

# **enresa**

empresa nacional de residuos radiactivos, s.a.

## **UNIDADES MOVILES PARA CARACTERIZACION HIDROGEOQUIMICA**

**PUBLICACION TECNICA NUM. 08/94**

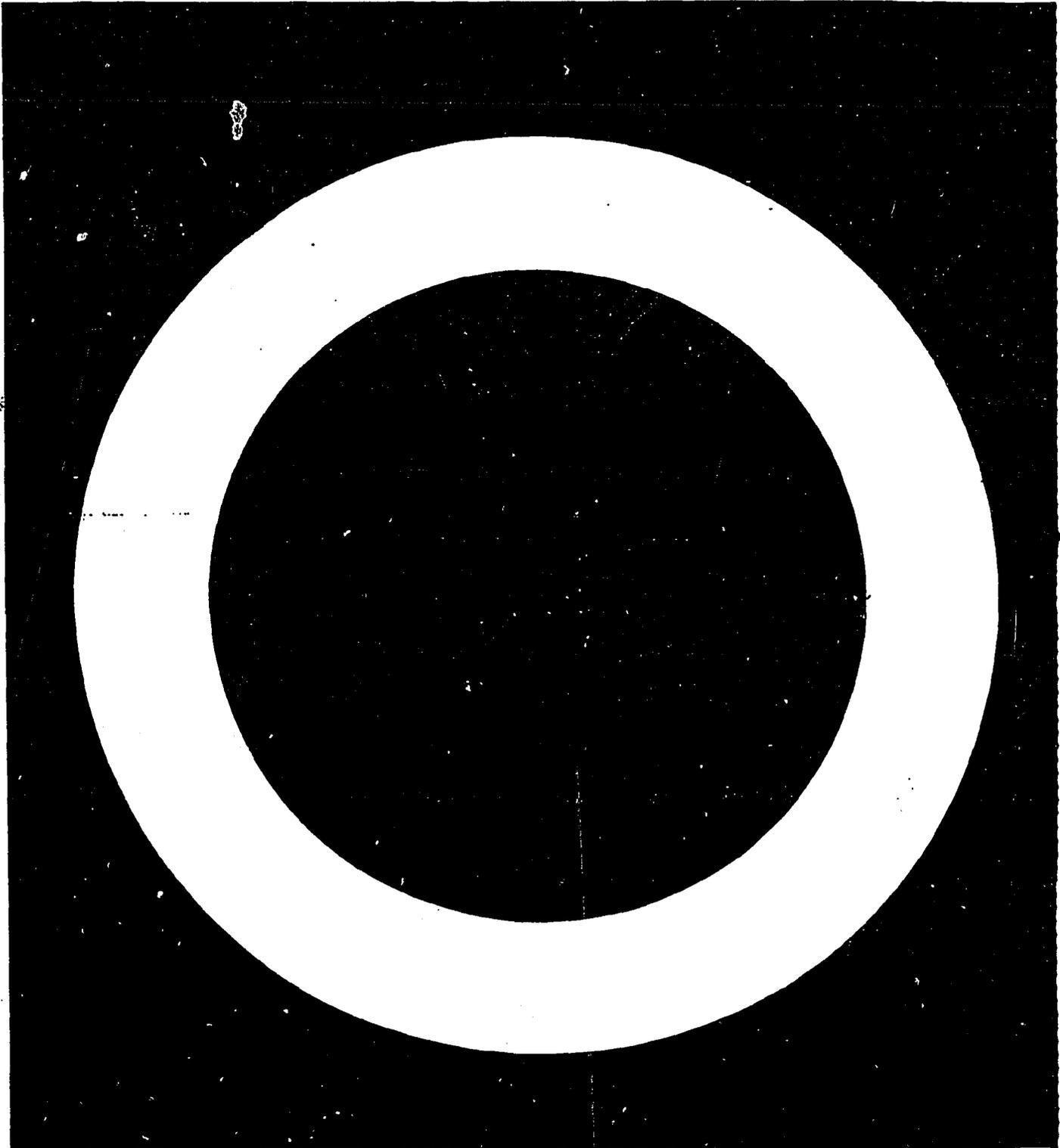
**UNIDADES MOVILES  
PARA CARACTERIZACION  
HIDROGEOQUIMICA**

P. Gómez  
B. Martínez  
M<sup>a</sup> J. Turrero

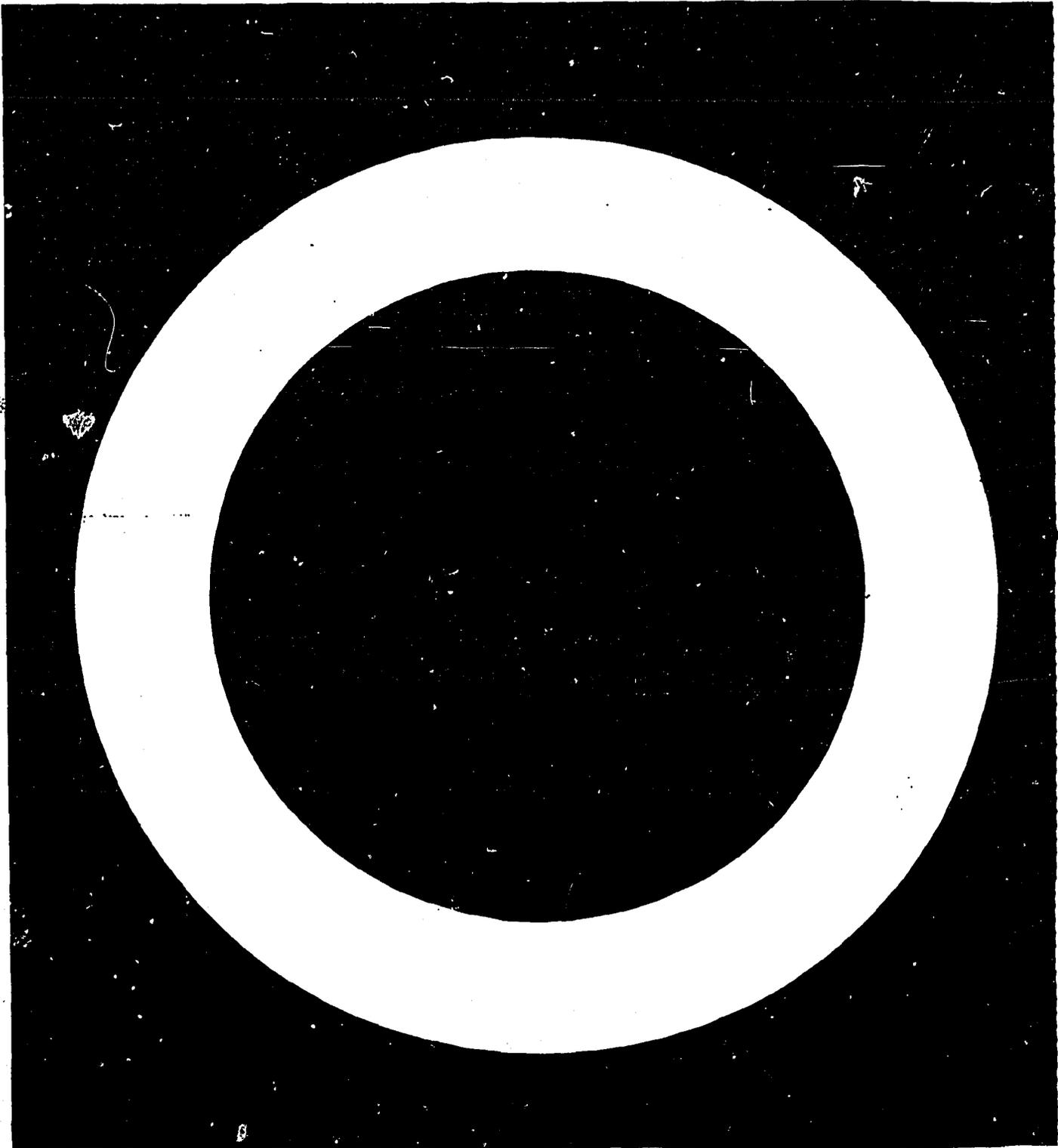
*División de Técnicas Geológicas  
Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas  
(CIEMAT)*

### **AGRADECIMIENTOS**

*Este proyecto ha sido llevado a cabo con la financiación de ENRESA y CIEMAT. Agradecemos a todo el personal de las Divisiones de Técnica Geológicas, Química, Talleres Generales y Electrónica del CIEMAT su estrecha colaboración en la ejecución de este proyecto.*

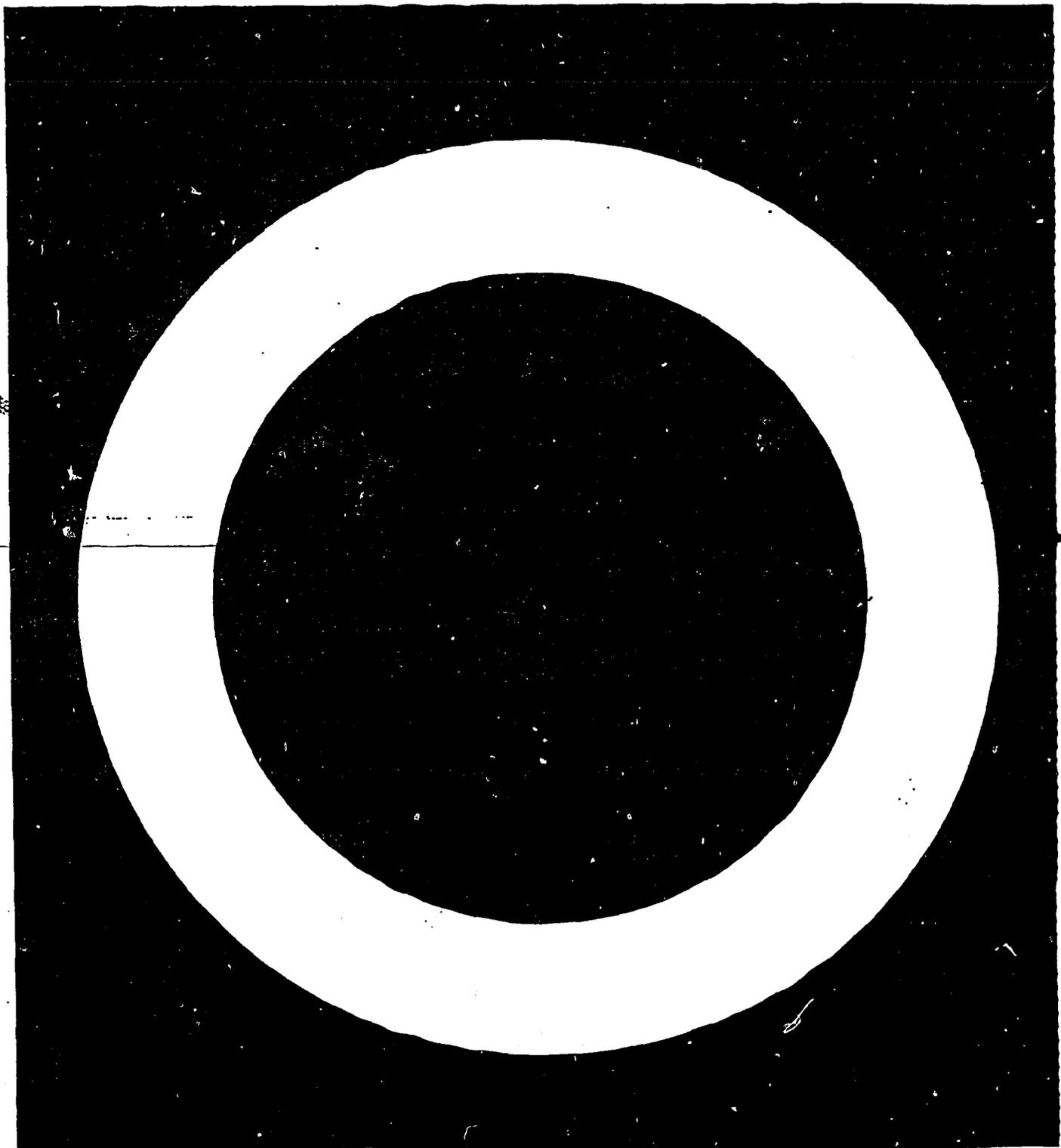


# INDICE



<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1. ¿POR QUÉ SE CREAN LAS UNIDADES MOVILES?</b> .....	<b>5</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>9</b>
<b>3. VARIABLES ANALITICAS A DETERMINAR</b> .....	<b>13</b>
<b>4. ESQUEMA DE TRABAJO DE LA UNIDAD MOVIL</b> .....	<b>17</b>
4.1. Selección de las zonas preferentes de muestreo. ....	19
4.2. Sistemas de obturación y muestreo .....	19
4.3. Limpieza del sondeo .....	19
4.4. Caracterización química .....	20
<b>5. VEHICULOS QUE COMPONEN LA UNIDAD MOVIL</b> .....	<b>23</b>
5.1. Vehículo de muestreo .....	25
5.1.1. Equipamiento general .....	25
5.1.2. Instrumentación y parámetros a determinar .....	25
5.2. Vehículo de análisis .....	26
5.2.1. Suspensión especial y carrozado .....	26
5.2.2. Equipo de nivelación .....	27
5.2.3. Equipamiento general .....	27
5.2.4. Instrumentación analítica .....	28
5.2.5. Adquisición de datos .....	30
5.2.6. Toma y preparación de muestras .....	30
5.2.7. Determinaciones analíticas .....	30
5.2.7.a. Determinaciones espectrofotométricas .....	30
5.2.7.b. Determinaciones cromatográficas .....	31
5.2.7.c. Determinaciones potenciométricas .....	31
5.2.8. Interpretación de los resultados obtenidos .....	32
<b>6. REFERENCIAS</b> .....	<b>55</b>

# INTRODUCCION



El agua es el medio natural de transferencia de los componentes químicos en la geosfera y sus características físico-químicas están controladas por los procesos de interacción agua-roca. La caracterización de las condiciones hidroquímicas que existen en las aguas subterráneas, forma una parte importante de los estudios que se han de realizar sobre la seguridad de los posibles almacenamientos de residuos radiactivos. Estas investigaciones aportan los conocimientos necesarios sobre la influencia que ejercen las variaciones en la composición química de las aguas, su edad, la existencia o no de frentes redox, etc., y sobre la posible migración de sustancias radiactivas en profundidad. Los fenómenos de sorción-desorción de los radionucleidos con la roca, así como el papel que juegan los coloides y las partículas en suspensión del agua en los fenómenos de transporte de estas sustancias, son estudios que se han de llevar a cabo y que realzan el papel prioritario que la hidrogeoquímica tiene en relación con las investigaciones relacionadas con los emplazamientos de residuos radiactivos.

La importancia de realizar los estudios de caracterización de los parámetros geoquímicos más críticos *in situ*, se debe a que el agua subterránea, cuya composición química se halla en equilibrio con su entorno mineralógico y se encuentra sometida a unas condiciones de presión y temperatura debidas a la profundidad, verá perturbado este equilibrio al ser elevada a la superficie, ya que se producen modificaciones en la presión parcial de los gases disueltos, en la temperatura y sobre todo en el quimismo de las fases iónicas más sensibles a los procesos de oxidación-reducción. La aplicación de las técnicas quimiométricas y de los códigos de especiación geoquímica a las aguas subterráneas, ha puesto de manifiesto el exhaustivo control de calidad al que se han de someter las muestras. Los parámetros de control analítico, como los balances de masas y las relaciones entre las conductividades eléctricas medidas *in situ* y las calculadas a través de las concentraciones iónicas medidas en el agua, son algunos de los que se utilizan habitualmente en la evaluación de la calidad de las aguas.

Los procesos que producen algún tipo de alteración en las aguas subterráneas pueden ser solventados, en cierta medida, con la caracterización de las aguas en laboratorios móviles, que acercan las técni-

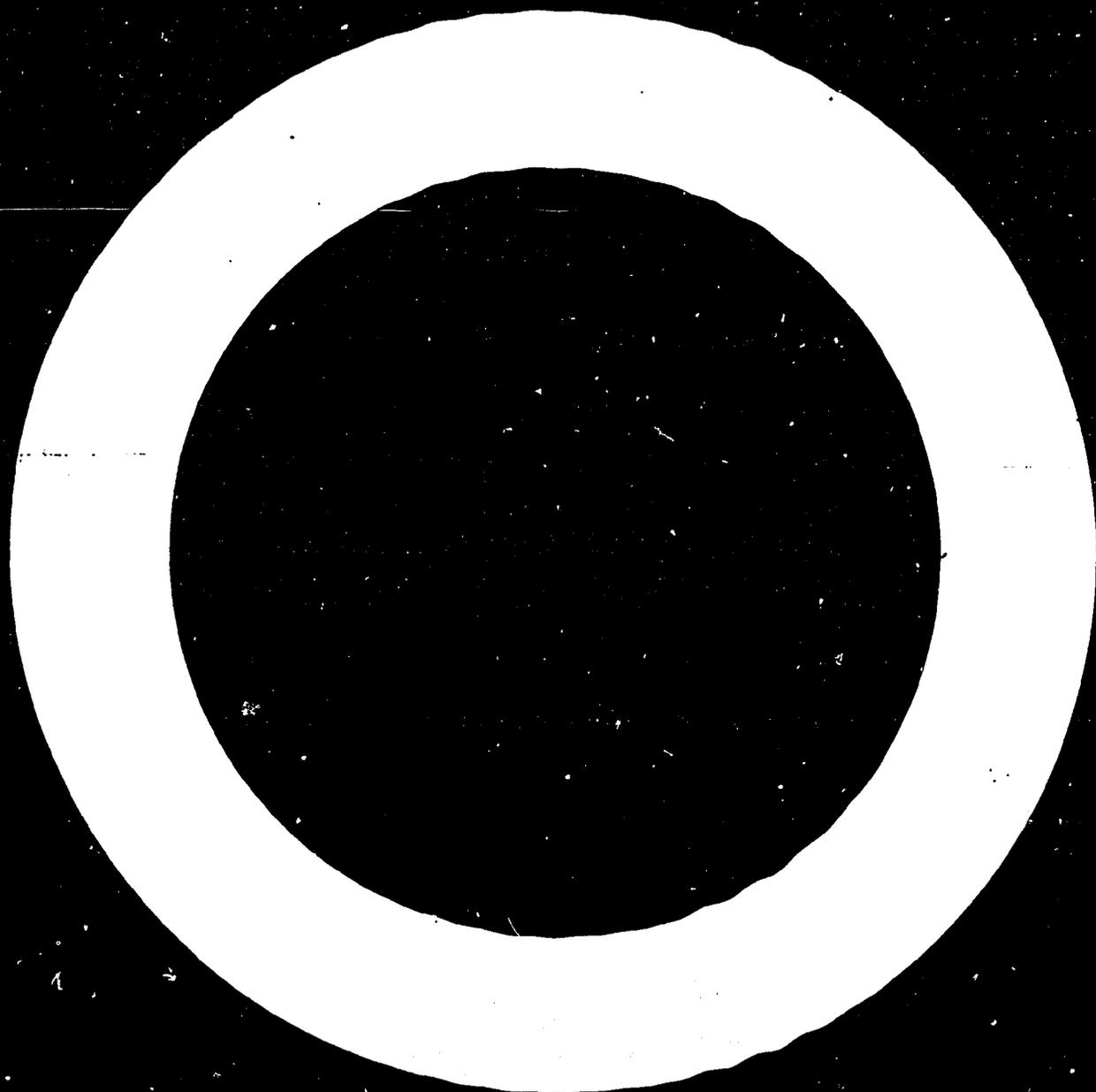
cas de análisis cuantitativo a las condiciones reales del agua, evitando la alteración que se produce durante el transporte de las muestras.

Otra de las ventajas que presentan las unidades móviles es la obtención inmediata de las características químicas investigadas. Este hecho permite evaluar la calidad de las muestras obtenidas y, en caso de no ser representativas, se tiene la posibilidad de iniciar nuevamente el muestreo. Se eliminan así los inconvenientes que se presentan cuando los resultados analíticos se obtienen varias semanas después de finalizado el muestreo.

El desarrollo de las unidades móviles de caracterización hidrogeoquímica ha sido el objetivo de numerosos programas de investigación (Almen et al., 1986), (Ohberg et al., 1991), (Almen et al., 1991), llevados a cabo por diversos países interesados en el estudio de almacenamientos de residuos. ENRESA-CIEMAT ha llevado a cabo el desarrollo de una unidad móvil (Hernández et al., 1991), (Gómez et al., 1992), (García et al., 1992), que será empleada en las diversas fases de los programas de estudio de las áreas y zonas favorables, preferentes y potenciales.

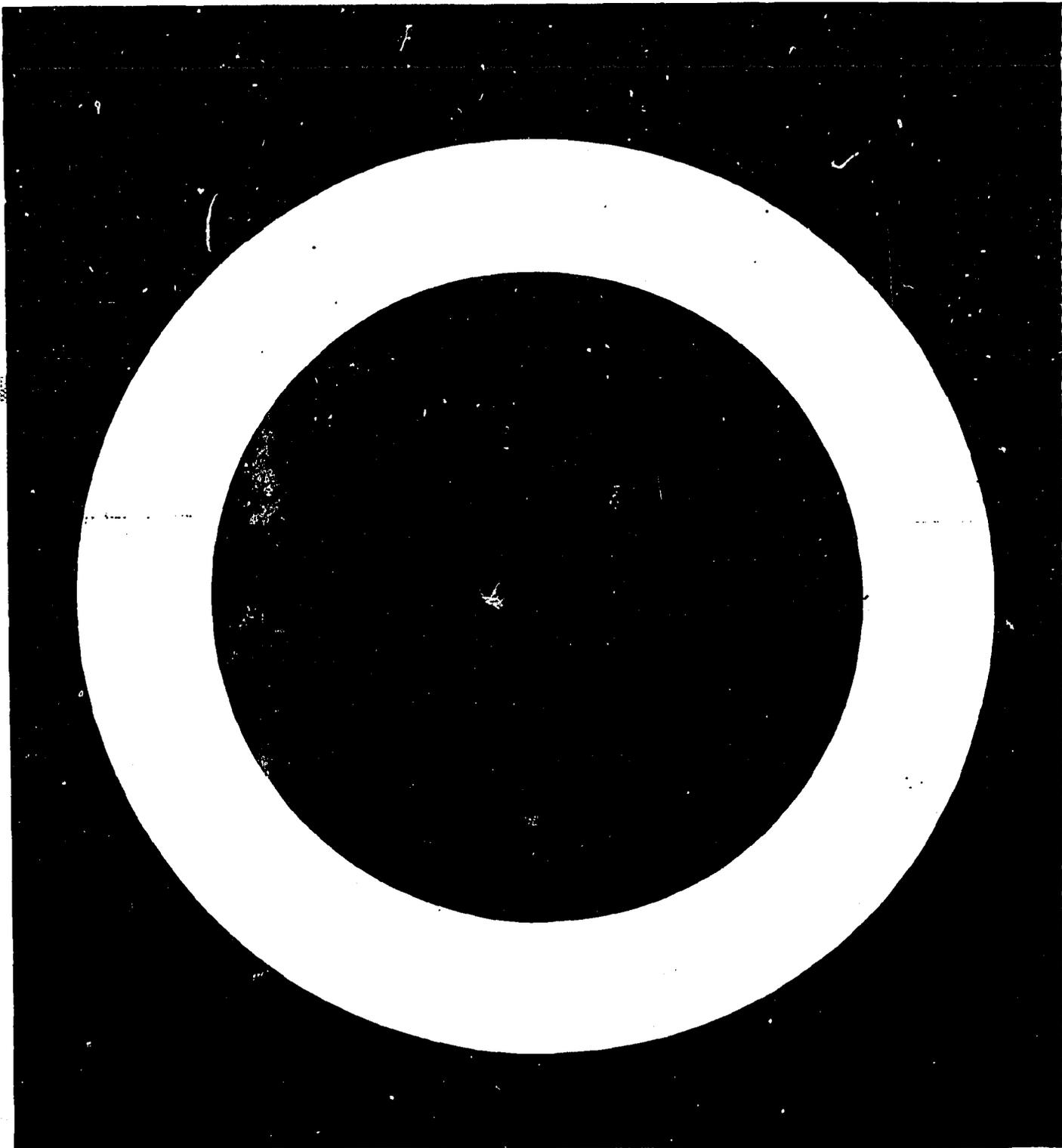
La información que debe reunir una unidad móvil durante el estudio de las aguas subterráneas, debe ser lo suficientemente amplia como para poder disponer de todos aquellos parámetros que permitan entender y modelizar el conjunto de los procesos que configuran el ambiente hidrogeoquímico de la zona de estudio o emplazamiento elegido. Para llevar a cabo este objetivo, es imprescindible disponer de técnicas que suponen un gran desarrollo tecnológico.

El proyecto de construcción en España de una unidad móvil de caracterización hidrogeoquímica ha sido desarrollado con la colaboración de las entidades ENRESA y CIEMAT. El diseño de la unidad móvil ha sido realizado en CIEMAT, basado en las necesidades suscitadas en los proyectos de investigación que se están llevando a cabo y en la experiencia que sobre muestreos de aguas subterráneas se tenía, tanto en CIEMAT como en otros países que realizan actividades semejantes a las aquí desarrolladas. Actualmente la unidad se encuentra operativa y desarrollando sus funciones de muestreo y caracterización de aguas profundas *in situ*.



# 1

## ¿POR QUÉ SE CREAN LAS UNIDADES MOVILES?



Los estudios de caracterización, desde un punto de vista hidroquímico, de un emplazamiento de residuos radiactivos, conducen a la obtención de un modelo hidrogeoquímico que no es sino la aproximación conceptual real tridimensional de las facies hídras de una formación geológica. Como parece evidente pensar, el modelo hidrogeoquímico no es más que el resultado del conjunto de procesos que se producen entre las fases acuosas y sólidas en contacto. Estos procesos son numerosos y podrían clasificarse en: procesos químicos puros, disolución, precipitación, hidrólisis, etc.) y otros como alteración, oxidación, reducción. Cada uno de ellos, independientemente considerado y en su conjunto, puede tener una gran importancia en el comportamiento de los radionucleidos en su estado natural. Así, se puede citar el efecto que los frentes redox ejercen sobre los radionucleidos

naturales polivalentes, dándoles un carácter hidrolizable análogo a ciertas tierras raras y torios, y se podrían enumerar los efectos de precipitación que tienen los arseniatos, fosfatos y vanadatos sobre los radicales uranilo liberados. Se podría continuar con los procesos de disolución y precipitación de carbonatos, alteración de plagioclasas, dolomitización, etc...

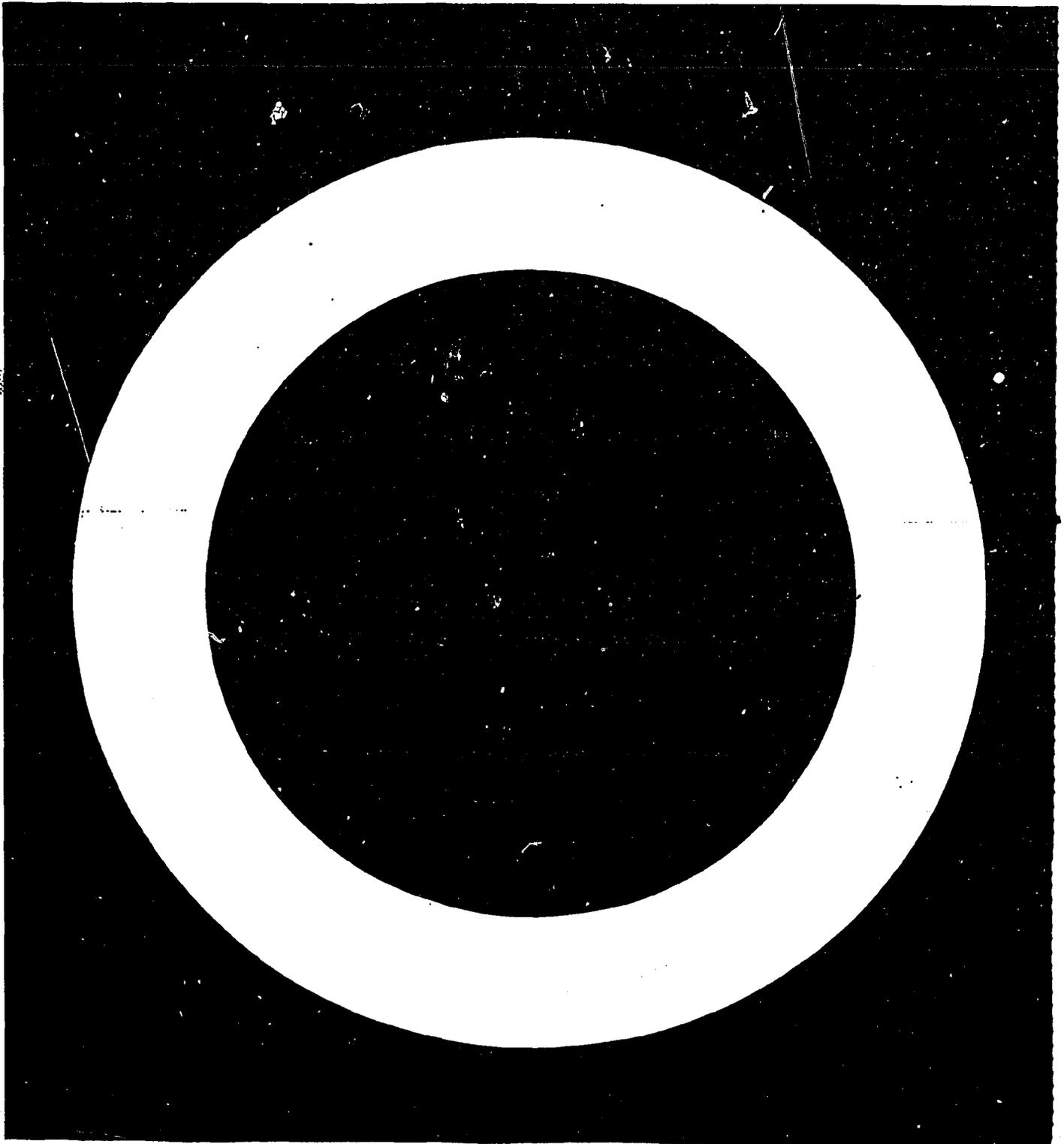
El estudio del conjunto de estos procesos debe ser realizado con datos analíticos de una alta precisión, que sólo pueden obtenerse gracias a la exactitud y prontitud con las que actúan las unidades móviles. Parece por tanto obvio que el futuro de la hidroquímica se desarrolle en este sentido, creando y perfeccionando los equipos de instrumentación y medida *in situ* e incorporándolos a las unidades móviles de caracterización hidrogeoquímica.

D



# 2

## OBJETIVOS



El desarrollo de unidades móviles de caracterización hidrogeoquímica se realiza con una serie de objetivos, entre los que destaca la preservación de las condiciones naturales de las muestras, ya que se ha comprobado que el transporte de las mismas desde el punto de muestreo hasta los laboratorios donde se realizan los análisis químicos del agua, produce alteraciones en el quimismo debidas a fenómenos de precipitación y oxidación de las especies disueltas en el agua. El minimizar estas alteraciones y determinar la composición química lo más ajustada posible a las condiciones reales del agua, es uno de los muchos objetivos que se plantean a la hora de evaluar la respuesta de las unidades móviles. Con este fin se realiza *in situ* el control de la calidad de las muestras que estará determinada en función de:

- a) La estabilidad del quimismo de las especies iónicas más características de la formación y de los parámetros físico-químicos del agua y
- b) la determinación de la concentración residual de trazadores empleados durante la perforación de los sondeos. Esta variable indicará el grado de contaminación de la muestra a estudiar.

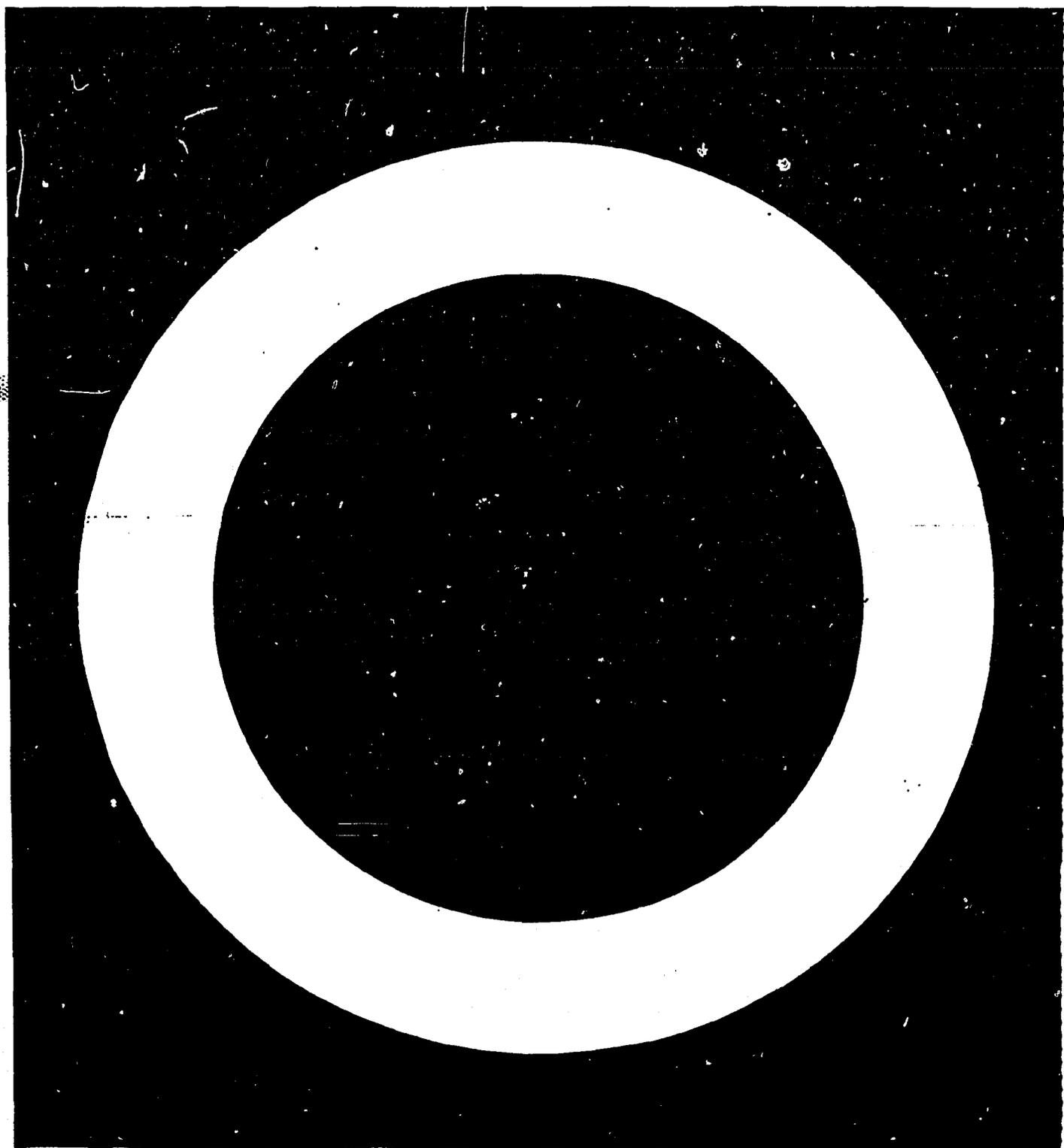
Otro de los objetivos más importantes de las unidades móviles es la determinación *in situ* de los componentes clasificados como muy sensibles y sensibles a los procesos de oxidación-reducción, como son las parejas redox de Fe, N, S, etc... El análisis de estos

iones se debe realizar en cámaras anóxicas, preservando así las muestras de posibles alteraciones. Los iones trazas y los isótopos podrán medirse en los laboratorios centrales tras una preparación y conservación de las muestras en la unidad móvil.

El control automático de los equipos analíticos de las unidades móviles ha permitido minimizar los trabajos manuales que se desarrollan habitualmente en el campo y sustituirlos por operaciones que quedan monitorizadas en los distintos ordenadores de la unidad a través de hardware y programas adecuados compatibles. La interpretación de los datos obtenidos de los diversos análisis realizados en el laboratorio móvil permitirá definir las facies hidrogeoquímicas del área de estudio.

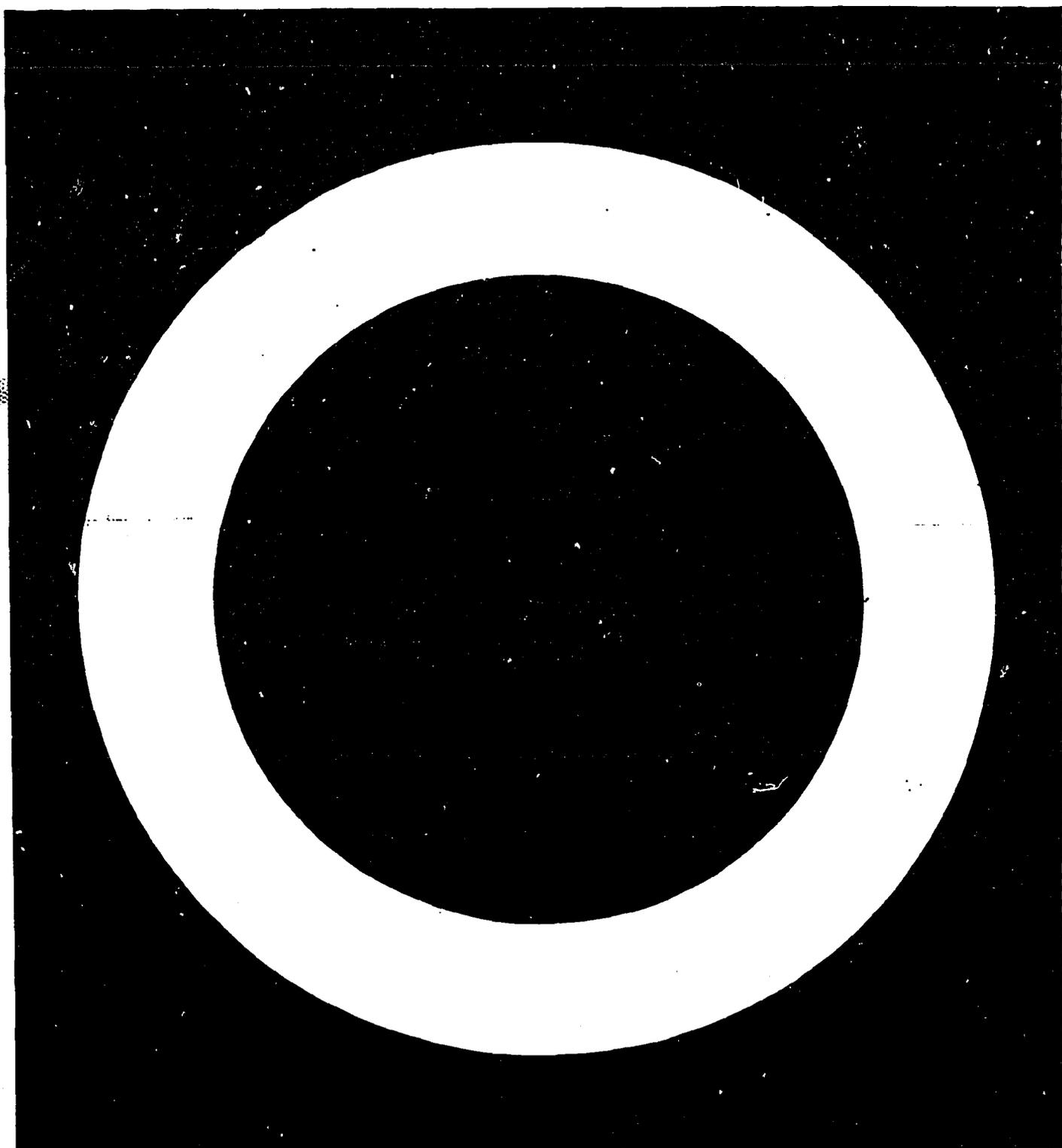
Otro de los objetivos planteados durante el desarrollo del proyecto de creación de la unidad móvil de caracterización hidrogeoquímica, es la versatilidad de actuación en cuanto a diferentes tipos de aguas y de emplazamientos que debe abarcar y estudiar, lo que implica que la unidad móvil ha de tener la instrumentación adecuada y la posibilidad de acceso a todo tipo de emplazamientos, aún en condiciones topográficas difíciles.

Se ha de disponer de autonomía en las operaciones de mantenimiento y reparación de averías y, para ello, los equipos han de ser de fácil mantenimiento y el personal altamente cualificado.



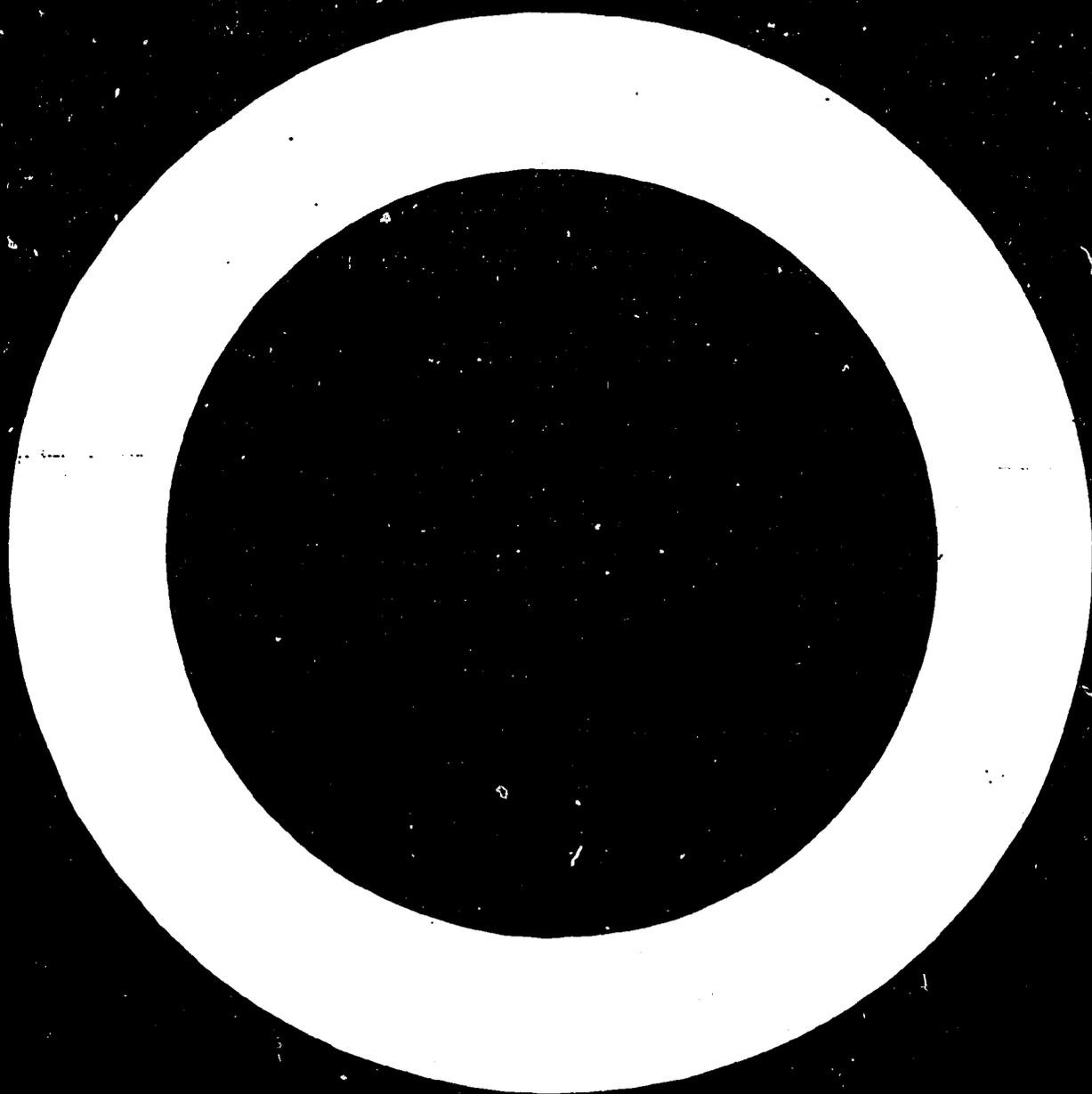
# 3

## VARIABLES ANALITICAS A DETERMINAR



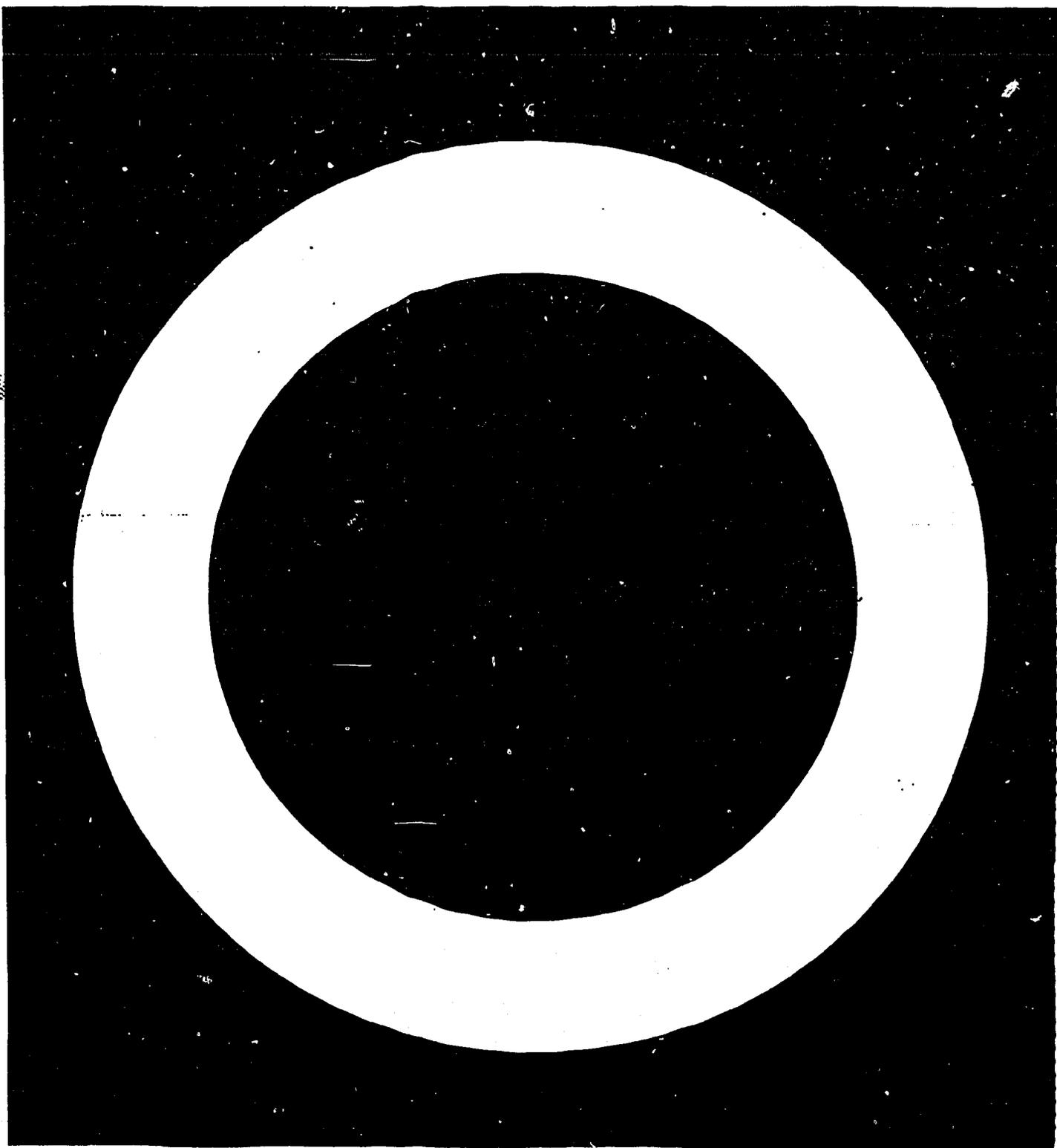
Las variables químicas que se van a determinar *in situ* han de establecerse con un criterio de prioridad en función de lo crítica que sea la variable y su sensibilidad frente a los agentes externos. Ello supone realizar una selección sobre la rapidez y preferencia de la medida de dichas variables. Por ello, una posible clasificación de estos parámetros a determinar es la siguiente:

- a) **Variables muy sensibles:** entre ellas se encuentran los principales parámetros físico-químicos del agua, pH, Eh,  $pO_2$  y  $pCO_2$ . Es necesario medirlos *in situ* mediante sondas geoquímicas o bien en superficie a través de celdas de flujo continuo. Entre estas determinaciones muy sensibles a los agentes externos se encuentran también las caracterizaciones de coloides, bacterias y moléculas orgánicas de alto peso molecular, cuyas preparaciones han de ser inmediatas.
- b) **Variables sensibles:** se pueden clasificar dentro de este grupo la conductividad, alcalinidad,  $CO_3^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$  y las concentraciones de los pares redox Fe(II)/Fe(III),  $SO_4^{2-}/S^{2-}$ ,  $NO_3^-/NO_2^-$  entre otros. Todas las variables descritas son analizadas en la unidad móvil.
- c) **Variables menos sensibles:** son los elementos mayoritarios, tanto de aniones como de cationes, que mediante la técnica de cromatografía iónica son determinados en la unidad móvil. Los elementos traza son analizados en los laboratorios centrales de Madrid, ya que su estabilidad, una vez preservada la muestra, es bastante alta y sus bajas concentraciones requieren técnicas analíticas más sofisticadas que por el momento no se han considerado imprescindibles para incluir entre la instrumentación de la unidad móvil.



# 4

## ESQUEMA DE TRABAJO DE LA UNIDAD MOVIL



El esquema de operación con la unidad móvil para muestrear las aguas subterráneas con la menor alteración posible, está representado en la Figura 1. La unidad móvil está constituida por dos vehículos todoterreno; uno de ellos transporta el material necesario para el laboratorio de superficie y el otro la instrumentación necesaria para realizar el muestreo. Las fases del funcionamiento de la unidad móvil, en una operación como la que desarrolla actualmente caracterizando las aguas subterráneas de un batolito granítico fracturado, se pueden describir en los siguientes pasos:

#### 4.1. Selección de las zonas preferentes de muestreo

La selección de las zonas preferentes de muestreo de aguas se realiza en función de los datos que se obtienen de los estudios geoquímicos, petrográficos, mineralógicos (tanto de la roca como de los rellenos fisurales), sistema de fracturación de la zona y estudios geofísicos e hidráulicos, que aportan los datos necesarios para el conocimiento de los tramos de mayor permeabilidad. Una permeabilidad superior a  $10E-09$  m/s se considera aceptable para el muestreo de aguas. Los resultados de los perfiles hidroquímicos realizados con la sonda geoquímica, forman parte del conjunto necesario para la determinación de las zonas de mayor interés para la caracterización hidrogeoquímica.

#### 4.2. Sistemas de obturación y muestreo

Una vez seleccionadas las zonas preferentes de muestreo de aguas, se instala un dispositivo de obturadores simple o doble en la sección elegida del sondeo. Los obturadores han de ser de un metro de longitud o superior, para asegurar un buen sellado de la zona de estudio. El tramo a obturar debe ser lo más ajustado posible a la zona y la distancia entre los obturadores varía en función de determinados factores:

1. tamaño de la fractura que se haya considerado y
2. grado de alteración o de brechificación del material que limita dicha fractura, ya que el sellado es tanto mejor cuanto más sano sea el material donde se instale el obturador.

Además, cuanto mayores sean los tramos obturados del sondeo, mayor será el volumen de agua aislada, lo que supone un aumento de tiempo para limpiar la zona de posibles mezclas con las aguas de perforación o de otras fracturas hidráulicamente activas. El

muestreo del agua de la zona obturada puede realizarse mediante dos sistemas: el primero está constituido por una bomba sumergible de pistón acoplado al sistema de obturadores. Este sistema permite una elevación máxima del agua de muestreo de hasta 300 m. El varillaje utilizado entre los obturadores es de PVC para evitar cualquier tipo de contaminación que pudiera proceder de un material no inerte como el utilizado. El segundo sistema está basado en el paso del agua del tramo obturado, por diferencia de presión, a través de una válvula unidireccional (Figura 2), a un depósito situado por encima del obturador superior. El agua se eleva hacia la superficie mediante presión de gas, utilizando una mezcla de gases compuesta por un 99% de  $N_2$  de alta pureza y 1% de  $CO_2$ . Este sistema ha sido comprobado hasta los 500 m de profundidad.

Los niveles piezométricos de cada tramo obturado en un sondeo son controlados con sensores de presión. A través de la monitorización de estas presiones de cada tramo podremos conocer la influencia que se ejerce sobre los otros tramos al bombear la zona aislada y, por lo tanto, nos indica si existe o no un buen sellado de la zona de estudio.

El sistema de muestreo de aguas ha ido evolucionando a medida que las adquisiciones de nuevos equipos y tecnología apropiada se han ido incorporando y con ello se ha logrado una sustancial mejora de los resultados más críticos de la química de las aguas subterráneas.

#### 4.3. Limpieza del sondeo

Previo a la caracterización de las aguas del tramo seleccionado, se ha de proceder a limpiar la zona obturada eliminando el agua de mezcla del sondeo. Para ello se bombea el agua de forma continua por algunos de los métodos mencionados anteriormente. Conviene que el agua utilizada durante la ejecución de los sondeos esté "trazada", ya que el seguimiento de la concentración del trazador ayuda a cuantificar el grado de contaminación del agua subterránea por dichos fluidos de perforación. Durante la fase de limpieza del tramo obturado se determina periódicamente la concentración del trazador de forma que el muestreo de agua se realiza cuando sea inferior al 2% de la concentración inicial. En zonas de baja permeabilidad, la limpieza puede durar mucho tiempo, hasta que el contenido de agua entre los obturadores sea reemplazado totalmente por agua de la formación.

Otros parámetros que se controlan durante la fase de limpieza son el pH, Eh, T,  $O_2$  y C.E. El agua bom-

beada durante este proceso ha de ser controlada sin alterar sus condiciones naturales, por lo que se hace imprescindible efectuar la determinación de estos parámetros físico-químicos a través de una celda de flujo continuo y dentro de una cámara de guantes manteniendo las condiciones anóxicas. La concentración de  $O_2$  dentro de la cámara de guantes, no será superior a 200 ppm.

La limpieza del sondeo en un caso ideal conduciría a la disminución progresiva de la concentración del trazador hacia cero y, al mismo tiempo, los parámetros físico-químicos del agua, que presentan en un principio valores característicos de las aguas de perforación, tenderán paulatinamente hacia el agua propia de interacción con la formación. El muestreo de agua se realizaría en el momento en que se alcanzasen estos requisitos.

#### 4.4. Caracterización química

Las determinaciones químicas de los iones clasificados como sensibles y muy sensibles se realiza en el laboratorio de superficie, dotado de la instrumentación analítica precisa para ello. Las muestras que deban ser trasladadas a otros laboratorios para su análisis serán preservadas, en las condiciones requeridas, dentro de la cámara de guantes.

La integración de los resultados obtenidos de la composición química del agua obtenidos, tanto con la sonda geoquímica como con los equipos analíticos, se realiza a través de un microprocesador. La interpretación de los resultados se complementa con el resto de los resultados analíticos no determinados en la unidad móvil.

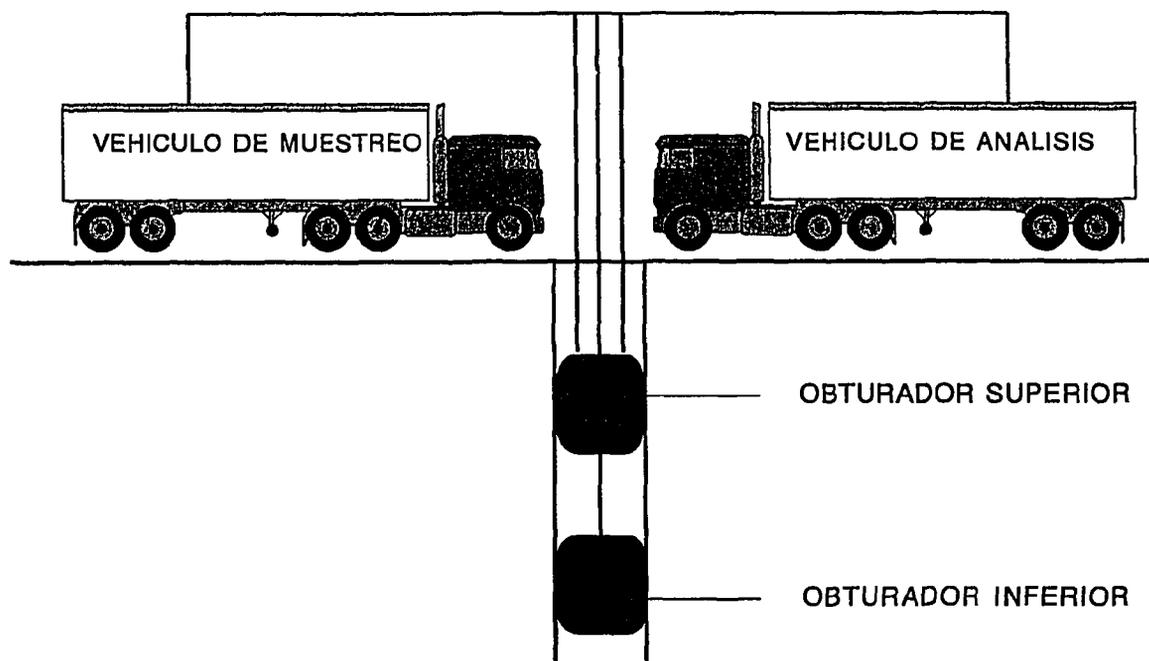


Figura 1  
Unidad Móvil de Caracterización Hidrogeoquímica: Vehículos que la componen (Análisis y Muestreo).

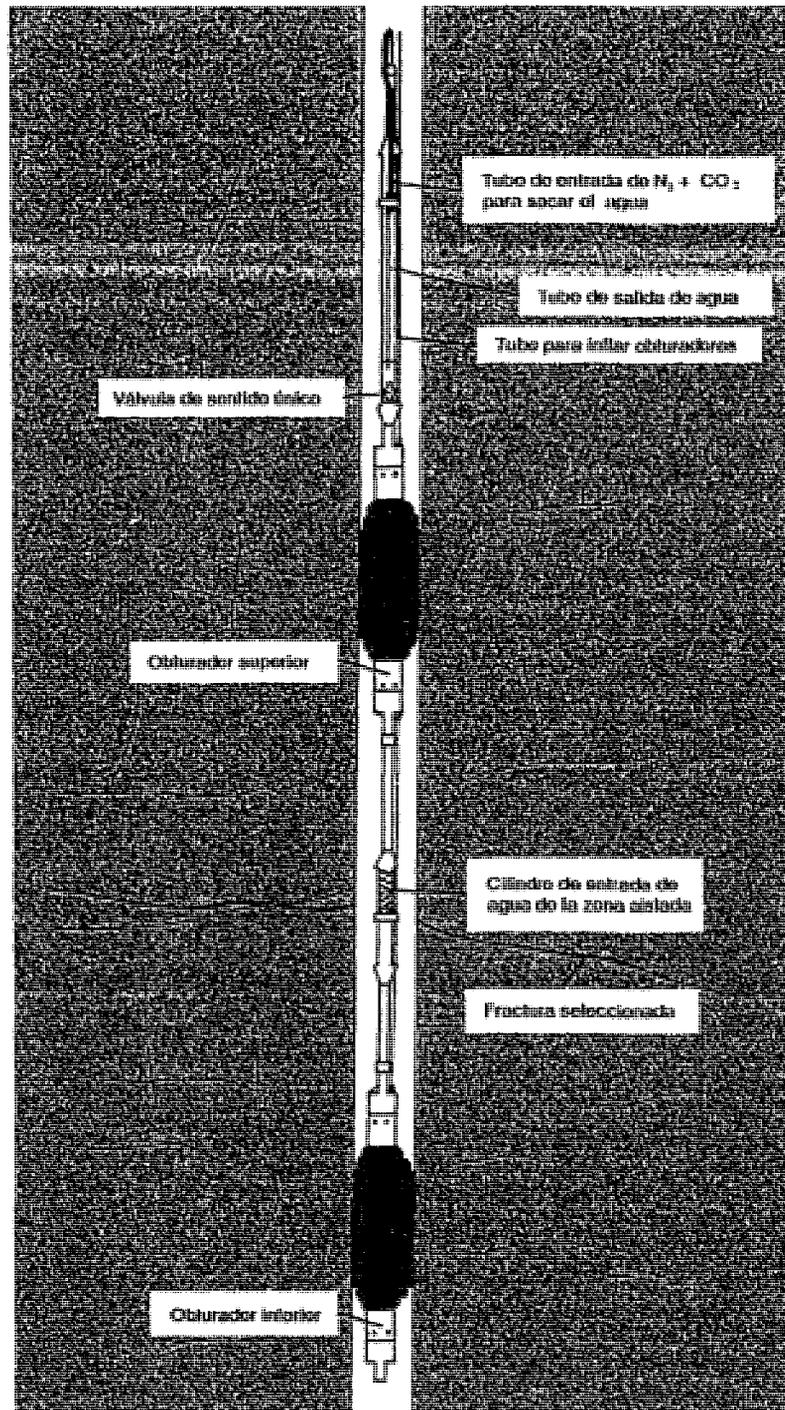
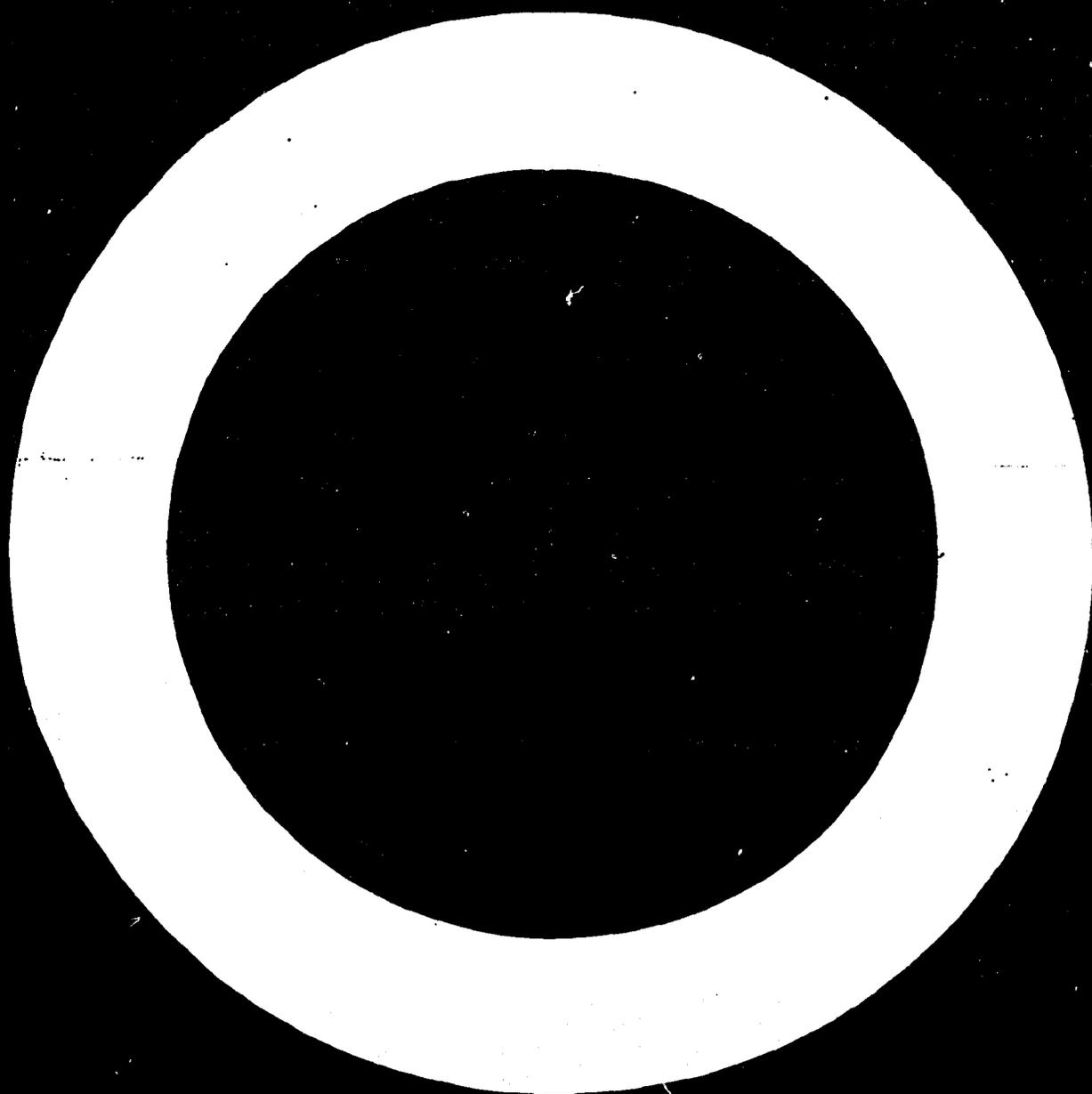
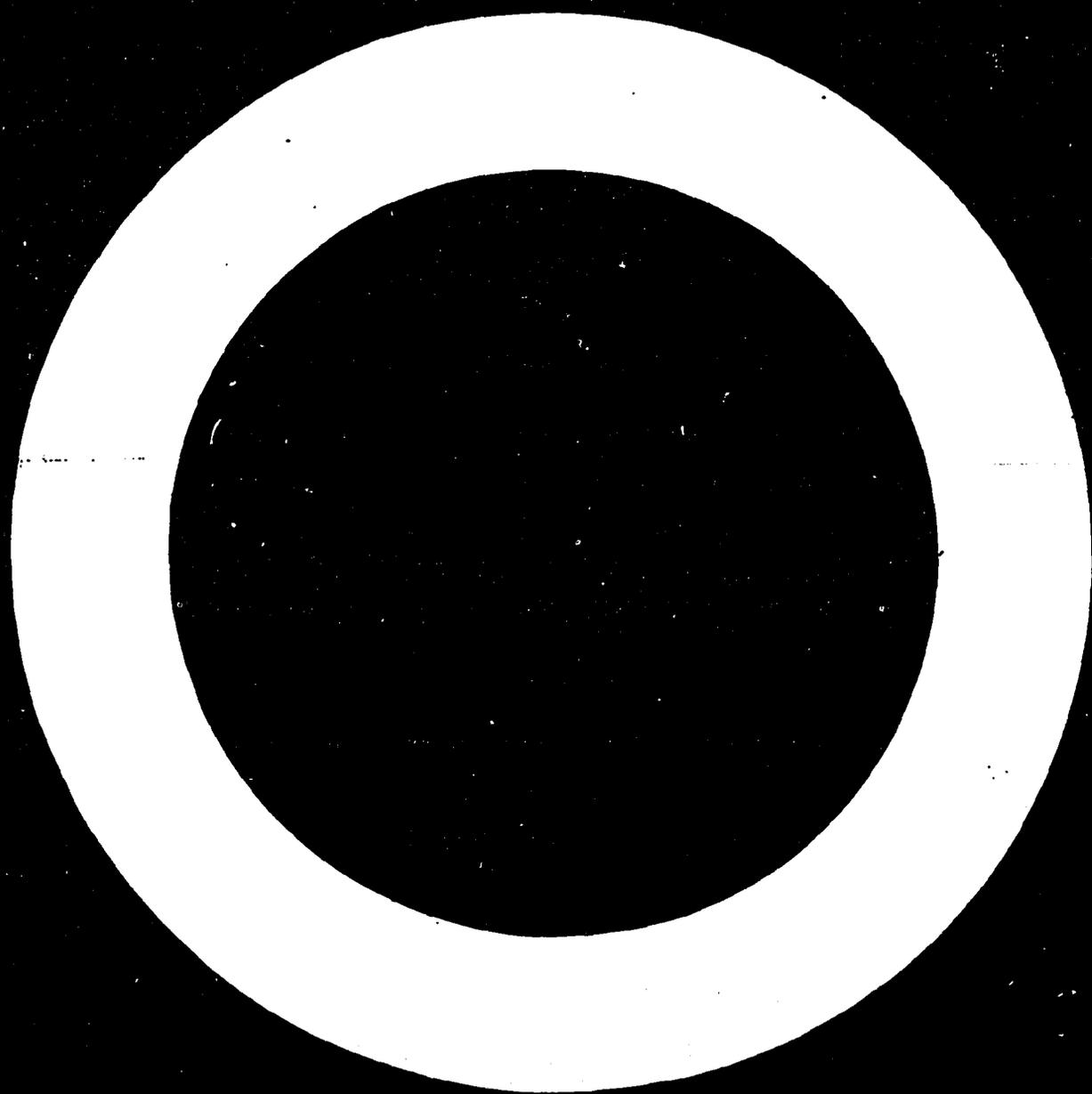


Figura 2  
Sistema de doble obturación utilizado para muestreos de agua subterránea.



# 5

## VEHICULOS QUE COMPONEN LA UNIDAD MOVIL



Las actividades de muestreo y análisis están claramente diferenciadas, aunque son complementarias, y por ello se separan ambas actividades en dos vehículos (Figura 3).

- Vehículo de muestreo: Lleva el material necesario para instrumentar los sondeos, bombear zonas de interés y realizar el control de los niveles en los tramos obturados.
- Vehículo de análisis: Dedicado a cumplir los objetivos de caracterización hidrogeoquímica. Va dotado de instrumentación analítica muy sensible, así como de equipamiento propio de laboratorio.

La unidad móvil se completa con un vehículo de apoyo para el personal en sus traslados y para transportar las muestras de agua y concluir los análisis necesarios en los laboratorios centrales del CIEMAT.

La elección de los vehículos se ha realizado basada en las exigencias necesarias para trasladar todo el equipamiento por cualquier tipo de terreno. Para ello, los dos vehículos principales cuentan con una carrocería y amortiguación especiales, además de jugar un papel primordial la relación entre los espacios carrozables, dimensiones exteriores y carga útil. La elección ha sido un vehículo todoterreno medio URO F.14.14 modelo F.14.14-13 A/E de 5.861 centímetros cúbicos y 138 CV. El vehículo de apoyo es un Nissan Patrol Largo de 6 cilindros.

## 5.1. Vehículo de muestreo

El objetivo principal de este vehículo es la obtención de muestras de agua de zonas hidráulicamente activas, aisladas mediante el sistema de obturadores, así como realizar los ensayos específicos para determinar las características hidráulicas de la zona de estudio.

### 5.1.1. Equipamiento general

El furgón tiene unas dimensiones útiles de 4.000 x 2.000 x 2.200 mm, con una puerta trasera de doble hoja para facilitar la apertura completa del furgón. Lleva instalada una grúa elevadora de 750 -1.000 Kg para la carga y descarga del material que transporta (Figura 20).

La carrocería es un doble entramado de perfiles de chapa entre los que se sitúa una capa de poliuretano expandido para aislar al furgón térmica y acústicamente, revestido tanto el interior como el exterior de láminas de aluminio remachado.

En un lateral del furgón lleva instaladas dos 2 botellas de gas, con ventilación al exterior, útiles para el inflado de obturadores. Dentro del furgón se dispone de un banco de trabajo, con encimera plegable, para situar el ordenador. En viaje irá plegado para permitir más espacio y almacenar toda la instrumentación que este vehículo debe transportar. También dispone de armarios de herramientas de todo tipo, cuerdas, poleas, cables, varillajes, castilletes, obturadores..., (Figura 21) material que puede resultar de gran ayuda para solucionar los problemas que se puedan presentar en las campañas de campo. En ambos laterales lleva unas trampillas con perfil de goma para el paso de cables.

En la parte delantera, situado entre la cabina del camión y el furgón, transporta un grupo electrógeno de 16.2 KVA, diesel, (Figura 22) que suministra energía eléctrica a 220 V, tanto a los equipos como para la iluminación interna del camión y el aire acondicionado.

### 5.1.2. Instrumentación y parámetros a determinar

El vehículo llevará todo el material imprescindible para conseguir los objetivos principales que se deben cumplir en el programa hidrogeoquímico:

- Instrumentar el sondeo para llevar a cabo algunas operaciones hidrogeológicas.
- Aislar adecuadamente la zona del sondeo.
- Bombear agua de la zona de interés.
- Realizar ensayos hidráulicos: slug test, ensayos a nivel constante, etc.

Tanto para los ensayos hidráulicos como para la instrumentación de los sondeos, el vehículo transporta:

- Transmisores de presión (de 6 a 60 bares) conectados a data loggers que permiten medir las variaciones de los niveles de agua en los tramos obturados, en función del tiempo, así como almacenar estos datos (Figura 23).
- Obturadores neumáticos de un metro de longitud de zona de sellado y piezas de conexión entre los obturadores y la bomba a pistón (Figura 24).
- Cabrestantes de cable de acero, con tres bobinas intercambiables de 300 metros de cable cada una, con conductores internos y diámetro del cable de 6 mm.
- Cabrestante de cable de acero de 1.000 m de longitud, conductores internos, de 8 mm de

diámetro, indispensable para introducir obturadores, bombas....

- Trípodes extensibles y desmontables de acero de 3 y 6 metros..
- Bombas sumergibles a pistón, Bennet con capacidad para elevar el agua hasta 300 metros. (Figura 25).
- Bombas sumergibles, Grunfos, para elevar el agua hasta 80 metros.
- Compresor de aire rotativo, hasta 12 bares, indispensable para el funcionamiento de las bombas.

Para la adquisición de datos se cuenta con un ordenador Tandon Notebook 386/sx y un Macintosh de 40 Mb, así como todo el software original correspondiente (Figura 26).

### 5.2. Vehículo de análisis

Se trata de un vehículo todoterreno medio URO, como se ha indicado previamente, con las modificaciones realizadas en fábrica según los requerimientos exigidos. Como se puede observar en la Figura 4, el vehículo, antes de comenzar su carrozado, fue sometido a unas rigurosas pruebas, tanto de potencia del motor como de acceso a zonas con pendientes elevadas. Estas pruebas fueron realizadas en la fábrica URO y supervisadas por el equipo técnico de CIE-MAT. El vehículo tiene unas dimensiones externas de 4,17 x 2,34 x 2,14 m. A continuación se describen las características generales del vehículo para finalizar, con las características de los equipos analíticos que se han incorporado a la unidad móvil.

#### 5.2.1. Suspensión especial y carrozado

Como ya se ha comentado anteriormente, este vehículo debe cubrir las necesidades de transporte de la instrumentación analítica por cualquier tipo de terreno, por lo que se ha tenido que desarrollar un sistema de amortiguación especial que asegure la estabilidad de la delicada carga que incorpora. La suspensión está constituida por dos conjuntos básicos:

- La suspensión propia del vehículo, compuesta de ballestas elípticas convencionales y ballestín para una carga ligera de 4.500 Kg y la adecuada rigidez para el transporte de la carga en todoterreno.

El eje delantero va provisto, además, de amortiguadores hidráulicos, mientras que el trasero

está dotado de una barra de torsión para aminorar las inclinaciones del conjunto al transitar por terreno irregular.

- La suspensión propia del carrozado está constituida por seis cojines neumáticos (Figura 5) dispuestos tres a tres a ambos lados del chasis, soportando un sobrebastidor auxiliar sobre el que descansa el carrozado propiamente dicho. Su función es complementar el efecto amortiguador de las ballestas y neumáticos del vehículo por medio de los cojines neumáticos debidamente presurizados, de forma que el resultado final es una amortiguación mucho más suave de la masa suspendida. El conjunto amortiguador neumático va auxiliado por dos barras de torsión centrales y otras dos extremas, además de otro par de conjuntos de barras de tracción-compresión destinadas a absorber los esfuerzos que se deriven de aceleraciones, frenadas y desplazamientos en curvas; tiene además seis limitadores de carrera.

El carrozado queda firmemente anclado pero totalmente libre para movimientos verticales y de cabeceo.

En el salpicadero del vehículo existe un cuadro de mandos constituido por un manómetro y un manorreductor para cada lateral, de forma que los tres cojines de cada lado tienen una alimentación de presurización independiente. Mediante este sistema se pueden compensar las diferencias de carga del conjunto del carrozado, permitiendo una banda de amortiguación desde 400 a 1.500 CPM con un porcentaje de aislamiento que oscila entre el 75 y el 98,5%.

No obstante, en el diseño del vehículo se ha procurado que la carga sobre el carrozado quede simétricamente repartida, tanto en el sentido longitudinal como en el transversal, para que aumente, aún más, la suavidad de marcha del conjunto.

Sobre el chasis del vehículo se dispone la carrocería del furgón. Esta consiste en un doble entramado tubular de perfiles interiores de 40 x 30 x 1,5 mm y exteriores de 40 x 30 x 1,5 mm, con soldaduras en todas las uniones de perfiles y con refuerzos en aquellos puntos en los que se tengan que soportar los equipos más pesados. Sobre estos entramados tubulares se disponen los revestimientos interiores y exteriores del furgón, de aluminio de 1,5 mm fijados mediante remaches (Figura 6).

Para conseguir un perfecto aislamiento térmico entre el interior y el exterior, se colocan planchas de poliuretano expandido en los huecos existentes entre ambas estructuras tubulares. El entramado tubular tiene un grosor aproximado de 70 mm.

### 5.2.2. Equipo de nivelación

El vehículo va provisto de cuatro gatos hidráulicos niveladores de la unidad. Estos se accionan en terreno irregular o en pendientes pronunciadas de media ladera.

El equipo consta de una toma de fuerza en caja de cambio que acciona una bomba hidráulica, alimentada desde un depósito auxiliar por medio de los correspondientes distribuidores que permiten el accionamiento individual de los cilindros hidráulicos. La nivelación correcta del conjunto se controla por medio de un nivel de burbuja situado al lado de los mandos distribuidores. (Figura 7).

### 5.2.3. Equipamiento general

Además de la instrumentación analítica y material de laboratorio son necesarios una serie de complementos para poder trabajar en el vehículo de análisis. Este equipamiento general consta de:

- **Frigorífico** para la adecuada conservación de muestras y reactivos. Va alimentado por una pequeña instalación fotovoltaica que asegura su funcionamiento en continuo, sin necesidad de realizar prácticamente ningún tipo de mantenimiento. La instalación consta de cuatro módulos fotovoltaicos de alta eficiencia, un acumulador tipo monobloc y un regulador de carga tipo serie, con relé de estado sólido para la conmutación del circuito de carga, con alarma y desconexión automática por tensión baja de batería, para evitar una descarga excesiva del acumulador que podría producir daños irreparables en su capacidad útil. En el regulador van montados un voltímetro que indica el estado de carga y un amperímetro, que marca en todo momento la intensidad de carga que suministran los módulos fotovoltaicos al acumulador. Todo ello es de la marca ATERSA, (Figura 8).
- **Extractor de humos y ventilador** con funcionamiento a 220 V, para asegurar la renovación de aire dentro de la unidad.
- **Instalación de gases.** Dos botellas de gas van alojadas en la parte trasera del vehículo, con ventilación exterior. En el interior existen dos líneas independientes, una de nitrógeno puro o helio, según las necesidades, y otra para mezcla de gases ( $N_2 + 1\% CO_2$ ), (Figura 9).
- **Grupos electrógenos.** El vehículo de análisis lleva instalados dos grupos trifásicos diesel de 8 KVA cada uno, con salida de 220 V. Se encuentran situados en cada lateral de la zona delantera del carrozado, con rejillas exteriores de ventilación. El interior del alojamiento se encuentra panelado con aislante acústico y contra vibraciones, por si es necesario ponerlos en funcionamiento sin bajarlos del vehículo. Los grupos electrógenos se descenden del camión mediante un sistema de trócola manual. Estos grupos se alimentan de un tanque de combustible independiente del general del camión y que se encuentra situado en el frontal del carrozado (Figura 10).
- **Aire acondicionado frío/calor.** Instalados en el techo de la parte delantera uno y de la trasera el otro, tienen una potencia de 3.400 kcal/h en frío y 1400 kcal/h en calor con funcionamiento a 220 V.
- **Alumbrado.** Consta de seis tubos fluorescentes con tulipa de difusión y enchufes para cubrir las necesidades de todos los equipos.
- **Red de distribución de energía eléctrica.** Consta de dos entradas exteriores independientes de 220 V (una para cada grupo electrógeno), conmutables pero no simultáneas. Cada grupo electrógeno alimenta todo el sistema eléctrico del laboratorio, utilizando dos fases para los dos equipos de aire acondicionado y la tercera fase alimentaría al SAI (sistema de alimentación ininterrumpida), alumbrado y bomba de agua. Toda la instalación va protegida por un diferencial correctamente dimensionado con interruptores magnetotérmicos instalados en una caja en el frontal del laboratorio, en la que se incluye también un voltímetro, un amperímetro por fase, un conmutador de grupos y el interruptor de la bomba de agua. La instalación también posee una toma de tierra, mediante una pica de cobre, que debe instalarse antes de conectar algún equipo del laboratorio.
- **Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI).** Las principales características de este sistema son: una tensión de entrada y salida de 220 V; 3.000 W de potencia con protecciones por sobrecarga, cortocircuito y sobretemperatura y baterías tipo plomo ácido, sin mantenimiento, con una vida media de 5 años y una autonomía al 100% de carga de 10 minutos.
- **Depósito de agua limpia.** Va provisto de una bomba eléctrica que suministra agua al fregadero y a la línea de tratamiento de agua (desionizador y purificador) Es un depósito de acero inoxidable situado en la parte posterior del ca-

mión, formando parte del carrozado del vehículo y con una capacidad aproximada de 700 litros. Este depósito es accesible desde el exterior tanto para el llenado como para el vaciado y rebose. En el interior del laboratorio existe un nivel para controlar el volumen de agua que contiene. El interior del depósito posee una serie de láminas soldadas que actúan de rompeolas, impidiendo que la totalidad de la masa de agua se desplace bruscamente de un lado a otro del depósito.

- **Fregadero de polipropileno.** El fregadero se encuentra encastrado en la encimera del laboratorio. Debajo de él existe un depósito también en polipropileno para el agua residual del propio fregadero, así como para la línea de desagüe de los equipos analíticos, que es conducida por el interior del camión con una cierta pendiente hasta llegar a dicho depósito. Su capacidad aproximada es de unos 75 litros, con salida al exterior por la parte inferior del camión.
- **Puertos de muestreo,** para la entrada de agua procedente del sondeo. Se trata de dos entradas laterales de acero inoxidable situadas a ambos lados del furgón y una salida por la parte inferior de éste.
- **Mobiliario.** Está dispuesto en los laterales del laboratorio, dejando un pasillo central. Las encimeras son de resina sintética especial antiácido y el resto del mobiliario está construido con estructura tubular interior recubierta de formica.
- **Ventanas.** Se encuentran situadas en el lateral derecho del furgón laboratorio con cristal doble, cámara de aire tipo climalit y son abatibles hacia el exterior.
- **Puerta lateral** de acceso al laboratorio con cierre de seguridad y escalera descolgable. Incorpora un cajón pasamuestras y una ventana también con cristales tipo climalit (Figura 11).

Además de este equipamiento general, la instrumentación analítica va protegida con estructuras metálicas sujetas a la encimera, que sirven de anclaje de seguridad. Para reducir lo más posible las vibraciones de la instrumentación, los equipos van amortiguados independientemente mediante amortiguadores tipo muelle helicoidal, que evitan las vibraciones en todas direcciones. Son fijaciones elásticas calculadas según el peso de cada instrumento.

Por debajo del furgón, en el exterior, existen también dos tomas de corriente de 220 V en ambos laterales y en la parte trasera una de 24 V. En la misma

vertical que estos enchufes, en la parte más alta del carrozado, existen soportes para la colocación de focos.

### 5.2.4. Instrumentación analítica

La distribución de la instrumentación analítica con la que se ha equipado la unidad móvil se ha dispuesto en el interior del laboratorio según se observa en la Figura 12. Los equipos analíticos se reparten a ambos lados de la encimera de forma que el ordenador que los controla ha quedado situado en el frontal del laboratorio. A continuación se describen las características técnicas de la instrumentación utilizada y los métodos analíticos que se utilizan en las determinaciones de las distintas especies iónicas.

- **Espectrofotómetro diodo array** Hewlett-Packard 8452A, con lámpara de deuterio y rango de longitud de onda entre 190 - 820 nm. Lleva incorporada una bomba de muestreo HP 89068C monocanal y bidireccional para alimentación continua de la muestra a la cubeta de flujo de 500 microlitros.
- **Cromatógrafo iónico** Dionex DX300. El equipo basa su tecnología en la supresión química, usando micromembranas supresoras que realizan la detección conductimétrica altamente específica. El equipo incorpora una bomba de gradiente controlada desde el ordenador con selección de cuatro fases móviles diferentes, con una presión máxima de 5.000 PSI; además, se incluye un módulo de columnas, otro módulo de desgasificación de eluyentes, columnas (preparativa, separadora y autosupresora), un muestreador automático para 66 u 88 muestras de 5 ó de 0,5 ml respectivamente y dos detectores: uno conductimétrico y otro electroquímico (con electrodos de trabajo de plata o platino y electrodo de referencia de Ag/AgCl) (Figura 13).
- **Titroprocesador** Metrohm 682, con dos puertos de entrada para medidas potenciométricas, bien de alta y baja impedancia o bien las dos de alta para potencimetría diferencial. El equipo tiene una conexión para electrodos polarizados y otra para la sonda de temperatura Pt100. Los rangos de medida de los electrodos son de 0,00 a 14,00 para pH y de -2.000 mV a +2.000 mV para voltaje. Se incorpora también un dosificador automático con tres botellas intercambiables.

El equipo realiza la medida de los puntos de equivalencia y registra la curva de valoración, valora el punto final o realiza medidas de pH, potencial y temperatura. Cuenta también con funciones adicionales, como la adición de reactivos auxiliares para valoraciones por retroceso, además de la detección de hasta nueve puntos finales por valoración, y almacenamiento de hasta 40 métodos de valoraciones específicas.

■ **Ordenador Tandon sistema modular.** Será el encargado de gobernar las funciones de los tres equipos anteriores. Se trata de un sistema con procesador 486 a 33 MHz, 4 Mb de memoria RAM, disco duro de 200 Mb de capacidad y monitor color SVGA de 14". Para realizar las conexiones con los equipos cuenta con cuatro puertos serie y tres puertos paralelo (Figura 14).

■ **Panel de electrodos MBT.TA.** Su finalidad es la medida en continuo de los siguientes parámetros: Temperatura, conductividad eléctrica, Eh, pH, oxígeno disuelto, fluoruro, cloruro, bromuro, yoduro y sulfuro. En las celdas de medida se incorporan electrodos de dimensiones estándar, para aumentar el número de parámetros a medir con electrodos selectivos y facilitar así su intercambio.

Para realizar la medida de la conductividad eléctrica, se cuenta con dos sensores de distinta constante de celda, intercambiables según las necesidades. En la medida del Eh se utilizan tres electrodos (Pt, Au y C glass). Los haluros se determinan con electrodos selectivos pero no de forma simultánea, debido a los problemas de interferencias entre ellos.

El equipo realiza de forma automática el control de los volúmenes de muestra a analizar y del reactivo apropiado para la determinación. El material de construcción de las microceldas (volumen menor de 1 ml) es de metacrilato y los tubos de alimentación son de PTFE. Todo el circuito se encuentra libre de metales (salvo el platino y el oro de los sensores). El programa de control del panel está desarrollado en entorno Windows 3.1. El control del sistema lo realiza un ordenador con procesador 386 a 33 MHz, incorporado en el propio equipo (Figura 15).

■ **Cámara de guantes.** Construida en plástico acrílico rígido para eliminar la posibilidad de migración de oxígeno al interior. Consta de una cámara y una precámara con distintos puertos de entrada/salida, tanto para el gas que mantiene una atmósfera anóxica en su interior, como para la entrada de agua del muestreo. Los guantes son resistentes a los agentes químicos y a los rayos UV (Figura 16).

■ **Desionizador de agua Culligan.** Es una línea de tratamiento de agua con cartuchos recambiables. El tratamiento al que se somete el agua, que posteriormente se utilizará en las determinaciones analíticas, es el siguiente:

1º filtración por 5 micras;

2º filtración por 1 micra;

3º filtración a través de carbón activo para retener el cloro y la materia orgánica;

4º reducción de la salinidad a 20 microsiemens mediante resinas cambiadores (con lámpara indicadora de calidad) y

5º filtración por 0.2 micras (Figura 17).

La producción diaria de este equipo es de 50 litros en 8 horas con un caudal punta de 1,5 litros/minuto.

■ **Purificador de agua Elgastat UHQ-PS.** Una vez obtenida el agua filtrada por 0,2 micras en el equipo desionizador, se somete al siguiente tratamiento (purificación): adsorción de orgánicos, intercambio iónico, microfiltración y fotooxidación, con lo que se obtiene el agua de calidad necesaria para posteriores determinaciones analíticas.

■ **Laboratorio portátil Hach Drell 2000.** Se emplea para fijar el rango de concentración en el que deben elaborarse las rectas de calibración, así como para realizar distintas medidas de campo. Consta de un espectrofotómetro con rango de longitudes de onda entre 400 - 900 nm, con lámpara de tungsteno y un detector de fotodióxido de silicio, titrador digital, conductímetro, pH-metro portátil, reactivos y accesorios varios para realizar la determinación de los 29 parámetros más usuales en el agua.

■ **Balanza analítica Sartorius BA210S.** Con una capacidad máxima de pesada de 210 gramos.

■ **Sonda geoquímica Idronaut Ocean Seven 501** para obtener los parámetros físico - químicos más críticos dentro del sondeo. La sonda está equipada con seis sensores estándar que miden presión, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH y potencial redox, además de una conexión libre para añadir otros electrodos opcionales. Este sistema permite medir, imprimir, calcular y memorizar todos estos parámetros. A través de la batería que incorpora el equipo, se consigue un funcionamiento autónomo y continuo de 20 horas. Los datos generados se transfieren a un ordenador

Tandon Notebook 386sx con 2 Mb de memoria RAM y 60 Mb de disco duro con coprocesador matemático 80387sx / 25 MHz.

### 5.2.5. Adquisición de datos

La conexión de los distintos instrumentos analíticos se realiza a través de las interfases que conectan los equipos con el ordenador 486/33. Este ordenador es el que gobierna las funciones a través del software original de cada instrumento (titroprocesador, cromatógrafo iónico, espectrofotómetro UV-VIS). La forma de trabajo es coordinada de forma unitaria, utilizando un equipo analítico a continuación de otro a través del ordenador.

### 5.2.6. Toma y preparación de muestras

Una vez que la muestra asciende desde el punto de muestreo del sondeo hasta la superficie entra en un colector (Figura 18), que se purga previamente con una corriente de nitrógeno para conseguir así las condiciones anóxicas dentro de este recipiente y alterar los menos posible la muestra de agua.

Tras este colector, el agua se introduce a una celda de flujo continuo (Figura 19) donde se realiza la determinación de los parámetros físico-químicos más sensibles de las aguas: Eh, pH, conductividad, oxígeno disuelto y temperatura, todo ello en atmósfera exenta de oxígeno. Tras estas primeras medidas, el agua se introduce en la cámara de guantes, donde se procede al pretratamiento (filtración y acidificación) de las muestras de agua para posteriormente realizar las determinaciones analíticas con los equipos descritos anteriormente. Para determinar las concentraciones iónicas que no se realizan dentro de la unidad móvil, como son los elementos traza, se preservan las muestras con el ácido adecuado a cada determinación y se conservan a una temperatura de 4° C, hasta su traslado a los laboratorios centrales del CIEMAT.

La muestra de agua a analizar se filtra por 0,45 micras dentro de la cámara de guantes y pasa posteriormente al panel de electrodos, donde se determinan, además de los parámetros que se realizan en la cámara de guantes, el Eh mediante tres electrodos y cloruros, bromuros, fluoruros, ioduros y sulfuros mediante electrodos selectivos.

A continuación, la muestra preparada dentro de la cámara de guantes, se introduce en los distintos equipos analíticos disponibles en la unidad móvil: titroprocesador, espectrofotómetro UV-VIS y cromató-

grafo iónico y se realiza la caracterización cuantitativa de los parámetros sensibles y muy sensibles.

### 5.2.7. Determinaciones analíticas

Los parámetros que se determinan *in situ* y la instrumentación analítica empleada en cada determinación está reflejada en la Tabla 1.

Las muestras conservadas y preparadas adecuadamente se enviarán a los laboratorios del CIEMAT ó a otros laboratorios para la determinación del resto de los parámetros de interés. Estos parámetros se indican en la Tabla 2.

#### 5.2.7.a. Determinaciones espectrofotométricas

- **Determinación de hierro:** Para bajas concentraciones (50 - 1.000 µg/l) se emplea el método de la ferrocina, que compleja el Fe(II). Para calcular el hierro total se reduce el Fe(III) con clorhidrato de hidroxilamina y a continuación se compleja con ferrocina. Se mide la absorbancia del complejo hierro - ferrocina a una longitud de onda de 562 nm (Sánchez, 1993).

Para altas concentraciones (superior a 1 mg/l), el complejante empleado es la 1, 10 ortofenantrolina, midiéndose la absorbancia del complejo formado a una longitud de onda de 510 nm (Sánchez, 1993).

- **Determinación de silice:** Se determina por la formación de un complejo con el molibdato amónico, que es estable a un pH ácido entre 1.5 - 1.7. El complejo azul que se forma se mide a una longitud de onda de 812 nm.
- **Determinación de fosfato:** El fosfato reacciona en medio ácido con el molibdato amónico para formar un heteropolíácido, el ácido molibdofosfórico, de color ligeramente amarillo. El ácido molibdofosfórico es reducido por el ANS (aminonastol- sulfónico) a molibdeno azul. Se mide la absorbancia del complejo formado a una longitud de onda de 760 nm.
- **Determinación de nitrito:** Se determinan mediante la formación del enlace azo a pH 2 - 2,5 por unión de diazotación del ácido sulfanílico con el clorhidrato de N-(1-naftil)-etilendiamina. El método tiene bastantes interferencias (Cu<sup>2+</sup>, Sb<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, ..) que deben estar ausentes. Se mide la absorbancia a 543 nm.

**Tabla 1**  
Parámetros determinados *in situ* en el vehículo de análisis e instrumentación analítica empleada.

Parámetros	Instrumentación
Parámetros muy sensibles "downhole" pH, Eh, T, Cond. Eléctrica Oxígeno disuelto	Sonda Geoquímica "Ocean Seven 501"
pH, Eh, T, Cond. Eléctrica O <sub>2</sub> , Cl <sup>-</sup> , I <sup>-</sup> , Br <sup>-</sup> , S <sup>=</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , CO <sub>2</sub>	Sondas de Medida y Electrodo Selectivos
Alcalinidad, (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup>	Titroprocesador Metrohm 682
Li <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Sr <sup>2+</sup> , Ba <sup>2+</sup> , F <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup> , Br <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cromatógrafo Iónico "Dionex DX-300"
Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup> , SiO <sub>2</sub> , Cu, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , S <sup>=</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Espectrofotómetro (Diodo-Array) HP 8452A

**Tabla 2**  
Parámetros que no se determinan en el vehículo de análisis de la Unidad Móvil.

Parámetros	Instrumentación
Al	Cámara de Grafito
Elementos Traza	ICP
U	Fluorimetría
C.O.T.	Analizador C orgánico
Gases: N <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub>	Cromatografía de gases
Isótopos: 86Sr/87Sr, 13C/14C, 18O, 129I, D, 3H, 234U/238U, 36Cl, 34S	

- **Determinación de amonio:** Se forma un compuesto azul intenso (indofenol), por reacción del amonio, hipoclorito y fenol, catalizada la reacción por una sal de cobre o de manganeso y en medio alcalino. Se realiza la medida a una longitud de onda de 636 nm (Sánchez, 1992).

#### 5.2.7.b. Determinaciones cromatográficas

- **Determinación de aniones:** Fluoruro, cloruro, nitrito, bromuro, nitrato, fosfato y sulfato: Se emplean distintas columnas separadoras utili-

zando como eluyente una mezcla de carbonato - bicarbonato con detección conductimétrica (Sánchez, 1992).

- **Determinación de cationes:** Se emplean columnas cromatográficas empleando como eluyente HCl - DAP y con detección conductimétrica.

#### 5.2.7.c. Determinaciones potenciométricas

- **Determinación de calcio y magnesio:** Se realiza mediante una valoración complejo-poten-

ciométrica utilizando un electrodo ión específico de calcio y AEDT como reactivo valorante (Sánchez, 1993).

- **Alcalinidad:** Cuando se añade un ácido fuerte a una disolución acuosa donde existan algunos de los iones  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{OH}^-$ , los dos primeros se transforman en  $\text{H}_2\text{CO}_3$  y el  $\text{OH}^-$  en  $\text{H}_2\text{O}$ . La neutralización del ión carbonato tiene lugar en dos etapas con puntos de equidistancia determinables potenciométricamente con un electrodo de pH. Como la reacción  $\text{HCO}_3^- + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ , está prácticamente desplazada a la derecha, no pueden coexistir los iones  $\text{OH}^-$  y bicarbonato (Sánchez, 1993).
- **Fluoruros, cloruros, bromuros, ioduros y sulfuros:** Se determina su concentración mediante electrodos ión-selectivos, utilizando en cada caso los ajustadores de fuerza iónica y reactivos que se precisen (Sánchez, 1992).

### 5.2.8. Interpretación de los resultados obtenidos

La importancia de los resultados que se obtienen en la unidad móvil con los equipos y técnicas anteriormente descritas, se debe a la interpretación hidrogeoquímica que se lleva a cabo con dichos resultados. El objetivo final de un estudio de caracterización hidrogeoquímica queda mejor cumplido con el acercamiento de las técnicas de análisis convencionales de los laboratorios a la zona donde se esté realizando el estudio. La interpretación de un sistema implica, no solo el conocimiento de la fase acuosa, sino el producto de la interacción entre la fase mineral y el agua, ya que el origen de las especies disueltas en el agua siempre será debido a este proceso. La aplicación de códigos de especiación geoquímica y balances de reacción son herramientas básicas para realizar la interpretación de los procesos geoquímicos que aparecen en una formación geológica y ayudan a crear una aproximación al modelo hidrogeoquímico.

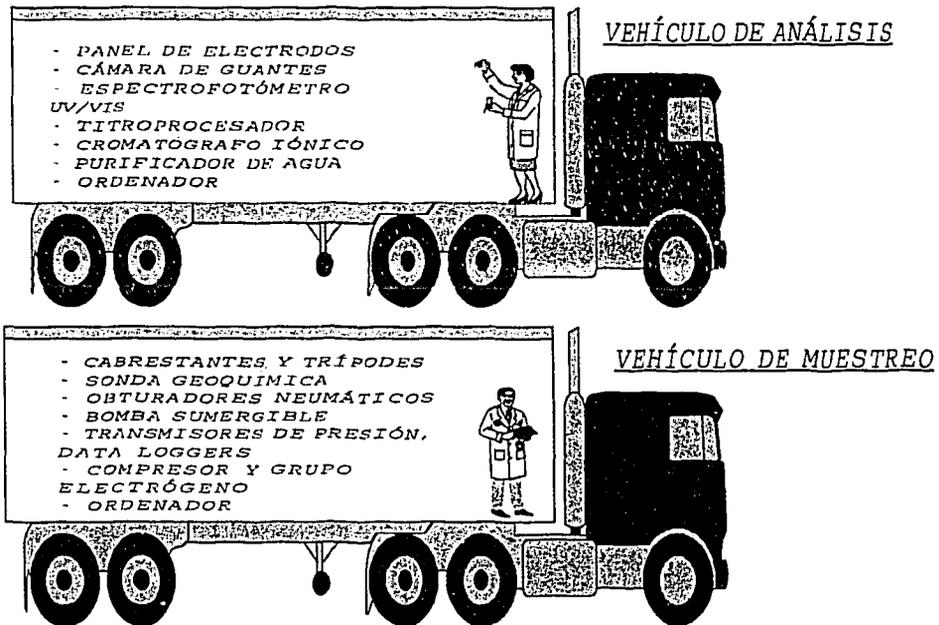
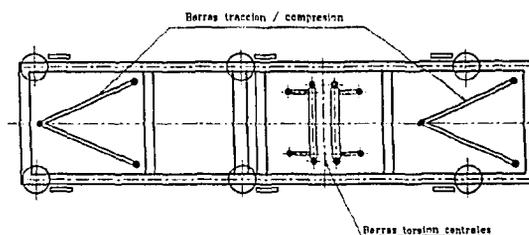
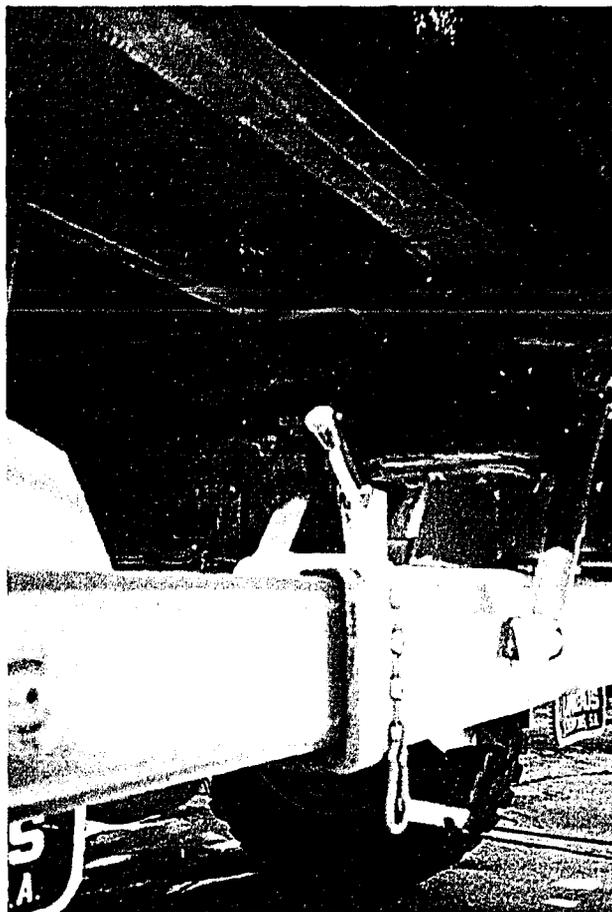


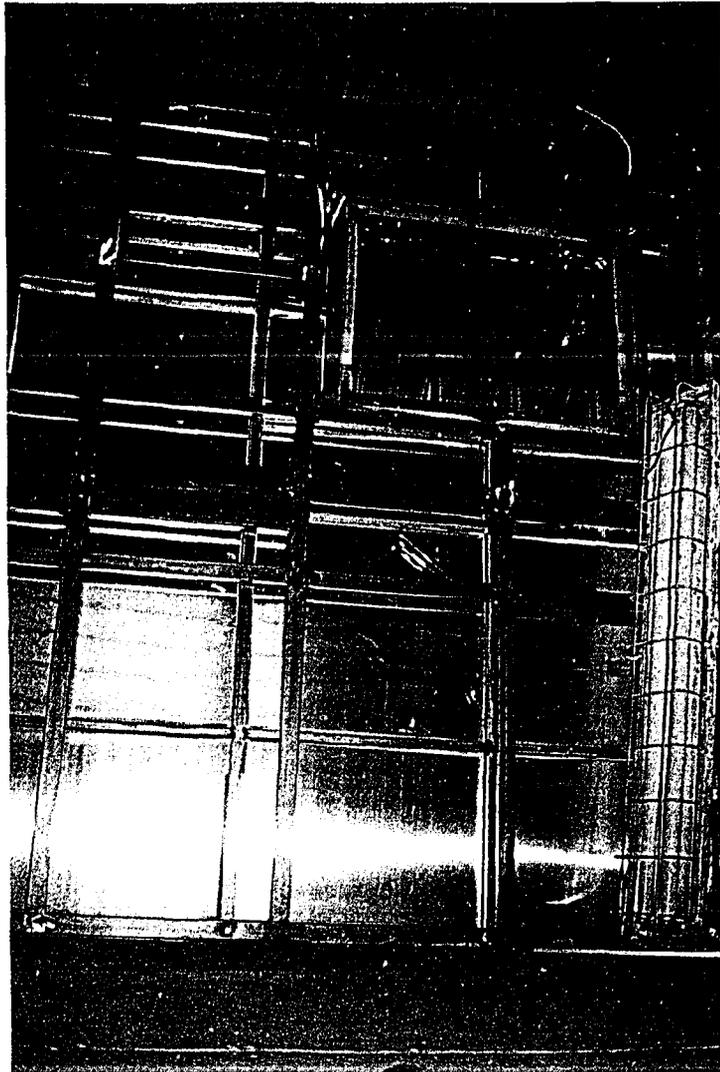
Figura 3  
Equipamiento de los vehículos que componen la Unidad Móvil de Caracterización Hidrogeoquímica.



Figura 4  
Pruebas de estabilidad y potencia realizadas a los vehículos de la Unidad Móvil previas a la fase del carrozado.

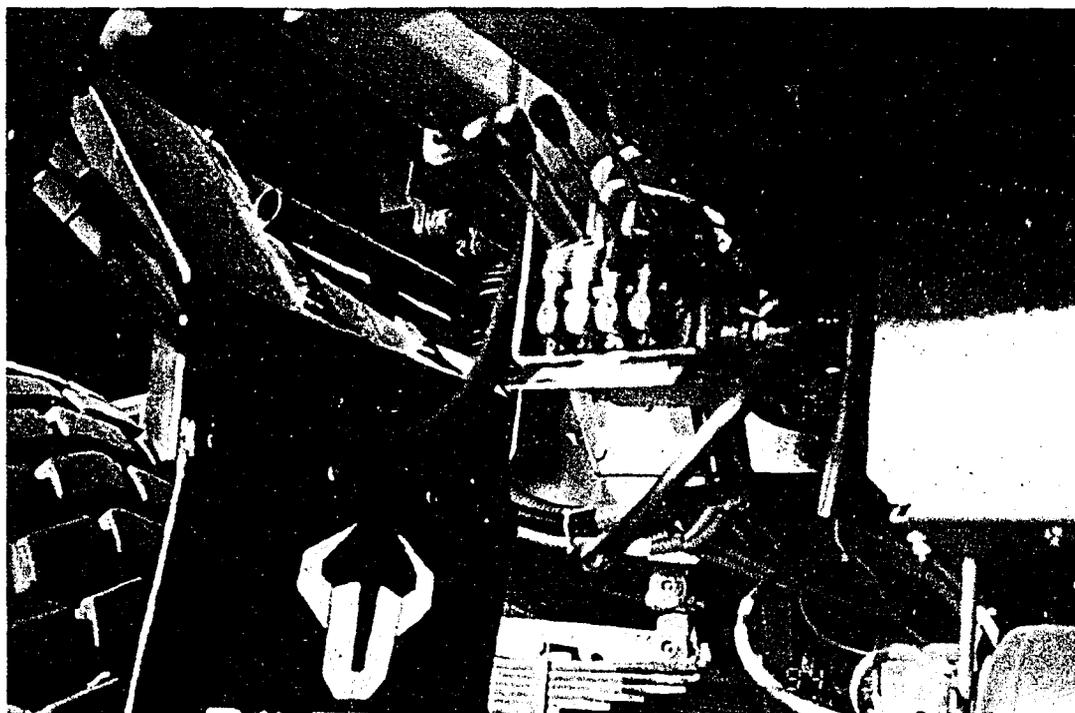


**Figura 5**  
Detalles de la suspensión neumática especialmente diseñada para el vehículo de análisis.



**Figura 6**

**Detalle de la carrocería del vehículo de análisis. Doble entramado tubular con soldaduras en todas las uniones. Posteriormente se reviste con planchas de aluminio y poliuretano expandido como aislante térmico.**



**Figura 7**  
**Equipo de nivelación del vehículo de análisis. Detalle del sistema de accionamiento individual de los cuatro cilindros hidráulicos.**

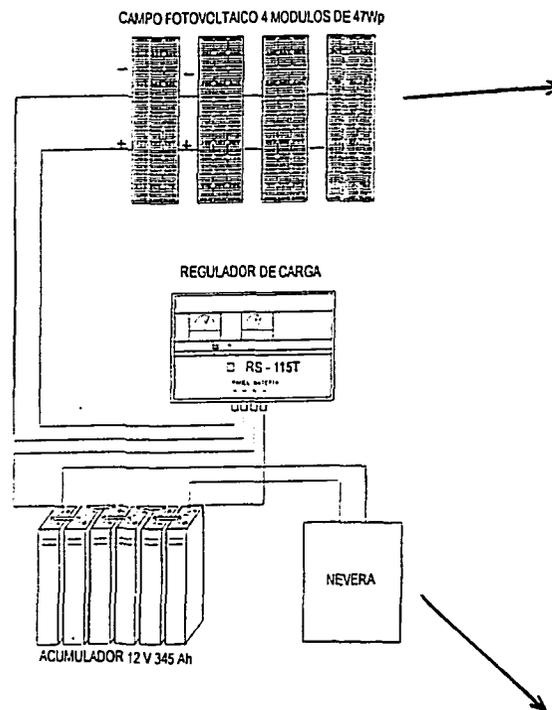


Figura 8  
Esquema de funcionamiento de la instalación fotovoltaica para el suministro de energía de la nevera.



**Figura 9**  
Instalación de balas de gases en la parte posterior del vehículo de análisis.

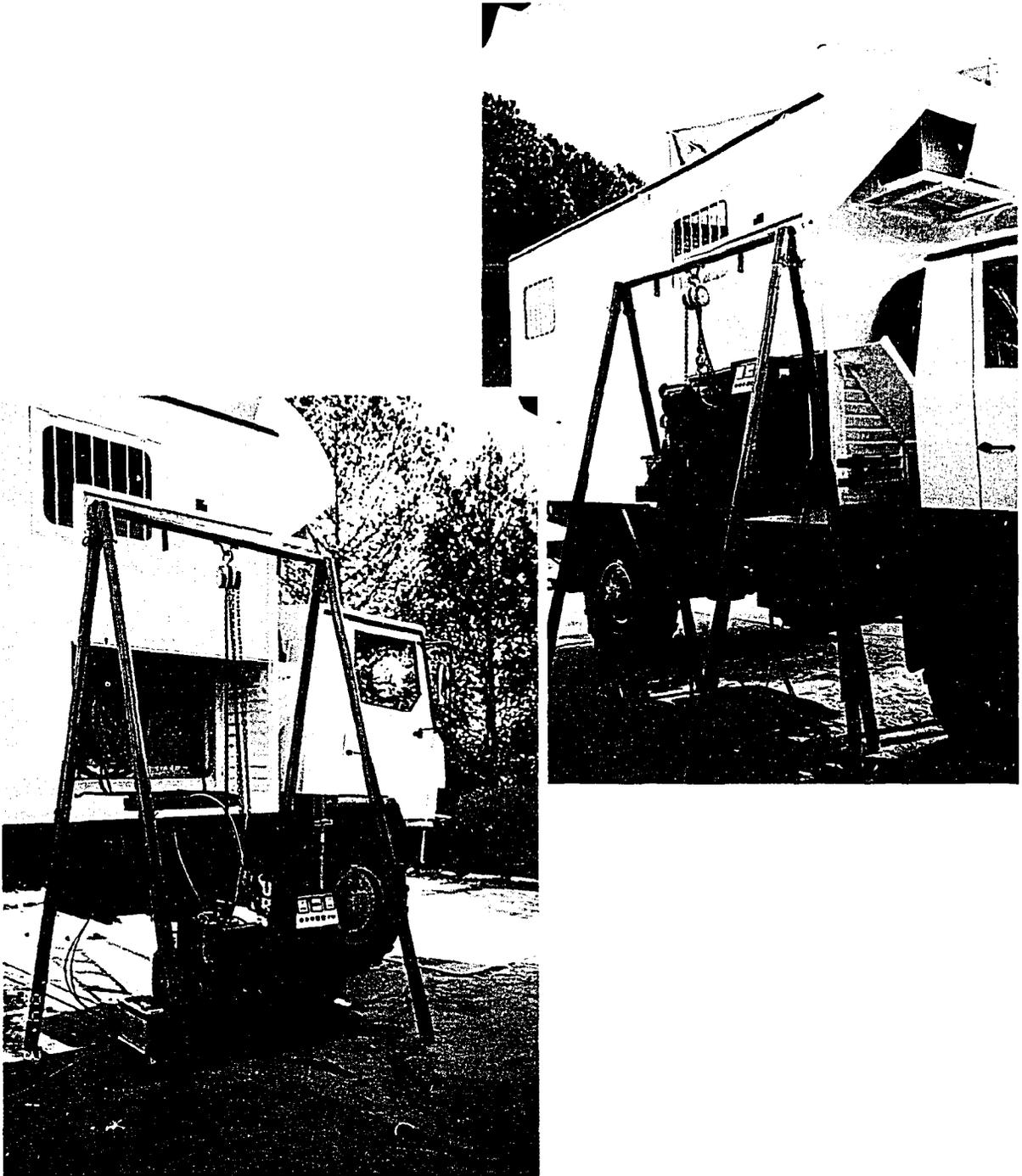


Figura 10

Situación lateral de los grupos electrógenos en el vehículo de análisis y sistema de trócola que permite descender los grupos al suelo para evitar vibraciones y ruidos en el interior del laboratorio.

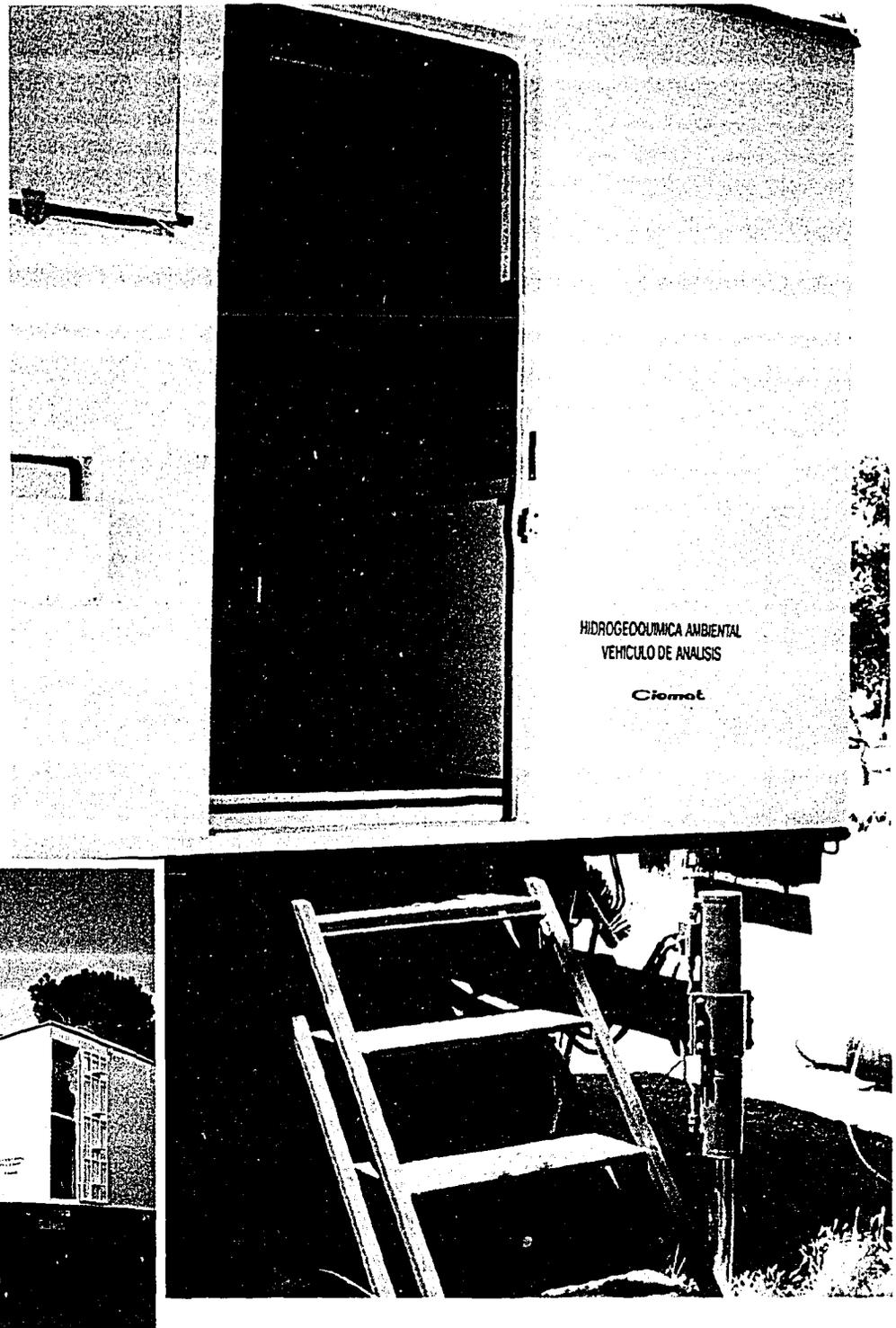


Figura 11  
Puerta lateral de acceso al laboratorio del vehículo de análisis.

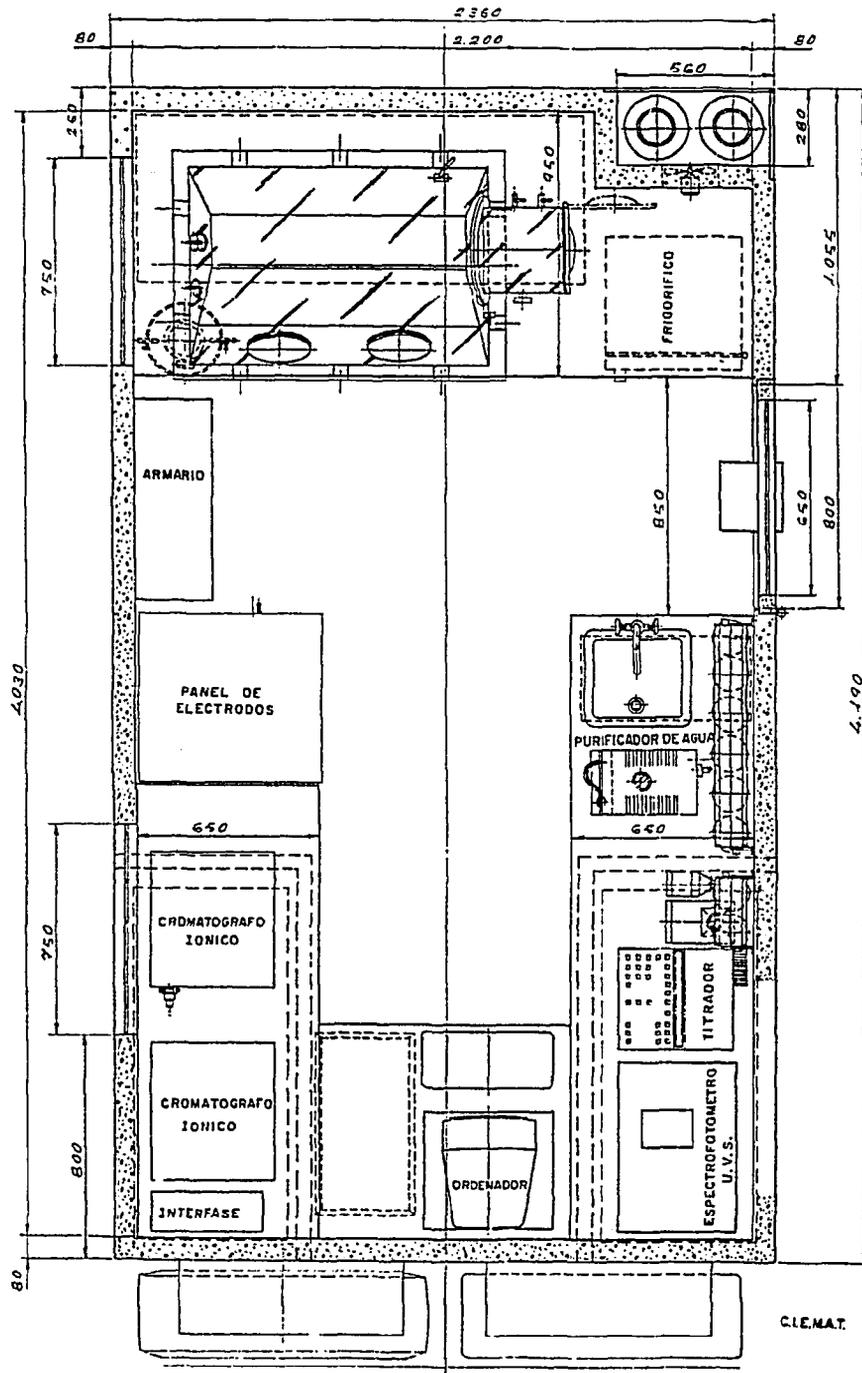


Figura 12  
Distribución interna del vehículo de análisis. (Planta).

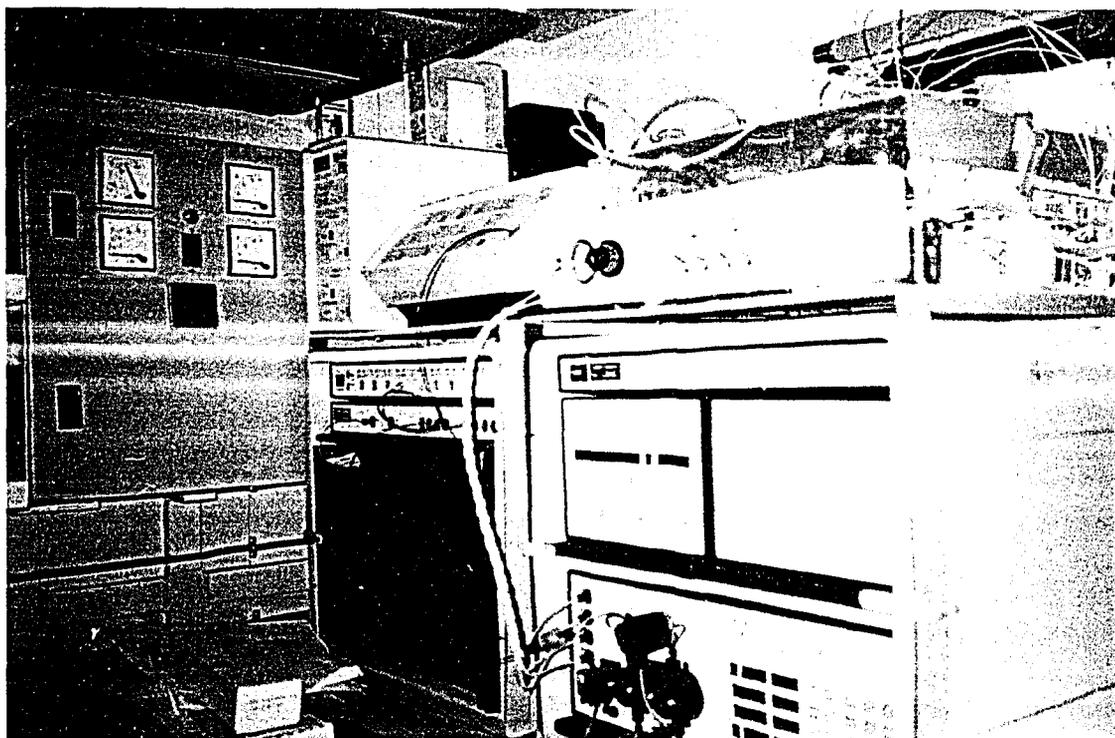


Figura 13  
Cromatógrafo iónico DIONEX DX300.



Figura 14  
Sistema de adquisición de datos. Ordenador central Tandon 486.

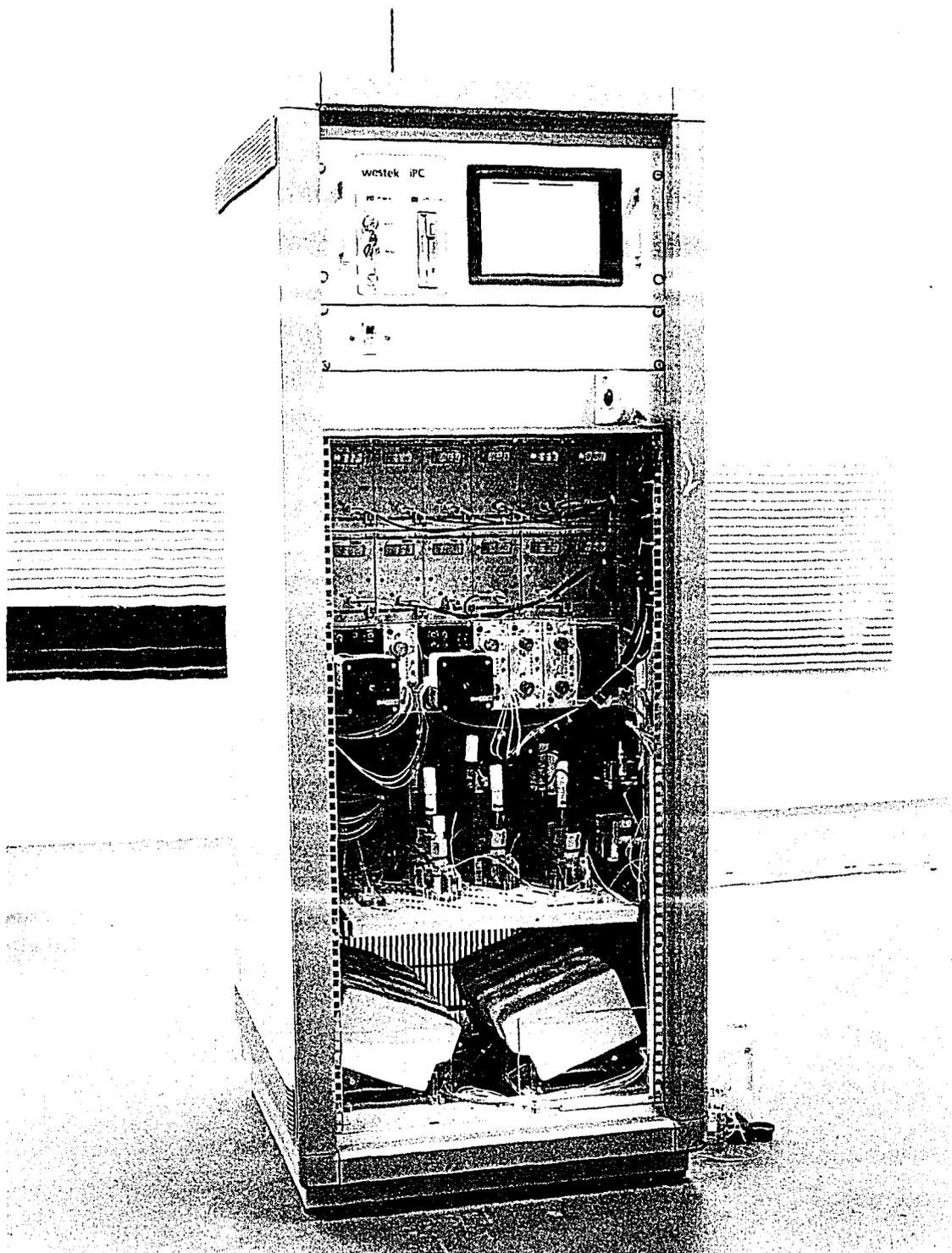


Figura 15  
Panel de electrodos para la medida en continuo de 11 variables.

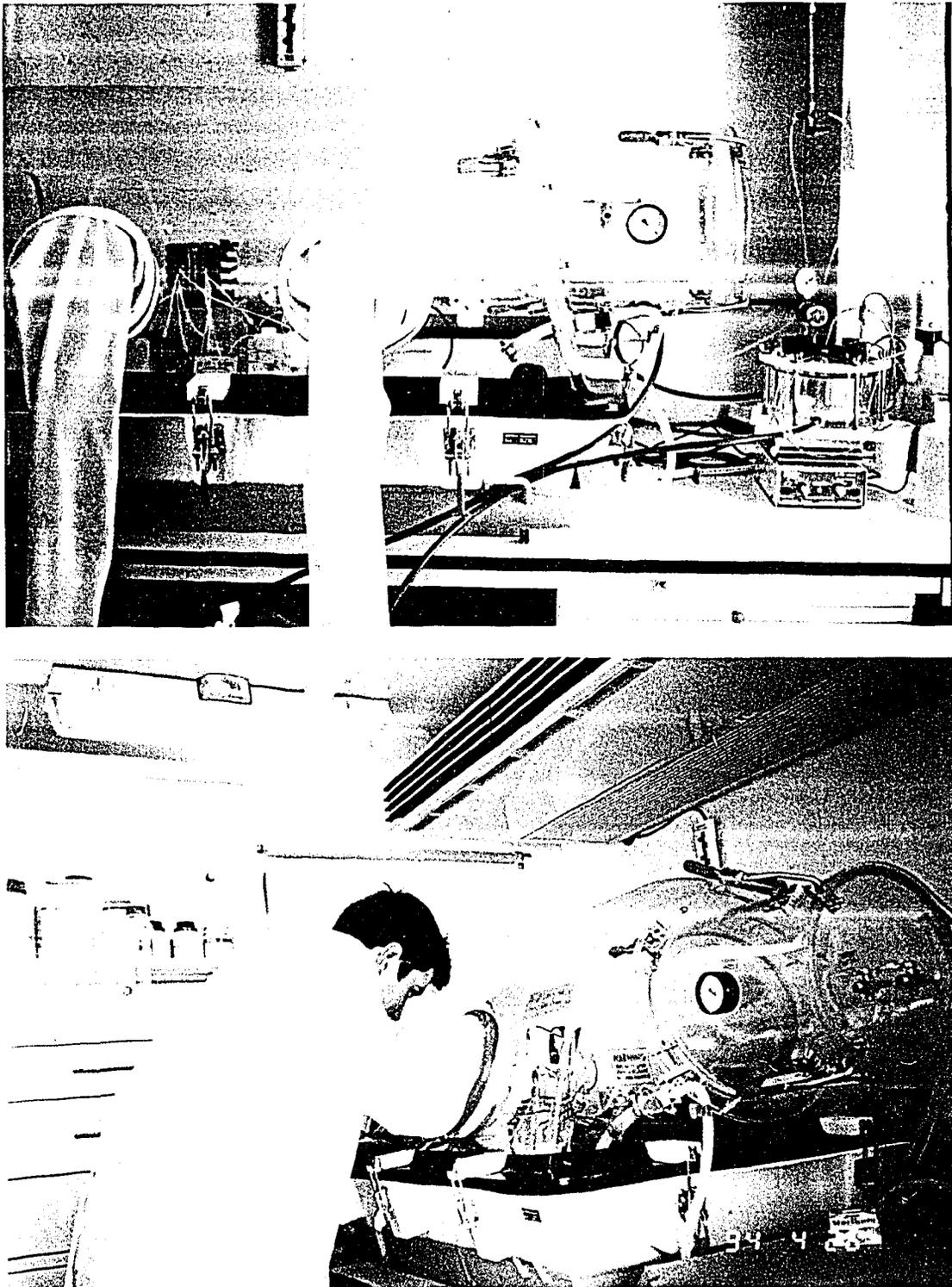


Figura 16  
Cámara de guantes para realizar la preservación de las muestras.

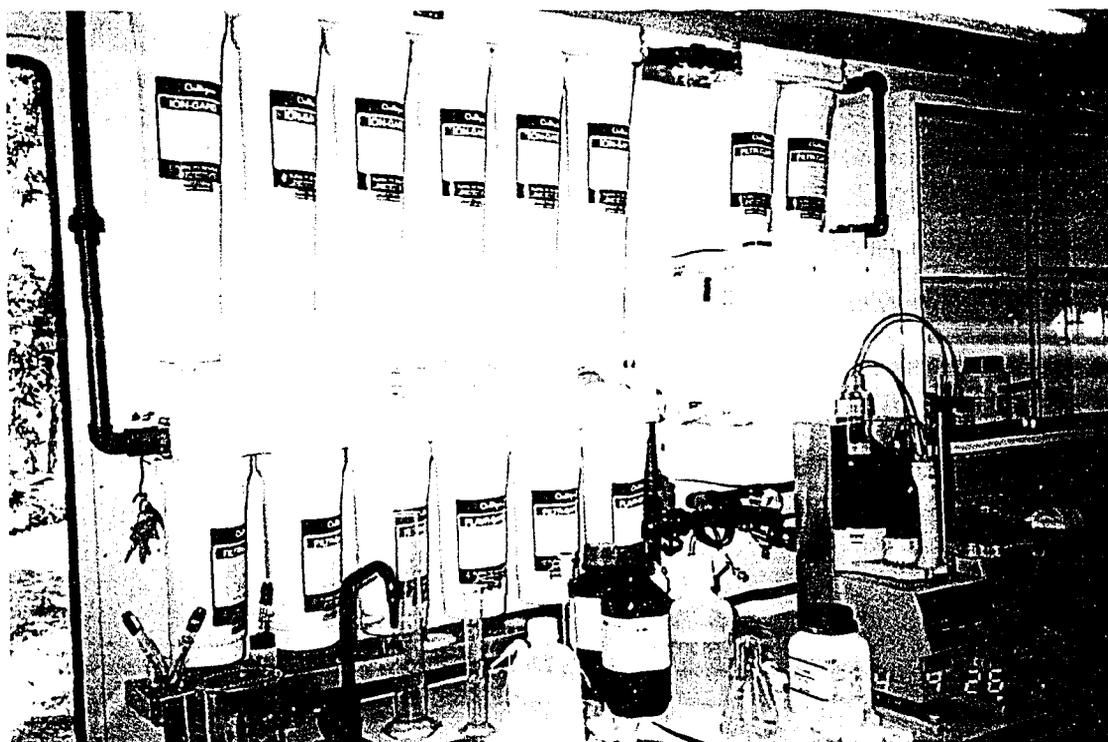


Figura 17  
Línea de tratamiento y purificación de agua.

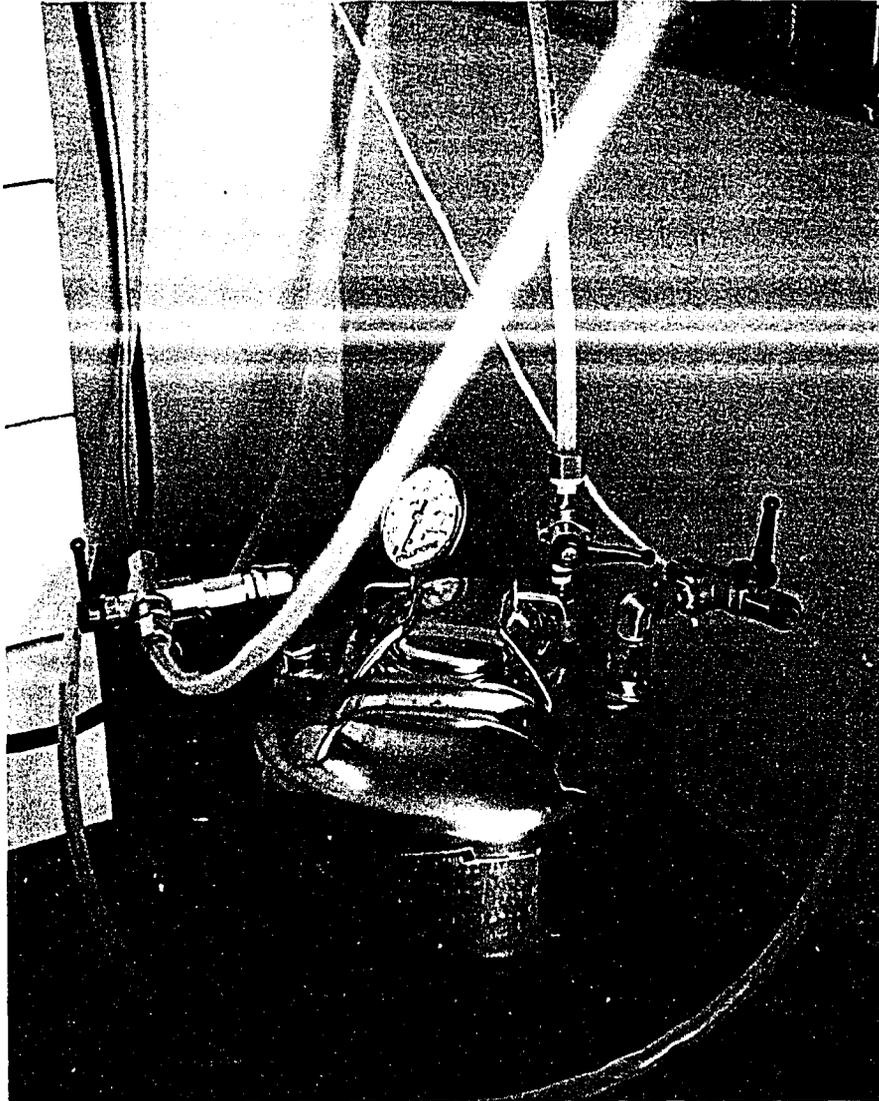


Figura 18  
Colector Millipore de 5.000 ml de capacidad, donde se recoge el agua que proviene del sondeo.

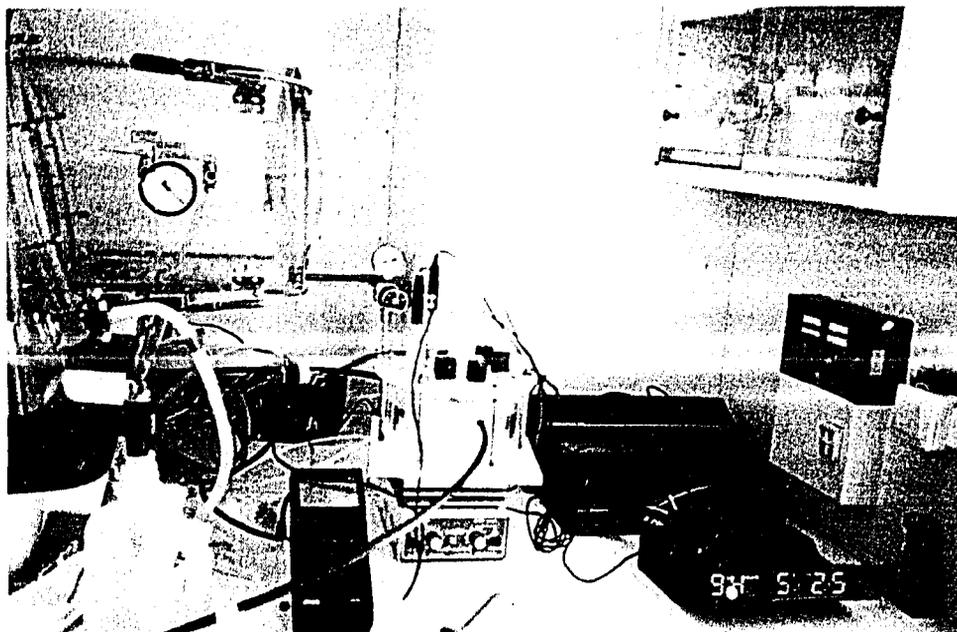
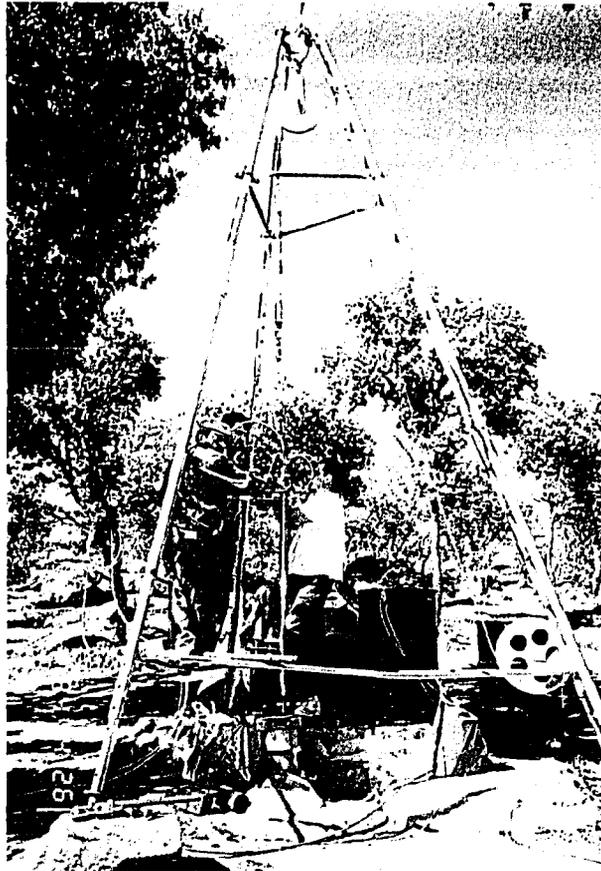


Figura 19  
Celda de flujo continuo para la determinación de los parámetros físico-químicos más críticos del agua (7 electrodos).



Figura 20  
Vehículo de Muestreo. Aspecto general.



**Figura 21**  
Instrumentación del Vehículo de Muestreo: trípodes, poleas, varillajes, obturadores.

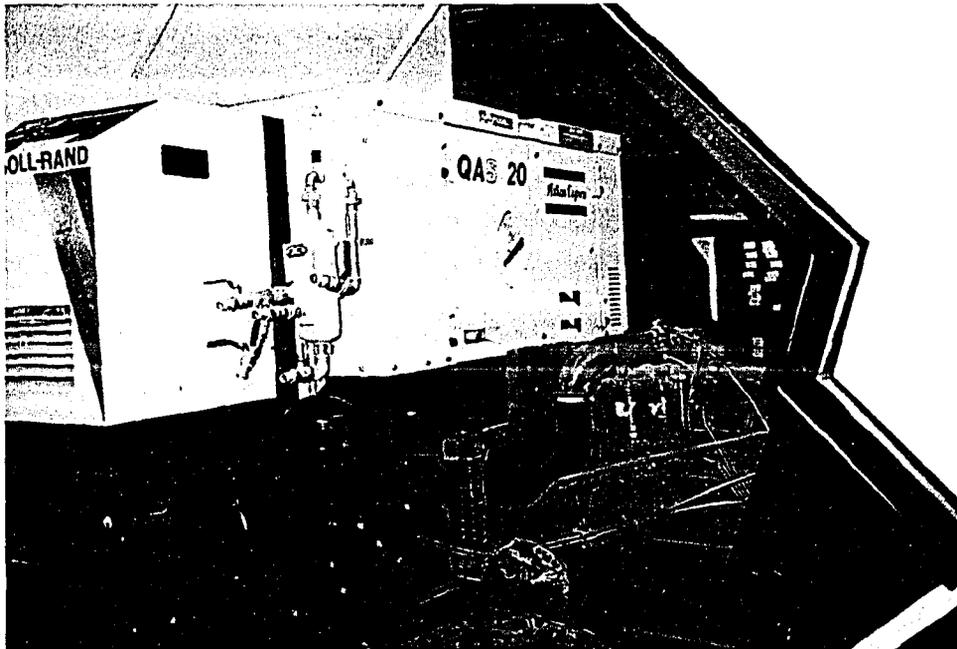


Figura 22  
Grupo electrógeno y compresor del Vehículo de Muestreo.

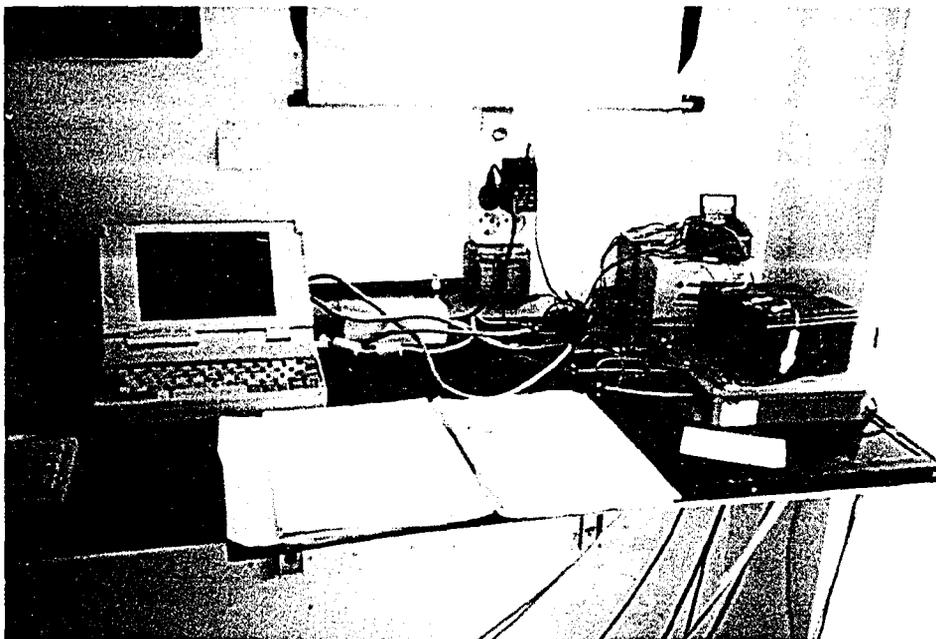


Figura 23  
Transmisores de presión conectados a los data loggers que permiten medir las variaciones de nivel en los tramos obturados.

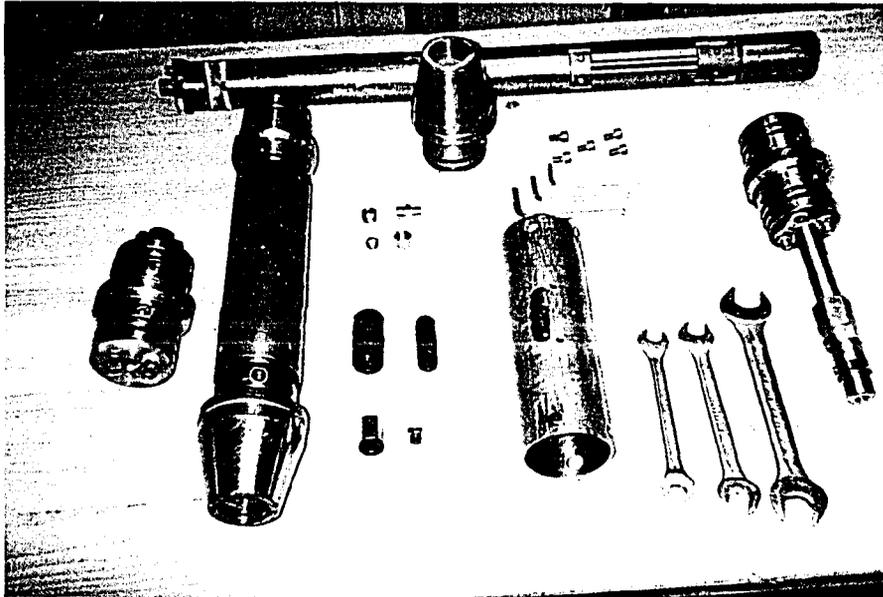


Figura 24  
Detalle de las piezas intermedias de conexión entre obturadores y la bomba a pistón situada en el último término en la fotografía.

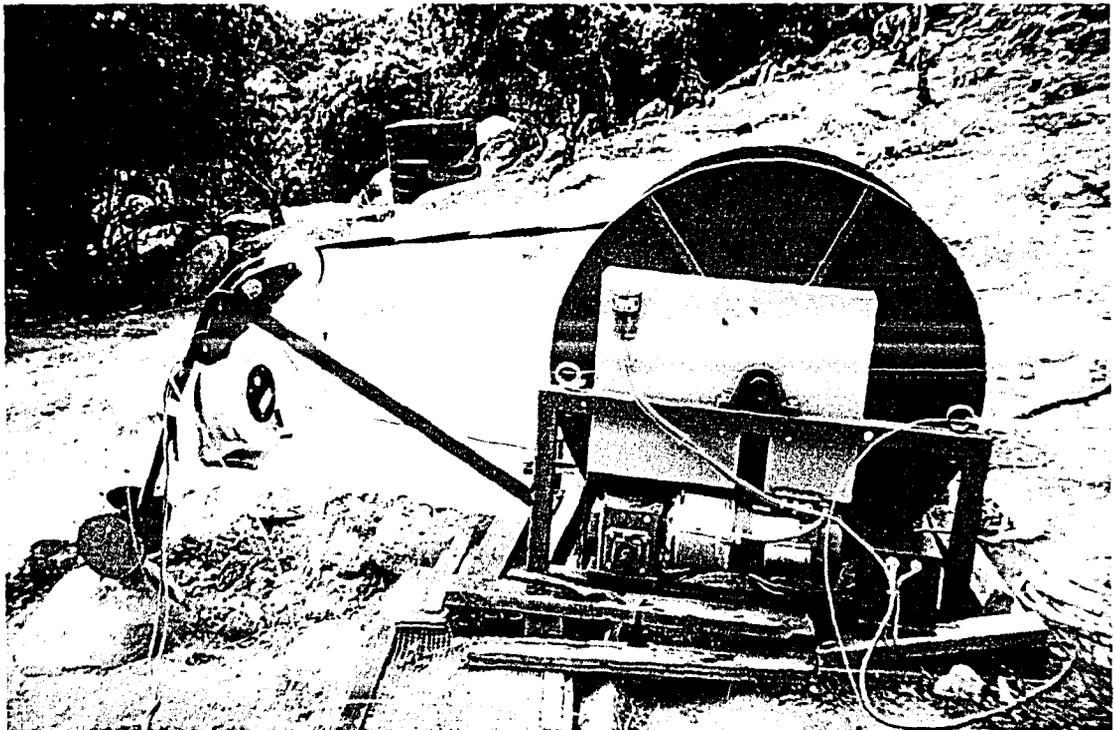
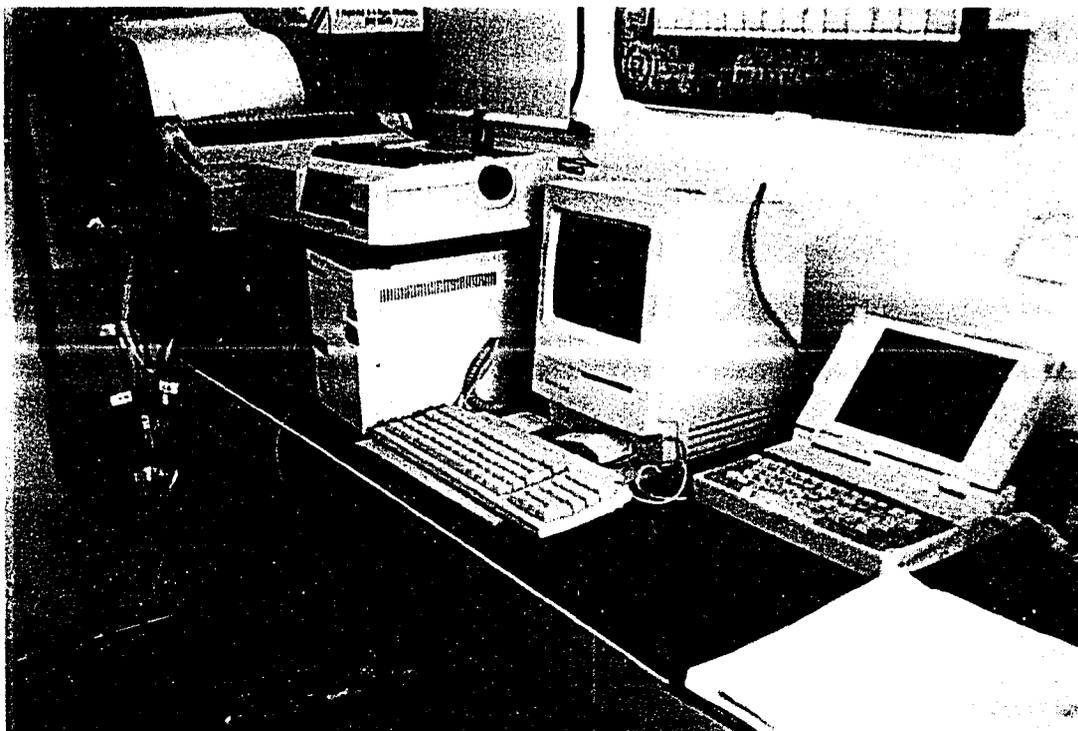
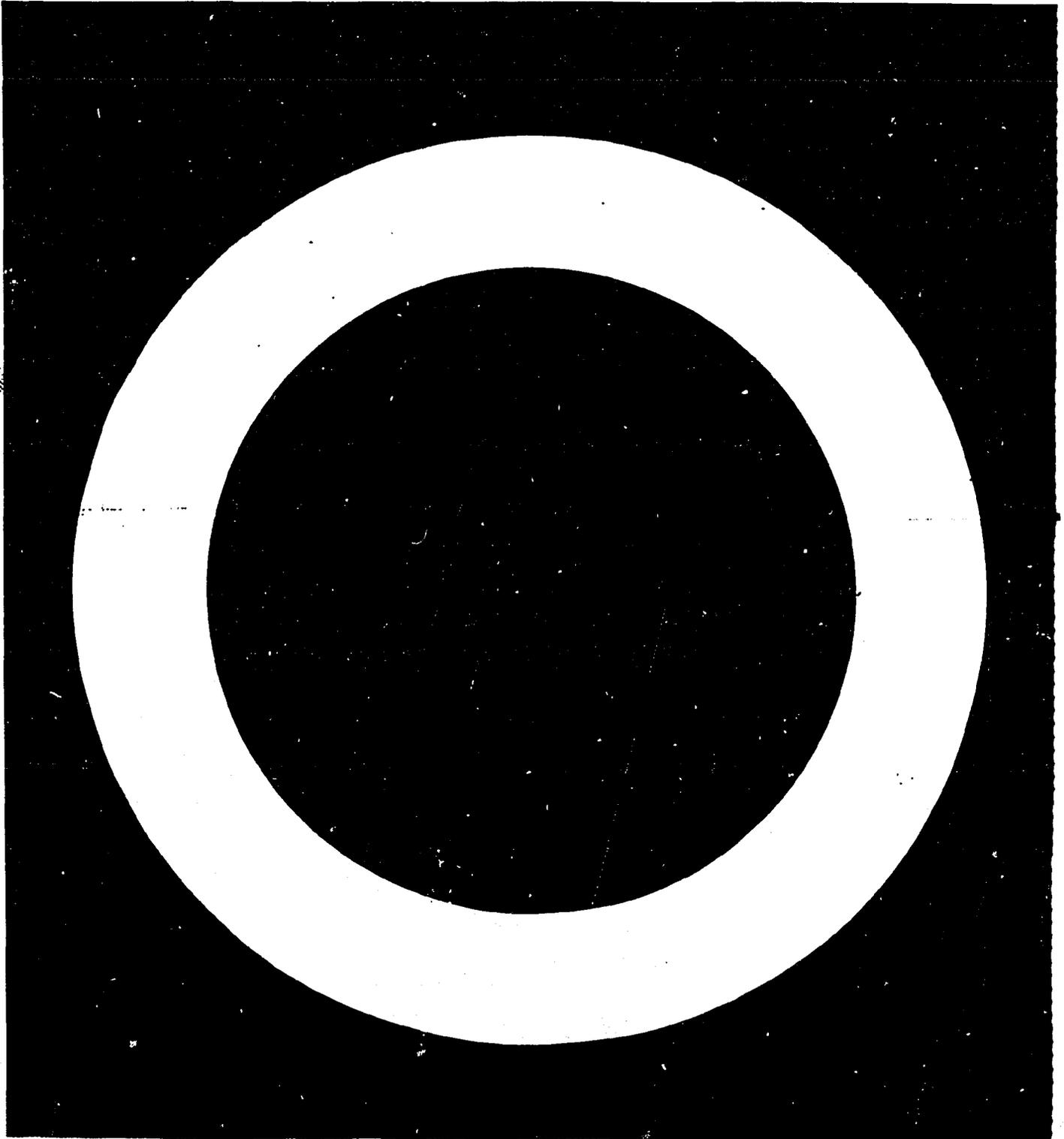


Figura 25  
Bombas sumergibles a pistón Bennet.

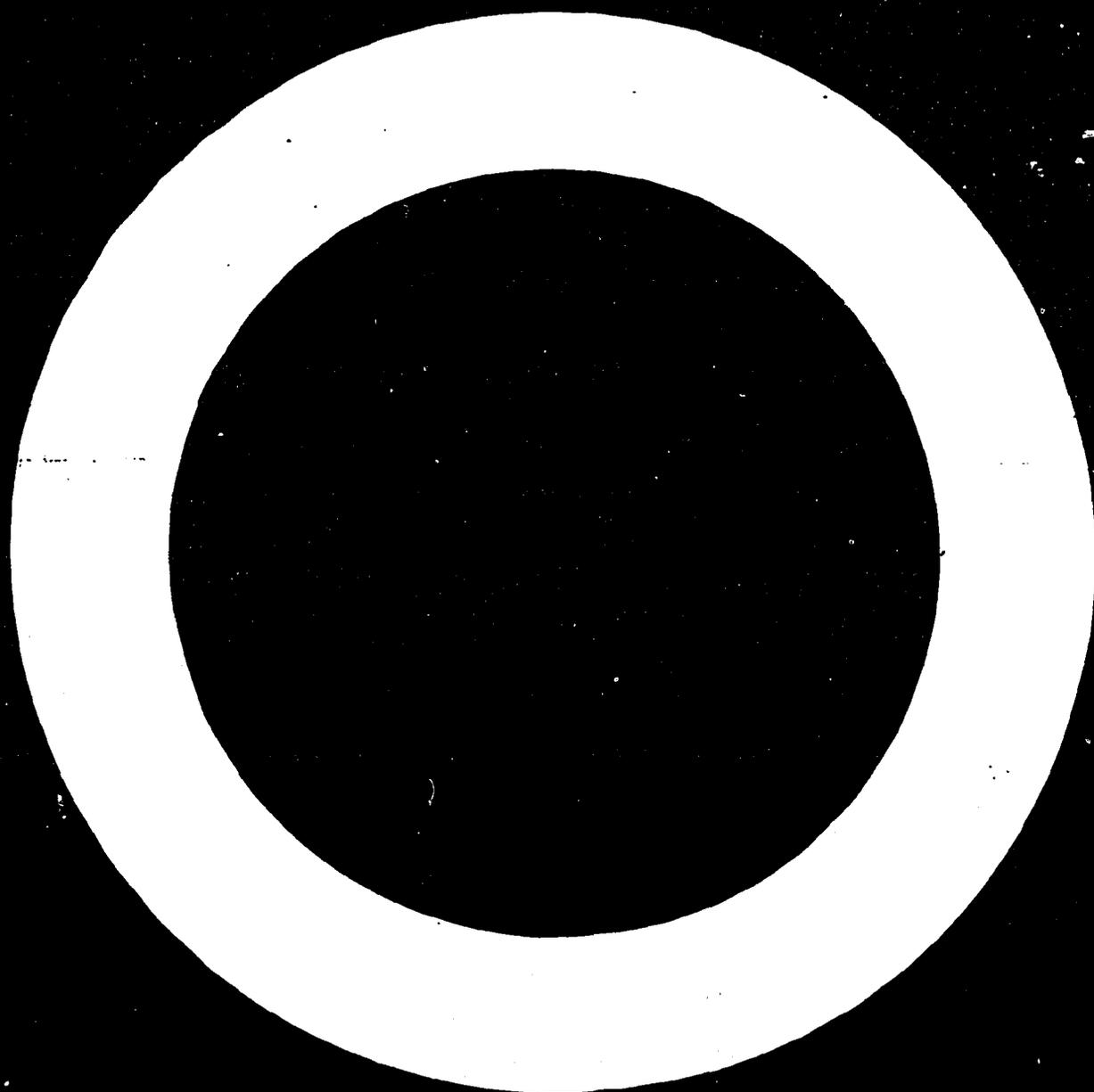


**Figura 26**  
**Sistema de adquisición de datos en el Vehículo de Muestreo.**  
**Ordenadores Tandon 386/sx y Macintosh de 40 Mb.**



# 6

## REFERENCIAS



- Almen, K.E.; Anderson, O.; Fridh, B.; Johansson, B.E.; Sehlstedt, M.; Gustafsson, E.; Hanson, K.; Olson, O.; Nilsson, G.; Axelsen, K.; and Wikberg, P. (1986). Site investigation equipment for geological, geophysical, hydrogeological and hydrochemical characterization. SKB Technical Report 86-16.
- Almen, K.E. and Zellman, O. (1991). Äspo Hard Rock Laboratory. Field Investigations methodology and instruments used in the preinvestigation phase. 1986-1990. SKB Technical Report 91-21.
- Figarola J.M. (1993). Vehículo de análisis laboratorio. Suspensión especial neumática y distribución del carrozado. Informe CIEMAT-1993.
- García, M.M. y Gómez, P. (1992). Anteproyecto de la Unidad Móvil de Caracterización Hidroquímica. Versión 2. Informe CIEMAT-1992.
- Gómez, P.; García, M.M. y García, M. (1992). Anteproyecto de la Unidad Móvil de Caracterización Hidroquímica. Versión 1. Informe CIEMAT-1992.
- Hernández, A.; Gómez, P. y García, M. (1991). Anteproyecto de la Unidad Móvil de Caracterización Hidroquímica. Versión 0. Informe CIEMAT-1991.
- Ohberg, A. (1991). Site investigation equipment developed by Teollisuuden Voima Oy. Report TJT-91-06.
- Sánchez Ledesma, M. D. (1993). Determinación espectrofotométrica de hierro en aguas continentales con O-Fenantrolina. Procedimiento específico CIEMAT N° DT-QM/1301.
- Sánchez Ledesma, M. D. (1993). Valoración complejo-potenciométrica de calcio y magnesio en aguas continentales. Procedimiento específico CIEMAT N° DT-QM/0401.
- Sánchez Sánchez, M. y Floriano Llorente, F. (1992). Procedimiento general para la determinación de cationes, alcalinotérreos y amonio a niveles de ppm y ppb con el cromatógrafo iónico DIONEX de la serie 4500i. Informe Interno CIEMAT QA 2901/N-6.

## Títulos publicados

### PUBLICACIONES TECNICAS

1991

- 01 REVISION SOBRE LOS MODELOS NUMERICOS RELACIONADOS CON EL ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS RADIOACTIVOS.
- 02 REVISION SOBRE LOS MODELOS NUMERICOS RELACIONADOS CON EL ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS RADIOACTIVOS. ANEXO 1. Guía de códigos aplicables.
- 03 PRELIMINARY SOLUBILITY STUDIES OF URANIUM DIOXIDE UNDER THE CONDITIONS EXPECTED IN A SALINE REPOSITORY.
- 04 GEOESTADISTICA PARA EL ANALISIS DE RIESGOS. Una introducción a la Geoestadística no paramétrica.
- 05 SITUACIONES SINOPTICAS Y CAMPOS DE VIENTOS ASOCIADOS EN "EL CABRIL".
- 06 PARAMETERS, METHODOLOGIES AND PRIORITIES OF SITE SELECTION FOR RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL IN ROCK SALT FORMATIONS.

1992

- 01 STATE OF THE ART REPORT: DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTE IN DEEP ARGILLACEOUS FORMATIONS.
- 02 ESTUDIO DE LA INFILTRACION A TRAVES DE LA COBERTERA DE LA FUA.
- 03 SPANISH PARTICIPATION IN THE INTERNATIONAL INTRAVAL PROJECT.
- 04 CARACTERIZACION DE ESMECTITAS MAGNESICAS DE LA CUENCA DE MADRID COMO MATERIALES DE SELLADO. Ensayos de alteración hidrotérmica.
- 05 SOLUBILITY STUDIES OF URANIUM DIOXIDE UNDER THE CONDITIONS EXPECTED IN A SALINE REPOSITORY. Phase II
- 06 REVISION DE METODOS GEOFISICOS APLICABLES AL ESTUDIO Y CARACTERIZACION DE EMPLAZAMIENTOS PARA ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS RADIOACTIVOS DE ALTA ACTIVIDAD EN GRANITOS, SALES Y ARCILLAS.
- 07 COEFICIENTES DE DISTRIBUCION ENTRE RADIONUCLEIDOS.
- 08 CONTRIBUTION BY CTN-UPM TO THE PSACOIN LEVEL-S EXERCISE.
- 09 DESARROLLO DE UN MODELO DE RESUSPENSION DE SUELOS CONTAMINADOS. APLICACION AL AREA DE PALOMARES.
- 10 ESTUDIO DEL CODIGO FFSM PARA CAMPO LEJANO. IMPLANTACION EN VAX.
- 11 LA EVALUACION DE LA SEGURIDAD DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS RADIOACTIVOS. UTILIZACION DE METODOS PROBABILISTAS.
- 12 METODOLOGIA CANADIENSE DE EVALUACION DE LA SEGURIDAD DE LOS ALMACENAMIENTOS DE RESIDUOS RADIOACTIVOS.
- 13 DESCRIPCION DE LA BASE DE DATOS WALKER.

1993

- 01 INVESTIGACION DE BENTONITAS COMO MATERIALES DE SELLADO PARA ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS RADIOACTIVOS DE ALTA ACTIVIDAD. ZONA DE CABO DE GATA, ALMERIA.
- 02 TEMPERATURA DISTRIBUTION IN A HYPOTHETICAL SPENT NUCLEAR FUEL REPOSITORY IN A SALT DOME.
- 03 ANALISIS DEL CONTENIDO EN AGUA EN FORMACIONES SALINAS. Su aplicación al almacenamiento de residuos radiactivos
- 04 SPANISH PARTICIPATION IN THE HAW PROJECT. Laboratory Investigations on Gamma Irradiation Effects in Rock Salt.
- 05 CARACTERIZACION Y VALIDACION INDUSTRIAL DE MATERIALES ARCILLOSOS COMO BARRERA DE INGENIERIA.
- 06 CHEMISTRY OF URANIUM IN BRINES RELATED TO THE SPENT FUEL DISPOSAL IN A SALT REPOSITORY (I).
- 07 SIMULACION TERMICA DEL ALMACENAMIENTO EN GALERIA-TSS.
- 08 PROGRAMAS COMPLEMENTARIOS PARA EL ANALISIS ESTOCASTICO DEL TRANSPORTE DE RADIONUCLEIDOS.
- 09 PROGRAMAS PARA EL CALCULO DE PERMEABILIDADES DE BLOQUE.
- 10 METHODS AND RESULTS OF THE INVESTIGATION OF THE THERMOMECHANICAL BEHAVIOUR OF ROCK SALT WITH REGARD TO THE FINAL DISPOSAL OF HIGH-LEVEL RADIOACTIVE WASTES.

1994

- 01 MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO DE LOS ECOSISTEMAS EN EL ENTORNO DE LA FABRICA DE URANIO DE ANDUJAR.
- 02 CORROSION OF CANDIDATE MATERIALS FOR CANISTER APPLICATIONS IN ROCK SALT FORMATIONS.
- 03 STOCHASTIC MODELING OF GROUNDWATER TRAVEL TIMES
- 04 THE DISPOSAL OF HIGH LEVEL RADIOACTIVE WASTE IN ARGILLACEOUS HOST ROCKS. Identification of parameters, constraints and geological assessment priorities.
- 05 EL OESTE DE EUROPA Y LA PENINSULA IBERICA DESDE HACE -120.000 AÑOS HASTA EL PRESENTE. Isostasia glacial, paleogeografías y paleotemperaturas.
- 06 ECOLOGIA EN LOS SISTEMAS ACUATICOS EN EL ENTORNO DE EL CABRIL.
- 07 ALMACENAMIENTO GEOLOGICO PROFUNDO DE RESIDUOS RADIOACTIVOS DE ALTA ACTIVIDAD (AGP). Conceptos preliminares de referencia.

### PUBLICACIONES NO PERIODICAS

1992

- PONENCIAS E INFORMES, 1988-1991. SEGUNDO PLAN DE I+D, 1991-1995. TOMOS I, II Y III.
- SECOND RESEARCH AND DEVELOPMENT PLAN, 1991-1995, VOLUME I.

1993

- SEGUNDO PLAN DE I+D. INFORME ANUAL 1992. PRIMERAS JORNADAS DE I+D EN LA GESTION DE RESIDUOS RADIOACTIVOS. TOMOS I Y II.

1994

- SEGUNDO PLAN DE I+D, 1991-1995. INFORME ANUAL 1993.

Edita:

**enresa**

empresa nacional de residuos radiactivos, s.a.

Diseño y coordinación editorial: TransEdit

Fotomecánica: Da-Vinci, S.A.

Impresión: Comercial Gráficas Keli, S.L.

ISSN: 1134-380X

D.L.: M-26382-1991

**empresa nacional  
de residuos radiactivos, s.a.**

Emilio Vargas, 7  
28043 Madrid  
Tels.: 519 52 55/519 52 63  
Fax: 519 52 68

AGOSTO 94