



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. 2ª FASE.

TOMO II.



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

37070



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. 2ª FASE.

TOMO II.



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

ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LA UNIDAD MOVIL.

INDICE

- 1.- INTRODUCCION GENERAL Y OBJETIVOS**
- 2.- SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS EN PROFUNDIDAD**
 - 2.1.- OBJETIVOS**
 - 2.2.- ELEMENTOS DEL SISTEMA**
 - 2.2.1.- Packers**
 - 2.2.1.1.- Estudio comparativo entre las alternativas propuestas**
 - 2.2.2.- Transmisores y transductores**
 - 2.2.2.1.- Estudio comparativo entre las alternativas propuestas**
 - 2.2.2.2.- Características técnicas del transmisor seleccionado**
 - 2.2.3.- Válvula de test**
 - 2.2.3.1.- Estudio comparativo entre las alternativas propuestas**
 - 2.2.3.2.- Características técnicas de la válvula seleccionada**
 - 2.2.4.- Cable de conducción de señales eléctricas**
 - 2.2.5.- Líneas hidráulicas**
- 3.- SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS EN SUPERFICIE**
 - 3.1.- OBJETIVOS**
 - 3.2.- ELEMENTOS DEL SISTEMA**
 - 3.2.1.- Distribuidor**
 - 3.2.2.- Convertidor analógico-digital**
 - 3.2.2.1.- Estudio comparativo entre las alternativas propuestas**
 - 3.2.2.2.- Características técnicas del convertidor seleccionado**
 - 3.2.3.- Ordenadores**
 - 3.2.3.1.- Características técnicas de los ordenadores seleccionados**
 - 3.2.4.- S.A.I.**
 - 3.2.4.1.- Estudio comparativo entre las alternativas propuestas**
 - 3.2.4.2.- Características técnicas del ondulator seleccionado**
- 4.- SISTEMA DE DESCENSO DEL EQUIPO DE PROFUNDIDAD**
 - 4.1.- OBJETIVOS**
 - 4.2.- ELEMENTOS DEL SISTEMA**
 - 4.2.1.- Vehículos de soporte físico**

- 4.2.1.1.- Vehículo de descenso del equipo de profundidad
 - 4.2.1.2.- Vehículo Base
 - 4.2.1.3.- Estudio comparativo entre las alternativas propuestas
 - 4.2.1.4.- Características técnicas de los vehículos seleccionados
 - 4.2.2.- Hoisting Rig
 - 4.2.2.1.- Características técnicas del hoisting rig seleccionado
 - 4.2.2.2.- Pesos parciales
 - 4.2.3.- Varillaje
 - 4.2.3.1.- Estudio comparativo entre las alternativas propuestas
 - 4.2.3.2.- Características técnicas del varillaje propuesto
 - 4.2.4.- Generador
 - 4.3.- ENSAYOS SOBRE EL VARILLAJE
 - 4.4.- PROBETAS DE ENSAYO

5.- SISTEMA DE INYECCION Y EXTRACCION DE AGUA

- 5.1.- OBJETIVOS
- 5.2.- ELEMENTOS DEL SISTEMA
 - 5.2.1.- Depósito de agua. Calentador. Filtro.
 - 5.2.2.- Bomba de inyección
 - 5.2.2.1.- Características técnicas de la bomba seleccionada
 - 5.2.3.- Caudalímetros de precisión
 - 5.2.3.1.- Estudio comparativo entre las alternativas propuestas
 - 5.2.3.2.- Características técnicas del caudalímetro seleccionado
 - 5.2.4.- Vasijas de presión (Depósitos de expansión por nitrógeno)
 - 5.2.4.1.- Botellas de nitrógeno y regulador
 - 5.2.5.- Válvulas de regulación
 - 5.2.6.- Bomba de extracción
 - 5.2.6.1.- Características técnicas de la bomba seleccionada

6.- CELDA DE PRESION PARA EL ENSAYO DE COMPONENTES DEL EQUIPO

- 6.1.- OBJETIVOS
- 6.2.- ELEMENTOS DEL SISTEMA
 - 6.2.1.- Contenedor de agua
 - 6.2.2.- Tubería
 - 6.2.3.- Grúa

- 6.2.4.- Varillas de descenso**
- 6.2.5.- Varillas perforadas**
- 6.2.6.- Packers**
- 6.2.7.- Transmisor de presión**
- 6.2.8.- Válvulas manuales**
- 6.2.9.- Válvula de test**
- 6.2.10.- Botellas de nitrógeno con reguladores**
- 6.2.11.- Depósitos de expansión por Nitrógeno**
- 6.2.12.- Tubo de transmisividad conocida**
- 6.2.13.- Mangueras de conexión hidráulica**
- 6.2.14.- Tubo graduado para medición de volumen**
- 6.3.- ENSAYOS A REALIZAR**
 - 6.3.1.- Ensayo 1**
 - 6.3.2.- Ensayo 2**
 - 6.3.3.- Ensayo 3**
 - 6.3.4.- Ensayo 4**

2.- SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS EN PROFUNDIDAD

2.1.- OBJETIVOS

Durante la ejecución de los ensayos hidráulicos citados en el apartado anterior es necesaria la introducción en el sondeo de un equipo que permita la realización de las siguientes operaciones:

- Aislar las secciones escogidas para la testificación hidráulica.
- Disponer los sensores de forma que se pueden monitorizar los valores de presión y temperaturas durante la realización de los ensayos tanto en el intervalo aislado como en los intervalos superior e inferior respectivamente.
- Posicionar una válvula de control de la inyección y extracción de agua.
- Conducir las señales obtenidas por los sensores hasta la superficie.

2.2.- ELEMENTOS DEL SISTEMA

2.2.1.- Packers

El objetivo de los packers es aislar la sección de ensayo para realizar los diferentes tipos de test.

Características requeridas:

- Fabricados en material no corrosivo (acero inoxidable)
- O-ring en los dos extremos
- Inflados con agua presurizada con N_2
- Conexiones para línea de inflado y cable de señales
- Longitud 1000 ó 1500 mm
- Valores pequeños de elasticidad

Los packers deberán fabricarse en acero inoxidable para evitar la contaminación del agua de la formación, si el nivel piezométrico es muy profundo puede ser necesario utilizar acero reforzado. La parte inflable puede estar constituida por una trama metálica deformable envuelta en caucho natural, para algunos casos extremos en que el material anterior afectara de forma importante la hidroquímica del sondeo, podría utilizarse vitón o nitrilo hidrogenado aunque encarece enormemente el precio del packer.

Al elegir el packer no se debe llegar al límite del diámetro del packer aunque esté dentro del rango.

Los packers se inflarán con agua presurizada con N_2 , para evitar problemas de difusión del gas si se mantiene el packer inflado durante mucho tiempo.

La presión de inflado dependerá de varios factores: marca y modelo de packer, presión de columna de agua, profundidad de nivel piezométrico y presión de inyección de agua a la sección de ensayo, debiendo asegurar que la suma de presiones menos la compensación de la presión hidrostática en la sección de ensayo no supere la presión de servicio máxima recomendada por el fabricante en función del diámetro del sondeo. Deberá también tenerse en cuenta la utilización de diferentes mecanismos según cada caso, para facilitar las maniobras de desinflado de los packers.

El packer estará atravesado por dos líneas: la de inflado y el cable de señales. La primera se conecta al packer superior a una entrada y una salida, y al packer inferior a una entrada, inflando ambos con la misma línea.

El cable de señales atravesará el packer por el interior de la tubería de conducción, por medio de unas piezas de conexión (ver figura 1 y 2), que facilitan la entrada y salida de éste al packer.

La longitud de sellado debe ser de un metro, por lo que se probarán packers de 1 m y 1,5 m de longitud en la celda de presión. También se realizarán en ésta diversos ensayos para hallar valores de elasticidad y tiempo de sellado de los packers, debiendo elegir los de menor tiempo de sellado y menor elasticidad.

2.2.2.- Transmisores y transductores

Son los elementos encargados de adquirir los valores de presión y temperatura tanto en la sección de ensayo como en las secciones adyacentes.

El transporte de las señales a través de un cable eléctrico supone la existencia de unas caídas de tensión a lo largo de la línea que pueden hacer problemática la transmisión de las mismas y que implican bien la conversión en forma digital downhole bien la necesidad de instalar una etapa de amplificación a la salida de los puertos de medición.

Debido a estas consideraciones y a las recomendaciones de SKB en el mismo sentido se ha

desechado, en principio, la utilización de transductores y se ha optado por la inclusión de transmisores en el equipo de adquisición de datos en profundidad. Con estos últimos no existen problemas de transmisión a grandes distancias ya que la señal es del tipo 4-20 mA, que no se ve afectada por las caídas de tensión en la línea.

Dado que la transmisión de dichos valores se realiza en la configuración propuesta, por medio de un cable eléctrico, es conveniente realizar el diseño de forma que dicho cable tenga el menor número posible de conductores. Por ello los transmisores propuestos constan de un puerto para medición de presión y de otro puerto para la medición de temperatura.

Una vez realizadas las consideraciones anteriores los posibles elementos de adquisición de datos downhole son (se ha incluido información del transductor PDCR de Druck a pesar de haber sido desechado en principio por si en una futura revisión del diseño se decide volver a considerar esta opción):

	TRANSMISORES		TRANSDUCTORES
	PTX 630	DIGIQUARTZ 42K-101	PDCR 130W/135W
RANGO DE PRESION	0/100 mbar a 0/60 bar g 0/250 mbar a 0/700 bar a 0/100 a 0/700 bar sg	0 - 137,9 bar	0/175 mbar a 0/70 bar g 0/135 a 0/700 bar sg 0/350 mbar a 0/700 bar g
SOBREPRESION	2 x característica	1.2 valor superior de la escala.	4 x característica
RANGO DE TEMPERATURAS	-20 a 80 °C	0 a 125 °C	-40 a 125 °C
RANGO DE ERROR	0,5% de -10 a 50 °C 1% de -20 a 80 °C	0,01% de la escala	± 0,5% de 0 a 50 °C
EXCITACION	9-30 V cc	9-35 V cc	10-32 V dc
SALIDA	4-20 mA	Onda cuadrada de 4V dc amplitud.	10 V

2.2.2.1.- Estudio comparativo entre las alternativas propuestas

Se reduce a la comparación entre los transmisores convencionales y los que incorporan un cristal de cuarzo.

En el primer caso la salida es del tipo 4-20 mA, por lo que se conexión al cable de señales sería

Inmediata, sin problemas debidos a caídas de tensión o capacitaciones en la línea. Dado que la excitación podría producirse mediante un sólo conductor dimensionado para 60 mA. A ello habría que sumarle la corriente de excitación necesaria para los sensores de temperatura, que es de unos 5 mA. Por tanto, el dimensionado del cable debe contemplar un conductor con una sección adecuada para los 65 mA de la excitación.

En este caso el puerto de medición de temperatura proporciona una salida del tipo 4-20 mA con una respuesta aproximadamente lineal del orden de 1 μ A por cada grado centígrado. Es necesaria, pues, la instalación de una etapa de amplificación en la línea de respuesta que puede ser bien interna bien externa.

En el caso de los sensores basados en cristales de cuarzo una de las ventajas es la mayor precisión que proporcionan. No obstante dicha precisión es difícil de obtener en la práctica debido a la existencia de capacitancias en la línea que podrían alterar la frecuencia de la señal recibida, característica en la cual se basa la precisión obtenida. Por ello es necesaria la inclusión de un cable específico, proporcionado por el fabricante, para evitar las interferencias debidas a efectos de capacidad y proporcionar una salida RS-232 en superficie. Ello complicaría notablemente la instalación, ya que serían necesario ampliar el número de carretes de líneas de señales y a introducir un módulo de adquisición de frecuencia en el convertidor analógico-digital.

Como resumen, y debido tanto al encarecimiento excesivo como a la complicación en la instalación de este último tipo de sensores, se propone la inclusión de un transmisor de tipo convencional.

TIPO	VENTAJAS	INCONVENIENTES	PRESUPUESTO	PLAZO DE ENTREGA
PTX 630	Instalación inmediata.	Menor precisión.	171.700	15 días
Digiquartz 42K-101	Mayor precisión.	Acoplamiento a la línea.	600.000 a 1.000.000	1,5 meses

2.2.3.- Válvula de test

La válvula de test es un elemento esencial para la realización de ensayos hidráulicos al permitir

o cortar el flujo de agua que atraviesa el varillaje desde o hacia la sección de ensayo.

Debe situarse sobre el packer superior pero a poca distancia del mismo para minimizar el efecto de la compresibilidad del agua en la obtención de los parámetros hidráulicos.

La válvula debe cumplir con las siguientes especificaciones técnicas:

- Poder instalarse en tuberías con un diámetro, interno de 40 mm y externo de 50 mm, situadas en sondeos de 101 mm de diámetro a profundidades de hasta 1000 m.
- Operar en sondeos con un nivel piezométrico situado hasta 200 m de profundidad.
- Ser capaz de resistir presiones de 20 bar al comienzo de los ensayos de inyección.
- Las pérdidas de carga en la válvula no deben superar 3 bar para el caudal máximo previsto (50 l/min).
- El tiempo de apertura y cierre será el menor posible, no superando en ningún caso tres segundos.
- La válvula estará construida en acero inoxidable.

2.2.3.1. Estudio comparativo entre las alternativas propuestas

Se han contemplado tres tipo de válvulas según el modo de accionarlas:

TIPO	VENTAJAS	INCONVENIENTES	PRESUPUESTO	PLAZO DE ENTREGA
V. MECANICA	<ul style="list-style-type: none"> - Es sencilla y robusta. - Puede emplearse en test individuales durante la perforación sin requerir tubos ni cables por fuera del varillaje. - Existe experiencia satisfactoria de su empleo para ensayos hidráulicos por diversos organismos (AECL, NAGRA, SKB). 	<ul style="list-style-type: none"> - La válvula debe cambiarse en superficie entre cada test con la consiguiente pérdida de tiempo al ensayar varios tramos de un mismo sondeo. 	Solicitado a SKB.	Solicitado a SKB.
V. HIDRAULICA	<ul style="list-style-type: none"> - Existe experiencia satisfactoria de su empleo por SKB y otros organismos durante 7-8 años. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tiempo de apertura de la válvula lento (2-3 segundos) con un retraso entre su activación en superficie y el comienzo de la apertura en su situación en el sondeo de 10-15 segundos. - Pérdidas de carga relativamente altas (4-5 bar). - Necesidad adicional de un tubo hidráulico que llegue hasta la válvula, con su correspondiente carrete en superficie, así como de una vasija de presión. - Necesidad de realizar un diseño específico adaptado a las condiciones requeridas al no estar disponible comercialmente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Solicitado a SKB. - Solicitado a la empresa TMC. 	<ul style="list-style-type: none"> - Solicitado a SKB. - Solicitado a la empresa TMC.
V. ELECTRICA (Solenoides)	<ul style="list-style-type: none"> - Tiempo de apertura/cierre muy rápido (5 milisegundos). - Puede trabajar en rangos de presión y temperatura muy amplios. P = 0,7 a 200 bar T = -60 a 120°C - Solo necesita dos conductores (incluidos en el cable de señales eléctricas) para accionarla desde superficie. 	<ul style="list-style-type: none"> - No existe experiencia de su empleo por otros organismos para la realización de ensayos hidráulicos. 	Solicitado a la empresa Valcor.	Solicitado a la empresa Valcor.

La válvula que se adapta mejor a los requerimientos técnicos necesarios para la realización de los ensayos hidráulicos previstos en la Unidad Móvil hidrogeológico es la válvula eléctrica de solenoide teniendo en cuenta las siguientes características:

- Requiere un tiempo de apertura/cierre (5 milisegundos) mucho menor que el necesario para accionar otro tipo de válvulas (superior a 3 segundos).
- Puede trabajar en rangos de presión (0,7 a 200 bar) y temperatura (-60 a 120°C) muy amplios, que superan ampliamente las presiones y temperaturas previstas para la válvula en el sondeo.
- Las pérdidas de carga para el caudal máximo previsto (50 l/min) son adecuadas e inferiores a las que se producen en válvulas hidráulicas. Además en los casos a los que el caudal sea menor estas se reducen sensiblemente. Así para un caudal de 20 l/min serán de 1,15 bar dado su valor del coeficiente kv (1,04).
- El sistema de accionamiento eléctrico, que necesita solamente 2 cables para abrir-cerrar la válvula desde superficie, supone una simplificación importante en el equipo si se compra con las válvulas hidráulicas. Así en las válvulas eléctricas no es necesario disponer de una línea de conducción de agua que llegue hasta la válvula, ni su correspondiente carrete en superficie. Esto permite disponer de mayor espacio libre en el Vehículo de Descenso. Tampoco sería necesaria la vasija de presión que se emplea para poder accionar la válvula hidráulica.
- Otra gran ventaja que presenta frente a las válvulas mecánicas o hidráulicas es que permite realizar los ensayos con mayor rapidez, especialmente cuando se realizan test en diversas secciones del mismo sondeo. Así en el caso de las válvulas mecánicas es necesario cambiarla en superficie tras cada ensayo, lo que es una labor muy lenta al requerir sacar todo el varillaje existente hasta la sección de ensayo. Respecto a la válvula hidráulica también es más cómoda y segura, al no tener que manejar una línea de conducción de agua hasta la misma, con el aumento del riesgo de que se produzcan enganches.

Estas consideraciones coinciden con las expresadas por los asesores de SKB. La razón por la que ellos no las emplean es que en la época en que ellos desarrollaron su equipo y para el diámetro de sus sondeos (56 mm), no encontraron en el mercado ninguna válvula eléctrica de solenoide.

El último problema que podría plantear su utilización es que, aunque cumple satisfactoriamente todos los requerimientos técnicos, no existe experiencia de su empleo por otros organismos para

realizar ensayos hidráulicos. Esta falta de experimentación podría subsanarse en gran medida realizando las pruebas previstas para dicha válvula con la célula de presión que ha diseñado el ITGE a tal fin.

2.2.3.2.- Características técnicas de la válvula seleccionada

Se ha seleccionado una válvula coaxial de solenoide (ver figura 1) con las siguientes características:

- Se enrosca en las varillas de diámetro interno de 40 mm y externo de 50 mm mediante adaptadores especiales.

Tiene las siguientes dimensiones:

Ancho = 38,1 mm

Largo = 127 mm

La válvula tiene menor diámetro que las varillas por lo que, admite la posibilidad de incluirla en una carcasa de protección sin que plantee problemas con el diámetro del sondeo (101 mm). Esta servirá además para soportar el peso del equipo situado bajo la misma.

- Las conexiones eléctricas han sido preparadas para poder actuar sin interferencias cuando estén sumergidas a grandes profundidades.
- La presión de trabajo es de 0,7 a 200 bar.
La presión máxima que soporta es de 345 bar.
- Puede trabajar en un rango de temperatura del fluido de -60 a 120°C.
- Las pérdidas de carga son de 3,5 bar para el caudal máximo recomendado (50 l/min). Estas pérdidas pueden disminuirse a 3 bar si se reduce el espesor de las paredes de la válvula. Esta disminución no plantea problemas al estar diseñada originalmente para presiones (200 bar) muy superiores a las que se necesitan (20 bar).

La válvula tiene un coeficiente $k_v = 1.04$ ($C_v = 1,88$).

Pueden calcularse las pérdidas de carga para caudales menores mediante la siguiente fórmula:

$$K_v = Q \frac{\sqrt{g}}{dp}$$

Donde: Q= caudal (m³/h)

g= Densidad del fluido (kg/dm³)

dp= Pérdidas de carga (bar)

- El tiempo de apertura y cierre es de 5 milisegundos.
- Construida con materiales inoxidables.
- Voltaje = 18-31 Voltios. Corriente continua.
Corriente = 1 amperio máximo.
- Vida útil = 10⁷ ciclos.
- Peso = 350 gr.

Esta válvula es suministrada por la casa Valcor Engineering Corporation.

Se está pendiente de recibir el presupuesto y el plazo de entrega.

3.- SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS EN SUPERFICIE

3.1.- OBJETIVOS

Una vez recibidas las señales procedentes del equipo de profundidad, es necesaria la realización de una serie de operaciones con el fin de registrar esas señales de forma continua en el PC para su interpretación posterior. Dichas operaciones son las siguientes:

- Separación de las señales procedentes del cable electrónico para su introducción en el convertidor analógico-digital.
- Conversión de las señales analógicas con forma digital para su introducción en el PC.
- Registro en el PC de las señales de forma que puedan controlarse en tiempo real.
- Alimentación de los dispositivos y sensores de medida.
- Interpretación de los ensayos "in situ".

3.2.- ELEMENTOS DEL SISTEMA

3.2.1.- Distribuidor

Es el dispositivo en el que se realiza la separación de cada una de las señales procedentes del equipo de profundidad.

Consta de una conexión para el cable de señales y una serie de conexiones para obtener salidas individualizadas correspondientes a los sensores de presión y temperatura y a las válvulas situadas en la sección de ensayo.

En su interior debe albergar una fuente de alimentación de corriente continua con al menos dos salidas de 2x20V/2A y una de 5V/3A. Las dos primeras se utilizan para la excitación de los sensores de presión y temperatura y la última para la excitación de un relé encargado de accionar la válvula de la sección de ensayo.

ELEMENTOS	CARACTERISTICAS	PRESUPUESTO	PLAZO DE ENTREGA
Conector	Nº de conexiones igual al nº de conductores del cable de señales.	?	?
Fuente de alimentación	Modelo PS280 (Tektronix) Salida triple 2x20V/2A, 5V/3A	126.414	10 días

3.2.2.- Convertidor analógico-digital

En principio las señales que se introducirán son las siguientes:

VALORES	NUMERO
Cables de señales	
Presión	3
Temperatura	3
Válvula de la sección de ensayo	1
Presión atmosférica	1
Temperatura atmosférica	1
Presión en los packers	1
Nivel en el tanque de agua	1

Como consecuencia de las señales que deben controlarse se deduce la necesidad de una conversión de datos digital-analógica previamente a la introducción de las mismas en el PC.

Dicha conversión analógica-digital puede efectuarse bien mediante un convertidor analógico-digital externo bien mediante tarjetas de conversión instaladas en los slots de expansión del PC. A continuación se describen las características de ambos sistemas.

A. Convertidor analógico-digital externo

En función de la comparación entre los equipos de adquisición de datos instalados en la actualidad y del diseño básico discutido en las conversaciones mantenidas con SKB se ha seleccionado un convertidor de la casa Fluke cuya configuración básica es la siguiente:

- Helios I (Modelo 2289A). Es la unidad central a la que se conectan los diversos módulos de adquisición de datos y que a su vez controla el proceso de excitación y medida de los dispositivos instalados.
- Módulo de conversión A/D (Número de identificación 161). Este módulo proporciona mayor exactitud y mejor aislamiento contra interferencias de origen eléctrico en condiciones de trabajo en campo.
- Escáner (Número de identificación 162). Módulo encargado de diferenciar las señales de los sensores del equipo de profundidad. Realiza un barrido de los diferentes canales de entrada y proporciona un medio de excitación de transmisiones y válvulas.
- Conector para corriente (Número de identificación 171).
- Módulo de salidas digitales (Número de identificación 169). Es el módulo que proporciona salidas digitales del tipo todo/nada para el accionamiento de la válvula de la sección de ensayo.
- Fuente de alimentación y relés. Con objeto de accionar la válvula es necesario disponer de una fuente de alimentación que accione un relé.
- En cuanto al software de control necesario para el proceso de adquisición de datos, en este caso se ofrece por parte del fabricante un paquete denominado Labtech Control (Número de identificación S-2291).

B. Convertidor analógico-digital interno

3.2.2.1.- Estudio comparativo entre las alternativas propuestas

Dado el número de señales a introducir son válidos en principio los dos tipos de convertidores propuestos, ya que la posibilidad de introducir hasta mil quinientas señales en el convertidor externo no representa una ventaja en este caso?????.

Por ello y en función del presupuesto, que es sensiblemente inferior en el caso de las tarjetas de adquisición de datos se propone la adquisición del modelo AT-MIO-1500 de National Instruments.

3.2.2.2.- Características técnicas del convertidor seleccionado

?????

?????

3.2.3.- Ordenadores

Se considera la posibilidad de disponer de un ordenador en el vehículo base para el sistema de adquisición de datos y un portátil para realizar la interpretación de forma simultánea, ya que existen tiempos de espera durante la realización de los diferentes ensayos.

La configuración básica de la que se ha partido está constituida por un procesador Intel 486 con una velocidad de reloj de 66 Mhz (opcionalmente con un zócalo preparado para alojar un Pentium Overdrive). Se ha considerado Windows como entorno de trabajo en la tarea de adquisición de datos debido por una parte a su capacidad para ejecutar varias aplicaciones de forma simultánea, por otra debido a que la mayoría de los programas comercialmente disponibles se centran en este entorno y por último al gran número de drivers existentes para una amplia gama de periféricos. En consecuencia, la capacidad de memoria RAM debe superar los 8 Mb, siendo recomendable una configuración mínima que considere 16 Mb.

3.2.3.1.- Características técnicas de los ordenadores seleccionados

CARACTERISTICAS	PRESUPUESTO	PLAZO DE ENTREGA
WS-900 EVL Arquitectura EISA BUS LOCAL de 32 bits VESA Procesador: INTEL 80486DX2 A 66 MHz Memoria RAM: 16 Mb Memoria caché: 8 kb interna y 256 kb externa Unidad de disco flexible: 3½" (1,44 Mb) Disco rígido: 450 Mb Tarjeta gráfica: S-VGA (1024 x 768) 1 Mb Monitor: color 17" TRINITRON 2 Salidas serie 1 Salida paralelo 8 slots EISA, dos de ellos VESA LOCAL BUS Teclado 102 teclas en castellano Ratón Sistema Operativo: MS-DOS 6.0 Carcasa sobremasa	723.295	1 MES
MODEM	41.860	1 MES
DISCO MAGNETO-OPTICO INTERNO	337.255	1 MES
NOTEBOOK INVES WS-900-L NBTC-486DX a 50 MHz. Memoria RAM: 20 Mb Unidad de disco flexible: 3½" (1,44 Mb) Disco rígido: 120 Mb Color TFT FAX/MODEM TRACK-BALL	1.139.075	1 MES

3.2.4.- SAI

La conexión del sistema de adquisición de datos a un ondulator proporciona un sistema de alimentación ininterrumpida con los siguientes objetivos:

- Vigilancia, control y solución de todos los problemas relacionados con el suministro de energía eléctrica en el entorno informático.
- Proporcionar una corriente sin perturbaciones para la correcta utilización de los sistemas informáticos.

Para ello, y teniendo en cuenta el diseño conceptual elaborado, debe cumplir los siguientes requisitos:

Diseño.- Ligero y robusto, integrado en un equipo de reducido peso y tamaño.

Tecnología.- Microprocesador integrado en la propia lógica de control.

Control.- Visualización de los principales parámetros de la SAI tales como estado de la corriente eléctrica, entorno informático, electrónica, batería, ...).

Ajuste de sensibilidad.- Posibilidad de ajuste desde el menú principal de los ajustes originales con el fin de optimizar la instalación.

Almacenamiento de valores.- Memorización y listado de acontecimientos referidas al entorno informático (sobretensiones, bajadas de tensión, sobrecargas, temperaturas, etc).

Operación.- Silenciosa y con mínimo consumo de energía.

Software de control.- Kit de interface para Windows.

3.2.4.1.- Estudio comparativo entre las alternativas propuestas

Una vez enumerados los objetivos y requisitos que debe cumplir el sistema se detallan las características de los equipos consultados.

SUMINISTRADOR	ONDYNE	SALICRU
MODELO	EXPERT 1000	UPS-1200-MI-C
POTENCIA (VA)	1000	1200
PESO (KG)	13	52
DIMENSIONES (mm)	272 x 137 x 167	240 x 465 x 640
TECNOLOGIA	MICROPROCESADOR	MICROPROCESADOR
CONTROL	SI	SI
AJUSTE DE SENSIBILIDAD	SI	SI
ALMACENAMIENTO DE VALORES	SI	SI
KIT DE INTERFACE PARA WINDONS	SI	NO

3.2.4.2.- Cuadro resumen

Realizada la comparación entre los distintos equipos se propone la adquisición de un ondulador ONDYNE modelo Expert 1000.

MODELO	VENTAJAS	INCONVENIENTES	PRESUPUESTO	PLAZO DE ENTREGA
Expert 1000	<ul style="list-style-type: none">- Interface Windows.- Diagnóstico usuario técnico e histórico.- Menor peso.	Menor potencia.	169.000 + IVA	15 días
UPS-1200-MI-C	<ul style="list-style-type: none">- Posibilidad On-Line.	Imposibilidad de interface Windows.	?	15 días

4.- SISTEMA DE DESCENSO DEL EQUIPO DE PROFUNDIDAD

4.1.- OBJETIVOS

Dentro de la unidad móvil de caracterización hidrogeológica se contempla un módulo denominado vehículo de descenso, con la misión de:

- Ubicación del equipo de descenso y descenso del equipo de profundidad.
- Ubicación de carretes soportes de las líneas de conducción.
- Ubicación del grupo electrógeno.
- Transporte de varillaje.

4.2.- ELEMENTOS DEL SISTEMA

4.2.1.- Vehículos de soporte físico

4.2.1.1.- Vehículo de descenso del equipo de profundidad

El vehículo de descenso debe cumplir los siguientes requisitos:

- Longitud de caja de aproximadamente 6 m.
- Capacidad de carga de hasta 10.000 kg.
- Adaptabilidad a modificaciones de serie, como reforzamiento de suspensión, juego de gatos traseros y delanteros, extensibles manualmente con válvulas de retención pilotadas.
- Autonomía en labores de mantenimiento.
- Sencillez mecánica.
- Vehículo todo terreno con altas prestaciones y con capacidad de acceso hasta el propio sondeo en zonas de accidentada topografía.
- Capacidad de ubicación de todos los elementos del equipo de profundidad.

4.2.1.2.- Vehículo base

Idem al apartado 4.2.1.1.

4.2.1.3.- Estudio comparativo entre las alternativas propuestas

Los modelos existentes de camiones todo terreno en el catálogo de bienes de adquisición centralizada en la Administración con:

MODELO	CARACTERISTICAS GENERALES
RENAULT 4 x 4	<ul style="list-style-type: none">- Peso útil 7.495 kg.- Disponible 6.505 kg.- P.M. autorizado 14.000 kg.- Longitud de caja 4.025 mm.- Vehículo de serie sin admisión de modificaciones.
MERCEDES BENZ UNIMOC	<ul style="list-style-type: none">- Compleja mecánica.- Dificultad en el mantenimiento.- Longitud de caja 4.000 mm.- Distancia entre ejes 3.850 mm.
URO F.18.16/23	<ul style="list-style-type: none">- Peso útil 4.500 kg.- Disponible 12.500 kg.- P.M. autorizado 16.500 kg.- Longitud de caja 5.575 mm.- S8implicidad mecánica.- Mayor altura libre del mercado.

Analizados los vehículos propuestos, el camión URO F18-16/23, ofrece todas las prestaciones necesarias. Habiendo realizado una afirmativa auditoría en la cadena de montaje y demostración en pista de pruebas.

Destacan de dicho modelo (F18.16/23) las siguientes ventajas principales:

- Cabina apoyada en 3 ptos. Absorbiendo gran parte de la rigidez, ya que los demás vehículos llevan 4 ptos.
- Estructura tubular de acero en cabina que acentúa el arco de seguridad.
- Alta maniobrabilidad. Con radios de giro desde 7 m.
- Velocidad mínima de 1,8 km/h (4 km/h en los demás vehículos).

- Blocajes de diferencial en ambos ejes neumáticos. Siendo el sistema autoblocante en el resto de los vehículos.
- Adherencia y alta elasticidad. Ofreciendo gran torsión de chasis y 35º de cruce entre ejes (habitualmente los camiones presentan 18º).
- Versatilidad en tomas de fuerza (hasta 7 ptos).
- Gran altura libre del suelo (400 mm). Debido a la reducción en los cubos de rueda de 4:1. No ofrecida dicha altura por ninguna empresa.
- Alta capacidad para cargas repartidas y puntuales.

4.2.1.4.- Características técnicas de los vehículos seleccionados

VEHÍCULO DE DESCENSO Ó DENOMINACIÓN: URO. Modelo f. 18.16/23.

Dimensiones

- | | |
|------------------------|------------------|
| - Longitud entre ejes: | 3.800 mm |
| - Ancho del vehículo: | 2.220 mm |
| - Longitud de caja: | 5.575 mm |
| - Ancho de caja: | 2.220 - 2.500 mm |
| - Altura de caja: | 2.000 mm |
| - Angulo de rasante: | hasta 35º |
| - Angulo de ataque: | 45º |
| - Angulo de salida: | 41º |

Peso

- | | |
|--------------------|-----------|
| - Peso útil: | 4.500 kg |
| - P.M. autorizado: | 16.500 kg |

Motor

- | | |
|-------------|-------------|
| - Firma: | Fiat-Iveco |
| - Potencia: | 177 C.V. |
| - Par máx.: | 57 mkg. DIN |

- Cilindrada: 5.861 C.C.
- Altura libre: 400 mm
- Vadeabilidad: 800 mm
- Capacidad de combustible: 180 l ampliable en 130 l.

Velocidad

- Velocidad máxima: 100 km/h
- Velocidad mínima: 1,4 km/h

Presupuesto: 11.017.250 pts

VEHICULO BASE

Idem al vehículo de descenso, con la sola diferencia de que éste no lleva cabrestante hidráulico.

Presupuesto: 10.215.250 pts.

4.2.2.- Hoisting rig.

El equipo de descenso seleccionado para la manipulación del varillaje es un hoisting de reducidas dimensiones; ocupando el menor espacio posible en la unidad y permitiendo a la vez introducir el equipo de testificación hidráulica en sondeos de hasta 1000 m de profundidad, tanto verticales como inclinados y tener capacidad suficiente en la resolución de posibles enganches.

4.2.2.1.- Características técnicas del hoisting rig seleccionado

Equipo ISSA-GM. modelo CANARIAS-240 basculante.

Características técnicas

- Capacidad de carga: 7.000 kg.
- Posicionamiento: Horizontal en transporte. Vertical en trabajo.
- Accionamiento: Hidráulico
- Penetración: 50 KN
- Extracción: 70 KN
- Longitud total: 3.680 mm
- Recorrido útil: 3.330 mm

Cabeza de rotación con plato hidráulico

Accionada por dos motores hidráulicos y se desliza sobre las guías de la pluma. Tiene un plato de mordazas con las siguientes características:

- Velocidad: 25 - 100 rpm
- Par máx: 640 - 2.040 Hm
- Apertura: ≤ 55 mm
- Fuerza de agarre axial: 47 KN

Freno del varillaje

Accionado por dos cilindros hidráulicos permite el desenrosque de las varillas con centraje automático.

- Apertura de mordazas: 40 - 100 mm
- Fuerza de agarre axial: 40 KN.

Sistema de desenrosque del varillaje

Mediante el accionamiento simultáneo del plato de mordazas de la cabeza de rotación y el freno hidráulico situado en la parte inferior de la pluma. Girando el plato a izquierdas se consigue el desenrosque del varillaje y viceversa.

Cabrestante

La pluma tiene capacidad de ampliar su longitud hasta 6 m. Esto permite introducir la cabeza de ensayo montada, así como el manejo de 2 varillas de 3 metros, lo que supone un ahorro de tiempo considerable en la etapa de montaje y desmontaje del equipo.

Esta operación se lleva a cabo mediante un cabestrante instalado en la parte inferior de la pluma y una polea en la parte superior.

Características técnicas

- Diámetro: 165 mm
- Longitud: 210 mm
- Velocidad máx.: 3,98 m/sg
- Velocidad mín.: 00,01 m/sg
- Peso: 250 kg

Fuerza motriz

Por medio de una toma de fuerza del motor del camión y una central oleo-hidráulica, obtenemos la transformación de la energía mecánica en hidráulica, consiguiendo el movimiento de: rotación, penetración-extracción, los carretes, el plato de mordazas y los cuatro gatos estabilizadores.

4.2.2.2.- Pesos parciales y total

- | | |
|------------------------------------|---------------------------|
| - Grupo electrógeno | 725 Kg |
| - Cerramiento + bastidor | 780 kg |
| - Cajones de utillaje | 145 kg |
| - Cuadro de mando | 250 kg |
| - Pluma | 522 kg |
| - Gatos estabilizadores | 272 kg |
| - Cabrestante | 250 kg |
| - Carretes de líneas de conducción | 400 kg |
| TOTAL | 3419 kg |
| - Varillaje | 3500 kg |
| - P.M.A = | 16.500 Kg |
| - Peso útil = | 4.500 kg |
| - Peso disponible = | 12.000 kg |
| - Peso disponible sin varillaje = | 12.000 - 3419 = 8.581 kg. |

4.2.3.- Varillaje

El varillaje se emplea para el descenso del equipo de profundidad y soporte de las líneas de conducción así como para la inyección de agua a través del mismo.

4.2.3.1.- Estudio comparativo entre las alternativas propuestas

Debido a que el material a emplear debe ser totalmente inoxidable para evitar la alteración química del agua de la formación, se puede construir el varillaje en acero inoxidable o en aluminio.

Debido en que la apertura máxima del plato de mordazas del Hoisting rig es de 55 mm., el diámetro exterior del varillaje debe ser de aproximadamente 50 mm (aconsejado por SKB) y mantiene el diámetro uniforme a lo largo de toda su longitud para evitar posibles enganches.

El diámetro interior debe ser tan grande como constructiva y comercialmente sea posible para evitar tener pérdidas de carga.

Los elementos esenciales para considerar que un acero sea inoxidable son el Ni y el Cr; siendo unos rangos óptimos entre 11 y 18% en Cr, y 2,5 por 1 parte de Cr para el Ni, pudiendo considerar una cierta cantidad de Mo que en combinación con el Ni aumenta el índice elástico y disminuyendo la fragilidad. El Ni aumenta en la tenacidad, el índice elástico y la anticorrosión, y el Cr aporta resistencia a la corrosión y dureza.

En base a los contactos mantenidos con diferentes empresas y desde el punto de vista constructivo, se necesita un espesor mínimo de 5 mm para poder mecanizar la rosca de unión entre varillas, debido a la suma de espesores entre la superficie exterior de la varilla y la cresta del diente de la rosca, altura del diente, y espesor entre el fondo de rosca y superficie interior de la varilla.

CARACTERISTICAS	SUMINISTRADORES		
	CENTRO DE MECANIZADO	AUXTIMOX S.A	INDUST. SONDEOS, S.A.
DIAMETROS	48,3 x 44,6	48,3 x 44,6	50 x 36
ESPESOR (mm)	5,1	5,1	7
PESO	5,4 Kg/m	5,4 kg/m	8,5 kg/m
COMPOSICION	C. 0,030 Cr. 16 Ni. 10 Mo. 2	C. 0,08 Cr. 18 Ni. 8	C. 0,03 Cr. 17 Ni. 12 Mo. 2,7

CENTRO DE MECANIZADO

Su propuesta es que el diseño del varillaje sea por parte del ITGE, así mismo ésta empresa está limitada en lo que respecta a variedad en perfiles de roscas.

AUXTIMOS, S.A.

El espesor mínimo que podría roscar y con auxilio de manguito para la unión entre varillas sería de 5 mm., no manteniendo constante el diámetro interior en la zona de unión, provocando esto pérdidas de carga.

INDUSTRIAL DE SONDEOS, S.A.

Un varillaje de 7 mm de espesor es inviable debido al exceso de peso (8.500 kg), ya que este se ajusta al peso máximo autorizado por el camión (apartado 2.5).

Aluminio con manguitos de acero inoxidable

Debido a la baja densidad ($2,7 \text{ kg/dm}^3$), el límite elástico necesario es menor y la maniobrabilidad mayor.

Dado que la zona de unión entre varillas sería bastante débil debido a la maleabilidad del aluminio, se proyecta intercalar un manguito de acero inoxidable roscado y pegado con EPOXI, de modo que la zona roscada sufrirá el esfuerzo de tracción y el EPOXI la torsión en el momento de roscado y desenroscado, evitando así la deformación que produciría el freno hidráulico de la pluma al aprisionar la mordaza en la zona de acero inoxidable.

La única empresa capacitada y con experiencia en mecanizado de Al. es INDUSTRIAL DE SONDEOS, S.A.

EMPRESA	MATERIAL	VENTAJAS	INCONVENIENTES	PRESUPUESTO	PLAZO ENTREGA
CENTRO DE MECANIZADO	Acero		Zona roscada débil	4.896.000	
AUXINOX	Acero	Zona roscada resistente	Pérdidas de carga a tener en cuenta.	6.052.000	4/8 semanas
INDUST. SONDEOS.	Aluminio	Mayor maniobrabilidad y menor pérdida de carga.	Mayor degradación en manipulación y uso.	6.351.200	4/8 semanas

4.2.3.2.- Características técnicas del varillaje propuesto

Dado que el varillaje en aluminio con manguitos de acero inoxidable tiene 5,2 kg menos que el varillaje construido en acero inoxidable en su totalidad, proporciona una mayor maniobrabilidad en el montaje (recomendado por SKB), y resultando 1.900 kg menos en el total del camión. Obteniendo una menor pérdida de carga al mantener constante el diámetro interior.

SUMINISTRADOR	INDUSTRIAL DE SONDEOS, S.A.
DIAMETROS (mm)	50 x 40
ESPESOR (mm)	5
PESO	3,5 kg/m
ALEACION	6063-T-S (Al Mg Si 0,5)

4.2.4.- Generador

El generador instalado en el exterior del vehículo de descenso entre la cabina y la caja, tiene la misión de proporcionar la energía eléctrica a los equipos de la unidad móvil de caracterización.

La potencia total consumida por fluorescentes, focos portátiles, bomba de inyección, frigorífico, climatizador, sistema de adquisición de datos, hardware, suman un total de 4456 w, y dado que la potencia emergente es 3 veces la de régimen, obtenemos un total de 13.368 w en el arranque.

Características del generador

Firma: ATLAS COPCO
Potencia emergencia: 17 KVA
Potencia régimen: 16 KVA
Tensión: 380/220V
Velocidad del motor: 1500 rpm
Frecuencia del motor: 50 hz

4.3.- ENSAYOS SOBRE EL VARILLAJE

Ensayo a presión

Mediante una inyección de agua, se conocerá la presión a partir de la cual comienza a tener fugas la zona de unión de tres varillas unidas y selladas por un extremo. Previamente se habrán sometido a un esfuerzo de tracción las varillas para que la presión a la que es sometida sea en condiciones reales y xxxxxx.

Ejecución:

- 1º. Dar tres ciclos de presión hasta 40/50/kg/mm².
- 2º. Dar presión hasta 60/80/kg/mm² y mantenerla durante 15 minutos.

Tracción

Tiene por objeto conocer la carga a partir de la cual la deformación experimentada por la varilla deja de ser elástica (caracterizada por desaparecer al cesar el esfuerzo actuante), y comienza la de formación plástica (permanente) si se aplican esfuerzos crecientes.

Longitud de Varillaje = sondeo + 10% = 1100 m

Nº de varillas = 367.

Tamaño de la muestra según norma UME 66.020-73.

<u>Tamaño del lote</u>	<u>Niveles de Inspección</u> Plan de muestreo simple para inspección.		
	Reducida I	Normal II	Rigurosa III
281 a 500	F	H	I
<u>Tamaño de la muestra</u>	8	50	80
<u>Nivel de calidad aceptable al 99%</u>	A R 0 1	A R 1 2	A R 1 2

A = Aceptación

R = Rechazo

Según norma UNE 66.020-73. El tamaño de muestra reducida es 8. Considerando un nivel de calidad aceptable al 99%.

El lote será considerado no óptimo si una sola probeta de las ocho, es rechazada por no estar dentro del límite elástico y de rotura.

Ejecución:

Sobre probetas de aluminio de 500 mm de longitud con manguitos de acero inoxidable se realizan 8 ensayos a tracción hasta llegar a rotura, dando como resultados:

- Carga de rotura.
- Zona de rotura.
- Límite elástico.
- Alargamiento.

Composición química

Se garantizará según la cantidad de Ni y Cr, el grado de anticorrosión del acero inoxidable.

Analizando Cr - Ni - C y Si.

Previamente tanto en el ensayo de presión, como en el de tracción se realizarán las uniones del varillaje con llave dinamométrica con un par de apriete preestablecido, con el fin de comprobar la efectividad de la resina EPOXI.

ENSAYO	DESCRIPCION	Nº ENSAYOS	PRESUPUESTO	LABORATORIO ACREDITADO	Nº PROBETAS
PRESION	Presión admisible sin pérdidas de fluido.	1	55.000 pts	GEOCISA	3
TRACCION	Carga de rotura. Zona de rotura. Límite elástico. Alargamiento.	8	15.000 pts/ Ud.	GEOCISA	8
COMPOSICION QUIMICA	% de Cr, N, C y Si.	1	13.000 pts	GEOCISA	—

4.4.- PROBETAS DE ENSAYO

MATERIAL	LONGITUD	φ INTERIOR	φ EXTERIOR	PRESUPUESTO	PLAZO DE ENTREGA
ALUMINIO CON MANGUITO DE ACERO	500 mm	40 mm	50 mm	13.200 unidad	1 semana.

5.- SISTEMA DE INYECCION Y EXTRACCION DE AGUA

5.1.- OBJETIVOS

El sistema de inyección tiene como objetivo llevar agua presurizada hasta la sección de ensayo para la realización de test hidráulicos. Este agua de inyección, cuando sea posible, debe ser preferentemente cogida en sondeos realizados en la misma formación.

El agua se almacenará en un tanque de 1.000 l., con otro auxiliar de 1.500 l., y será conducida desde este o desde un depósito de expansión por nitrógeno (cuando el caudal de inyección sea menor de 0,1 l/min) a los flowmeters y de estos, después de un purgado de aire, se inyectará por las varillas de descenso del equipo hasta la sección de ensayo, la entrada de agua a presión desde la manguera hidráulica a las varillas se realizará mediante un cierre especial para evitar pérdidas de presión.

La presión de inyección estará normalmente entre 4 y 10 bares, no superando este valor; cuando la presión de inyección es baja, p.ej. 2 bares, y el nivel piezométrico está muy profundo puede haber dificultades para realizar tests de inyección, una alternativa a estos casos puede ser realizar Pulse y Slug tests.

La inyección de agua comenzará en primer lugar con la bomba de inyección, usando primero el flowmeter de mayor rango y luego los de menor rango si es necesario. Transcurrido un tiempo orientativo de 30 segundos, si el caudal es demasiado pequeño, menor de 0,1 l/min para inyectarlo con la bomba, se realizará la inyección a través del depósito de expansión por nitrógeno.

5.2.- ELEMENTOS DEL SISTEMA

5.2.1. Depósito de agua. Calentador. Filtro.

Para realizar los ensayos de inyección se ha pensado en utilizar un tanque de chapa con impregnación de resinas epoxi. En su interior existirán separadores para evitar movimientos bruscos del agua durante el transporte. La temperatura del agua de inyección se mantendrá constante mediante un calentador eléctrico provisto de termostato situado en su interior, se procederá también a un filtrado del agua con objeto de separar las partículas mayores de 0,5 μm .

El tanque debería tener una capacidad de 1500 l; para poder realizar ensayos de inyección con una duración mínima de 30 minutos, si se tiene que inyectar una cantidad máxima de 50 l/m, o añadir un tanque auxiliar externo si el volumen de 1500 l. es excesivo para transportar en el interior del vehículo, que mediante una bomba de trasiego, rellenaría agua al tanque instalado en el vehículo base. Se debe tener un sistema que controle el nivel del tanque, bien un sensor de presión o una pequeña tubería. El tanque debe limpiarse aproximadamente una vez cada 5 meses.

En el caso en que fuera necesario un caudal de inyección, para evitar la necesidad de un tanque de muy alta capacidad se procedería a realizar ensayos de bombeo, si la capacidad de la bomba y la profundidad del nivel piezométrico lo permiten.

Se ha solicitado información a Industrial de Sondeos, S.A.

Se propone un filtro de la casa TFB, S.A. con las siguientes características técnicas:

Filtro:

Cartucho filtrante

- Líquido a filtrar: Agua
- Tipo de cartucho: DUO-FINE
- Denominación cartucho: DFN 0,45-10UN
- Calidad de filtración en micras: 0,45
- Longitud cartucho en pulgadas: 10
- Material filtrante: Microfibras de vidrio con aglomerador acrílico
- Material soporte central: Polipropileno

Carcasa

- Tipo/Modelo de carcasa: LMO 10U-3/4
- Material de construcción: Polipropileno
- Longitud alojamiento cartuchos pulgadas: 10
- Número de cartuchos requeridos: 1
- Diámetro entrada y salida pulgadas: 3/4

Se ha solicitado información a TFB, S.A. y HECISA.

- Precio: 19.223 pts/unidad
- Plazo de entrega: inmediato

5.2.2. Bomba de inyección

Tiene como objetivo desplazar el agua desde el tanque hasta los caudalímetros, para realizar la inyección a una presión máxima de 10 bares.

5.2.2.1.- Características técnicas de la bomba seleccionada

La bomba de inyección propuesta es una Grundfos centrífuga tipo CR/CRN 2-220 con una capacidad de flujo comprendida entre 0,4 m³/h y 3.5 m³/h (0.85 Mpa). (ver figura ?)

La potencia necesaria es de 2.20 kw y la máxima presión de aspiración es de 15 bares.

La presión de inyección máxima con un caudal de 1 m³/h es de 19 bares, con 2 m³/h 16 bares y con 3,5 m³/h 9 bares.

- Precio: 180.400 pts
- Tiempo de suministro: 20 días

Se considera que el caudal máximo que podemos necesitar inyectar es de 50 l/m, por lo que esta bomba parece apropiada al tener un máximo de 58 l/m.

5.2.3.- Caudalímetros de precisión

Los caudalímetros deben controlar el caudal de agua inyectado a la formación con la mayor exactitud, el rango de flujo a inyectar estará entre 0,1 l/m y 50 l/m.

5.2.3.1.- Estudio comparativo entre las alternativas propuestas

Para el control del flujo de agua se utilizarán caudalímetros de precisión. Se han valorado tres tipos: másico, magnético-inductivo y rotámetros (ver cuadro 2).

Másico.- Alcanza una precisión de caudal del 0,25%, y de densidad del 0,75%. Además de caudal y volumen total, aporta datos de densidad y temperatura. Al ser másico tiene el inconveniente de que aumenta las pérdidas de carga cuanto más denso es el fluido, otro inconveniente es que resulta bastante más caro, y se necesitan 3 aparatos para cubrir nuestro rango de necesidades.

Magnético-inductivo.- Tiene una precisión de 0,5% y aporta solamente medidas de caudal y volumen total, el agua debe tener una conductividad mayor de 5 microsiemens. Su principal ventaja es que resulta más barato que el anterior y solo son necesarios dos aparatos para cubrir nuestro rango.

Rotametros.- Este tipo de caudalímetros ha quedado prácticamente descartado por su baja precisión, y no aportar datos de volumen total.

Se ha solicitado información a Fischer-Porter y Rosemount, pudiendo quedar cubiertos nuestros requerimientos con los siguientes modelos de la casa Fischer-Porter.

	MODELO	CAUDAL MINIMO	CAUDAL MAXIMO	PRECIO
MASICO	10 MM DN3	0,125 kg/min	2,5 kg/min	782.680 pts
	10 MM DN6	0,8 kg/min	16 kg/min	865.900 pts
	10 MM DN15	5 kg/min	100 kg/min	969.920 pts
MAGNETICO INDUCTIVO	MAGXM DN3	0,08 l/min	4 l/min	378.000 pts
	MAGXM DN15	2 l/min	100 l/min	378.000 pts

Los caudalímetros deberán ir situados en el área destinada a equipo informático, y se situará un display, para controlar el caudal, junto al ordenador.

En principio toda la regulación deberá hacerse de forma manual, pudiendo hacerse de forma automática cuando se tenga mayor experiencia.

Es conveniente poner sensores de presión al entrar a los flowmeters y al salir, para conocer las pérdidas de carga, así como un sensor de T antes de entrar el fluido de inyección en el varillaje..

Deberá instalarse un sistema de purgado de burbujas de aire.

En el montaje de todas las conexiones del sistema de inyección, se deberá tener especial cuidado para evitar en lo posible las pérdidas de carga.

5.2.3.2.- Características técnicas del caudalímetro seleccionado

Se considera utilizar caudalímetros másicos por su mayor precisión y obtención de más parámetros.

Su principal inconveniente es su mayor precio y necesitar 3 unidades, en lugar de 2 en el caso de la magnético-inductivos para cubrir nuestro rango de operación (ver cuadro 2).

CUADRO 2

ELEMENTOS DEL SISTEMA	CARACTERISTICAS TECNICAS	MODELO	VENTAJAS/INCONVENIENTES		PRESUPUESTO	PLAZO ENTREGA
Flowmeter	<u>Másico</u> Material = acero inoxidable Precisión = Caudal: 0,25% - Densidad: 0,75% Medidas de = caudal másico, volumétrico, densidad, temperatura y totalización.	10MM DN3 10MM DN6 10MM DN15	Mayor precisión	Más caro, necesidad 3 unidades.	2.724.360 pts (los tres modelos)	10-12 semanas
	<u>Magnético-inductivo</u> Material = acero inoxidable Precisión = 0,5% Medidas de = Caudal y totalización	MAGXM DN3 MAGXM DN15	Más baratos, sólo se necesitan 2 unidades.	Menor precisión. No da medidas de densidad.	824.610 pts (los dos modelos)	10-12 semanas
	<u>Rotámetros</u> Precisión = 8-10% Medidas de caudal.		Poco exactos No volumen total	Muy baratos.	≈14.000-18.000 pts/unidad.	10-12 semanas

5.2.4.- Vasija de presión (depósitos de expansión por N₂)

El sistema se rellenará con agua o líquido anticongelante y se presuriza la vasija con nitrógeno mediante un regulador. La presión se controla por medio de un manómetro y se almacena en el ordenador. Dispondrá de una válvula de seguridad para evitar el riesgo de explosión por sobrepresión.

En una primera estimación, el volumen necesario de la vasija de presión es de unos 80 litros para un caudal de inyección orientativo de 0,5 l/m. La presión usual de trabajo estará en torno a 10 bares, que se obtiene mediante N₂ gas por lo que la vasija se dimensionará para soportar hasta 20 bares.

Al utilizar vasijas de presión de 80 l. se necesita más N₂, estimándose el gas necesario en 4 veces el volumen de la vasija de presión.

La bombona de N₂, controlada con un regulador de alta calidad, presuriza la vasija de presión, después se coloca unas válvulas de precisión y se conectan a los caudalímetros.

Se ha solicitado información a Hermer y Deal (SEO).

Las características técnicas de las vasijas propuestas son:

- Material: acero inoxidable
- Espesor: para 20 bares 3 m / para 80 bares 14 m
- Dimensiones: Diámetro 0,3 m, altura 1 m, volumen 80 l.
- Precio: para 20 bares 151.000 / para 80 bares 330.000 (incluido proyector).

5.2.4.1.- Botellas de nitrógeno y regulador

Su objetivo es presurizar el agua de inflado de los packers y el sistema de inyección de agua, se utilizará Nitrógeno industrial.

Las bombonas contarán con un regulador de alta precisión, capaz de elegir con exactitud la presión requerida.

Las características de las botellas de Nitrógeno son:

- Volumen: 9,4 m³
- Altura: 1,5 m / 1,68 m
- Diámetro: 0,2-0,25 m / 0,2-0,245 m.
- Presión: 200 bares, graduable de 0,1 hasta 200 bares
- Peso bombona: 60-70 kg / 72-75 kg
- Precio: 600 pts/m³
- Transporte: 750 pts
- Contrato: 15.800 pts botella/año
(16.500 pts botella/año)
(38.000 pts botella/3 años)

Características técnicas del regulador seleccionado:

- Material: acero inoxidable
- Marca y modelo: Stag, modelo Harris Ref. 87/100
- Presión de salida: 0-100 bares
- Presión de entrada: 210 bares.

5.2.5.- Válvulas de regulación

Para regular el caudal de entrada a los caudalímetros se utilizarán tres válvulas, la primera para abrir o cerrar el paso de fluido, y las otras dos para realizar una regulación exacta del caudal.

Se han valorado válvulas suministradas por las siguientes casas comerciales:

- Whitey
- Swagelok
- Nupro
- Brook

Las válvulas de regulación fina no aseguran un buen cierre del paso de fluido, por lo que delante de estas se situará una válvula de bola de 2 vías. La válvula propuesta tiene las siguientes características:

- Marca: Whitey. Serie "40"
- Modelo: SS43S4

- Orificio: 4,8 mm
- Cv: 2,4
- Material: Acero inoxidable
- Precio: 16.659 pts

A continuación se situará una válvula de aguja de regulación amplia, se propone:

- Marca: Whitey. Serie "1"
- Modelo: SS1RS4
- Orificio: 4,4 mm
- Cv: 0,37
- Material: Acero inoxidable
- Precio: 12.150 pts

Para la regulación fina se propone una válvula de aguja con las siguientes características:

- Marca: Nupro. Serie "S"
- Modelo: SS5S4
- Orificio: 0,79 mm
- Cv: 0,004
- Material: Acero inoxidable
- Precio: 24.345 pts

5.2.6.- Bomba de extracción

5.2.6.1.- Características técnicas de la bomba seleccionada

EMPRESA MODELO	V-P-I	φ MAX.	LONG. MAX.	PESO	PRECIO
PLEUGER. ME44-31+194-46	380 v 55 kw 13.2A	4"	2035 mm	40,5 kg	235.992
GRUNDFOS. 3P3A-60	3x220 v 3,7 kw 16.5A	4"	2108 mm	49,2 kg	--
GRUNDFOS. JS1-08	1 x 220 v 1,5 kw 11A	3"	441 mm	5 kg	54.600

Diámetro del sondeo = 101 mm

PLEUGER y GRUNDFOS 3P3A necesitan un diámetro mínimo de la perforación de 4" (104 mm).

La única opción para un diámetro de perforación de 101 mm es utilizar una bomba de 3" (76 mm) ya que es necesario tener un mínimo espacio entre la pared del sondeo y la bomba.

Características técnicas de la bomba sumergida GRUNDFOS JS1-08

- Alimentación eléctrica: 1 x 220 v - 240 v
- Frecuencia: 50-60 Hz
- Protección del motor a tensión insuficiente
- Posibilidad de instalar protección para tensiones superiores a 300 v
- Protección sobre tensión por caída de rayos.
- Protección alta temperatura
- Filtro de ruido de radiofrecuencia
- Duración de la fase de arranque: 9 sg.
- Arranque/Parada: Después de una parada de la bomba deberá transcurrir al menos 10 sg. para ponerla en marcha de nuevo.
- Tiempo de rearme: Manual 10 sg; Automático 16 sg.
- Conexión de la tubería: 5/4 pulg.

- Caudal mínimo: $0,1 \text{ m}^3/\text{h}$ (140 m)
- Caudal máximo: $2,3 \text{ m}^3/\text{h}$ (10 m)

Pérdidas de carga

JUAN GRIMA

S = Pérdida de energía por long. unitaria de la tubería.

V = Velocidad del fluido.

C = Constante 150 para el Al.

D = Diámetro = $0,04 \text{ m}$

6.- CELDA DE PRESION PARA ENSAYO DE COMPONENTES DEL EQUIPO

6.1.- OBJETIVOS

En la realización de ensayos hidráulicos en formaciones de baja permeabilidad, las medidas obtenidas pueden ser afectadas por la elasticidad de algunos componentes del equipo de profundidad (sobre todo los packers).

En los ensayos tipo Pulse, inyección a caudal constante y recuperación, la presión durante la duración del ensayo varía en la sección a lo largo del tiempo, pudiendo producir la elasticidad del equipo una afectación a la secuencia completa del ensayo, que será más importante en secciones con permeabilidad más baja.

En los ensayos en que la presión es mantenida constante, p. ej. ensayos de inyección a nivel constante, el equipo solo actuará elásticamente durante la etapa inicial, no afectando a toda la secuencia del test como en el caso anterior.

Por tanto, el objetivo de este sistema es realizar diferentes ensayos que permitan obtener valores de elasticidad de componentes del equipo.

Un objetivo secundario, aunque muy importante en la actual etapa de desarrollo del equipo de caracterización hidrogeológica de formaciones de baja permeabilidad, es la comparación y comprobación de diferentes partes del equipo antes de su definitiva adquisición para la UMH. Así, resulta de interés comparar diferentes marcas y longitudes de packers, válvula eléctrica - válvula hidráulica, vasijas de presión, etc..

6.2.- ELEMENTOS DEL SISTEMA

La célula de presión está compuesta por los siguientes elementos (ver figura 1 y cuadro 1).

6.2.1.- Contenedor de agua

Consiste en un recipiente, fabricado en PVC con las dimensiones siguientes: 7m x 0,4m x 0,3 m.

CUADRO-1

ELEMENTOS DEL SISTEMA	CARACTERISTICAS TECNICAS	MODELO	VENTAJAS/INCONVENIENTES	PRESUPUESTO	PLAZO ENTREGA
Tanque de agua con sujeciones para tubería.	PVC. reforzado Dimensiones 7 x 0,4 x 0,3 m			146.045 pts	1 mes
Tubería de 104 ϕ interior.	Acero. Dimensiones: ϕ int. 104, ϕ ext. 113, L= 5 m		Acero más barato	43.544 pts	1 mes
Grúa.	Peso máximo: 250-300 kg.			≈ 100.000 pts	Inmediato
Varillas de "descenso" del equipo (4).	Aluminio con manguitos de acero. ϕ int = 40 mm ϕ ext = 50 mm L = 0,5 m (1 varilla con dispositivo especial para alojar el cable del transmisor)			13.200 pts 16.600 pts	1 mes
Varillas perforadas (2).	Aluminio con manguitos de acero. ϕ int = 40 mm ϕ ext = 50 mm L = 0,6 y 0,8 m			22.100 pts 23.900 pts	1 mes
Packers.	Rango de expansión 67-135 y 72-160 mm diámetro varilla: 23 y 40 mm Longitud = 1 y 1,5 m Acero inoxidable (menos conexiones). Acero Inflado con agua presurizada con N ₂ . Presión máxima de trabajo 60 bares. Diámetro conexión línea inflado = 1/4"	Bimbar 1-72 (Petrometalic) 67-135 (Archway)	Comparación de tiempos de sellado, compresibilidad. Comparación de packers con diferentes dimensiones.	Archway: 125.000 pts/unidad. Petrometalic: 178.860 pts/unidad (longitud 1 m) 221.205 pts/unidad (Longitud 1,5 m)	1 ó 2 meses Inmediato
Transmisores de presión.	0/250 mbar - 0/700 bares Puede incluir medida de T. Rango máximo a elegir hasta 700 bares. Diámetro = 38 mm Longitud = 91,5 mm	Druck PTX 630 0/250 mbar-0/700 bar		171.700 pts.	1 mes

CUADRO-1 (Continuación)

ELEMENTOS DEL SISTEMA	CARACTERISTICAS TECNICAS	MODELO	VENTAJAS/INCONVENIENTES	PRESUPUESTO	PLAZO ENTREGA
Válvulas manuales (2) (Entrada de agua para inflado packers y válvula para salida de agua desde la sección de ensayo).	2 vías/3 vías Orificio = 4,8 mm/4,8 mm CV = 2,4/0,9 Tamaño conexión = 1/4" / 1/4" Acero inoxidable Válvula de bola	Serie 5-40 SS43S4 (dos vías) SS43 x S4 (tres vías)	Caudal máximo. Tuerca de montaje en panel. Conexiones swagelok galgables. Vástago y bola de una sola pieza. Presión de servicio hasta 200 bares. Temperatura desde 10°C a 65°C	16.659 pts (2 vías) 20.934 pts (3 vías)	Inmediato
Válvula de test	CV = 1,88 Corriente continua = 1 Amp. Voltaje = 18-31 V/DC Presión de trabajo = 0,7 - 200 bares Presión máxima = 345 bares T. Trabajo: -60-120°C	Valcor Válvula de solenoide coaxial.	Menor tiempo de apertura que la hidráulica.		
Botellas de nitrógeno con reguladores.	Presión en la botella 200 bares Presión mínima 0,1 bar Volumen = 9,4 m ³ /botella peso = 60-70 kg ϕ 0,20 ó 0,25 m, h = 1,5 m. regulador: presión de entrada = 210 bares presión de salida = 0-100 bares Acero inoxidable.	Bombona de N ₂ AGA SA. SEO.SA. regulador: Stag modelo Harris ref. 87/100		600 pts/m ³ Transp. = 750 pts Contrato = 15800 pts botella/año. regulador: 67.049 pts/unid.	Inmediato
Depósitos de expansión por N ₂ .	Acero inoxidable 20 bares/80 bares espesor 3"/14" Dimensiones: ϕ 0,3 m, alt. 1 m, vol. 80 l.	Diseño específico		151.000/330.000 incluido proyecto.	1-2 meses
Tubo de transmisividad conocida.					
Mangueras de conexión hidráulica.	Material termoplástico reforzado con "Queblar" Adaptadores de conexión galgable. Diámetro 1/4" Material plástico.	Swagelok Serie 7R-4 Conector TA-4 Petrometalic (6,4 x 13,5 mm)	Presión de trabajo 190 bares/220 bares. Rango T = -40 a 93 °C	10865 pts/m incluido conector. 600 pts/m (Petrometalic)	Inmediato
Tubo graduado					

Su misión dentro del sistema de la célula de presión es disponer de un volumen de agua suficiente para que el equipo a ensayar quede totalmente sumergido, simulando las condiciones del sondeo.

Se ha sobredimensionado la longitud del contenedor, para poder realizar ensayos sobre líneas de conducción enrollados.

El contenedor dispondrá en el fondo de asideros para la tubería, y un orificio para vaciado del agua.

Se ha solicitado oferta a Industrial de Sondeos y TMC Electronics, obteniendo un precio aproximado de 146.000 pts.

6.2.2.- Tubería

Su objetivo es simular el diámetro del sondeo. Fabricada en acero tiene diámetro exterior de 113 mm, diámetro interior de 104 mm, y una longitud de 5m.

Aproximadamente a 2 m de uno de sus extremos, dispondrá de una abertura circular, donde se conectará la válvula que comunica con la sección de ensayo.

Se ha considerado su construcción en acero normal, con un espesor suficiente para soportar las presiones a las que será sometida, se ha elegido este material por ser el tipo de acero más barato, y no afectar la posible contaminación del agua.

Se ha solicitado presupuesto a Industrial de Sondeos, obteniendo un precio de 43.544 pts.

6.2.3.- Grúa

Se debe considerar algún sistema con un pequeño motor eléctrico o manual para levantar la tubería de acero del contenedor de agua, y darle una inclinación que facilite la introducción y extracción de los packers y varillas, así como poder levantar uno de los extremos de la tubería para evacuar gases de la sección de ensayo.

Se ha solicitado presupuesto a Industrial de Sondeos, resultando un precio aproximado de 100.000 pts.

6.2.4.- Varillas de descenso del equipo

Por encima de uno de los packers se situará dos o tres varillas entre las cuales se conectará la válvula de ensayo y un transductor de presión que registrará medidas de presión en la sección de ensayo.

Las características técnicas de estas varillas son las mismas que las elegidas para la UMH, después de un detenido proceso de comparación entre diferentes alternativas, (ver apartado relativo a este tema), con la finalidad de comprobar su funcionamiento en este sistema y sacar algunas conclusiones válidas para el equipo de la UMH.

Estas varillas son de aluminio, con manguitos de acero, un diámetro interior de 40 mm, un diámetro exterior de 50 mm, y una longitud de 500 mm.

Una de estas varillas dispondrá de un dispositivo para toma de presión en la sección de ensayo (ver figura 2).

6.2.5.- Varillas perforadas

Son las varillas que se sitúan entre los dos packers, determinando la longitud de la sección de ensayo.

Las características técnicas son las mismas del apartado anterior y se dispondrá en longitudes de 0,6 y 0,8 m., se contempla la posibilidad de que estas varillas sufran una desviación sobre su eje para poder situar el transmisor en la sección de ensayo.

Del varillaje se ha solicitado información y presupuesto a INDUSTRIAL DE SONDEOS (ver cuadro I para consultar precio de cada tipo de varilla).

6.2.6.- Packers

Es el componente que más afecta a la elasticidad del sistema, siendo el objetivo primero de la célula de presión el calcular la compresibilidad efectiva de los packers, y obtener una relación sellado-tiempo de los mismos.

Deberán seleccionarse aquellos packers de menor elasticidad y menos tiempo para realizar un buen sellado.

La celda ha sido diseñada para ensayar packers de 1 m ó 1,5 m de longitud, y con las siguientes características:

- Fabricadas en material no corrosivo (acero inoxidable). (Aunque para realizar ensayos en la célula no es imprescindible).
- Inflado con agua presurizada con N₂.
- Conexiones para línea de inflado de los packers y cable de señales.
- O-ring en los dos extremos (uno fijo y otro deslizante).
- Rango de expansión suficiente para un buen sellado en sondeos de 101 mm.
- Diámetro interior de la tubería lo más próximo a 40 mm.
- Presión de trabajo, en torno a 60 bares.

Después de diversos sondeos en el mercado, se ha elegido dos suministradores para realizar los primeros ensayos:

	RANGO DE EXPANSION	DIAMETRO INT. TUBERIA	MATERIAL	LONGITUD	PRECIO
ARCHWAY ENGINEERING LTD	67-135 mm	23 mm	Acero al carbón Acero inoxidable	1 m y 1,5 m	125.000 pts/Unid. (Longitud 1 m)
PETROMETALIC	72-160 mm	40 mm	Acero inoxidable (excepto conexión línea inflado).	1 m y 1,5 m	178.660 pts/Unid. (Longitud 1 m) 221,205 pts/Unid. (longitud 1,5 m)

6.2.7.- Transmisor de presión

Su objetivo es medir las variaciones de presión en la sección de ensayo.

Siguiendo el proceso de comparación de diferentes tipos de transmisores (ver apartado relativo a este tema) para la UMH, se ha seleccionado el transmisor Druck PTX630, con las siguientes características:

Rango de presión: 0/250 mbar - 0/700 bares. (pudiendo elegir un valor máximo menor de 700 bares).

Rango de temperatura:	-20°C - 80°C. (Posibilidad de incluir en un mismo transmisor presión y Temperatura.)
Diámetro del transmisor:	38 mm
Longitud del transmisor:	91,5 mm
Longitud del cable:	1 m
Diámetro del cable ≈:	8 mm
Precio:	171.700 pts

El transmisor podrá situarse como se indica en la figura 1, o en la propia sección de ensayo para simular las mismas condiciones de trabajo que en el sondeo.

6.2.8.- Válvulas manuales

En la célula de ensayo se situarán dos válvulas manuales. La primera permitirá el paso del agua presurizada desde la vasija de presión para el inflado de los packers, será por tanto una válvula de 2 vías (válvula A). La otra, de tres vías (Válvula B), se situará en la tubería de acero, comunicando con la sección de ensayo, para permitir el paso de agua desde la sección al exterior, o la presurización de la misma.

En ambos casos se ha elegido válvulas de bola, de accionamiento manual, por su fácil manejo, robustez y disponibilidad.

Las características técnicas son:

	DOS VIAS	TRES VIAS
MATERIAL	Acero Inoxidable	Acero Inoxidable
ORIFICIO	4,8 mm	4,8 mm
CV	2,4	0,9
TAMAÑO CONEXION	1/4"	1/4"
MODELO	SS43S4	SS43xS4
PRECIO	16.659	20.934

Otras características de las válvulas son: Posibilidad de montaje en panel, conexiones swagelok galgables, vástago y bola de una sola pieza, presión de servicio hasta 200 bares y temperatura de operación desde 10°C a 65°C.

Se ha solicitado información a válvulas y conexiones Ibérica, S.A. e Hydra especialidades.

6.2.9.- Válvula de test

Tiene por objetivo aislar o comunicar la sección de ensayo con el sistema de inyección.

Se ha valorado utilizar válvulas, eléctricas, hidráulicas y neumáticas (ver apartado relativo a este tema), seleccionando una válvula eléctrica con las siguientes características:

CV: 1,88

Temperatura trabajo: -60°C - 120°C

Voltaje: 18-31 VDC

Corriente continua: 1 Amperio

Presión de trabajo: 0,7 a 200 bares

Presión máxima: 345 bares

Modelo: Valcor, válvula de solenoide coaxial.

Precio:

La válvula eléctrica elegida reúne mejores características para trabajar en el sondeo que las accionadas por otros sistemas, pero puede resultar interesante el comparar experimentalmente el funcionamiento de la válvula eléctrica y la hidráulica en la celda de presión.

6.2.10.- Botellas de nitrógeno con reguladores

Su objetivo es presurizar agua para el inflado de los packers y el sistema de inyección agua.

Se utilizará nitrógeno industrial en bombonas de 9,4 m³ de gas, con las siguientes características:

Altura: 1,50 m / 1,68 m

Diámetro: 0,2-0,25 m / 0,2-0,245 m

Presión: 200 bares, graduable de 0,1 hasta 200 bares

Peso botella: 60-70 kg / 72-75 kg

Precio: 600 pts/m³

Transporte: 750 pts

Contrato: 15.800 pts botella/año - 16.500 pts botella/año

38.000 pts botella/3 años.

La bombona dispondrá de un regulador de salida, con las siguientes características:

Material: acero inoxidable/latón.

Marca y modelo: Stag, modelo Harris ref. 87/100.

Presión salida: 0-100 bares.

Presión entrada: 210 bares.

Precio regulador 0/100 bares: 67.049 pts/unidad.

La salida de la bombona de N² se conectará a la vasija de presión.

Se ha solicitado información en: AGA, S.A.; ARGON, S.A.; y SEO.

6.2.11.- Depósitos de expansión por Nitrógeno

El objetivo de estos recipientes es presurizar agua mediante nitrógeno, para el inflado de los packers, inyección de agua a la sección de ensayo y accionamiento de la válvula de ensayo si se utilizara hidráulica.

Para la celda de ensayo se necesitan dos vasijas de presión, si se utiliza válvula eléctrica, una para el inflado de los packers y otra para inyección de agua a la sección de ensayo.

Ambas deben tener un volumen de 80 litros, la primera debe soportar una presión de hasta 80 bares y la segunda hasta 20 bares.

Es conveniente que la vasija de presión disponga de un tubo cilíndrico exterior transparente, en el que observar las variaciones del nivel de agua. Se ha solicitado información a Hermer y DEAL (SEO).

Las características técnicas son:

Material: acero inoxidable.

Espesor: para 20 bares 3 mm / para 80 bares 14 mm

Dimensiones: diámetro 0,3 m, altura 1 m, volumen 80 l.

Precio: 151.000 pts / 330.000 pts (incluido proyecto).

6.2.12.- Tubo de transmisividad conocida

Se utiliza para realizar el test 4. Esta formado por una delgada cánula de cristal o plástico, que a través de una conexión a la válvula de tres vías se comunica con la sección de ensayo. El utilizado por SKB en su célula de presión tiene las siguientes dimensiones:

Longitud: 50 mm

Diámetro interior: 0,15 mm

Transmisividad: $3 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$

6.2.13.- Mangueras de conexión hidráulica

Tiene como objetivo distribuir el N_2 o el agua presurizada a diversas partes del equipo.

Existen mangueras fabricadas con diferentes tipos de materiales en el mercado (ver apartado relativo a este tema). Para el caso de la célula de presión se valora la opción de utilizar una manguera de la casa Swageloc de material termoplástico recubierto con una fibra dispuesta romboidalmente, que puede soportar presiones de hasta 200 bares, si bien su elevado precio (10.865 pts/m) no recomienda su uso para la línea de inflado de los packers en la UMH. Dado que en la celda de presión se necesita poca longitud de manguera hidráulica (en torno a 20-30 m), sería interesante el comparar el funcionamiento bajo condiciones de alta presión de varios tipos de mangueras.

Se ha solicitado también información a Petrometalic, ofertando una manguera de material plástico, capaz de soportar 200 bares y con precio de 600 pts/m.

6.2.14.- Tubo graduado para medición de volumen

En alguno de los test a realizar es necesario registrar el volumen desplazado de la sección de ensayo en diferentes intervalos de tiempo, para ello es necesario un tubo graduado conectado a la válvula de tres vías sobre el que se realizará medidas a determinados intervalos de tiempo, puede estar fabricado en plástico o cristal.

6.3.- ENSAYOS A REALIZAR

6.3.1.- Ensayo 1

Su objetivo es analizar la fase de sellado de los packers, se registran variaciones de la cantidad de agua desplazada y el tiempo necesario para un buen sellado.

Al comienzo del test la cantidad de agua desplazada se mide con probetas graduadas cada medio minuto, desde una de las salidas de la válvula de tres vías, cuando el volumen empieza a variar en incrementos pequeños, se cambia la válvula a otra salida en la que está conectado un tubo graduado continuando las mediciones del volumen de agua desplazada hasta que se estabiliza el sistema. Es recomendable no tener en cuenta medidas de flujo por debajo de 0,4-0,5 ml/min.

Es conveniente realizar ensayos inflando los packers a 45 bares y 60 bares (este último valor es orientativo para simular una profundidad de nivel piezométrico de 200 m).

6.3.2.- Ensayo 2

Su objetivo es comprobar el sellado de los packers y las posibles pérdidas de presión. Se aplican presiones de 4 bares a la sección de ensayo, por medio del sistema de inyección en un intervalo de apertura de la válvula de ensayo de unos 3 segundos, registrando las variaciones de presión en la sección de ensayo.

6.3.3.- Ensayo 3

Tiene como objetivo determinar la elasticidad del caucho del packers (y del agua y la varilla de acero en la sección de ensayo); se presuriza la sección del test en varias etapas y se registra el volumen de agua evacuada y la estabilización de la presión en la sección de ensayo entre cada etapa de presión. La presión se inyecta directamente a la sección de ensayo.

Si se hace el mismo test solo con la varilla de acero, cerrada en ambos extremos, y el agua y se resta del valor obtenido para los tres componentes, se calcula, solo la elasticidad del caucho del packer, mediante la fórmula:

$$V = p \cdot V \cdot C_w + V_r + V_m.$$

donde:

V = volumen de la sección de ensayo

V = cambio total de volumen

V_r = cambio en volumen de la varilla

V_m = cambio en volumen de los packers
 p = incremento de presión introducido
 C_w = compresibilidad del agua ($1,6 \times 10^{-9} \text{ Pa}^{-1}$)

La compresibilidad efectiva en campo, ignorando la compresibilidad de la roca, viene dado por:

$$C_{\text{eff}} = \frac{V}{p} \cdot \frac{1}{V}$$

Deben realizarse dos tipos de ensayos, uno con incremento de presión hasta 6 bares, en etapas de 2 bares, y otro con incremento de presión hasta 20 bares en etapas de 5 bares, debiendo esperar algunas horas entre cada incremento de presión para que el packer recupere.

La forma de operar es la siguiente:

- Realizar la fase de sellado de los packers hasta que no se produzca efecto de deslizamiento, con la válvula manual de la sección de ensayo abierta.
- Cerrar la válvula y registrar la presión en la sección de ensayo.
- Conectar el tubo al regulador de presión e incrementar la presión 2 bares.
- Abrir la válvula 5 segundos y medir el cambio de volumen en el tubo registrando la presión en la sección de ensayo unos 10 minutos.
- Realizar la misma operación para la siguiente etapa de presión.

Una vez realizada la última etapa de presión, esta debe bajarse extrayendo el mismo volumen que se ha presurizado.

6.3.4.- Ensayo 4

Es similar al ensayo 2, con un tubo de transmisividad conocida conectado a la sección de ensayo. La duración de los pulsos de presión o su desviación desde la curva de presión del tubo canular da una indicación de la elasticidad del sistema, sobre todo de los packers.

Se aplican incrementos de presión de 4 bares en la sección de ensayo durante tres segundos, registrando la variación de presión en función del tiempo en una gráfica semilogarítmica.

El dispositivo utilizado para realizar este ensayo puede servir también para simular algunos

ensayos hidráulicos.

SISTEMA DE DESCENSO DEL EQUIPO DE PROFUNDIDAD

ELEMENTO	GRADO DE PRIORIDAD	AVANCE (*)	PRESUPUESTO	PLAZO DE SUMINISTRO
VEHICULOS DE SOPORTE FISICO	Bajo	4	21.232.500	2-3 meses
Camión todo terreno (Base) URO F.18.16	Bajo	4	11.017.250	2 meses
Camión todoterreno (Descenso) URO F.18.16	Bajo	4	10.215.250	2 meses
HOISTING RIG (Central oleo-hidráulica, gatos estabilizadores y cuadro de mando) Modelo canarias 240.	Bajo	3	11.500.000	1 mes
VARILLAJE	Medio	4-3		
Aluminio (Manguitos de acero Inoxidable)	Medio	4	6.351.200	20 días
Acero Inoxidable	Medio	3	6.052.000	20 días
ENSAYOS SOBRE EL VARILLAJE		4		1 mes
Mecánicos Límite elástico, rotura, y torsión	Alto	4	15.000 x 8 = 120.000	1-2 semanas
Presión			55.000	1-2 semanas
Composición química	Alto	4	13.000	1-2 semanas
PROBETAS DE ENSAYO	Alto	4	13.200 x 11 = 145.200	145.200
			TOTAL = 39.104.700	

(*) Avance: 1 Bajo; 2 Medio; 3 Alto; 4 Definido.

SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS EN SUPERFICIE

ELEMENTO	GRADO DE PRIORIDAD	AVANCE (*)	PRESUPUESTO	PLAZO DE SUMINISTRO
DISTRIBUIDOR	3	4	100.000 + 126.414	1 mes
CONVERTIDOR ANALOGICO-DIGITAL	3	4	250.000	1 mes
Software de control y adquisición de datos.	3	4	350.000	1 mes
ORDENADORES	3	4	1.102.410 1.139.075	1 mes
IMPRESORA	3	4	189.900	1 mes
SAI	3	4	169.000 + IVA	15 días
			TOTAL = 3.452.149	

(*) Avance: 1 Bajo; 2 Medio; 3 Alto; 4 Definido.

CELDA DE PRESION PARA EL ENSAYO DE COMPONENTES DEL EQUIPO

ELEMENTO	GRADO DE PRIORIDAD	AVANCE (*)	PRESUPUESTO	PLAZO DE SUMINISTRO
CONTENEDOR DE AGUA	Alto	4	146.045	1 mes
TUBERIA	Alto	4	43.544	1 mes
GRUA	Alto	4	100.000	Inmediato
VARILLAS DE DESCENSO	Alto	4	4x13.200 = 52.800 16.600	1 mes
VARILLAS PERFORADAS	Alto	4	22.100 23.900	1 mes
PACKERS	Alto	4	2x125.000 = 250.000 2x178.860 = 357.720 2x221.205 = 442.410	1-2 meses
TRANSMISOR DE PRESION	Alto	4	171.700	1 mes
VALVULAS MANUALES	Alto	4	16.659 20.934	Inmediato
VALVULA DE ENSAYO	Alto	4	400.000	1 mes
BOTELLAS DE NITROGENO CON REGULADORES	Alto	4	3x600x9,4 = 16.920 3x15.800 = 47.400 3x67.049 = 201.147	Inmediato
DEPOSITOS DE EXPANSION POR NITROGENO	Alto	4	151.000 330.000	1-2 meses
TUBO DE TRANSMISIVIDAD CONOCIDAD	Alto	3	10.000	Inmediato
MANGUERAS DE CONEXION HIDRAULICA	Alto	3	30x600 = 18.000	Inmediato
TUBO GRADUADO PARA MEDICION DE VOLUMEN	Alto	3	10.000	Inmediato

TOTAL = 2.848.879

(*) Avance: 1 Bajo; 2 Medio; 3 Alto; 4 Definido.

SISTEMA DE INYECCION Y EXTRACCION

ELEMENTO	GRADO DE PRIORIDAD	AVANCE (*)	PRESUPUESTO	PLAZO DE SUMINISTRO
DEPOSITO DE AGUA. CALENTADOR. FILTRO.	Bajo	3	180.000	1 mes
BOMBA DE INYECCION	Bajo	4	180.400	1 mes
CAUDALIMETROS	Bajo	4	782.680 865.900 969.920	1 mes
DEPOSITO DE EXPANSION POR N ₂	Bajo	4	151.000 330.000	1-2 meses
BOTELLAS DE N ₂ CON REGULADORES	Bajo	4	3x600x9,4=16.920 3x15.800=47.400 3x67.049=201.147	Inmediato
VALVULAS DE REGULACION	Bajo	4	16.659 12.150 24.345	Inmediato
			TOTAL = 3.617.744	

(*) Avance: 1 Bajo; 2 Medio; 3 Alto; 4 Definido.

SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS EN PROFUNDIDAD

ELEMENTO	GRADO DE PRIORIDAD	AVANCE (*)	PRESUPUESTO	PLAZO DE SUMINISTRO
PACKERS	Alto	4	1.300.000 (6)	8 semanas
TRANSMISORES	Alto	4	483.720 (3)	8 semanas
VALVULA DE TEST	Alto	4	800.000 (2)	8 semanas
CABLE ELECTRICO	Alto	4	1.345.000	8 semanas
LINEAS HIDRAULICAS	Alto	2	600.000	inmediato
TOTAL = 4.528.720				

(*) Avance: 1 Bajo; 2 Medio; 3 Alto; 4 Definido.

(6) Número de unidades.

ELEMENTOS DEL DISEÑO	GRADO DE PRIORIDAD
SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS	Alto-Medio
En profundidad	Alto
En superficie	Bajo
SISTEMA DE DESCENSO DEL EQUIPO DE PROFUNDIDAD	Medio-Bajo
Vehículos de soporte físico	Bajo
Hoisting rig	Medio
Varillaje	Bajo
SISTEMA DE INYECCION Y EXTRACCION DE AGUA	Alto-Medio
CELDA DE PRESION PARA EL ENSAYO DE COMPONENTES DEL EQUIPO	Alto

INDEX

1.- INTRODUCTION

2.- IN DEPTH DATA ACQUISITION SYSTEM

2.1.- OBJECTIVES

2.2.- ELEMENTS OF THE SYSTEM

2.2.1.- Packers

2.2.1.1.- Comparative study of alternative proposals

2.2.2.- Transmitters and transducers

2.2.2.1.- Comparative study of alternative proposals

2.2.3.- Test Valve

2.2.3.1.- Comparative study of alternative proposals

2.2.3.2.- Technical characteristics of the valve selected

2.2.4.- Electronic signal conduction wire

2.2.5.- Hydraulic lines

3.- ON SURFACE DATA ACQUISITION SYSTEM

3.1.- OBJECTIVES

3.2.- ELEMENTS OF THE SYSTEM

3.2.1.- Distributor

3.2.2.- Digital analog convertor

3.2.2.1.- Comparative study of alternative proposals

3.2.2.2.- Technical characteristics of the converter selected

3.2.3.- Computers

3.2.3.1.- Technical characteristics of the computer selected

3.2.4.- S.A.I. (powerbak)

3.2.4.1.- Comparative study of alternative proposals

4.- IN DEPTH EQUIPMENT DESCENT SYSTEM

4.1.- OBJECTIVES

4.2.- ELEMENTS OF THE SYSTEM

4.2.1.- Physical support vehicles

4.2.1.1.- Descent vehicle for the in depth equipment

4.2.1.2.- Vehicle Base

- 4.2.1.3.- Comparative study of alternative proposals
- 4.2.1.4.- Technical characteristics of the vehicle selected
- 4.2.2.- Hoisting Rig
 - 4.2.2.1.- Technical characteristics of the hoisting rig selected
 - 4.2.2.2.- Partial weights
- 4.2.3.- Pipes
 - 4.2.3.1.- Comparative study of alternative proposals
 - 4.2.3.2.- Technical characteristics of the pipes proposed
- 4.2.4.- Generator
- 4.2.5.- Carriage for the vehicle and general equipment
- 4.2.6.- Partial and total weights
- 4.3.- PIPE TESTING
- 4.4.- TUBE FOR TESTING

5.- WATER INJECTION AND EXTRACTION SYSTEM

- 5.1.- OBJECTIVES
- 5.2.- ELEMENTS OF THE SYSTEM
 - 5.2.1.- Water tank, heater, filter
 - 5.2.2.- Injection pump
 - 5.2.2.1.- Technical characteristics of the pump selected
 - 5.2.3.- Pressure flowmeters
 - 5.2.3.1.- Comparative study of alternative proposals
 - 5.2.3.2.- Technical characteristics of the flowmeter selected
 - 5.2.4.- Pressure vessels
 - 5.2.4.1.- Nitrogen tanks and regulators
 - 5.2.5.- Control valves
 - 5.2.6.- Extraction pump
 - 5.2.6.1.- Technical characteristics of the pump selected

6.- PRESSURE CELL FOR TESTING THE COMPONENTS OF THE EQUIPMENT

- 6.1.- OBJECTIVES
- 6.2.- ELEMENTS OF THE SYSTEM
 - 6.2.1.- Water tank
 - 6.2.2.- Pipe
 - 6.2.3.- Crane
 - 6.2.4.- Descent pipe
 - 6.2.5.- Perforated pipe

6.2.6.- Packers

6.2.7.- Pressure transmitter

6.2.8.- Manual valves

6.2.9.- Test valve

6.2.10.- Nitrogen tanks with regulators

6.2.11.- Expansion deposits with nitrogen

6.2.12.- Known transmissivity pipes

6.2.13.- Hydraulic connection hoses

6.2.14.- Graduated tube to measure volume

6.3.- TESTS TO BE CARRIED OUT

6.3.1.- Test 1

6.3.2.- Test 2

6.3.3.- Test 3

6.3.4.- Test 4

1.- INTRODUCTION

This document reflects the present state of development in defining the Hydrogeological Mobile Unit (HMU). The technical specifications that are included come from the comparisons of existing equipment on the market with reference to the conceptual design done by ITGE under the supervision of S.K.B.

① —

This document was written using information obtained during the work carried out in different countries, the work papers produced to date, the experience gained on the project "El Barrocal" and the assessment done by S.K.B..

2.- IN DEPTH DATA ACQUISITION SYSTEM

2.1.- OBJECTIVES

While carrying out hydraulic tests, equipment must be inserted into the bore hole to permit the following operations:

- Isolate selected sections for hydraulic tests.
- Lay out the sensors in a way that they can monitor the value of pressure and temperature during the testing, not only in the isolated space but also in the top and bottom spaces respectively.
- Position a control valve for the injection and extraction of water.
- Convey the signals obtained by the sensor to the surface.

2.2.- ELEMENTS OF THE SYSTEM

2.2.1.- Packers

The objective of the packers is to isolate the test section in order to carry out different types of tests.

Required characteristics:

- Made of non-corrosive material (stainless steel)
- An O-ring on both ends *of the pipe*
- Inflated with water pressurized with N₂

- ② - Connections for the inflation lines and signal cables
- ~~real~~ Length of 1000 or 1500 mm
- Small values of elasticity
- Sufficient expansion range to seal well in bore holes of 101 mm in diameter
- ③ - Interior diameter of the pipe near to 40 mm
- ④ - Work pressure of about 60 bars
Maximum

The packers must be made of stainless steel to avoid contaminating the water formations. If the piezometric level is very deep it may be necessary to use reinforced steel. The inflatable part can be made of a pliable metallic network covered in natural rubber. In some extreme cases where the aforementioned material would greatly affect the hydrochemistry of the bore hole, viton or hydrogenated nitrile can be used although this would elevate the price a great deal.

- ⑤ — It is a good idea to use packers whose limit of expansion range is near the diameter of the bore hole.

The packers are inflated with water pressurized with N_2 to avoid problems of gas diffusion if the packer is inflated for a long period of time.

- ⑥ — The inflation pressure depends on several factors: the make and model of the packer, the pressure of the water column², the depth of the piezometric level and the pressure of the injection of water in the test section, making sure that the sum of the pressure minus the compensation of the hydraulic pressure in the test section doesn't exceed the maximum service pressure recommended by the manufacturer in relation to the diameter of the bore hole. One must also keep in mind the make of different mechanisms in each case, to make handling the packers while deflating them easier.

- ⑧ — Two lines come out of the packers: the inflation line and the signal cable. The first connects the top packer to an input and output, and the bottom packer to an input inflating both at the same time.

The signal cable comes out of a packer from the interior of the conduction pipe, by means of some connection pieces, which facilitates the entrance and exit of the packer.

- ⑨ — The seal should be one meter in length in order to test packers that are 1 m and 1.5 m long in the pressure cell. Several tests are also carried out to find readings for the packers elasticity and sealing time, selecting those with the shortest sealing time and the least elasticity.

2.2.1.1.- Comparative study of alternative proposals

Information has been gathered about packers from the following suppliers.

- Archway Engineering (U.K) Ltd.
- Petrometallo (France)
- Aardvark (USA)

Only the first two have packers available for the work pressure considered and they also meet the requirements set down in the previous subsection. They offer the following characteristics:

* Archway Engineering (U.K.) Ltd.

- Manufactured in carbon steel, the central pipe is bathed in high strength chrome and the ends are bathed in zinc. They can also be made in stainless steel, however this raises the price considerably as well as the delivery time.
- The adequate size for a bore hole of 101 mm would be 67 - 135 mm.
- Available in lengths of 1,000 mm and 1,500 mm.
- Inflatable element available in rubber.

* Petrometallo (France)

- Manufactured in stainless steel except the pieces that join the inflatable part. Also available made completely of stainless steel at approximately double the price.
- The adequate size for a bore hole of 101 mm would be 72 - 160 mm.
- Available in lengths of 1,000 mm and 1,500 mm.
- The inflatable part is available in rubber with a plyable metallic network, also in viton and hydrogenated nitrile, although these materials make the packers a lot more expensive.

The prices and technical characteristics of the options considered are:

10

COMPANIES	EXPANSION RANGE	MATERIAL	INFLATABLE ELEMENT	LENGTH	PRICE (ptas)
ARCHWAY ENGINEERING (UK) Ltd	1-67-135 mm	carbon steel	rubber	1000 mm (available in 1500 mm)	125,000
PETROMETALIC (France)	2-72-160 mm	stainless steel except pieces for inflatable part	rubber	1000 mm	178,860
	3-72-160 mm	stainless steel	rubber	1000 mm	400,000
	4-72-160 mm	stainless steel except for inflatable parts	rubber	1500 mm	221,208
	5-72-160 mm	stainless steel	rubber	1500 mm	450,000
	6-72-160 mm	stainless steel	vitón	1000 mm	2,750,000
	7-72-160 mm	stainless steel	hydrogenated nitrile	1000 mm	2,150,000
	8-72-160 mm	stainless steel	vitón	1500 mm	3,178,560
	9-72-160 mm	stainless steel	hydrogenated nitrile	1500 mm	2,500,000

The packers in sections 6 through 9 are not recommended due to their high price. Their availability is shown here for specific cases.

The packers that are described in sections 1, 2 and 4 are considered appropriate although trying them out in the pressure cell is still pending. The delivery time for these packers is about 1 month.

2.2.2- Transmitters and transducers

These are the elements in charge of acquiring pressure and temperature readings not only in the test section but also in adjacent sections.

Transporting signals through an electronic cable can cause tension drops in the line which can cause problems. This transmission implicates conversion by digital downhole form and the need to transmit by current.

Due to these considerations and the recommendations of SKB, the use of transducers has been replaced by transmitters in the in depth data acquisition equipment. With transmitters there are no problems in transmitting long distances. Since the signal is type 4-20 mA it is not affected by tension drops in the line.

Due to the fact that the transmission of said values is done, in the configuration proposed, by means of an electronic cable, it makes sense to design the cable in a way that it has the fewest number of conductors. In this way the transmitters suggested will have one output for measuring pressure and another for measuring temperature.

Once the above considerations have been carried out the possible elements of down hole data acquisition are: (Information about the Druck PDCR transducer has been included, in spite of its rejection above, in case it might be considered in some future revision of design).

PDCR 400		PDCR 500		PDCR 500		PDCR 500	
Pressure Range	0-100 bar	0/100 mbar to 0/80 bar g 0/250 mbar to 0/700 bar g 0/100 to 0/700 bar g	0-137.9 bar	0/175 mbar to 0/70 bar g 0/135 to 0/700 bar g 0/300 mbar to 0/700 bar g	0-137.9 bar	0/175 mbar to 0/70 bar g 0/135 to 0/700 bar g 0/300 mbar to 0/700 bar g	0-137.9 bar
Overpressure	4 x characteristic	2 x characteristic	1.2 value superior to the scale.	4 x characteristic	1.2 value superior to the scale.	4 x characteristic	1.2 value superior to the scale.
Temperature Range	0 to 80 °C	-20 to 80 °C	0 to 125 °C	-40 to 125 °C	0 to 125 °C	-40 to 125 °C	0 to 125 °C
Error Range	0.2% of -2 to 30 °C	0.5% of -10 to 80 °C 1% of -20 to 80 °C	0.01% of the scale	± 0.5% of 0 to 50 °C	0.01% of the scale	± 0.5% of 0 to 50 °C	0.01% of the scale
Excitation	9-30 V dc	9-30 V dc	9-30 V dc	10-30 V dc	9-30 V dc	10-30 V dc	9-30 V dc
Output	4-20 mA	4-20 mA	Square wave of 4V dc amplitude	10 V	4-20 mA	10 V	4-20 mA

12

Cambiar porque no es debido a la temperatura

2.2.2.1.- Comparative study of the alternative proposals

Pedir información sobre dimensiones, etc, de los transmisores.

This comparative analysis has been reduced to conventional transmitters and those which have a built-in quartz crystal.

In the first case the output is of the type 4-20 mA, which means its connection to the signal cable is immediate, without any problems due to tension drops or capacitances in the line.

The excitation of the three pressure sensors can be produced with only one conductor sized for 60 mA. One would have to sum up the current of excitation needed for three temperature sensors, which will be some 5 mA. Therefore the dimension of the cable should take into account a conductor with a section adequate for 65 mA of excitation.

In this case the temperature output is 4-20 mA with a lineal response of about 1 °C.

In the case of sensors based on quartz crystals, one of the advantages is the greater accuracy they provide. Nevertheless this accuracy is difficult to procure in practice due to the existence of capacitances in the line which can alter the frequency of the signal received, a characteristic on which accuracy is based. That's why a special cable must be included, supplied by the manufacturer, to avoid interference caused by capacity and providing an output of RS-232 on the surface. This makes installation more difficult because the number of signal line reels has to be increased.

Due to excessive price complicating the installation of this last type of sensor, it is suggested that a conventional transmitter be included, models PTX 630 and PTX 164.

11

→ Model PTX 164 can be used in pressure of up to 100 bars, while model PTX 630 withstands a maximum pressure of 70 bars although it is more accurate. That's why the use of sensor PTX 164 is suggested in those cases where the pressure is greater.

TYPE	ADVANTAGES	DISADVANTAGES	COST	DELIVERY TIME
PTX 630	Immediate installation.	Less accurate. Maximum pressure 70 bar.	178,000	8 weeks
PTX 164	Immediate installation. Pressure up to 100 bar.	Less accurate.	163,000	8 weeks
Digiquartz 42K-101	Greater accuracy.	Connection to the line.	600,000 to 1,000,000	8 weeks

2.2.3.- Test valve

The test valve is an essential element for carrying out hydraulic tests to control the flow of water

02/02/94

09:18

GEOSIGMA AB +46 18 121302 → 4426216

NO. 019 030

24/01 '94 14:25

4426216

GEOMINERO

011

that goes through the pipe to or from the test section.

It must be situated on top of the upper packer a short distance from it to minimize the effect of water compressibility when obtaining hydraulic parameters.

The valve must fulfill the following technical specifications:

- It can be installed in pipes with an internal diameter of 40 mm and an external diameter of 50 mm, situated in bore holes of 100 mm diameter at depths of up to 1000 m.
- Operate in bore holes with a piezometric level situated at up to 200 m deep.
- Resist a pressure of 20 bar at the start of injection tests.
- The loss of charge in the valve shouldn't exceed 3 bar for the predicted maximum flow (50 l/min).
- The opening and closing time must be as quick as possible never exceeding three seconds.
- The valve is constructed of stainless steel.

13

2.2.3.1. Comparative study of alternative proposals

A study of three types of valves depending on how they are driven:

TYPE	ADVANTAGES	DISADVANTAGES	COST	DELIVERY TIME
V. MECHANICAL	<ul style="list-style-type: none"> - It is simple and strong. - It can be used in individual tests during perforation without needing tubes and cables out of the rods. - It has a record of satisfactory use in hydraulic tests by several organizations (AECL, NAGRA, SKB) 	<ul style="list-style-type: none"> - The valve must be changed on the surface between each test with a time loss if testing several sections of one bore hole. 		Ask SKB:
V. HYDRAULIC	<ul style="list-style-type: none"> - It has a record of satisfactory use by SKB and other organizations for 7 or 8 years. 	<ul style="list-style-type: none"> - Slow valve opening time (2 - 3 seconds) with a delay between its activation on the surface and the start of the opening in its situation in the bore hole of 10 - 15 seconds. - Head loss relatively high (4-5 bar). - An additional hydraulic line is needed to reach the valve, with a corresponding reel on the surface and a pressure vessel. - It's necessary to make a specific design adapted to the required conditions as it is not available commercially. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ask TMC company. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ask TMC company.
V. ELECTRICAL (Solenoid)	<ul style="list-style-type: none"> - It has a very quick opening and closing time (5 milliseconds) - It can work in very wide pressure and temperature ranges. - $P = 0.7$ to 200 bar - $T = -60$ to 120°C - It only needs two conductors (included in the signal cable) to power it from the surface. 	<ul style="list-style-type: none"> - There is no record of its use by any other organization for carrying out hydraulic tests. 	400,000 ptas.	1 month

Es 50 l/min? → Preguntar a Carlos

The valve that is best adapted to the technical requirements necessary to carry out the hydraulic tests foreseen in the Hydrogeological Mobile Unit is the electronic solenoid valve bearing in mind the following characteristics:

- It requires an opening and closing time (5 milliseconds) which is a lot faster than what is needed to activate other types of valves. (more than 3 seconds).
- It can work in pressure ranges (0.7 to 200 bar) and wide temperature ranges (-60 to 120°C), which exceed the pressures and temperatures foreseen in the bore hole.
- The head loss for the flow maximum expected (50 l/min) is adequate and inferior to that produced in hydraulic valves. In cases in which the flow is less, these reduce noticeably. Therefore, for a flow of 20 l/min it would be 1.15 bar given the value of the coefficient kv (1.04).
- The system of electric drive which needs only 2 cables to open and close the valve from the surface, entails an important simplification in the equipment if compared with hydraulic valves. In electronic valves a conduction line that goes to the valve isn't necessary, nor is a corresponding reel on the surface. This frees more space for the Descent Vehicle. A pressure vessel that is used to drive the hydraulic valve isn't needed either.
- Another big advantage it has over mechanical and hydraulic valves is that one can carry out tests more quickly, especially when tests must be done in different sections of the same bore hole. In the case of mechanical valves, one has to change them on the surface after every test, which is slow because one has to take everything out of the existing pipes to the test section. Compared to a hydraulic valve it's also very convenient and safe, not having to use a water conduction line with the increased risk of things getting stuck.

→ No se gana tiempo, pero se mejora el test, por e- 18 jerga para un pulso

19

These considerations coincide with those expressed by the SKB advisors. The reason why they don't use them is that when they originally developed their equipment for the diameter of their bore holes (56 mm), they couldn't find any electronic solenoid valves on the market.

The only possible problem with using this valve is that although it fulfills all technical requirements, no other organization has carried out hydraulic tests with it. This lack of experience can be almost totally avoided by carrying out the suggested tests for this valve in the pressure cell that was designed by ITGE.

2.2.3.2- Technical characteristics of the valve selected

A solenoid coaxial valve has been selected (see figure 2.3) with the following characteristics:

- It screws into rods of an internal diameter of 40 mm and an external diameter of 50 mm by means of special adapters.

It has the following dimensions:

(20) → Width = 38.1 mm → Diámetro interno
Length = 127 mm

The valve has a smaller diameter than the pipes which makes it possible to include a protection shell without running into problems with the diameter of the bore hole. This also serves to support the weight of the equipment situated below it.

- The electronic connections have been prepared so that they can perform without interference when they are submerged very deeply.
- The working pressure is 0.7 to 200 bar.
The maximum pressure withstood is 345 bar.
- It can function in a fluid temperature range of -60 a 120°C.

- The head loss is 3.5 bar for the maximum recommended flow (50 l/min). Estas These losses can be reduced to 3 bar if the thickness of the valve walls is reduced. This reduction doesn't cause problems if primarily designed for pressure (200 bar) much higher than that needed (20 bar).

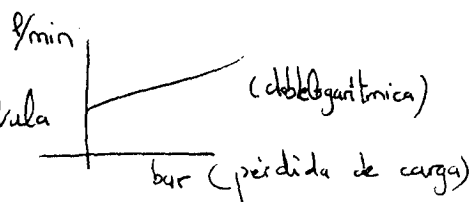
The valve has a coefficient $K_v = 1.04$ ($C_v = 1.88$).

↓
Mirar si es K mayúscula

One can calculate the head loss in minor flows using the following formula:

$$K_v = Q \frac{\sqrt{g}}{dp}$$

Hacer un diagrama sobre la válvula



Donde: Q = flow (m^3/h)
 g = fluid density (kg/dm^3)
 dp = loss of charge (bar)

25 →

- The opening and closing time is 5 milliseconds.
- Made of unrustable material.
- Voltage = 18-31 Volts. Continuing current.
- Current = 1 ampere maximum.
- Useful life = 10^7 cycles.
- Weight = 350 gr.

This valve is available through Valcor Engineering Corporation. It costs 400,000 ptas and the delivery time is one month.

2.2.4.- Electronic signal conduction cable

The characteristics of the cable are as follows:

26 →

- Shielded
- Number of conductors: 16
- Submersible
- Maximum work pressure: 100 bars

27 →

The estimate given by Advanced Cable and Assembly, the manufacturer who supplies SKB, is more than 1,345,000 ptas.

28 →

2.2.5.- Hydraulic lines

Their job is to transmit the necessary pressure to inflate the packers, using water pressurized with N_2 .

The hose offered by Petrometallic basically meets the requirements if the maximum work pressure is 200 bars. The price is 600 ptas per meter.

29 →

02/02/94 09:20 GEOSIGMA AB +46 18 121302 + 4426216

NO. 019 035

24/01 '94 14:27 4426216

GEOMINERO

016

Under storm

3.- ON SURFACE DATA ACQUISITION SYSTEM

3.1.- OBJECTIVES

Once the signals coming from the in depth equipment are received, a series of procedures have to be carried out in order to control these signals continuously in the PC to later be able to interpret them. These procedures are listed as follows:

- Separate the signals from the electronic cable to put them into the digital analog converter.
- Convert the analog signals into digital form to put them into the PC.
- Record the signals in the PC in a way to control them in real time.
- Power to the dispositives and the measuring sensors.
- Interpretation of the test "in situ".

3.2.- ELEMENTS OF THE SYSTEM

3.2.1.- Distributor

The separation of each of the signals coming from the in depth equipment is done in the distributor.

It's composed of a connection for the signal cable and a series of connections to get individual output corresponding to the pressure and temperature sensors and to the valve situated in the test section.

③0 → Housed inside is a continuing current power source with at least 3 outputs of 2x20V/2A and one of 5V/3A. The first two are used for the excitation of the pressure and temperature sensors and the last for the excitation of a relay in charge of activating the valve in the test section.

ELEMENTS	CHARACTERISTICS	COST	DELIVERY TIME
Connector	Number of connections equal to number of conductors from signal cable.	-	-
Power source	Model PS280 (Tektronix) Triple output 2x20V/2A, 5V/3A	126.414	10 days

3.2.2- Digital analog converter

The signals put in are the following:

VALUE	NUMBER
Signal cables	3
Pressure	3
Temperature	1
Test section valve	1
Atmospheric pressure	1
Atmospheric temperature	1
Pressure in the packers	1
Level in the water tank	1
Total 11	

As a consequence of the signals needing to be controlled a conversion of digital analog data becomes necessary prior to putting them in the PC.

Such a digital analog conversion can be done by means of an external digital analog converter or with conversion cards installed in expansion slots in the PC. Below the characteristics of the both systems are described.

A. External digital analog converter

32 → On the basis of a comparison between the data acquisition equipment presently installed and the basic design discussed in conversations with S.K.B., the following FLUKE converter has been chosen whose basic configuration is as follows:

- Helios I (Model 2289A). Is the central unit to which various modules of data acquisition are connected and in turn control the process of excitation and measurement of the installed dispositives.
- High performance A/D converter (Identification number 161). This model provides greater exactness and better isolation against interference of an electrical source in field work conditions.

33 →

"El Berraco"

↑

good

34 → Scanner (Identification number 162). Module in charge of differentiating between the signals from the in depth equipment sensors. It sweeps different channels of output and provides a means of excitation from the transmitters and valves.

- Current input connector (Identification number 171).

35 → Status output connector (Identification number 169). This module provides digital outputs of all types/nothing to activate the test section.

- Power source and relay. In order to activate the valve, a power source that activates a relay is needed.

- In regard to the control software for processing the data acquisition, a package is available from the manufacturer named Labtech Control (Identification number S-2291).

36 → B. Internal digital analog converter

This consists of a multifunction card I/O that is inserted into the expansion slot in the PC.

37 → Due to the precision of the measuring dispositives a minimum resolution of 16 bits has been chosen.

The functions are analogs to those of the external converters, however one must bear in mind that the control software cannot be the same in both cases. There is a large variety of cards on the market, however the ones available through National Instruments and Strawberry Tree have been selected for their quality and their proven manufacture guarantee.

Given that the computer in consideration has eight expansion slots, in future checks on the equipment more cards can be added.

CHARACTERISTICS	COST	DELIVERY TIME
EXTERNAL A-D CONVERTER - Helios-Fluke	2.035.000	6 weeks
NATIONAL INSTRUMENTS CARDS - AT-MIO-16X	1.375.440 (2 cards)	4 weeks
STRAWBERRY TREE CARD - ACPC-16-18	619.200	4 semanas

The differences between the National Instruments and the Strawberry Tree data acquisition cards are as follows:

38 → The National Instruments model has a higher frequency (100 KHz) than that of Strawberry Tree (2,6 KHz).

- The AT-MIO-16X is more expensive.
- The National Instruments software control package (labview) is more complete.

3.2.2.1.- Comparative study of the alternative proposals

Due to the number of signals to be put in, both types of converters proposed are valid. The possibility of putting in up to 500 signals in the external converter doesn't represent a disadvantage in this case.

39 — Explicar

The cost is a lot less in the case of the data acquisition cards and another advantage is that they save space in the Mobile Unit eliminating the converter. The model AT-MIO-16X from National Instruments is proposed.

40 3.2.2.2. Technical characteristics of the converter selected

- Resolution: 16 bits
- Number of channels: 16 singles (8 differentials). A multiplexor can be connected to increase capacity.
- Software: Labview and Labwindows
- Automatic configuration
- Three counters for frequency measurement.
- Frequency: 100 KHz.

→ 8 salidas digitales

41 —

The maximum number of differential channels is 8 in this model, that's why the installation of 2 cards is recommended for the control of a larger number of measurements when more than one instrumented bore hole exists. The possibility to connect a multiplexor reduces the frequency which can be useful in measurements that don't require absolute precision.

Finally the labview control software guarantees a wide programming capacity in Windows.

42

3.2.3.- Computers

We are considering the possibility of a computer at one's disposal in the base vehicle for the data acquisition system and a portable to carry out simultaneous interpretation, since there is waiting time during the execution of different tests.

The basic configuration in which this has been divided is a Intel 486 processor with a clock velocity of 66 Mhz (with a base prepared to house a Pentium Overdrive). Windows is considered the best for the job of data acquisition because on the one hand its capacity to execute several applications simultaneously, and on the other the majority of the programs commercially available are centered around this program and finally the wide number of drivers for a wide range of peripherals. As a consequence the memory capacity RAM must be more than 8 Mb with a minimum configuration of 16 Mb advisable.

3.2.3.1.- Technical characteristics of the computers selected

CHARACTERISTICS	COST	DELIVERY TIME
WS-900 EVL Arquitectura EISA BUS LOCAL of 32 bits VESA Processor: INTEL 80486DX2 A 66 MHz Memory RAM: 16 Mb Memory caché: 8 kb internal y 256 kb external Flexible disk unit: 3½" (1,44 Mb) Hard disk: 450 Mb Graphic card: S-VGA (1024 x 768) 1 Mb Monitor: color 17" TRINITRON 2 Series output 1 Parallel output 8 slots EISA, two of them VESA LOCAL BUS Keyboard 102 keys in Castellano Mouse Operative system: MS-DOS 6.0	723.296	1 MONTH
MODEM	41.860	1 MONTH
INTERNAL MAGNETIC OPTIC DISK	337.255	1 MONTH

NOTEBOOK INVES WS-800-L NBTC-486DX to 50 MHz Memory RAM: 20 Mb Flexible disk unit: 3½" (1,44 Mb) Hard disk: 120 Mb Color TFT FAX/MODEM TRACK-BALL	1.139.075	1 MONTH
--	-----------	---------

3.2.4.- SAI (Powerbak)

The connection of the data acquisition system to an ondulator provides a system of uninterrupted power with the following objectives:

- Vigilance, control and a solution to all problems related to the electric energy supply in the computer area.
- Provide a current without disturbance to wuse the computer systems correctly.

For this reason and also keeping in mind conceptual design, the following requirements must be fulfilled.

Design.- Light and sturdy, integrated in equipment of reduced size and

Technology.- Integrated microprocessor.

Control.- Visualization of the principal parameters from the SAI as well as from the electric current, computer, electronics, battery,

Sensibility adjustment.- The possibility of adjustments from the principal menu from the original adjustments with the purpose of optimizing installation.

Almacenamiento de valores.- Memorizing and listing of events refering to the computer area.(overtensions, tension drops, overcharges, temperature, etc.)

Operation.- Silent and with a minimum energy consumption.

Control software.- Interface kit for Windows.

3.2.4.1.- Comparative study of the alternatives proposed

Once the objectives and requirements that the system must fulfill have been enumerated , the characteristics of the equipment is detailed as follows:

→ Inclure autonomies

SUPPLIER	ONDYNE	SABCAU
MODEL	EXPERT 1000	UPS-1200-MI-C
POWER (VA)	1000	1200
WEIGHT (KG)	19	52
DIMENSIONS (mm)	272 x 137 x 167	240 x 485 x 640
TECHNOLOGY	MICROPROCESSOR	MICROPROCESSOR
CONTROL	YES	YES
SENSIBILITY ADJUSTMENT	YES	YES
VALUE STORAGE	YES	YES
INTERFACE KIT FOR WINDOWS	YES	NO

After comparing the different equipment the acquisition of the ondulator ONDYNE model expert is proposed.

MODEL	ADVANTAGES	DISADVANTAGES	COST	DELIVERY TIME
Expert 1000	- Interface Windows. - Historic and technical Information. - Less weight.	Less power	169.000 + VAT	15 days
UPS-1200-MI-C	- Possibility On-Line.	Impossible to interface with windows.	?	15 days

4.- IN DEPTH EQUIPMENT DESCENT SYSTEM

4.1.- OBJECTIVES

In the Hydrogeological Mobile Unit we are contemplating a module named the descent vehicle, with the following mission:

- Transport and descend the in depth equipment.
- Placement of the reels for the conduction lines.
- Placement of the electronic generator group.
- Transport the pipes.

4.2.- ELEMENTS OF THE SYSTEM

4.2.1.- Physical support vehicles

4.2.1.1.- Descent vehicle for the in depth equipment

The descent vehicle must fulfill the following requirements:

- Body length 5.5 m.
- Cargo capacity up to 10,000 kg.
- Adaptability to stock modifications such as suspension reinforcement and set of front and rear jacks manually extensible with retention valves.
- Autonomy in maintenance and repairs.
- Simple machinery.
- A four wheel drive vehicle with many features and that can get to the bore hole in rough topographical areas.
- Placement capacity for all the in depth equipment elements.

4.2.1.2.- Vehicle base

Idem section 4.2.1.1.

4.2.1.3.- Comparative study of the alternative proposals

The existing models of four wheel drive trucks in acquisition property centralized in the Spanish administration are:

MODEL	CHARACTERISTICS AND OBSERVATIONS
RENAULT 4 x 4	<ul style="list-style-type: none"> - Empty weight 7,495 kg. - Available weight 6,505 kg. - Maximum weight authorized 14,000 kg. - Body length 4,025 mm. - Stock vehicle without admission of modifications.
MERCEDES BENZ UNIMO G	<ul style="list-style-type: none"> - Body length 4,000 mm. - Distance between axles 3,850 mm. - Complex machinery. - Difficult maintenance.
URO F.18.16/106	<ul style="list-style-type: none"> - Empty weight 4,500 kg. - Available weight 12,500 kg. - Maximum weight authorized 16,500 kg. - Body weight 5,575 mm. - Free height 400 mm - Simple machinery.

After having analysed the vehicles proposed, the URO F18.16/106, offers all the features necessary. We have visited the assembly line and have tested its performance on the test track.

The model (F18.16/106) excels in the following advantages:

- Cab supported in three points, which absorbs a large part of the rigidity, since other vehicles have 4 points.
- Tubular steel role bar in the cab for greater safety.
- Easy maneuverability. A turning radius from 7 m.
- Minimum speed of 1.8 km/h (4 km/h in other vehicles) que which provides better maneuverability.
- Differential blocking in both pneumatic axles. The system is autoblock in other vehicles.

- Adherence and high elasticity. Offering great torsion of chassis and 35° of cross between axes. (trucks usually have 18°).
- Versatility in power take off (up to 7 pts).
- High up from the ground due to the reduction in the wheel hubs (characteristic not offered by any manufacturer).
- A large capacity for cargo distributed evenly of only in one place.

4.2.1.4.- Technical characteristics of the vehicle selected

DENOMINATION: URO. Model F. 18.16/106. (diagrams 4.1 y 4.2)

Dimensions

- Length between axles: 3,800 mm
- Vehicle width: 2,220 mm
- Body length: 5,575 mm (recommended 5,100 mm)
- Body width: 2,220 mm (2,500 mm maximum)
- Body height: 2,000 mm
- Grade angle: up to 35°
- Attack angle: 45°
- Back working angle: 23.37° (for a length of 5,575 mm)

Weight

- Empty weight: 4,500 kg
- Maximum weight authorized: 16,500 kg

Motor

- Firm: Fiat-Iveco
- Power: 177 C.V.
- Max. torque: 57 mkg. DIN
- Cylinder: 6.881 C.C.
- Free height: 400 mm
- Fordability: 800 mm

- Fuel capacity: 180 l ampliable 130 l.

Speed

- Maximum speed: 100 km/h
- Minimum speed: 1.8 km/h

Winch

- Traction: 5,500 kg

Cost: 11.017.250 pts

VEHICLE BASE

Ident descent vehicle, with the only difference being that this doesn't have a hydraulic winch.

Cost: 10.215.250 pts.

4.2.2.- Hoisting rig.

Must permit the insertion of hydraulic testification equipment in bore holes up to 1,000 m deep not only vertical but also bore holes at an angle and be capable of traction that can solve possible problems of the equipment getting stuck.

4.2.2.1.- Characteristics of the hoisting rig selected

Equipment ISSA-GM. model CANARIAS-240 tilt mounted (Diagrams 4.3 y 4.4).

Technical characteristics

- Cargo capacity: 7,000 kg. (extendable)
- Positioning: Horizontal in transport. Vertical on the job.
- Operation: Hydraulic
- Power: Power take off from vehicle motor.
- Penetration: 50 KN
- Extraction: 70 KN

- Total length: 3,680 mm
- Useful length: 3,330 mm

Rotating head with a hydraulic chuck

Powered by two hydraulic motors, it slides over two guides in the chuck with the following characteristics:

- 43 ←
- Speed: 0.02 - 10 rpm
 - Max. torque: 640 - 2,040 Nm
 - Opening: ≤ 55 mm
 - Strength of axial pull: 47 kN

Clamp

Operated by two hydraulic cylinders it permits the unscrewing of the pipes with automatic centering.

- Clamp openings: 40 - 100 mm
- Strength of axial pull: 40 kN.

Pipe unscrewing system

By means of a simultaneous start of the chuck, the rotating head and the hydraulic brake located in the bottom part of the hoisting rig. Turning the pipes to the left one can unscrew the pipes and vice versa.

Winch

The hoisting rig can be extended to six meters. This allows the handling of two 3 meter pipes, which saves considerable time while setting up and taking down the equipment.

This procedure is carried out by means of a winch installed in the lower part of the hoisting rig and a pulley on the upper part.

Technical characteristics

- Diameter: 165 mm
- Length: 210 mm
- Maximum speed: 3,98 m/sg
- Minimum speed: 0,01 m/sg

Power

By means of a power take off from the truck motor and a central oil-hydraulic the transformation of mechanical energy in hydraulics is obtained, getting the movement of rotation, penetration-extraction, as well as the drive of both reels, the chuck and the stabilizing jacks.

Hydraulic system control panel

The control panel must incorporate the rotation distributors, the opening and closing of the hydraulic chuck and brakes, and the stop and go of the reels. Optionally in the same control panel or in another separate one the distributors corresponding to the leveling of the equipment and the positioning of the hoisting rig are installed.

It has a system that permits the calculation at any time of the weight of the equipment inserted into the bore hole and shows it on a display. This permits setting limits to the applied force to avoid breakage in case the equipment gets stuck.

4.2.3.- Pipes

The pipes are used for the descent of the in depth equipment and the support of the conduction lines as well as for the injection and extraction of the water in them.

4.2.3.1.- Comparative study of the alternative proposals

Due to the fact that the material used must be unrustable to avoid the contamination of the formation water, the pipes can be made of stainless steel or aluminum.

On the basis of the diameter of the bore hole, of the maximum injection flow and of the head losses, a pipe of 40 mm in interior diameter and 50 mm in exterior diameter has been selected to withstand the foreseen force on the pipes.

Stainless steel

The essential elements to take into account when considering a steel as stainless are Ni and Cr. The optimum range varies between 11 and 18% n Cr, and 2.5 for 1 part Cr in Ni. One can also assume there is a certain quantity of Mo, that when combined with Ni increases the elasticity and decreases the fragility. Ni increases the tenacity, the elastic ratio and anticorrosion, and Cr contributes strength and resistance against corrosion.

On the basis of contacts with different companies and from the point of view of construction, a minimum thickness of 5 mm is needed to be able to mechanize the joining thread between the pipes, due to the sum of the thicknesses between the pipe's exterior surface and the crest of the thread and the thickness between the bottom of the thread and the interior surface of the pipe.

GENERAL CHARACTERISTICS	SIZES		
	MECHANIZED CENTER	AUXINOX S.A.	INDUST. BONDEOS S.A.
DIAMETERS	48.3 x 44.8	48.3 x 44.8	50 x 36
THICKNESS (mm)	5.1	5.1	7
WEIGHT	6.4 Kg/m	6.4 kg/m	8.5 kg/m
COMPOSITION	C. 0.030 Cr. 16 Ni. 10 Mo. 2	C. 0.08 Cr. 18 Ni. 8	C. 0.03 Cr. 17 Ni. 12 Mo. 2.7

CENTRO DE MECANIZADO

↑ Poner peso en agua
 ↑ Poner maximum tensile strength
 Poner pérdidas de carga a 50 l/min

This company is limited in respect to the variety of the profiles of threads.

AUXINOX S.A.

The minimum thickness that can be screwed in with the help of the coupling for the connection of the pipes is 5 mm without keeping the interior diameter constant in the connection zone and causing head losses (Diagram 4.5).

INDUSTRIAL DE SONDEOS, S.A.

They offer a pipe 7 mm thick. It's not considered viable because of its excessive weight (8.500 kg) (Diagram 4.6).

Aluminum with stainless steel couplings

(47) →

With the aim of avoiding the degradation of aluminum we have decided to insert stainless steel couplings threaded and glued with Epoxi.

Of the three companies contacted only Industrial di Sondeos has offered information about the cost of mechanizing aluminum.

(48) →

COMPANY	MATERIAL	ADVANTAGES	DISADVANTAGES	DISADVANTAGES	DELIVERY TIME
CENTRO DE MECANIZADO	Steel		Thread zone weak	4,896,000	
AUTINOX	Steel	Thread zone resistant	Bear in mind head losses	6,052,000	4/8 weeks
INDUST. SONDEOS	Aluminum	Better maneuverability and less head loss.	More degradation in manipulation and use.	6,361,200	4/8 weeks

4.2.3.2- Technical characteristics of the pipes proposed

Constructed in aluminum with stainless steel couplings at the ends (see diagram 4.7). The weight is 3.5 kg/m, notably lighter in weight than pipes made entirely of steel. The head loss is also less, keeping the internal diameter constant. The seal is guaranteed by means of an O-ring in the internal thread and another in the external thread. All the pipes will be numbered.

While transporting the pipes the ends are protected by Plastic caps screwed on the ends.

With characteristics similar to those above, the perforated pipes are made in different lengths to connect with the test section.

It's a good idea if a safety connection exists. This permits recovery of part of the equipment if it can't be all recovered.

SUPPLIER	INDUSTRIAL DE SONDEOS S.A.
LENGTH	3000 mm
DIAMETERS (mm)	50 x 40
THICKNESS (mm)	5
WEIGHT	3.5 kg/m
ALUMINUM ALLOY	6063-T-6 (Al Mg Si 0.5)
STEEL ALLOY	C. 0.03 Cr. 17 Mn. 12 Mo. 2.7

4.2.4.- Generator

The generator is installed in the exterior of the descent vehicle between the cab and the body. It must be able to supply electric energy to the equipment on the Hydrogeological Mobile Unit (HMU).

The total power consumed by fluorescents, portable light bulbs, injection pump, refrigerator, air conditioning, data acquisition system and hardware adds up to 4456 W, and given that the starting power is 3 times that of the running power, a total of 13,368 W will be needed to start things up.

Characteristics of the generator selected

Firm: ATLAS COPCO
 Emergent power: 17 KVA
 Power ratio: 16 KVA
 Tension: 380/220V
 Motor speed: 1500 rpm
 Motor frequency: 50 hz
 Cost: 1,671,600 ptas

4.2.5.- Chassis for the vehicles and general equipment

DEscant vehicle

(50)

The truck platform is covered with a plate of aluminum to avoid rust on the platform. Side walls are put up with an access door from the exterior, the roof, and a double rear door. (see diagram 4.8) Between this and the cab a space of 1 m is left to position the generator.

In the rear part a canvass juts out about two meters long to protect the equipment and improve the working conditions when the hoisting rig is in vehicle position.

Two large boxes (sized 1000 x 1500 mm) are fixed to the sides of the truck to store the pipes with rear access and slightly tilted to the front axle. There is also a work table for simple, quick repairs.

Vehicle base

The truck platform is covered with a plate of aluminum to avoid rust. The chassis is situated above this platform. The walls are thermally protected by means of fibre glass, ISOVER brand, 20 mm thick.

The body of the truck is divided into two rooms with a sliding door between them. This divides the computer area from the operative area.

In the computer area there is a computer, a printer, an SAI, the water tank, and the control panel for different elements of the system (packer inflation, valve control, water tank level control, injection system control, etc.). The furniture includes cupboards, drawers, shelves, chairs, work table and air conditioning.

The operative area includes nitrogen tanks, flowmeter, pressure vessels, injection pump, refrigerator, air conditioning, cupboards, drawers, shelves, work table and wash basin.

Both rooms have exterior access, with glass windows and metal protection. The direct exterior access has a collapsible stairs and the door has locks.

17/01 09 17:00 17/01-10

GEOMINERO

01031

Vehicle base auxiliary equipment**- Air conditioner Hot/cold:**

Firm: Daikin Split

Exterior unit RY22AV (Q)

Units: 1

Dimensions (hxbxd): 535x750x230 mm

Power consumed: 700 w

Weight of the machine: 29 kg

Conexiones de tubería: High for liqu. d = 6.4 mm

Low for gas d = 9.6 mm

Interior unit FTY22AV (Q)

Units: 2

Noise: 32 dba

Dimensions (hxbxd): 355x799x156 mm

Drainage pipe connection: d = 18 mm

Weight of the machine: 11 kg

- Refrigerator:

Firm: ELECTROLUX

Model: RM 2210

Tension: 220/12V

Starting power: 186 w

Power to 220 v. 105 w

Power to 12 v. 100 w

Dimensions (hxbxd): 619x481x480 mm

Capacity: 60 l

Weight: 21 kg

- Fluorescents

Tension: 220 v

Units: 6

Power: 6x18 w

- Portable light

Tension: 220 v

Units: 2

Power: 500 w

Cable length: 50 m

4.2.6.- Partial and total weights

The elements that make up the descent vehicle weigh the following:

-	Power generating group	725 Kg
-	Closure and framework	780 kg
-	Tool boxes	145 kg
-	Control panel	250 kg
-	Holisting rig	522 kg
-	Stabilizing jacks	272 kg
-	Conduction line reels	400 kg
-	Pipes	3500 kg
	TOTAL ...	6669 kg

Since the maximum weight that the vehicle can carry is 12,000 kg, there is sufficient margin to include other new elements if they are considered necessary in future equipment checks.

4.3.- PIPE TESTING

Pressure test

By means of water injection, one can tell from which pressure point the three pipes begin to leak in the connection areas that are screwed in and sealed from the outside. Before the pipes will have undergone a tension stress so that the test is carried out in real conditions and not ideal ones.

51

Execution:

52

- 1st Give three cycles of pressure to 40/50/kg/mm².
- 2^o. Give pressure to 60/80/kg/mm² and maintain it for 15 minutes.

Tension test

The size of the sample according to rule UNE 66.020-73 for tension tests is listed in the box below keeping in mind the size of the batch is 367 pipes that correspond to a length of the bore hole plus 10%.

<u>Size of batch</u>	<u>Levels of inspection</u>		
	Simple sample plan for inspection.		
	Reduced	Normal	Rigorous
	I	II	III
281 a 500	F	H	I
<u>Size of the sample</u>	8	50	80
<u>Level of acceptable quality to 99%</u>	A R	A R	A R
	0 1	1 2	1 2

A = Accepted

R = Rejected

The reduced sample size is 8, with an acceptable quality level of 99%.

The batch will not be optimum even if only one of the gauges is outside the acceptable margin of elasticity and breakage point.

Execution:

With aluminum tubes 500 mm in length with stainless steel couplings 8 tension tests are done up to the breaking point giving the results of:

- Breaking load.
- Area of breakage.
- Elasticity limit.
- Extension.

Chemical analysis

According to the quantity of Ni and Cr one can obtain the degree of stainless steel anticorrosion with the aim to contrast the composition specified by the manufacturer.

By means of the Si analysis one gets the amount of impurities.

Not only in the pressure test but also in the tension test the pipes are joined by means of a dynamometric wrench with a preestablished torque with the purpose of testing the effectiveness of the Epoxi resin.

TEST	DESCRIPTION	QUANTITY	COST	ACCREDITED LABORATORY	NO. SAMPLES
PRESSURE	Admissible pressure without fluid loss.	1	55,000 pts	GEOCISA	3
TENSION	Breaking load. Breakage area. Elasticity limit. Extension.	8	15,000 pts/Unit	GEOCISA	8
CHEMICAL COMPOSITION	% de Cr, N, C y Si.	1	13,000 pts	GEOCISA	—

4.4.- TUBES FOR TESTING

The length of the tubes is 500 mm, due to the limitation of the hydraulic press in the accredited test laboratories in the Ministry of Industry (see diagram 4.9).

MATERIAL	LENGTH	INTERIOR	EXTERIOR	COST	DELIVERY TIME
ALUMINUM WITH STEEL COUPLINGS	500 mm	40 mm	50 mm	13,200 unidad	1 week

5.- WATER INJECTION AND EXTRACTION SYSTEM

5.1- OBJECTIVES

The aim of the Injection system is to insert water under pressure in order to carry out hydraulic tests. The water injected, whenever possible, should be obtained from bore holes in the same formation.

The water will be stored in a 1000 l. tank (sometimes it may be necessary to use the auxiliary tank of 1500 l.) and will be transported from there or from a pressure vessel (when the flow of injection is less than 0.1 l/min) and from these, after an air purge it will be injected through a descent pipe to the test section. The input of water under pressure will be done by means of a special closure to avoid losses in pressure.

The injection pressure is normally understood to be between 4 and 10 bars, not going over this value. When the injection pressure is low, e.g. 2 bars, and the piezometric level is very deep there might be difficulty in carrying out injection tests. An alternative in this case would be to do Pulse and Slug tests.

At first, the water injection will begin with an injection pump using a high range flowmeter and later a lower range one if necessary. Having lapsed an orientated time of 30 seconds, if the flow is too weak (less than 0.1 l/min) to inject with the pump the injection will be done with a pressure vessel.

The system of extraction is done to carry out pumping tests, take water samples and clean the bore hole.

5.2- ELEMENTS OF THE SYSTEM

5.2.1. Water tank. Heater. Filter.

The water storage needed for the hydraulic testification is done by a sheet metal tank of resin epoxy impregnation. On the inside there will be dividers to avoid abrupt movement while transporting the water. The injection water temperature will be kept constant with an electric heater with an interior thermostat. There will also be a water filter to separate particles bigger than 0.5 μm .

To be able to carry out injection tests that last a minimum of 30 minutes and a maximum flow of 50 l/min, the tank will have to have 1,500 liters of capacity, too large to transport inside the vehicle. In this case an external tank will be installed on the vehicle base which by means of a transfer pump will

fill the water tank installed on the vehicle base. It must have a level control system, a pressure sensor and an external level measurer. The tank should be cleaned about every five months.

55

If a high flow of injection becomes necessary, to avoid needing a very large tank it would be wise to carry out pumping tests, if the pump capacity and the piezometric level so permit.

We have asked for information from Industrial de Sondeos, S.A. and they've given us a quote of 180,000 ptas.

A filter from TFB, S.A. is suggested because of the following technical characteristics:

Filter:

Filter cartridge

- Liquid to filter: Water
- Type of cartridge: DUO-FINE
- Cartridge designation: DFN 0.45-10UN
- Filtration quality in microns: 0.45
- Length of cartridge in inches: 10
- Filtering material: Glass microfibers with acrylic agglomerator
- Central support material: Polypropylene

56

Housing

- Type/Model of housing: LMO 10U-3/4
- Construction material: Polypropylene
- Length of cartridge in inches: 10
- Number of cartridges required: 1
- Input and output diameter in inches: 3/4

We have asked for information from TFB, S.A. and HECISA.

- Price: 19,223 pts/unit
- Plazo de entrega: inmediato

5.2.2. Injection pump

Its aim is to force the water from the tank to the test section at a maximum pressure of 10 bars.

5.2.2.1.- Characteristics of the pump selected

The injection pump proposed is a Grundfos centrifuge type CR/CRN 2-220 with a flow capacity between 0.4 m³/h and 3.5 m³/h (0.85 Mpa). (see diagram 5.1). *8.1.1. 10.1.1. 3.1.1.1*

The necessary power is 2.20 kw and the maximum suction pressure is 15 bars.

The maximum injection pressure with a flow of 1 m³/h is 19 bars, with 2 m³/h 18 bars and with 3.5 m³/h 9 bars.

- Price: 180,400 pts
- Delivery time: 20 days

The maximum injection flow needed is 50 l/min. This pump seems adequate having a maximum of 58 l/min.

5.2.3.- Pressure flowmeters

The flowmeters must control the flow of water injected in the formation with greater accuracy. The flow range injected is between 0.1 l/min and 50 l/min.

57

5.2.3.1.- Comparative tests of the alternative proposals

To control the flow of water, precision pressure flowmeters are used. Three types have been analysed: mass, magnetic-inductive, and rotameter. (see diagram 5.1).

Mass.- Reaches a flow accuracy of 0.25%, and a density of 0.75%. What's more the flow and total value give density and temperature data. It has the 3 drawbacks: Increasing the head loss the denser the fluid is, needing 3 devices to cover the range of necessities and it's also a lot more expensive.

Magnetic-Inductive.- It has 0.5% accuracy and it only shows measurements of flow and total volume. The water must have more than 5 microsiemens of conductivity. The main advantage is that it's much cheaper and only one device is needed to cover the range.

Rotameters.- We have not considered this kind of flowmeter because of its low accuracy and it doesn't show data about total volume.

We have asked for information from Fischer-Porter and Rosemount. Covering the requirements are the following models from Fischer-Porter.

(58) 2

	MODEL	MINIMUM FLOW	MAXIMUM FLOW	PRICE
MASS	10 MM DN3	0.125 kg/min	2.5 kg/min	782,680 pts
	10 MM DN6	0.8 kg/min	16 kg/min	865,900 pts
	10 MM DN15	5 kg/min	100 kg/min	969,820 pts
MAGNETIC INDUCTIVE	MAGXM DN3	0.08 l/min	4 l/min	378,000 pts
	MAGXM DN15	2 l/min	100 l/min	378,000 pts

The flowmeter must be situated in an area designated for equipment information and there will be a display next to the computer to control the flow.

All the regulation should be done manually. It can be done automatically when one has more experience.

(59) It's a good idea to install pressure sensors at the input and output of the flowmeters to be aware of head loss. Also a temperature sensor should be installed before the input of the injection fluid into the pipes.

A system of purging air bubbles should be installed.

All of the connections in the injection system will have to be set up with care to avoid possible head losses.

5.2.3.2. Technical characteristics of the flowmeter selected

Because they are able to obtain a larger number of parameters and because they are more accurate, mass flowmeters are considered.

The principal drawback is the cost and the necessity to install 3 devices (instead of 2 in the case of magneto-inductive flowmeters).

80—

14/01 04 14:00

04420210

GEUMINERO

042

DIAGRAM 5.1.

Flowmeter		10MM DMS 10MM DMS 10MM DMS	Better accuracy Measure flow mass and density	More expensive, needs 3 devices.	2,724,360 plus (for the three)	10-12 weeks
Flowmeter	Mass Material = stainless steel Accuracy = Flow: 0.25% - Density: 0.75% Measurements of = mass flow, volumetric, density, temperature and totalization.	10MM DMS 10MM DMS 10MM DMS	Better accuracy Measure flow mass and density	More expensive, needs 3 devices.	2,724,360 plus (for the three)	10-12 weeks
	Magnetic-Inductive Material = stainless steel Accuracy = 0.6% Measurements of flow and totalization	MAXIM DMS MAXIM DMS	Cheaper, only need two units.	Less accurate. Doesn't show density measurement.	824,610 plus (for the two)	10-12 weeks
	Potentiometer Accuracy = 8-10% Flow measurements.		Very cheap.	Not very exact No total volume.	14,000-18,000 plus/unit	10-12 weeks

40-56

SECRETINERO

2003

5.2.4.- Pressure vessels

(62)

The system fills with water or antifreeze liquid and is pressurized with nitrogen by means of a regulator. The pressure is controlled with a manometer and is stored in the computer. It will have a security valve to avoid the risk of explosion from too much pressure. It will also have a transparent, exterior, cylindrical tube to observe level variations.

At first approximation the volume needed in the pressure vessel is some 80 liters to determine injection flow of 0.5 l/m. The usual working pressure will be around ten bars, which is obtained by means of N2 gas. For that reason the vessel will be dimensioned to endure up to 20 bars.

To use 80 l. pressure vessels more N2 is needed, estimating the gas necessary in 4 times the volume of the pressure vessel.

The N2 tank, controlled, with a high capacity regulator, pressurizes the pressure vessel, putting some pressure valves that connect to the flowmeter.

We have requested information from Hermer y Deal (SEO).

The technical characteristics of the vessels proposed are:

- Material: stainless steel
- Thickness: for 20 bars 3 m / for 80 bars 14 m
- Dimensiones: Diámetro 0,3 m, altura 1 m, volumen 80 l.
- Price: for 20 bars 151,000 / for 80 bars 330,000 (including plan in both cases).

(63)

5.2.4.1.- Nitrogen tanks and regulator

Its objective is to pressurize the inflation water to the packers and the water injection system. Industrial Nitrogen will be used.

The tanks have a high precision regulator, able to select the exact pressure required.

The characteristics of the nitrogen bottles are:

(64)

- Volume: 9.4 m³
- Height: 1.6 m / 1.68 m
- Diameter: 0.2-0.25 m / 0.2-0.245 m.
- Pressure: 200 bars, graduated from 0.1 to 200 bars

GEOMINERO

1994

- Tank weight: 60-70 kg / 72-75 kg
- Price: 600 pts/m³
- Transport: 750 pts
- Contract: 15.800 pts tank/year
(16.500 pts tank/year)
(38.000 pts tank/3 years)

Technical characteristics of the regulator selected:

- Material: stainless steel
- Make and model: Stag, model Harris Ref. 87/100
- Output pressure: 0-100 bars
- Input pressure: 210 bars.
- Price: 67,049 ptas.

5.2.5. Regulation valves

To control the input flow to the flowmeters, three valves are used; the first to turn on and turn off the passage of the fluid, and others to carry out the exact control of the flow.

65 →

We have analysed the valves from the following firms:

- Whitey
- Swagelok
- Nupro
- Brook

The finer control valves don't assure that the passage of fluid is completely stopped. And that's why a 2 way ball valve is better considered. The valve in question has the following characteristics:

- Make: Whitey. Serie "40"
- Model: SS43S4
- Opening: 4.8 mm
- Cv: 2.4
- Material: Stainless steel
- Price: 16,659 ptas

66 →

Following are the features of a needle valve (rough regulation) which is proposed:

- Make: Whitey. Serie "1"
- Model: SS1RS4
- Opening: 4.4 mm
- Cv: 0.37
- Material: Stainless steel
- Price: 12,150 ptas

For fine control a needle valve of the following characteristics is proposed:

66 →

- Make: Nupro. Serie "S"
- Model: SS5S4
- Opening: 0.79 mm
- Cv: 0.004
- Material: Stainless steel
- Price: 24,345 ptas

5.2.6.- Extraction pump

Supposing the final perforation diameter is 4" therefore it is necessary to use a pump 3" in diameter. Nevertheless a 4" diameter pump can be used in sections of greater diameter.

The depth of the piezometric level will determine the maximum pumping flow.

67 →

6.2.6.1.- Technical characteristics of the pump selected

MAKE MODEL	V-P-I	φ MAX	LENGTH MAX	WEIGHT	PRICE
GRUNDFOS. 3P3A-60	3x220 v 3,7 kw 16.5A	4"	2108 mm	49.2 kg	-
GRUNDFOS. JS1-08	1 x 220 v 1,5 kw 11A	3"	441 mm	5 kg	54,600

Technical characteristics of the GRUNDFOS JS1-08 submerged pump

- Electric power: 1 x 220 v - 240 v
- Frequency: 50-60 Hz

- Motor protection against insufficient tension
- Possibility to install tension protection above 300 v
- Tension protection against lightning.
- High temperature protection
- Radio frequency noise filter
- Duration of starting phase: 9 sg.
- Start/Stop: After stopping the pump 10 sg should pass before starting it again.
- Rearmament time: Manual 10 sg; Automatic 18 sg.
- Pipe connection: 5/4 pulg.
- Minimum flow: 0.1 m³/h (140 m)
- Maximum flow: 2.3 m³/h (10 m)

Technical characteristics of the GRUNDFOS SP3A 60 pump

Electric power:	3 x 220 V
Work intensity:	16.2 A
Power:	3.7 Kw
Frequency:	50 - 60 Hz
Weight:	47.7 kg
Pipe connection:	1 1/2" female thread

GEOSIGMA

02/04

6.- PRESSURE CELL FOR TESTING COMPONENTS OF THE SYSTEM

6.1.- OBJECTIVES

In carrying out hydraulic tests in low permeability formations, the measurements can be affected

TABLE 6.1

ELEMENTS OF THE SYSTEM	TECHNICAL CHARACTERISTICS	MODEL	ADVANTAGES/DISADVANTAGES	COST	DELIVERY TIME
Water tank with pipe fastenings.	PVC, reinforced Dimensions 7 x 0.4 x 0.3 m			148,045 pts	1 month
Interior tube of 104	Steel. Dimensions: ϕ Int. 104, ϕ ext. 113, L = 6 m		Steel is cheaper	43,544 pts	1 month
Crane	Maximum weight: 250-300 kg.			~ 100,000 pts	Immediate
Descent pipes of the equipment.	Aluminum with steel couplings. ϕ Int = 40 mm ϕ ext = 50 mm L = 0.5 m (1 pipe with special dispositive to house the transmitter cable)			13,200 pts 15,600 pts	1 month
Perforated pipe.	Aluminum with steel couplings. ϕ Int = 40 mm ϕ ext = 50 mm L = 0.6 and 0.8 m			22,100 pts 23,900 pts	1 month
Packers.	Expansion range 67-135 and 2-160 mm diámetro variable: 23 y 40 mm Length = 1 and 1.5 m Stainless steel (except for connections inflated with water pressurized with N ₂ . Maximum working pressure 60 bars. Diameter of inflated connection line = 1/4"	Bimbar 1-72 (Petrometallic) 67-135 (Aroclorway)	Comparison of sealing time, compressibility Comparison of packers with different dimensions.	Aroclorway: 125,000 pts/unit. Petrometallic: 178,850 pts/unit (length 1 m) 221,205 pts/unit (length 1.5 m)	1 or 2 months Immediate
Pressure transmitters.	0/100 bars / 0-70 bars Can include temperature measurement. Maximum range can be selected up to 100 bars. Diameter = 38 mm Length = 91.5 mm (690)	Druck PTX 680 and		171,700 pts. (690) 163,000 pts. (164)	1 month

TABLE-6.1 (Continuation)

Equipment or Component	Equipment Characteristics	Model	Performance/Remarks	Cost	Delivery Time
Manual valves (2) (Water input to inflate packers and valve for water output from the test section).	2 way/3 way Opening = 4.8 mm/4.8 mm CV = 2.4/0.9 Connection size = 1/4" / 1/4" Stainless steel Ball valve	Series 5-40 894864 (two way) SS43 x S4 (three way)	Maximum flow. Assembly nut on panel. Galgalbe swagelok connections. Plunger and ball of one piece. Service pressure up to 200 bars. Temperature from 10°C to 65°C	18,659 ptas (2 way) 20,934 ptas (3 way)	Immediate
Test valve	CV = 1.88 Continuing current = 1 Amp. Voltage = 18-31 V/DC Working pressure = 0.7 - 200 bars Maximum pressure 345 bars Working temp.: -60-120°C	Valcor coaxial solenoid valve.	Less opening time than hydraulic valve.		
Nitrogen tanks with regulators	Pressure in the tank 200 bars Minimum pressure 0.1 bar Volume = 8.4 m ³ /tank weight = 60-70 kg ϕ 0.20 or 0.25 m, h = 1.5 m. regulator: Input pressure = 210 bars output pressure = 0-100 bars Stainless steel.	N2 tank AGA 6A. SEO.SA. regulator: Stag model Harris ref. 87/100		600 pts/m ³ Transp. = 750 pts Contract = 18,80 0 pts tank/year. regulator: 67,049 ptas/unit.	Immediate
Pressure vessels	Stainless steel 20 bars/80 bars thickness 3/14" Dimensions: ϕ 0.3 m, alt. 1 m, vol. 80 l.	Specific design		151,000/330,000 ptas included.	1-2 months
Known transmissivity tube.					
Hydraulic connection hose.	Material thermoplastic reinforced with "Kevlar" Galgalbe connection adapters. Diameter 1/4" Plastic material.	Swagelok Series 7R-4 Connector TA-4 Petrometallo (8.4 x 13.5 mm)	Working pressure 190 bars/220 bars. Temp range = -40 a 93 °C	10,885 ptas/m connector Included 600 pts/m (Petrometallo)	Immediate
Graduated tube					

Its task in the pressure cell system is to have a sufficient volume of water so that the test equipment is totally submerged, simulating bore hole conditions.

We have made the length of the container too long so that tests can be carried out on rolled conduction lines.

The container will have handles in the bottom for the tubing and an opening to empty the water.

We have received a price of 148,000 ptas from TMC Electronics.

6.2.2.- Pipe

Its aim is to simulate the diameter of the bore hole. Made of steel, it has an exterior diameter of 113 mm and an interior diameter of 104 mm and a length of 5 m.

69

Approximately 2 m from one end there will be a circular opening where the valve connecting the test section is connected.

We have considered making it in normal steel, thick enough to withstand the pressure it will be subjected to. We have decided on steel because it's cheaper and doesn't contaminate the water.

70

than stainless steel.

Industrial de Sondeos have given us a quotation of 43,544 ptas.

6.2.3.- Crane

We are looking at a system with a small electric motor or a manual system to raise the steel piping out of the water and incline it so that it makes the insertion of the packers and pipes easier as well as lifting one end of the pipe to evacuate gasses in the test section.

We have asked for a quote from Industrial de Sondeos, and they have given us a price of approximately 100,000 ptas.

6.2.4.- Equipment descent pipes

Two or three pipes are situated on top of one of the packers. Between the pipes a test valve and a pressure transmitter are connected in order to measure pressure movements in the test section.

The technical characteristics of these pipes are the same as those chosen for the HMU after a thorough comparison of the alternatives (see section 4.2.3) with the objective of trying them in the


system and reaching a conclusion as to their validity in the HMU equipment.

These are aluminum pipes with steel couplings. Their interior diameter is 40 mm, exterior diameter 50 mm, and their length is 500 mm.

One of these pipes will have a device to register pressure in the test section. (see diagram 6.2).

6.2.5.- Perforated pipe

These are the pipes that are between the two packers. They determine the length of the test section.

The technical characteristics are the same as the ones in the previous section and come in lengths of 0.6 and 0.8 m. We are considering the possibility of diverting these pipes on their axis in order to fit a transmitter in the test section. 

We have asked for information about pipes from INDUSTRIAL DE SONDEOS (see table 6.1 to find the price of each type of pipe).

6.2.6.- Packers

The elasticity of the system is affected the most by this component. The main objective of the pressure cell is to calculate the effective elasticity of the packers and get a sealing-time relation from them.

The packers chosen must be of the least elasticity and take the least time to seal well.

The cell has been designed to test packers of 1 m or 1.5 m in length, with the following characteristics:

- Made of non-corrosive material (stainless steel). (However to carry out tests in the cell this isn't essential).
- Inflated with water pressurized with N₂.
- Connections for the packer inflation lines and the signal cable.
- O-ring at both ends (one fixed and the other sliding).
- Sufficient expansion range for a good sealing in 101 mm bore holes.
- Interior diameter of the tube nearest to 40 mm.
- Working pressure of around 60 bars.

After studying the market the packers from two suppliers have been chosen to carry out the first tests:

	EXPANSION RANGE	EXTERNAL DIAMETER	MATERIAL	LENGTH	PRICE
ARCHWAY ENGINEERING LTD	57-135 mm	23 mm	Carbon steel stainless steel	1 m and 1.5 m	125,000 pts/Unit (Length 1 m)
PETROMETALIC	72-160 mm	40 mm	Stainless steel (except inflation line connection).	1 m and 1.5 m	178,880 pts/Unit (Length 1 m) 221,205 pts/Unit (length 1.5 m)

6.2.7.- Pressure transmitter

Its task is to measure pressure variations in the test section.

Continuing with the comparison of different types of transmitters for the HMU, we have chosen the Druck PTX630, and 164 with the following characteristics:

Pressure range:	0/70 - 0/100 bars. (able to choose a maximum value less than 100 bars).
Temperature range:	-20°C - 80°C. (Possibility to include pressure and temperature in one transmitter.)
Transmitter diameter:	38 mm
Transmitter length:	91,5 mm
Cable length:	1 m
Cable diameter:	8 mm
Price:	171,700 pts (PTX 630) 163,000 pts (PTX 164)

The transmitter can be placed as indicated in diagram 6.1, or in the test section to simulate the same working conditions as the bore hole.

6.2.8.- Manual valves

The two manual valves are located in the test section. The first allows the passage of pressurized water from the pressure vessel to inflate the packers. It will be a 2 way valve (valve A). The other a three

way valve (valve B) is situated in the steel piping, connecting with the test section to allow the passage of water from the section to the exterior or its own pressurization.

IN both cases manual operating ball valves have been selected because of their easy handling, their durability and availability.

The technical characteristics are:

	TWO WAY	THREE WAY
MATERIAL	Stainless steel	Stainless steel
OPENING	4.8 mm	4.8 mm
CV	2.4	0.9
CONNECTION SIZE	1/4"	1/4"
MODEL	SS43S4	SS43xS4
PRICE	16,659	20,934

73

Other characteristics of the valves are: The possibility to mount them on the panel, galgable swagelok connections, plunger and ball in one piece, service pressure up to 200 bars and operating temperatur from 10°C a 65°C.

We have asked for information on valves and connctions Iberia S.A. e Hydra specialities.

6.2.9.- Test valve

Its aim is to isolate or connect the test section with the injection system.

We have studied the use of electric, hydraulic and mhanical valves (see section 2.2.3), choosing an electric solenoid valve with the following characteristics:

CV: 1.88

Working temperature: -80°C a 120°C

Voltage: 18-31 VDC

Continuing current: 1 Amperio

Working pressure: 0.7 a 200 bars

Maximum pressure: 345 bars

Model: Valcor, coaxial solenoid valve.

Price: 400,000 ptas

74

The electric valve chosen has better characteristics for work in the bore hole than those powered by other systems, but it might be interesting to see how both the hydraulic and electric valve work in the pressure cell.

6.2.10.- Nitrogen tanks with regulators

Their objective is to pressurize water to inflate the packers and the water injection system. They will use industrial nitrogen in gas tanks of 9.4 m³ with the following characteristics:

75

Height: 1.50 m / 1.68 m

Diameter: 0.2-0.25 m / 0.2-0.245 m

Pressure: 200 bars, graduated from 0.1 to 200 bars

Tank weight: 60-70 kg / 72-75 kg

Price: 600 ptas/m³

Transporter: 750 pts

Contract: 15,800 ptas tank/year - 16,500 ptas tank/year

38,000 ptas tank/3 years.

The tank will have an output regulator with the following characteristics:

Material: stainless steel/brass.

Make and model: Stag, model Harris ref. 87/100.

76 Output pressure: 0-100 bars.

Input pressure: 210 bars.

Regulator price 0/100 bars: 67,049 ptas/unit.

The nitrogen tank output connects to the pressure vessel.

Information gathered in: AGA, S.A.; ARGON, S.A.; and SEO.

6.2.11.- Pressure vessels

The object of these receptacles is to pressurize water by means of nitrogen in order to inflate the packers, inject water to the test section and drive the test valve if a hydraulic one is used.

Two pressure vessels are needed for the test cell, if an electronic valve is used, one is to inflate the packers and the other is to inject water to the test section.

(77)

Both need a volume of 80 liters. The first must withstand a pressure of up to 80 bars and the second up to 20 bars.

It's a good idea if the pressure vessel has a transparent cylindrical, exterior tube to be able to see variations in water level. We asked for information from Hermer y DEAL (SEO).

The technical characteristics are:

Material: stainless steel.

Thickness: for 20 bars 3 mm / for 80 bars 14 mm

Dimensions: diameter 0,3 m, height 1 m, volume 80 l.

Price: 151,000 ptas / 330,000 ptas (plan included in both cases).

6.2.12.- Known transmissivity pipe

stainless steel
(78)

This is used to carry out test 4. Its made up of thin glass or plastic cannular tube, that through a connection to the 3 way valve it connects with the test section. Its used by SKB in the pressure cell and has the following characteristics:

Length: 50 mm

Interior diameter: 0.15 mm

Transmissivity: $3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

6.2.13.- Hydraulic connection hoses

Their aim is to distribute N2 or pressurized water to various parts of the equipment.

There are hoses made of different types of material on the market (see section 2.2.5). In the case of the pressure cell a hose made by Swagelok is assessed. It's made of thermoplastic material covered by fiber rhomboidally capable, that can endure pressure of up to 200 bars. Because of the high price (10,865 ptas/ m) It's not recommended to use in the packer inflation line in the HMU. < Its use might be considered in the pressure cell because a length of approximately 20 to 30 m is needed. It would be interesting to compare several different hoses under high pressure conditions.

We have also asked for information from Petrometallic who have a plastic hose able to withstand 200 bars. It costs 600 ptas/m.

6.2.14.- Graduated tube to measure volume

In some of the test to carry out the displaced volume from the test section has to be registered during different time intervals. To do this a graduated tube connected to a 3 way valve above it is needed to do measurement at determined time intervals. This can be made of plastic or glass.

6.3.- TESTS TO CARRY OUT

6.3.1.- Test 1

The object is to analyse the sealing of the packers, during which one records the variation in displaced water quantity and the time necessary for a good seal.

At the beginning of the test the quantity of water is measured every 1/2 minute with graduated tubes. This is done from one of the outputs of the 3 way valve. When the volume begins to change in small increments, one changes the valve to another output where a graduated tube is connected, continuing to measure the displaced volume until the system is established. It is recommended that flow measurements under 0.4-0.5 ml/min not be considered.

79

It's advisable to carry out tests inflating the packers to 45 bars and 60 bars. *en packers desjados*

6.3.2.- Test 2

80

The objective is to test the sealing of the packers and possible pressure losses. A pressure of 4 bars is applied to the test section by means of the injection system at a test valve opening time interval of some 3 seconds, registering the pressure variations in the test section.

6.3.3.- Test 3

81

The object is to determine the elasticity of the rubber of the packers, of the water and of the steel pipes in the test section. The test section is pressurized in several stages and one registers the volume of water evacuated and the stabilization of pressure in the test section between every pressure stage. The pressure is injected directly to the test section.

If the same test is done only with the steel pipe closed at both ends and the water and one subtracts the value obtained by the 3 components, one calculates only the elasticity of the packer rubber by means of the formula:

82

$$\Delta V = p \cdot V \cdot C_w + \Delta V_r + \Delta V_m$$

where:

V = volume of the test section

ΔV = total change of volume

ΔV_r = change of volume in the pipe

ΔV_m = change of volume in the packers

Δp = increase of pressure inserted

C_w = compressibility of water ($1.6 \times 10^{-9} \text{ Pa}^{-1}$)

83

The effective compressibility in the field, ignoring rock compressibility is given by:

$$C_{\text{eff}} = \frac{V}{p} \cdot \frac{1}{V}$$

Two types of tests must be carried out, one with a pressure increase of up to 6 bars, in stages of 2 bars and the other with a pressure increase of 5 bars. One has to wait some hours between each increase for the packer to recover.

This is done in the following way.

- Carry out the packer sealing phase until there is no slopping with the manual test section valve open.
- Close the valve and register the pressure in the test section.
- Connect the tube to the pressure regulator and increase the pressure 2 bars.
- Open the valve for 5 seconds and measure the volume change in the tube registering the pressure in the test section for 10 minutes.
- Do the same process for the following pressure stage.

Once the last pressure stage has been done, this should be lowered extracting the same volume that has been pressurized.

6.3.4.- Test 4

84

This is similar to test 2, with the known transmissivity tube connected to the test section. The duration of the pressure pulses or their deviation from the pressure curve from the cannular tube gives an indication of the elasticity of the system, primarily that of the packers.

Pressure increases of 4 bars are applied in the test section for 3 seconds registering the pressure variation related to the time in a semi-logarithmic graph.

The dispositive used to carry out this test can also serve to simulate some hydraulic tests.

85

COMUNICACIONES CON GEOSIGMA (SKB).

TELEFAX - TELEFAX - TELEFAX - TELEFAX

GEOSIGMA AB

TILL / TO TELEFAX NO

TILL / TO *JUAN GRIMA OLMEDO*

FRÅN / FROM *KENT HANSSON*

DATUM / DATE *94-02-02* SIDOR / PAGES 1 + *76*

MEDDELANDE / MESSAGE *Hello Juan*

*Here is some comments on
you fax 94-1-24.*

I hope you come to Uppsala

Best regards Kent

GEOSIGMA AB

Box 894

S-751 08 UPPSALA, SWEDEN

⑦

Hello Juan

It is very good that you have updated the conceptual design and technical specifications

I have some questions and comments, which I have marked in your paper. You can read it and then we can discuss them when you come to Uppsala

① Perhaps you should have proposal for introduction hier

- bore hole depths
- bore hole diameters
- test types
- test times
- measurement ranges of different test types
- maximal depth to groundwater table
- climatic conditions
- mobility for terrain vehicles
- choice of material of borehole equipment

② Sealing length?

③ Under the deflating, the packer should self press the water back to the vessel. What is the maximum depth to the groundwater table this packer shall manage (Perhaps you must make a modification self for example with a spring)

④ Working pressure Is it the operating pressure (in the packer) relatively to the formation pressure If it is that you mean, you need the sealing pressure at the actual diameter before you set the value

(3)

something else

⑤ That is correct, but sometime you must chose a packer with smaller diameter because of the problems with the deflating in borehole with large depth to the groundwater level.

⑥ Which water column? In the hoses?

⑦ I understand what you mean but I think you should make it more clear. Perhaps with a small formula.

⑧ I understand what you mean but I think you should make it more clear

⑨ I don't understand

⑩ It should be interesting if you could get information from the manufactures about these technical specifications

- At which pressure do s. the packer recive a diameter of 101 mm

- What is the sealing pressure

(4)

In a 101 mm borehole (When you have a differential pressure "over" the packer of 0.1 bar)

- Recommended minimal sealing pressures in a 101 mm borehole when you have a differential pressure over the packer of 4 bar and 20 bar



The information above would be interesting to have in the table.

- (11) Which of them is more accurate? From the table, PTX 164 is more accurate.

- (12) Complete the table with:

Preguntar

- the outer diameter of the sensors
- long term drift

- temperature sensor in the pressure sensor

- voltage spike protections (example for thunderstorms)

$$U = RI \Rightarrow I = \frac{U}{R} = \frac{20 \text{ mV}}{50 \Omega}$$

$$I = 400 \mu\text{A} = 400 \mu\text{A/K} = 127^\circ\text{C}$$

la señal de T es $1 \mu\text{A}/^\circ\text{K}$
 A 0°C es $273 \mu\text{A}$
 Resistencia y potencia

- (13) I understand what you mean but I think you could explain it better

⑤

If the groundwater level is 200m down in the borehole and you are going to make an injection test. The valve should stand to a differential pressure (inlet pressure minus outlet pressure) of about 20 bar

If you are going to make a pumping test with the pump 250m down in borehole (groundwater level 200m down before pumping) The valve should stand to about 25 bar in the beginning of the fall of phase.

⑭ SKB have used the valve in tests during drilling, therefore they took up the valve between the tests. And because of that, they made one of the valves in a special way to secure the operating.

you can manufacture mechanical valves which you don't need to take up to surface between the tests. But I think it is not so easy to operate them in deep boreholes and be sure if the valves are open or closed.

⑮ you must relate the head loss to a flow

⑥

①⑥ Why can't the valve be operated in a pressure $\leq 0,7$ bar?

Is P the allowed surrounding (and inside) pressure of the valve. And if P is that, what is the maximum differential pressure between the inlet and outlet of the valve. I think it is good to have both the values in the table

①⑦ see nr 16

①⑧ If you have a hydraulic operated valve, perhaps you save about 30 sec in a test. The gulchrest test we make take about 70 min

- 25 min sealing
- 15 min injection
- 15 min fall off
- 10 min deflating packers
- 5 min moving to next section

Many of the other tests take about 250 min

①⑨ see nr 14

②⑩ Is the maximum width

1. The diagonal, if the valve are

(7)

2. diameter

- (21) It is not so easy to know what kind of pressure it is, see nr 16
- (22) It doesn't matter if you have 3 or 3,5 bar
- (23) see nr 16
- (24) see nr 13
- (25) Something is dropped
- (26) Resistance (and capacitance) of the conductors
- (27) What was?
- the outer diameter of the cable
 - the cover material and thickness
 - minimal bending radius of the cable
- (28) Did they have any submersible connectors, which they recommended you. Which was the outer diameter of the one with 15 conductors
- 7 cm ~ → Preguntar sobre ello
- (29) What is:
- the outer- and inner diameter of the hose

⑧

- the material of cover and the inner tubing
- the material of reinforcement
- minimum bending radius
- maximum manufacturing length
- the elasticity related to inner-pressures

③① There are 3 outputs $2 \times 20V/24$ and one $5V/34$. The first two are used Is the third for sensors on surface

③② The numbers are not on the wrong line.

I think the temperature in the "container" and the water-temperature just after the flowmeter. are interesting to registrate.

③③ I don't understand these sentences "The data acquisition equipment presently installed" Is it the SKB system?

③④ "greater exactness" and better isolation". Greater and better than what?

⑨

with the valves?

Is it the valves for the controlling the pressures in the vessels?

③5 Is it the digital output?

③6 Is it a analog digital converter?

③7 Is it 16 bits for measuring the positive voltage (eg. 0 to $+1V$)
Puede elegirse el rango

③8 Is the resolution 16 bits at high speeds?

Relacionar con la resolución

Even 2,5 kHz is much higher speed than you need for injection and pumping tests.

③9 Perhaps you should say something more about the comparative study and why you proposed National Instruments.

④0 Is the proposed National Instruments the selected one?

④1 Have your system digital outputs?

④2 Under which ^{Donarlo} chapter do you have the software for the measurements? What kind of tests are you going to make with the system? Which products are you interested in and how the ...?

(10)

If you are going to produce diagrams automatical without too much manual work, you must export information like ex. test ~~start~~ to the interpretation software

(43) I think you should complete the table with the battery-effect. (How long time the battery manage that power.

(45) Are the speed and torque dependent of each other?
Can you rotate the pipes with a low speed and low torque

(46) I think you should complete the table with:

- weight in water

- maximal tensile strenght

- theoretical head loss / 100m at 50 l/min.

(47) It would be nice if you could make the same discussion about aluminium as you made about stainless steel (resistance against corrosion, elasticity...)

(48) ...

(11)

technical characteristics of aluminium pipes here

- 49 se nr 46
- 50 - I can not make comments on the figures because I have not seen them
- 51 I think you should also make test with a higher pressure outside the pipe than inside. This information could be usefull if you think you are going to get this circumstances in field e.g. slug tests with under pressure.
- 52 Shouldn't it be cm^2 ?
- 53 I don't understand what kind of air purge it is
- 54 "sheet metal, epoxi impregnation"
Is the metal steel or stainless steel. If it is steel is your choice because the price is lower than making the tank in stainless steel without impregnation?
- 55 The tank must be cleaned when it is dirty. The times between

(16)

We have 3 valves on our unit now. But our max flow is 30 l/min and we have 2 flowmeters.

(66) I think these valves are useful but it is not easy to decide what kind of valves you could use before you have made a specification of the flow range and the flowmeters.

(67) Are you going to have a pump in a housing in the upper part of the borehole or in the test section. Some of the specifications depend on that choice.

(68) Perhaps you also need a tank with a smaller diameter $< 0,1m$ if you are interested to measure the operating volumes of some components.

(69) Must be mm

(70) Steel cheaper than what

(71) I don't understand that sentence

(72) see nr 2, 3 and 4

(12)

water chemistry, particles and how much water "going through" the tank.

The tank must be relatively easy to inspect and clean.

(56) What is the capacity (l/min)

(57) min flow must be less than 0,1 l/min

(58) The min. flow must be smaller
Perhaps it is the minimum - max flow

(59) I think it is good for you to register this water temperature

(60) you must look on the total range of the flowmeters. I think you can measure lower flows with the mass flow-meter than with the magnetic-inductive meter.

How many flowmeters you need, depend of the accuracy you are interested of, for the total measuring range of the flowmeters

If you have many flowmeters in your unit you get a big accuracy over the total flow range, lower headlosses and not overloading.

(13)

of the flow meters, which mean that you get fewer changes between flow meters at end of an injection phase.

If you have a few flowmeters in your unit. The changes between flowmeters in the beginning of a test are reduced and it is easier to make the software to plot the "right flow".

We have used Micro motion mass-flow meters in our equipment. But we have used them in a bigger range than they perhaps recommended. I have looked at their specifications when we made our concept. I was interested that the error in the mass flow should be less than 1% in the whole range.

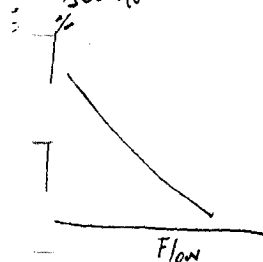
When I looked in my old paper and I found the values presented in this table. You can try to find newer information if you are interested to make the same calculations.

Cálculo del error

0,2% del caudal

La estabilidad del cero es $4 \cdot 10^{-3} = 4 \text{ ml/min}$
 Inyectamos 500 ml/min

$$\frac{4 \cdot 10^{-3}}{500 \cdot 10^{-3}} = 0,004$$



Max flow
kg/min

Max pressure
inside
bar

Head loss
at max flow
bar

Density
accuracy
kg/dm³

Mass flow
accuracy of
rate exclusive
zero stability
%

Zero stability
kg/min

Flowmeter Micromotrom

D6

D40

0-0,91

0-55

179

86

5,3

3,7

0,004

0,004

 $\pm 0,2$ $\pm 0,2$ $1 \cdot 10^{-4}$ $4 \cdot 10^{-3}$

If we assume that the accuracy
of the mass flows are a bit
worse than $\pm 0,2\%$ Perhaps $\pm 0,4\%$.

Then the error for D40 is 0,4%

(15)

(min. flow where you change to D6) is less than 1% of rate. And this is the maximum error for the flow range $2 \times 10^{-2} - 5,5 \cdot 10^1$ kg/min. If you accept 10% of rate you get a range of $1 \times 10^{-3} - 5,5 \cdot 10^1$ kg/min.

(61) Perhaps you should present something in your table about measuring range for the different alternatives, and relate the ranges to the maximum accuracy of the flow rates. From that you can say something about advantages and disadvantages for e.g. "only two flow-meters used".

(62) For injection water

(63) The other pressure vessels and gas regulators are they going to be presented in this chapter or in chapter 2

(64) Volume of gas at atmospheric pressure?

(65) Perhaps you need 4 valves. It depend of how many flow meters you are going to use and your maximum flow rate.

(17)

- (73) If you mount them in a panel, check if the volumes in the tubings (to the panel) affect the test.
- (74) see nr 16
- (75) see nr 64
- (76) I think you need regulators for smaller pressures example about 30 bar and 10 bar
- (77) I think the vessel for packers are going to be heavy. But I think you should make it in the way you have proposed (80 l and 80 bars) perhaps you can make the vessel smaller for HV (when you know all the things about seating-volumes ^{for packers} and elasticity of the hoses). You can get a better resolution of the volumes needed for inflation and the deflation if the diameter is small.
- (78) The cannula was made of stainless steel
- (79) The values depend of the crossed packers.

(18)

(80) As I told you in Fax 26/11-93 I think this test is not so use full

(81) I understand what you mean but perhaps you must make it more clear

(82) If you refer to the text just above... The formula is for the test with packers

$$\Delta V = p \cdot V \cdot c_w + \Delta V_r + \Delta V_m$$

When you make the same test with only steel pipe and water you can estimate ΔV_m

(83) If you are going to estimate the C_{eff} for the field tests you use these formulas

$$\Delta V = \Delta p \cdot V \cdot c_w + \Delta V_m$$

$$C_{eff} = \frac{\Delta V}{\Delta p} \cdot \frac{1}{V}$$

(84) This test is only some kind of check of the pressure-responses when you make a simulator pulse test with a cannula you can evaluate

(19)

and compare the evaluated values with the value you got from a steady state test.

Test 5 I think you should make some tests of the sealing pressures.

S.1 At which pressure does the packer receive the outer diameter. Check in a pipe when you can move the packer.

S.2 Seal the packer with the recommended overpressure and increase the differential pressure over the packer in steps, until you get a leakage. Wait one hour on every step.