Tubo acero al carbono s/s de 44.5x34.9xL+2

Modelo:

Escala:

151

Pro:

Caja de instrumentos para manguera

Comprobación:

AI

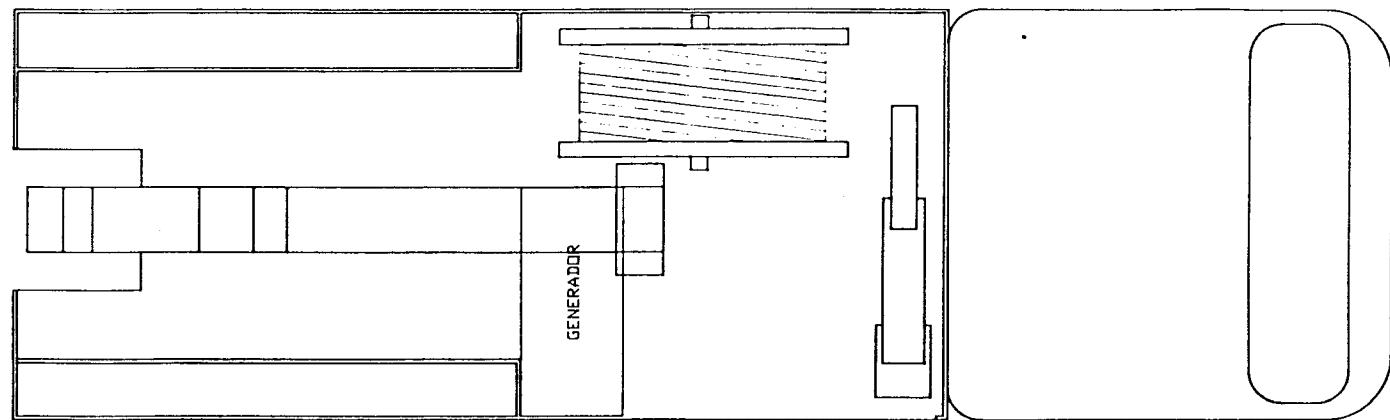
VARILLA WIRE-LINE, AQ

Sustituye a:

Sustituido por:

40.192

B2



Fecha:
30-1-1993

Láser n:

industrial de sondeos, s. a.

ANTEPROYECTO PARA ITGM 1/1

Escala:
5
1:

FIGURA- 8

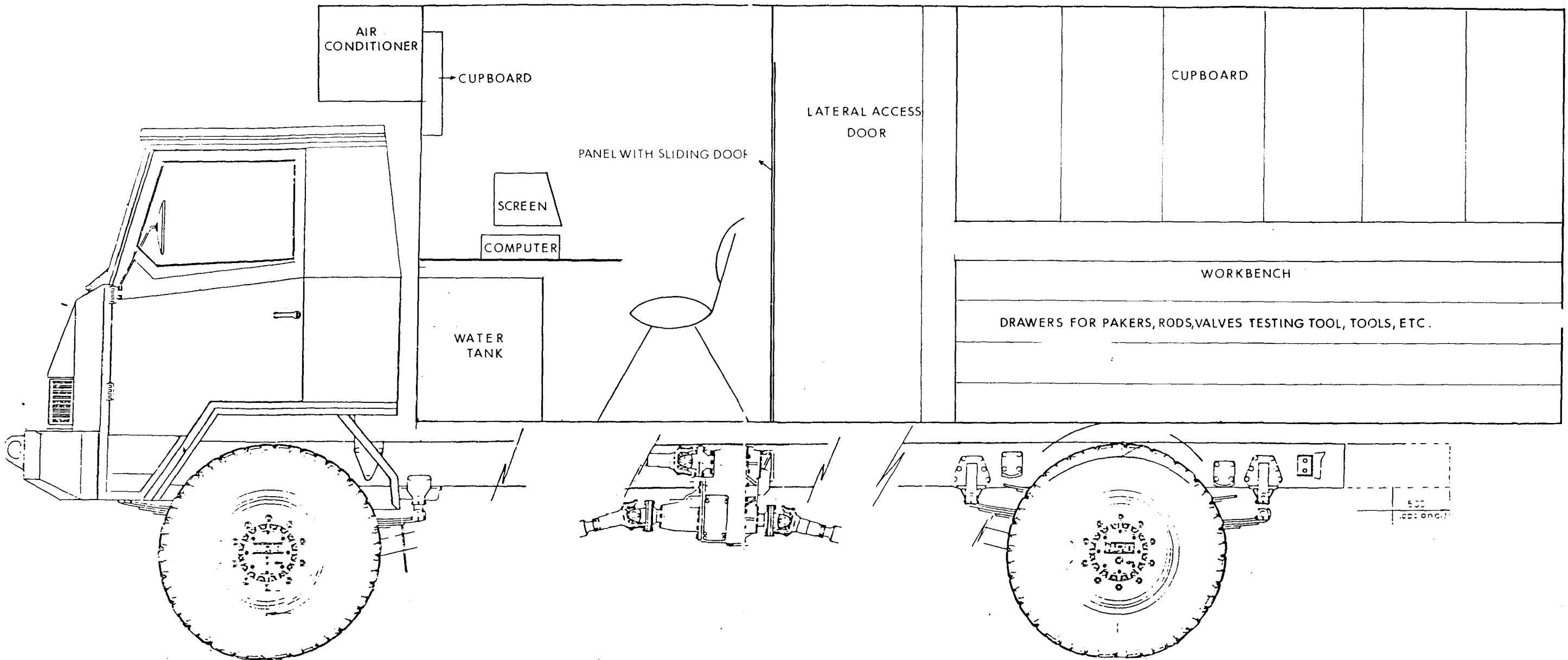
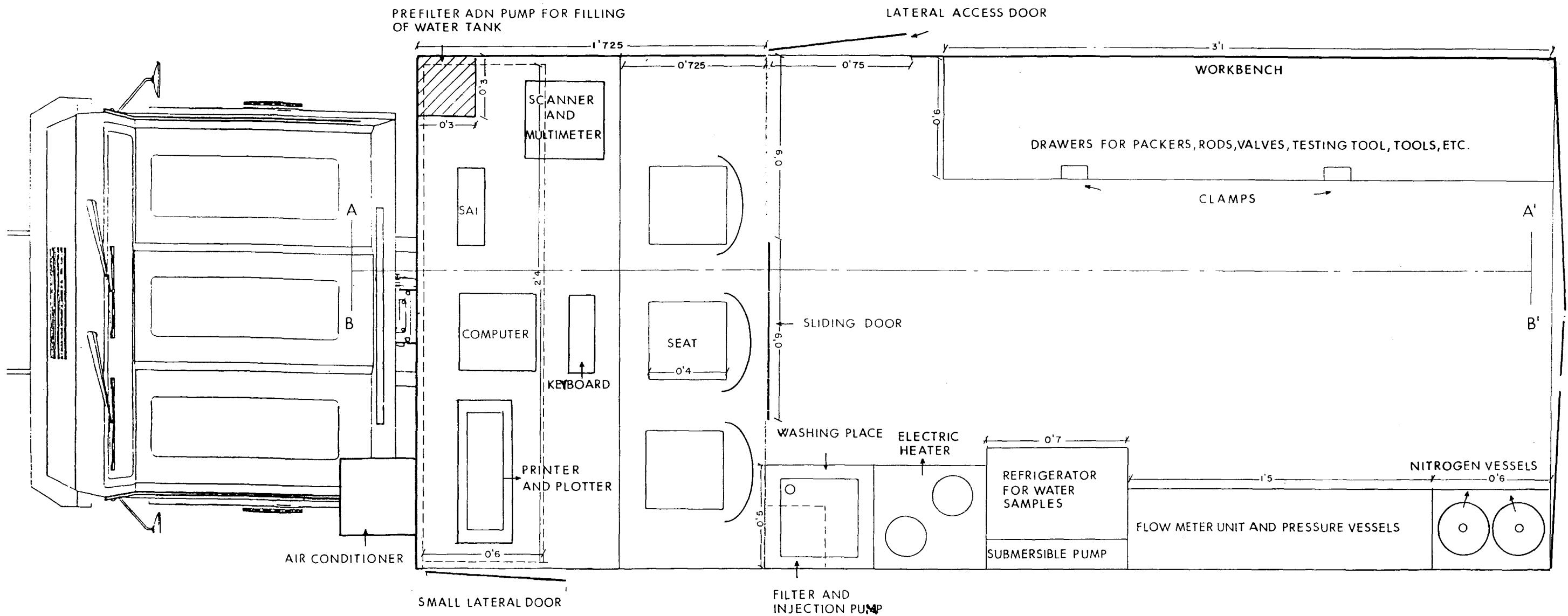


Figura 9



E 1/20

PLANTA

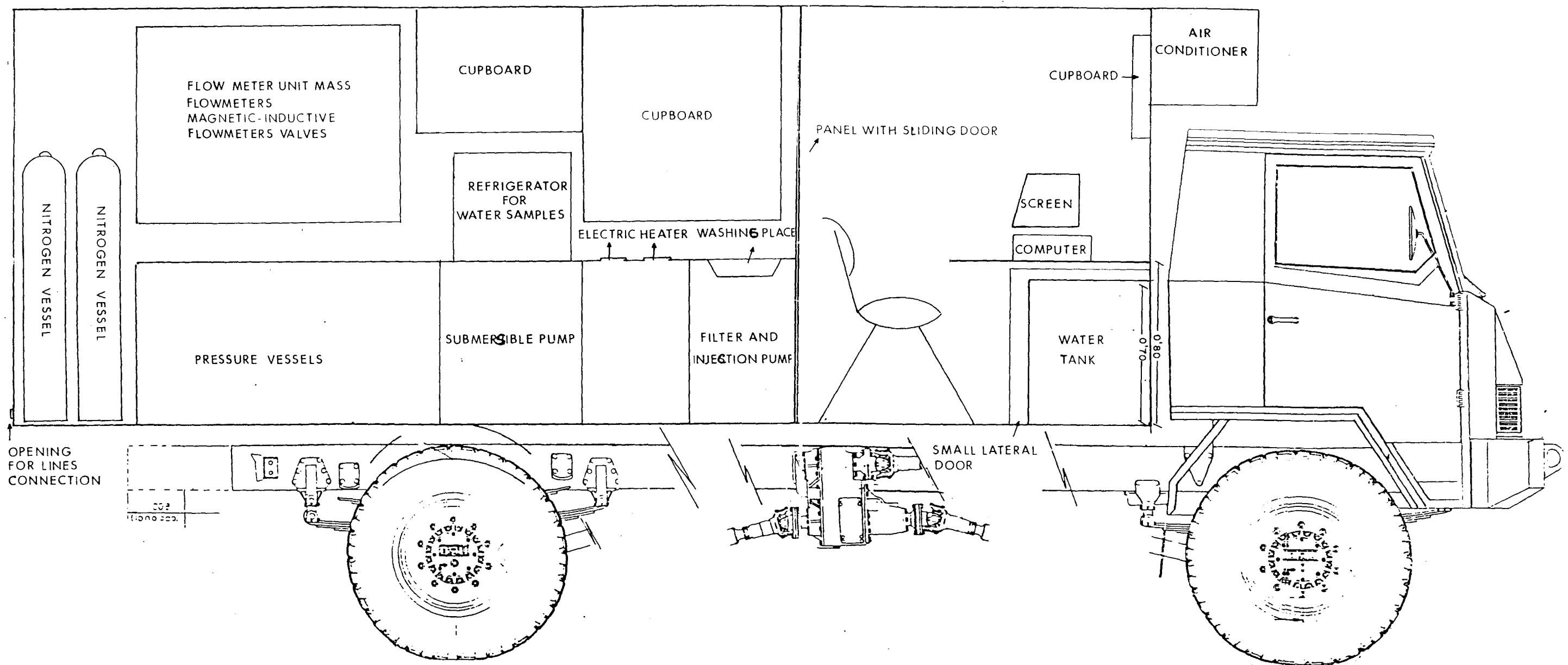


Figura 11

PROYECTO PUMOC

REFERENCIA PUMDOC 8

LOCALIZADO 131-2-8

**CONCEPTUAL DESIGN AND PREVIOUS TECHNICAL SPECIFICATIONS OF THE HYDROLOGICAL
MOVIL UNIT**

PUMDOC - 82

Julio, 1993

INDEX**1. VEHICLES OF THE MOVIL UNIT****1.1. LOWERING OF DOWNHOLE EQUIPMENT TRUCK (VD)****1.1.1. Characteristics**

- A. Dimensions
- B. Weight
- C. Engine
- D. Fordability
- E. Fuel Tank

1.2. RECORDING TRUCK (VB): DATA ACQUISITION AND PROCESSING**1.2.1. Characteristics**

- A. Dimensions
- B. Weight
- C. Engine
- D. Fordability
- E. Fuel Tank

1.3. BOREHOLE GEOPHYSICAL MEASUREMENTS VEHICLE (VP)**1.3.1. Characteristics**

- A. Dimensions
- B. Weight
- C. Engine
- D. Fordability

2. INSTRUMENTATION AND DESIGN OF THE LOWERING DOWNHOLE EQUIPMENT TRUCK (VD)**2.1. SYSTEM OF LOWERING THE DOWNHOLE EQUIPMENT****2.1.1. Hoisting Rig. Power. Control Board****2.1.2. Pipes****2.1.3. Hydraulic hoses: type, hose reels and rewind system.**

2.2. DESIGN AND GENERAL EQUIPMENT

- 2.2.1. Design. Pipes storage
- 2.2.2. Water Crane
- 2.2.3. Generating set

3. INSTRUMENTATION AND DESIGN OF THE RECORDING TRAILER (VB)**3.1. EQUIPMENT AT THE TEST SECTION**

- 3.1.1. Packers
- 3.1.2. Nitrogen vessels for packers inflation
- 3.1.3. Perforated pipes
- 3.1.4. Testing tool
 - A. Probe carrier
 - B. Valves
 - C. Transmitters/transducers
 - D. Safety joint

3.2. WATER INJECTION/PUMPING SYSTEM

- 3.2.1. Water tank. Heater. Filters
- 3.2.2. Injection pump
- 3.2.3. Injection control system: Mass flowmeters. Pressure control
 - A. Pressure vessels
 - B. Mass flowmeters

3.3. DATA ACQUISITION SYSTEM

- 3.3.1. Hardware
 - A. Computer
 - B. Printer
 - C. S.A.I. (Powerbak)
 - D. Scanner
 - E. Multimeter
 - F. IEEE Card
- 3.3.2. Software
 - A. Data acquisition software
 - B. Data handling software

C. Simulation software

3.3.3. Dataloggers

3.3.4. Control board for hydraulic testing and level adjustment.

3.4. DESIGN AND GENERAL EQUIPMENT

3.4.1. Design

3.4.2. Furniture

3.4.3. Lighting

3.4.4. Conditioner

4. DESIGN AND GENERAL EQUIPMENT OF BOREHOLE GEOPHYSICAL MEASUREMENTS VEHICLE (VP)

4.1. LOWERING DOWNHOLE EQUIPMENT SYSTEM

4.1.1. Winch

4.1.2. Tripod and pulley

4.1.3. Movable pulley system

4.1.4. Surface unit

4.2. GEOPHYSICAL INSTRUMENTATION. PROBES

4.2.1. Flowmeter. Temperature. Conductivity

4.2.2. Caliper

4.3. HYDROCHEMICAL INSTRUMENTATION. PROBE

4.3.1. Hydrochemical probe

4.4. ARRANGEMENT AND ACCESSORIES

4.4.1. Bodytruck

4.4.1. Furniture

PROYECTO PUMOC

REFERENCIA PUMDOC 8

LOCALIZADO 131-2-8

1. VEHICLES OF THE MOVIL UNIT

1. VEHICLES OF THE MOVIL UNIT**1.1. LOWERING OF DOWNHOLE EQUIPMENT TRUCK (VD)**

This vehicle must allows the lowering of the downhole equipment, the movements to the borehole without large conditioning repairs even in abrupt terrains and without special traffic permissions. The truck will be placed on hydraulic jack-up legs, which give stability and make level adjustment possible.

1.1.1. Characteristics

The vehicle proposed is trademark URO (model F-18.16/23), four-wheel drive, because of its capacity of movement in the field, its facility of maintenance and repairs and its useful load (Figure 1). Its main characteristics are:

A. Dimensions

Length between axles: 3.800 mm.

Overall length of the vehicle: 6.125 mm.

Width of the vehicle: 2.325 mm.

Length of body truck (box): 5.575 mm.

Width of body truck (box): 2.500 mm.

Height of body truck (box): 2 m.

Angle of attack: 45°

Back working angle: 41°

B. Weight

With the dimensions before mentioned the weight of the vehicle is 4.500 kg. and the overall weight with the truckload is 16.000 kg.

C. Engine

The engine is FIAT-IVECO with a power of 177 CV. DIN, with a maximum torque of 57 mkg. DIN.

The cylinder capacity is 5.861 cc.

D. Fordability

Maximum of 800 mm.

E. Fuel tank

The capacity of the tank is 180 litres of fuel, with possibility for 130 litres more.

1.2. RECORDING TRUCK (VB); DATA ACQUISITION AND PROCESSING

This vehicle, in the same way that the truck for lowering the downhole equipment, must allows hydraulic testing, the movements to the borehole without large conditioning repairs even in abrupt terrains and without special traffic permissions. The truck will be placed on hydraulic jack-up legs, which give stability and make level adjustment possible.

1.2.1. Characteristics

The vehicle proposed is trademark URO (model F-18.16/23), four-wheel drive, because of its capacity of movement in the field, its facility of maintenance and repairs and its useful load (Figure 1). Its main characteristics are:

A. Dimensions

Length between axles: 3.800 mm.

Overall length of the vehicle: 6.125 mm.

Width of the vehicle: 2.325 mm.

Length of body truck (box): 5.575 mm.

Width of body truck (box): 2.500 mm.

Height of body truck (box): 2 m.

Angle of attack: 45°

Back working angle: 41°

B. Weight

With the dimensions before mentioned the weight of the vehicle is 4.500 kg. and the overall weight with the truckload is 16.000 kg.

C. Engine

The engine is FIAT-IVECO with a power of 177 CV. DIN, with a maximum torque of 57 mkg. DIN. The cylinder capacity is 5.861 cc.

D. Fordability

Maximum of 800 mm.

E. Fuel tank

The capacity of the tank is 180 litres of fuel, with possibility for 130 litres more.

1.3. BOREHOLE GEOPHYSICAL MEASUREMENTS VEHICLE (VP)

This vehicle must allows the movement of the basic geophysical equipment to support the hydraulic testing to the borehole with the same characteristics than VD and VB. This geophysical measurements are previous to the hydraulic testing and are independent of the geophysical investigations to be performed by the geophysicists. The objective is to provide rough information about some parameters.

1.3.1. Characteristics

The proposed vehicle is a Nissan Patrol, large chassis, four-wheel drive and six cylinders engine (figure 2).

The main characteristics are:

A. Dimensions

Length between axles: 2.970 mm

Overall length of the vehicle: 4.725 mm.

Width of the vehicle: 1.690 mm.

Length of body truck (box): 1.800 mm. (inferior), 1.560 mm (superior)

Width of body truck (box): 1.500 mm (inferior), 1.000 mm (superior)

Height of body truck (box): 1.040 mm

B. Weight

For the dimensions mentioned before the weight of the vehicle is 2.020 kg, and the maximum truckload is 2.800 kg.

C. Engine

Six cylinders diesel engine, with a cylinder capacity of 2.826 cc., maximum power of 95 CV for 4.800 r.p.m. and maximum torque of 17,3 mkg for 2.400 r.p.m.

D. Fordability

Maximum 600 mm.

do you think is enough for mobility, operativity in the field and robustness the division of the movil unit in three vehicles? do these vehicles fit the work?

PROYECTO PUMOC

REFERENCIA PUMDOC 8

LOCALIZADO 131-2-8

**2. INSTRUMENTATION AND DESIGN OF THE LOWERING DOWNHOLE
EQUIPMENT TRUCK (VD)**

2. INSTRUMENTATION AND DESIGN OF THE LOWERING DOWNHOLE EQUIPMENT TRUCK (VD)

The vehicle for lowering the downhole equipment (figures 3, 4, 5, y 6), includes the positioning system of the downhole assembly, the design and construction of the body truck and certain elements included as general equipment.

2.1. SYSTEM OF LOWERING THE DOWNHOLE EQUIPMENT

2.1.1. Hoisting Rig. Power. Control Board

- **Hoisting Rig:** The rig is adjustable for boreholes of different inclinations (0-90°) up to 1.000 m depth. In this design the rig is lowered before the transport. It is a type ISSA-GM model CANARIAS 240 with the following characteristics (figures 3 y 4):
- **Lifting capacity:** The hoisting equipment has a lifting capacity of 7.000 Kg although can be enlarged up to 10.000 Kg. for using pipes of greater diameter.
- **Length:** 3.680 mm. (up to 6 m)
- **Useful length:** 3.330 mm.
- **Motive power:** It is electrically powered (power take-off from the truck) and hydraulically controlled.
- **Hydraulic system control board:** It consists of rotation distributors, lifting and pushing of the hoisting rig, the chuck (open and close), the operation of the reels and the capstan. Optionally can be incorporated in the same control board or in another one the distributors corresponding to the hydraulic jack-up legs and positioning of the hoisting rig.
- **Rotating head with chuck:** The pushing capacity is 50 KN and the lifting capacity is 70 KN. The chuck has a maximum diameter of 55 mm. and axial force of 47 KN. The clamp has a minimum diameter of 40 mm, maximum of 100 mm and axial force of 40 KN. This device allows to screw up the pipes. The pushing capacity can be enlarged up to 100 KN and the lifting capacity up to 130 KN.

The useful length of the hoisting rig can be enlarged up to 6 m, by means of a pulley (figura 4). This possibility allows the introduction of the downhole assembly, that will be described later on, and the handling of a set of two pipes 3 meters long.

At the back of the hoisting rig will be placed a capstan with 900 Kg capacity, to easy the positioning of the pipes and the downhole assembly, by means of a pulley installed at the top of the hoisting rig.

The capstan has a diameter 165 mm, width 210 mm, and the maximum velocity is 3,398 m/seg.

2.1.2. Pipes

It must fit the API standard, since the pumping sometimes will be through the pipes. The joints have to be watertight. What is the system to obtain this?

Options:

Steel pipes GMAQ (figure 7)

- Carbon steel pipes
- Length: 3 m.
- Outside diameter: 44,5 mm.
- Inside diameter: 34,9 mm.
- Weight: 4,65 kg/m.
- Sleeves with grooves for the lines.

Steel pipes 51 mm diameter

- Steel pipe.
- Length: 3 m.
- Outside diameter: 61 mm.
- Inside diameter: 51 mm.
- Weight: 7,0 kg/m.
- Sleeves with grooves for the lines.

Is suitable the diameter of the pipes? Which of the options is better? Is there any better?

| | | |
|----------------|---------------------|--------------------|
| PROYECTO PUMOC | REFERENCIA PUMDOC 8 | LOCALIZADO 131-2-8 |
|----------------|---------------------|--------------------|

2.1.3. Hydraulic hoses: type, hose reels and rewind system.

The system includes three lines. One electric cable from the testing tool to the data acquisition system and two lines for packer inflation.

Is better having two lines for packer inflation? Is it possible to inflate both packers with the same line?

The maximum lenght is 1.000 m. Options:

Independent reels (figures 4 y 5): A reel is used for every one of the lines so repairs can be done in case of breaking.

This reels include an automatic rewind system to wind and rewind the cables.

Characteristics:

- 1.000 m. signal cable type "Blocked cables" manufactured by Rochester Corporation.
- 1.000 m. double polyester high pressure tube for packer inflation. If the packer inflation is done with nitrogen the diameter will be 4 mm. If the inflation is done with both nitrogen and water the diameter will be 12 mm.

It can be considered the possibility of a fourth line to perform injection tests in some cases through this line.

Characteristics:

- 1.000 m. polyurethane tube 40° shore D hardness (standard ISO 868) 12 mm outside diameter.

One reel (figure 8): In this option it has been considered one reel with three lines. One for the electric cable and two for packer inflation. One of them can be used for water injection.

In this way the three lines can be packed with a polyurethane outer jacket, so the handling would be easier. The main inconvenient is the repair in case of breaking. An automatic rewind system will be placed too.

In both cases the lines will be fasten to the pipes by means of clips.

What of both options do you think is better?

do we need a fourth line for performing injection tests? in which circumstances?

2.2. DESIGN AND GENERAL EQUIPMENT

2.2.1. Design. Pipes storage

The different components of the vehicle for lowering the downhole equipment will be placed inside the box of the truck, with the dimensions mentioned in 1.1.1.A, with a retractable roof to put in position the hoisting rig during work (figures 3, 4, 5, y 6). There will be, too, a lateral door to introduce and pull out any element with the water crane.

There will exist two lateral compartments for the disposal of the pipes, at both sides of the hoisting rig (figure 6), for distributing the weight. With the capstans the pipes will be pulled out to the hoisting rig.

- Dimensions of the lateral compartments:
 - Length: 3.200 mm.
 - Width: 500 mm.
 - Height: 800 mm.

2.2.2. Water Crane

It will be placed on the truck base behind the cab (figures 3, 4, y 5), to move heavy objects, such as reels, driven by two hydraulic cylinders. It has a distributor and the rotation can be 360 °. Its main characteristics are:

- Maximum capacity: 2.000 kg in a 1,55 m. radius.
- Maximum reach: 2,85 m.
- Elevation height: 3,40 m. above the water crane support.

2.2.3. Generating set

The electrical generator is driven by a Honda diesel engine. The maximum output from the 380 V generator is 15 kVA. It must provide power for the air-conditioning, the data acquisition system and the lighting of the different vehicles of the movil unit. The main characteristics are:

Type: EXT 12 D (Honda)

Fuel: Diesel

Cylinder capacity: 1.061 cc.

Fuel tank: 38 l.

Autonomy: 13 hours

Dimensions: 1.390 x 630 x 815 mm.

KVA: 12 ó 15.

Is convenient having a fuel tank of greater capacity (say 400 l)?

Is convenient having an air compressor? what is used for?

| | | |
|----------------|---------------------|--------------------|
| PROYECTO PUMOC | REFERENCIA PUMDOC 8 | LOCALIZADO 131-2-8 |
|----------------|---------------------|--------------------|

3. INSTRUMENTATION AND DESIGN OF THE RECORDING TRAILER (VB)

3. INSTRUMENTATION AND DESIGN OF THE RECORDING TRAILER (VB)

3.1. EQUIPMENT AT THE TEST SECTION

3.1.1. Packers

In most cases the test section will be sealed by means of two packers. There must exist tubings through the packer to function as pressure lines. The injection of water in the tests section is done through the pipe string. In some cases to inject water in the test section, a larger tubing through the packers can be used. The diameter of the packers depends on the borehole diameter.

Options and characteristics:

- Archway Engineering (U.K).

| EXPANSION RADIUS (mm) | TUBE RADIUS (mm) | WORKING PRESSURE (bar) |
|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 42 - 100 | 12 | 20 |
| 67 - 135 | 23 | 15 |
| 85 - 185 | 47 | 12 |
| 130 - 275 | 76 | 12 |
| 170 - 350 | 101 | 10 |

- **Aardvark.** The length of 23 B is 1,15 m.; 1,2 of 34 B, 36 and 47; 1,9 of 610 and 1,93 of 713.
Characteristics:

| MODEL | MAXIMUM EXPANSION RADIUS (mm) | TUBE DIAMETER (mm) | PRESSURE (Psi/KG/Cm ²) |
|-------|-------------------------------|--------------------|------------------------------------|
| 23 B | 100 | 13 | 25,3 |
| 34 B | 127 | 25 | 13 |
| 36 | 165 | 32 | 10,2 |
| 47 | 190 | 32 | 11,2 |
| 610 | 320 | 63 | 8 |
| 713 | 350 | 76 | 6 |

- **Tam International.** There exist two diameters.

| PACKER DIAMETER (mm) | BOREHOLE DIAMETER (mm) | MAXIMUM SEALING (mm) |
|----------------------|------------------------|----------------------|
| 77,7 | 101,6 | 154,9 |
| 108,2 | 158,7 | 215,9 |

are there any other commercially available packers? what are the advantages/disadvantages of them?

3.1.2. Nitrogen vessels for packers inflation

The nitrogen used can be industrial one, in bottles of 9,4 m³.

Characteristics:

- Length: 1.500 mm
- Diameter: 250 mm
- Pressure of filling: 200 bares
- Weight: 60-70 kg.
- Pressure range: 0,1 - 200 bares

The nitrogen vessel is connected to a high pressure regulator.

To keep the pressure constant without fluctuations the nitrogen vessel has a simple expansion regulator with the following characteristics:

- Material: chrome brass or stainless steel
- Sealing: PTFE Teflon
- Filter: 10 micras
- Output pressure: hasta 35 bares
- Input pressure: hasta 210 bares
- Temperature range: -18°C / 48°C
- Manometers: 2
- Accuracy: There is an estimated pressure drop in the output pressure of 0,55 bares for each 70 bares of pressure drop in the input pressure.

The nitrogen will be used for packer inflation and water injection when the rate is less than 0,1 l/min.

3.1.3. Perforated pipes

The packers are separated by perforated pipes to obtain the desired test section. To avoid damages to the shut-in tool a screen can be used in the interval extension.

3.1.4. Testing tool**A. Probe carrier**

The probe includes three pressure transducers which provide continuous measurements within

the packer straddle, above the upper packer and below the lower packer.

We think is out of the question due to the lack of time a design for the probe carrier. For that reason we need a calibrated one, compatible with the rest of the equipment.

what specifications do you think must have the probe carrier?

B. Valves

As a downhole valve a Shut-in tool can be used , which isolates or opens the test interval to the tubing.

what company can provide such a valve?

C. Transmitters/transducers

The pressure and temperature will be measured in the three intervals mentioned above. They include temperature sensors.

Options:

Transmitters

Druck. Model PTX 630. Characteristics:

Pressure range: 0/100 mbar to 0/60 bar g

0/250 mbar to 0/700 bar a

0/100 to 0/700 bar sg

Overpressure: 2 x typical

Operating temperature range: -20 to 80 °C (ambient)

Temperature effects (total error band): 0,5% -10 to 50 °C

1% -20 to 80 °C

Transducers

Druck. Model PDCR 130/N/135/W. Characteristics:

| | | |
|----------------|---------------------|--------------------|
| PROYECTO PUMOC | REFERENCIA PUMDOC 8 | LOCALIZADO 131-2-8 |
|----------------|---------------------|--------------------|

Pressure range: 0/175 mbar to 0/70 bar g

0/135 to 0/700 bar sg

0/235 mbar to 0/700 bar a

Overpressure: 4 x typical

Operating temperature range:- 40° to 12°C

Temperature effects (total error band): ± 0,5% 0° to 50°C

± 1,5% -20° to 80°C

KEY a - absolute

g - Gauge

sg- -Sealed gauge

what must be used, transmitters or transducers?

can be obtained three pressures and three temperatures (may be changing the number of conductors)?

D. Safety joint

To recover the electronics if the equipment get stuck.

is convenient to use a safety joint? If it is, which one can be recommended?

3.2. WATER INJECTION/PUMPING SYSTEM

3.2.1. Water tank. Heater. Filters

To perform the hydraulic injection tests is needed a water tank with a capacity of 1.000 litres. It will be placed in the computer corner, so above the same there is room enough to put the data acquisition system. Inside of it there will be separators to avoid movements of the water during transport.

The water is pumped through a filter where particles of 0,5 µm are separated. There will be a filtering before the entry of water. In this way the tank will remain clean. The submicronic filtering will take place before the injection pump.

The temperature of the injection water is kept constant by an electric heater.

Technical characteristics of the filter:

Filtering cartridge

- Fluid to filter: Water
- Cartridge type: DUO-FINE
- Cartridge denomination: DFN 0,45-10UN
- Quality of filtration in micron: 0,45
- Cartridge length in inches: 10
- Filtering material: Fiberglass with acrylic agglomerant
- Base material: Polypropilen

Carrier

- Type/Model LMO 10U-3/4
- Material: Polypropilen
- Length of housing for cartridges in inches: 10
- Number of cartridges required: 1
- Input/output diameter in inches: 3/4

3.2.2. Injection pump

The injection pump can be a Grundfos centrifugal pump type CR/CRN 2-220 with a flow capacity between 1 m³/h (1.8 Mpa) and 3.5 m³/h (0.85 Mpa).

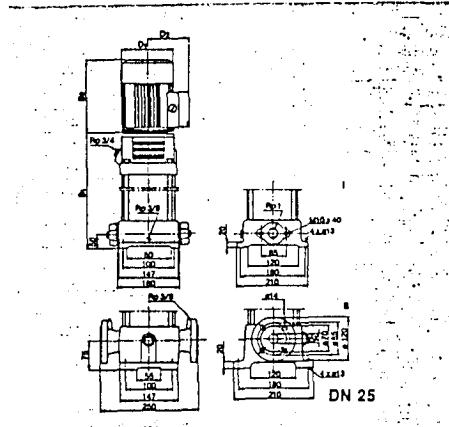
The power needed is 2.20 kw and the maximum aspiration pressure is 15 bars. The dimensions are indicated in the table below.

CR 2

| Tipo de bomba | Dimensiones [mm] | | | | | | Peso neto [kg] | |
|---------------|------------------|---------------------------------|----------------|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|----|
| | B ₁ | B ₁ + B ₂ | B ₂ | B ₁ + B ₂ | D ₁ | D ₂ | * | ** |
| CR 2- 20 | 219 | 409 | 244 | 434 | 142 | 109 | 19 | 24 |
| CR 2- 30 | 237 | 427 | 262 | 452 | 142 | 109 | 20 | 25 |
| CR 2- 40 | 255 | 445 | 280 | 470 | 142 | 109 | 21 | 26 |
| CR 2- 50 | 273 | 463 | 298 | 488 | 142 | 109 | 21 | 26 |
| CR 2- 60 | 297 | 527 | 322 | 552 | 142 | 109 | 23 | 29 |
| CR 2- 70 | 315 | 545 | 340 | 570 | 142 | 109 | 24 | 29 |
| CR 2- 90 | 351 | 581 | 376 | 606 | 142 | 109 | 26 | 31 |
| CR 2-110 | 387 | 617 | 412 | 642 | 142 | 109 | 28 | 33 |
| CR 2-130 | 439 | 699 | 464 | 724 | 178 | 125 | 34 | 39 |
| CR 2-150 | 475 | 735 | 500 | 760 | 178 | 125 | 35 | 41 |
| CR 2-180 | — | — | 554 | 814 | 178 | 125 | — | 45 |
| CR 2-220 | — | — | 626 | 886 | 178 | 125 | — | 47 |
| CR 2-260 | — | — | 704 | 1007 | 178 | 125 | — | 53 |

* CR2 con bridas ovales

** CR 2 con bridas DIN.



3.2.3. Injection control system: Mass flowmeters Pressure control

A. Pressure vessels

* pressure vessel: The packers are connected to a pressure vessel via hydraulic hoses. The system is filled with water or antifreeze liquid. The vessel is pressurized at the top by nitrogen gas, regulated by means of a regulation valve.

* pressure measurement: The pressure is controlled by a pressure transducer connected to the pressure vessel. The pressure is registered in the computer.

To perform hydraulic injection test a pressure vessel is needed to keep the pressure constant. In a first estimation a volume of 75 litres may be enough. The maximum pressure can be in the order of magnitude of 10 bars. The pressure regulation is obtained with N₂ gas. If the pressure required is higher a booster can be used to get it.

what number of pressure vessels is needed? could we have a detailed scheme of all of them and their connections?

wthat is the maximum working pressure?

| | | |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------|
| PROYECTO PUMOC | REFERENCIA PUMDOC 8 | LOCALIZADO 131-2-8 |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------|

B. Mass flowmeters

If the flow rate is small, the flow meter unit can consists of two mass flowmeters with the following ranges:

* 0-900 g/min ($\pm 0.4\%$)

* 0-50 l/min ($\pm 0.4\%$)

Accuracy (specified)- $\pm 0.4\%$ for flow $> 0.46 \text{ kg/min}$

If the flow rate is higher two magnetic-inductive flowmeters can be used. The ranges are indicated below.

* 0-0.58 l/min ($\pm 1\%$)

* 0-50 l/min ($\pm 1\%$)

Accuracy (specified)- $\pm 1\%$ within 10-100% of flow range

3.3. DATA ACQUISITION SYSTEM

3.3.1. Hardware

A. Computer

The computer can be a compatible one with a 486 processor, 4 MB RAM and 100 MB hard disk.

B. Printer

The printer used may be a laser one.

C. S.A.I. (Powerbak)

Provides autonomy (60 minutes) in case of power failure, with 500 VA.

Options: Model 500X (SPS series). Technical characteristics:

- Nominal power: 500 VA cosφ (0,6)
- Input tension: 220
- Transference time: typical 2,5 ms
- Input frequency: 50 Hz + 5%
- Input current: 1,3 A
- Waveform: Pseudosenooidal modulated in PWM
- Output tension: 220
- Synchronism with the power system: yes
- Filtering of interferences: yes
- Peak suppression: yes
- Interface for automatic closing of files: yes
- Overload protection: yes
- Shortcircuit protection: yes
- Working temperature: 0 to 30°C
- Relative humidity: 0 to 90%
- Batteries: Hermetic (lead) without maintenance
- Recharge time: 4-6 hours 75%
- Autonomy in configuration AT 386 SX + hard disk + color screen + printer: 15 minutes.
- Height: 150 mm
- Length: 327 mm
- Width: 85 mm
- Weight with batteries: 6 kg

D. Scanner

Is necessary a multiplexor downhole? What is the Scanner for?

there must be an amplification of the signal of the transmitters/transducers?

E. Multimeter

what is the multimeter for?

F. IEEE Card

Connected to a slot of the computer, can be a National Instruments IEEE-488 GPIB Card. It controls the data acquisition.

3.3.2. Software**A. Data acquisition software**

It must allow to obtain a date at least every 10 seconds when the 6 transducers are connected. During the acquisition must be possible to print the data (12 values) and in case of power failure the data have to be stored.

B. Data handling software

Displays in the monitor the data (P, T, Q, etc.). In addition allows an analysis of:

- * Single events
- * Pumping tests
- * Slug tests
- * Pulse tests
- * Constant head/rate injection tests
- * Diagnostic plots

what is the software suitable for this purpose?

C. Simulation software

Allows to perform simulations with the data (for example, variations in skin effect) and obtain the most probable range of values for the parameters.

what is the software suitable for this purpose?

3.3.3. Dataloggers

To perform interference hydraulic testing a number of them can be needed for the data

acquisition in the selected boreholes. The evolution of certain parameters can be controlled in the sameway in some selected intervals in the same borehole isolated between packers.

3.3.4. Control board for hydraulic testing and level adjustment.

The control of the hydraulic testing will be done in the acquisition data room where the computer system is located. The level adjustment of the vehicle, the injection values, etc, will be controlled here. To connect the sensors with the data acquisition system electrical conductors will be used.

what type of electrical conductors are appropriated?

3.4. DESIGN AND GENERAL EQUIPMENT

3.4.1. Design

There will be four hydraulic jack-up legs , needed for the stabilization of the truck and make level adjustment possible..

The truck will have the back door to go up and a lateral door to access to the computer corner isolated from the rest by a sliding door. Workbenches will be installed to make repairs possible inside the truck (figures 9, 10 y 11). There will be a computer corner where the hardware and software will be placed in and the control panels (packer inflation, valves, level of water tank, injection system, etc). This room will have exterior and interior access, a window and a stair. The doors will have a safety lock.

3.4.2. Furniture

It includes cupboards, drawers, shelves, chairs, workbench, washing place and electric heater.

3.4.3. Lighting

To illuminate the truck the power will be taken from the another truck, to avoid noise and vibrations in the work place during data acquisition and interpretation.

3.4.4. Conditioner

It will be installed in the recording truck.

Characteristics:

- 240 V
- 50 Hz
- 1 Phase
- 1.800 W

Dimensions:

- length: 109.22 cm
- height: 32.58 cm
- width: 73.66 cm

PROYECTO PUMOC

REFERENCIA PUMDOC 8

LOCALIZADO 131-2-8

**4. DESIGN AND GENERAL EQUIPMENT OF BOREHOLE GEOPHYSICAL
MEASUREMENTS VEHICLE (VP)**

| | | |
|----------------|---------------------|--------------------|
| PROYECTO PUMOC | REFERENCIA PUMDOC 8 | LOCALIZADO 131-2-8 |
|----------------|---------------------|--------------------|

4. DESIGN AND GENERAL EQUIPMENT OF BOREHOLE GEOPHYSICAL MEASUREMENTS VEHICLE (VP)

The first objective of this vehicle is getting complementary geophysical logging, before carry on hydraulic testing ,whit better accuracy, in the sections of major hydrological interest.

The second objective is the realization of a hydrochemical logging along borehole, to get the following parameters:

- Pressure
- Temperature
- Electric Conductivity
- Disolved oxygen
- pH
- Redox Potential

It is not a geophysical investigation, that will have performed before a specialist company, and nor a hydrochemical characterization on detail. It is done to obtain values of temperature, conductivity, vertical flow along the borehole in order to detect inflowing and outflowing sections, variations of the borehole diameter and some hydrochemical parameters.

The equipment necessary for geophysical and hydrochemical logging is installed in a vehicle Nissan Patrol, 6 cylinder, long coachwork, high roof.

Sometime this vehicle may be used to transport water and fuel.

4.1. LOWERING DOWNHOLE EQUIPMENT SYSTEM

4.1.1. Winch

The downhole system is lowered by means of a Winch with steel-armored cable with the followings characteristics:

- Lifting capacity: 500 kg
- Motor speed control: 0 to 20 m/min, with an optical encoder
- Brake: Manually operated disc brake

Dimensions: 1120 x 520 x 660 mm

Electric engine: Operates on 220 V or 110 V Ac. 0,75 Kw power

Unit weight without cable: 105 kg

Cable capacity: 1.000 m.

Cable diameter: 3/16"

Cable breaking strength: 1.500 kg

Cable weight: 100 kg per 1.000 m

Cable resistance: 80 Ohm. per 1.000 m for each of the four conductors

The cable has a connector for the probes with the following characteristics:

Diameter: 42,4 mm

Length: 410 mm

Weight: 2 kg

4.1.2. Tripod and pulley

The tripod has about 2,5 m length, dismountable for easy transport and one pulley of 0,16 m diameter to place the probes into the borehole.

4.1.3. Movable pulley system

It consists of a pulley placed at the vehicle's roof with a turning radius of 180° placed outside the vehicle, for easy handling of the probes and cable.

4.1.4. Surface unit

Data can be stored on a PC with 40 MB hard disk. The numerical data can be displayed on the screen or as continuously updated log curves.

The electric power will be provided by the UMH's generator or batteries.

The data acquisition software may be some commercial one. The possibility of using ABEM's software is being considered.

4.2. GEOPHYSICAL INSTRUMENTATION. PROBES

The probes will be a flowmeter including data of temperature and conductivity and another one a three-armed caliper. Also is necessary the controller probe, it takes care of power supply of the probes and data communication between the surface unit and the probes.

4.2.1. Flowmeter. Temperature. Conductivity

It is contemplated the possibility of using the UCM Flowmeter developed for SKB-ABEM, commercialment available. Characteristic:

Current velocity sensors:

Range 1 mm/s - 3.000 mm/s

Resolution: 1 mm/s

Accuracy: 3% of reading \pm 5 mm/s

Sound velocity sensor:

Range: 1.380 m/s - 1.580 m/s

Resolution: 2.5 m/s

Accuracy: \pm 5 m/s

Temperature sensor:

Range: -5 a +45 C

Resolution: 0.001 C

Accuracy: 0.1 C

Conductivity sensor:

Range: 2 - 77 S/cm (15 - 0.13 Ohm)

Resolution: 0.03 mS/cm

Accuracy: 0.06 mS/cm

Resistivity sensor:

Range: 0.01 - 2.5 mS/cm (4 - 500 Ohm)

Resolution: 0.1 Ohm

Accuracy: 2 Ohm

Probe suite:

Input voltage: 28 V DC max

Max pressure: 150 bar

Length: 208 cm

Weight: 8.5 kg

Diameter: 54 mm

4.2.2. Caliper

It is contemplated a three-armed calliper with open and close operation controlled from the surface unit. The measuring frequency may be each 0,1 to 0,5 m.

Technical specifications:

Resolution: 1 mm.

Measurement range: 42 - 500 mm

Max power consumption: 0,5 W

Max pressure: 150 bar

Diameter: 42,4 mm

Length: 1.360 mm.

Weight: 4,8 kg.

4.3. HYDROCHEMICAL INSTRUMENTATION. PROBE

4.3.1. Hydrochemical probe

It will carry on an hydrochemical logging along the water column, taking data at different intervals time, in function of data variability.

It will be used a probe type Idronaut Ocean Seven 501, or similar, registering the parameters above, with a data register unit.

The system (if Idronaut probe is used), can printer and register some different log curves or to perform adquisition programms:

- Handy adquisition.
- Linear log, with step from 0,1 to 100 dbar.
- Programmed log, selecction between 10.
- A time interval (from 1 sg to 1 day).
- Fast adquisition, over 10 lines for second.

The sensors especifications are:

| | P (dbar) | Temp. (°C) | Cond. (mS/cm) | O ₂ (ppm) | pH | Redox (mv) |
|------------|----------|------------|---------------|----------------------|------|------------------------------------|
| RANGE | 0-99,9 | -1-50 | 0-62 | 0-50 | 0-14 | -10 ³ -+10 ³ |
| ACCURACY | 0-25% | 0.01 | 0.02 | 0.1 | 0.05 | 10 |
| RESOLUTION | 0.1 | 0.004 | 0.004 | 0.01 | 0.01 | 1 |

The probe diameter is 75 mm, length 670 mm. and weight 6 kg.

For going down geophysical probes the winch will be used; the data adquisition will carry on with the hydrochemical probe software.

4.4. ARRANGEMENT AND ACCESSORIES

4.4.1. Bodytruck

The vehicle will have the box isolated of the cabin, with safety lock in the doors and subjections on the floor for the winch. It will have two windows with metallic protection for light.

4.4.2. Furniture

PROYECTO PUMOC

REFERENCIA PUMDOC 8

LOCALIZADO 131-2-8

The furniture is a little seat for the operator, some drawers for keeping tools and laterals clips for probes, tripod and barrels for water and fuel transport.