

RECONOCIMIENTO DE LAS CARACTERISTICAS DEL TERRENO

Ing. C. C. P. J. M.^o SANZ SARACHO

1.1. Objetivo del reconocimiento.

El capítulo precedente pone de manifiesto la importancia que la cimentación tiene en el comportamiento de la presa. Esta importancia impone la ejecución de un reconocimiento del macizo a fin de acomodar el proyecto de la presa a las características previsibles en aquél.

Antes de abordar el reconocimiento propiamente dicho, es preciso plantearse qué datos concretos requerimos en él. Naturalmente estos datos no serán los mismos en todos los casos, pero sí responden a una problemática similar.

La actual tendencia en Mecánica de Rocas concibe los macizos rocosos constituidos por bloques pétreos separados entre sí por discontinuidades más o menos importantes. Estas discontinuidades las llamaremos de una forma genérica litoclasas y, evidentemente el estudio par-

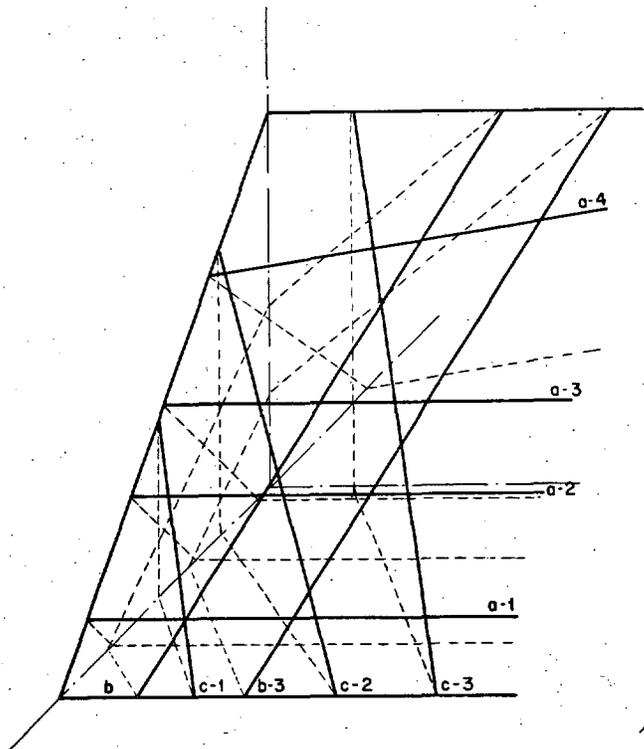
ticular de todas y cada una de ellas es prácticamente inabordable. Sin embargo, el análisis estadístico es perfectamente posible porque las discontinuidades, probablemente debido a sus orígenes comunes, admiten su agrupamiento en varias familias de litoclasas. Estas familias, incluyendo los planos de estratificación y la pizarrosidad en su caso, suelen ser tres o cuatro por macizo.

Cada familia está caracterizada por una dirección común —rumbo y buzamiento— y por una separación constante entre dos consecutivas de la misma familia. Naturalmente ambos conceptos —dirección y separación— han de ser estadísticamente definidos.

Si suponemos un macizo en el que sus discontinuidades se agrupan en tres familias podemos concebirlo como formado por la yuxtaposición de bloques rocosos paralelepípedos en los que las caras concurrentes en un vértice son planos de discontinuidad de sendas familias

2

ESQUEMA DE FRACTURACION DEL MACIZO AL CORTAR A LA LADERA



CROQUIS DE UN BLOQUE

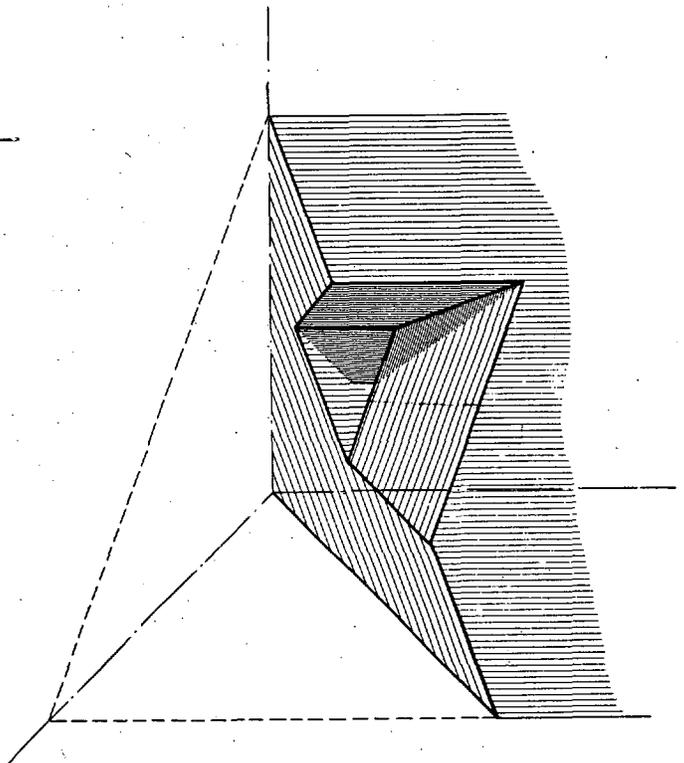


Fig. 1. — Esquema de la fracturación de la ladera izquierda de la presa de La Concepción en el río Verde, y disposición de un bloque unitario.

(Fracture pattern of the left abutment at La Concepción dam on the Verde river, and layout of a unit block.)

de litoclasas, en tanto que la separación entre caras paralelas es la propia de la familia a que pertenecen. Cada uno de estos elementos pétreos es lo que se denomina "bloque unitario de roca matriz" (fig. 1.)

Dentro de este conjunto pueden aparecer, generalmente paralelas a algunas de las caras de los bloques unitarios, otras discontinuidades menos abundantes pero más decisivas que han de ser estudiadas individualmente aunque su aparición mantenga una secuencia dentro de la formación (fig. 2). Marginalmente hay que subrayar que no

presentación idealizada del macizo podemos decir que hemos conseguido su "definición geométrica".

A partir de la definición geométrica, y no antes, se ha de abordar el estudio de las características mecánicas e hidráulicas que presentan los elementos que componen el macizo que, como vimos, son: la roca matriz y los distintos planos de debilidad. Generalmente el comportamiento del macizo está condicionado en mayor grado por las características que regulan las reacciones entre bloques, ante los distintos tipos de sollicitación, que

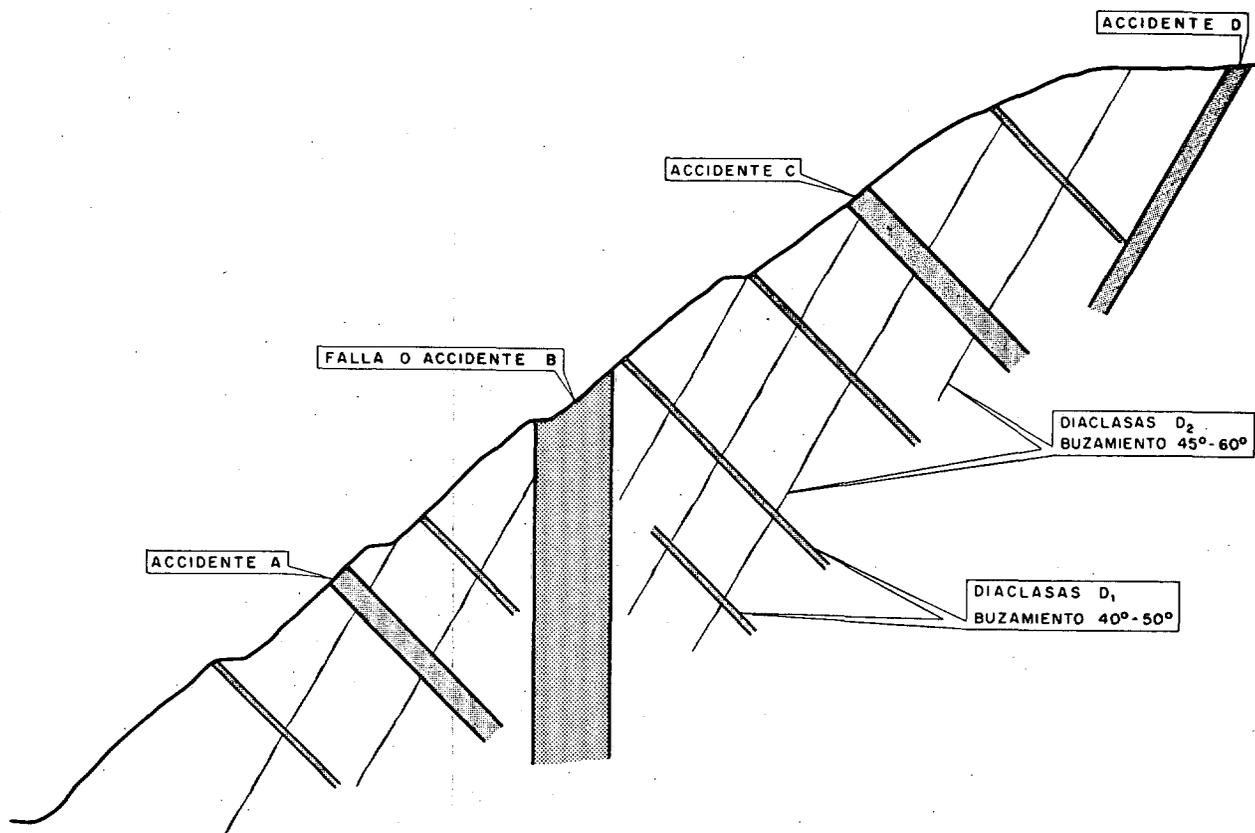


Fig. 2. — Corte esquemático de la ladera izquierda del río Lozoya, aguas arriba de la presa de El Atazar.
(Schematic cut of the Lozoya river left abutment, upstream the Atazar dam.)

es infrecuente que uno de estos accidentes, amén de su importancia particular, represente el límite o elemento de separación entre dos macizos distintos, sea por su constitución, sea por su orientación.

De la forma expuesta podríamos imaginar el macizo e incluso representarlo en una maqueta (fig. 3) como un conjunto de bloques unitarios de roca matriz adyacentes surcado por unos accidentes de mayor importancia práctica, sea porque ha existido un apreciable movimiento entre sus labios, sea porque presentan un mayor espacio milonitizado o por otras razones. Al llegar a esta re-

por las propias de la roca matriz normalmente más consistente.

Fundamentalmente son objeto de estudio los parámetros que definen la deformabilidad —tanto ante sollicitaciones de compresión como tangenciales— y los valores límites de resistencia. Otra característica a tener en cuenta, en ocasiones con carácter decisivo, es la permeabilidad.

Conocidas estas características, complementarias de la definición geométrica, habremos llegado a la "definición geomecánica del macizo" que es el objetivo del reconocimiento en su más amplio sentido.

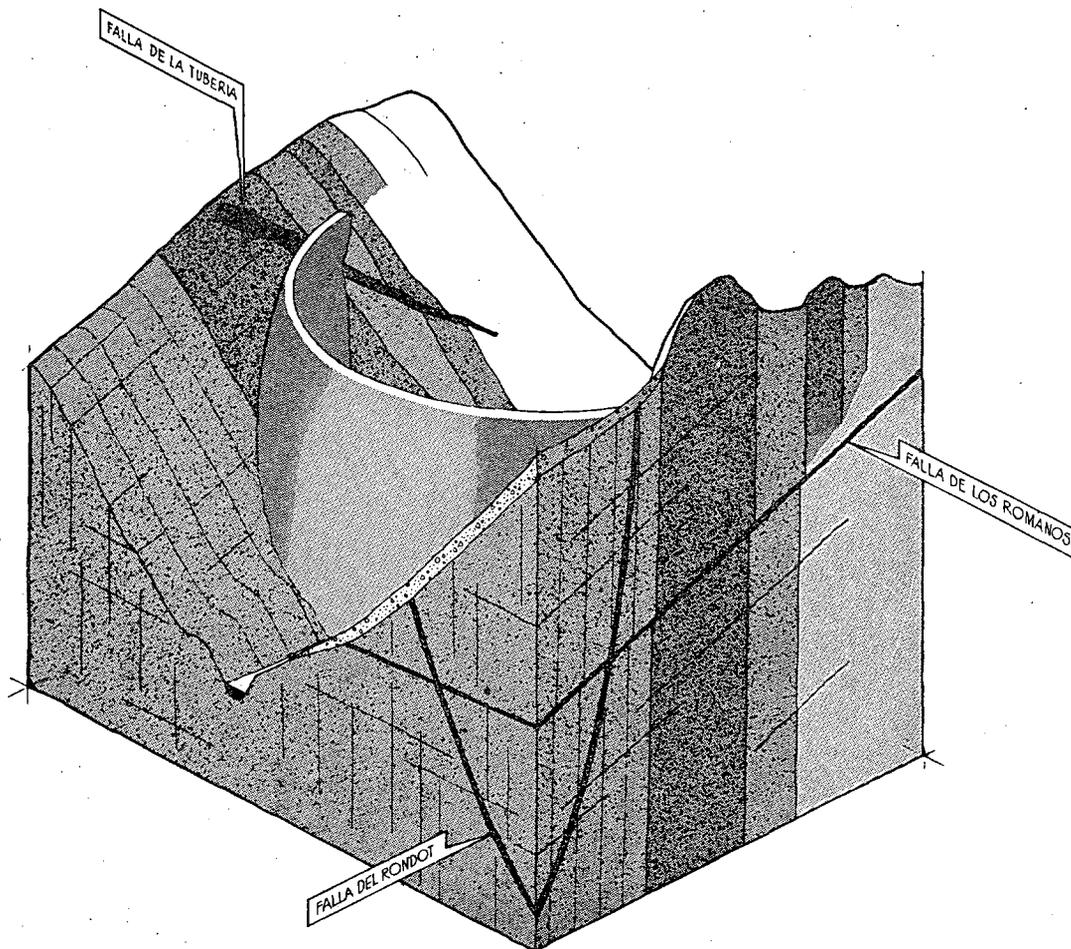


Fig. 3. — Bloque diagrama de la cerrada de Las Portas, en el río Camba.
(Block diagram of the Portas dam location, on the Camba river.)

1.2. La definición geométrica del macizo.

Concibiendo el macizo rocoso como un medio discontinuo, la Geología Estructural, y más concretamente sus aspectos descriptivos, cobran una importancia trascendental. Copiamos del Profesor Del Campo (1): "Para el estudio de un macizo rocoso en lo que respecta a su estabilidad y, en general, a su comportamiento mecánico e hidráulico, tiene quizá más importancia el conocimiento exhaustivo de su sistema de fracturas y su distribución geométrica, que los datos mecánicos deducidos por los ensayos".

Manteniendo en la exposición el orden cronológico que ha de seguir el estudio hemos de comenzar citando los reconocimientos zonales o regionales que permiten el

(1) "Comportamiento mecánico de macizos rocosos afectados por discontinuidades con direcciones preexistentes". I Coloquio Nacional de Mecánica de Rocas. Madrid, octubre 1966.

encuadre del problema. La fracturación local nunca es independiente de la tectónica regional y, por ello, el análisis de detalle —objetivo final— ha de surgir como corolario del estudio zonal. Este desarrollo no responde a un interés meramente estético de la exposición, sino que atiende a un fondo pragmático, permitiendo localizar accidentes difícilmente perceptibles en un reconocimiento parcial.

Al comentar este estudio zonal es preciso hacer mención del destacado papel que hoy juega la fotogeología como base de apoyo al reconocimiento directo (fig. 4).

Pasando al estudio detallado de la cerrada es preciso subrayar, en primer lugar, la importancia de la localización precisa de los grandes accidentes (fallas, zonas alteradas o litoclasas abiertas). La decisiva influencia que estos accidentes tienen en el comportamiento de la estructura no sólo justifica, sino que hace recomendable la utilización de medios auxiliares, incluso onerosos, como

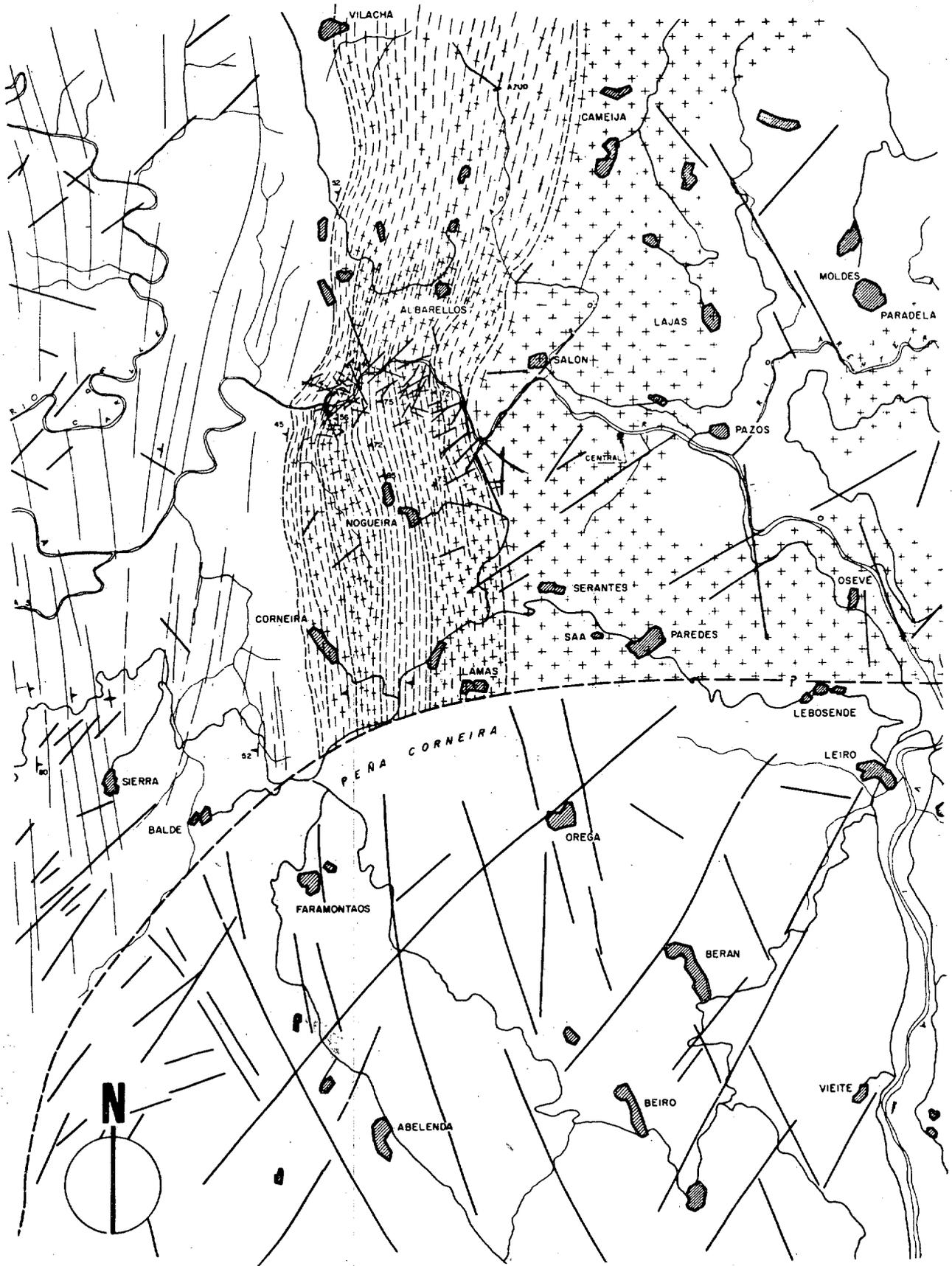


Fig. 4. — Esquema fotogeológico zonal de los alrededores de la cerrada de Albarellos (río Avia).
 (A photogeological zoning around the Albarellos dam location (Avia river).)

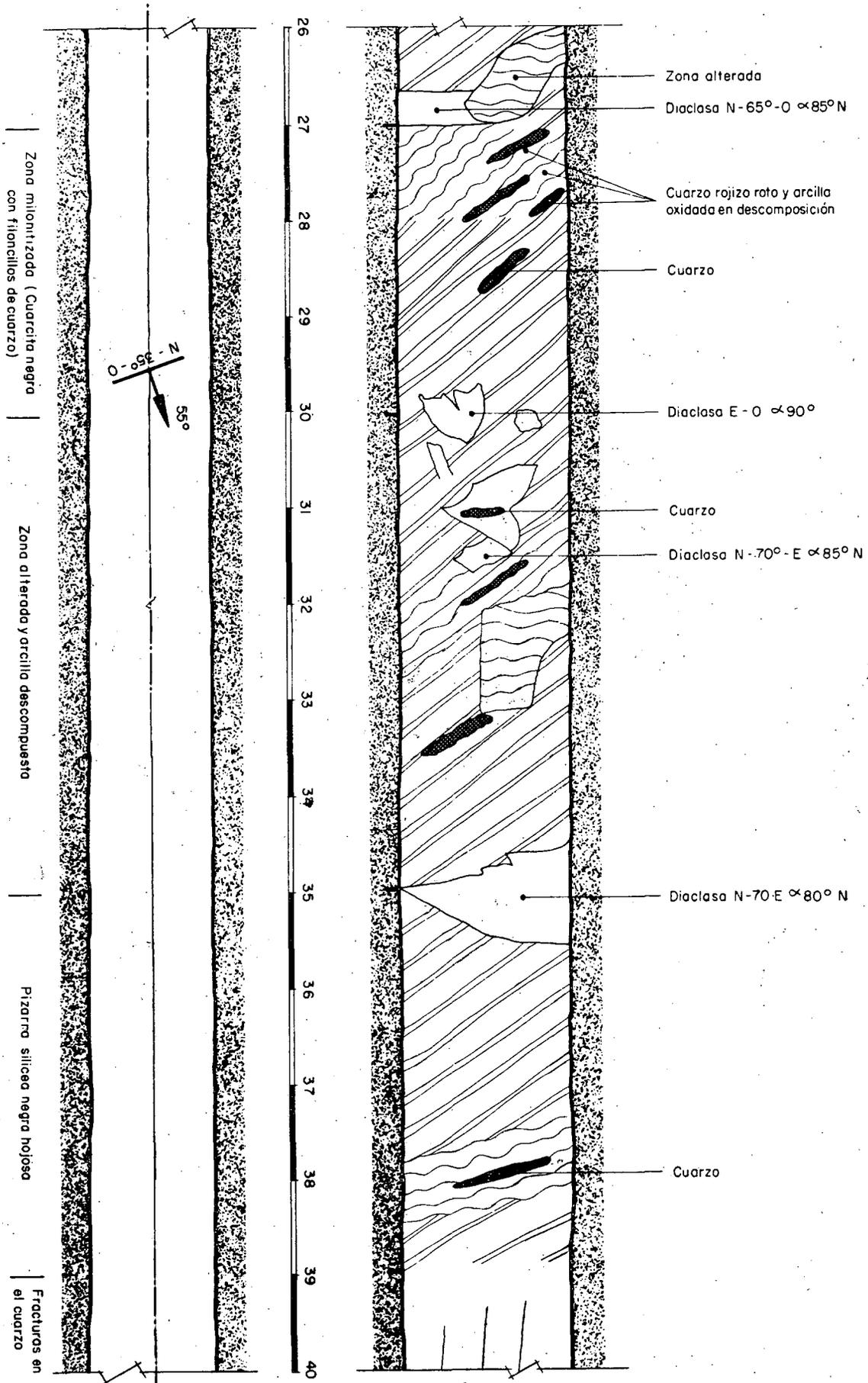
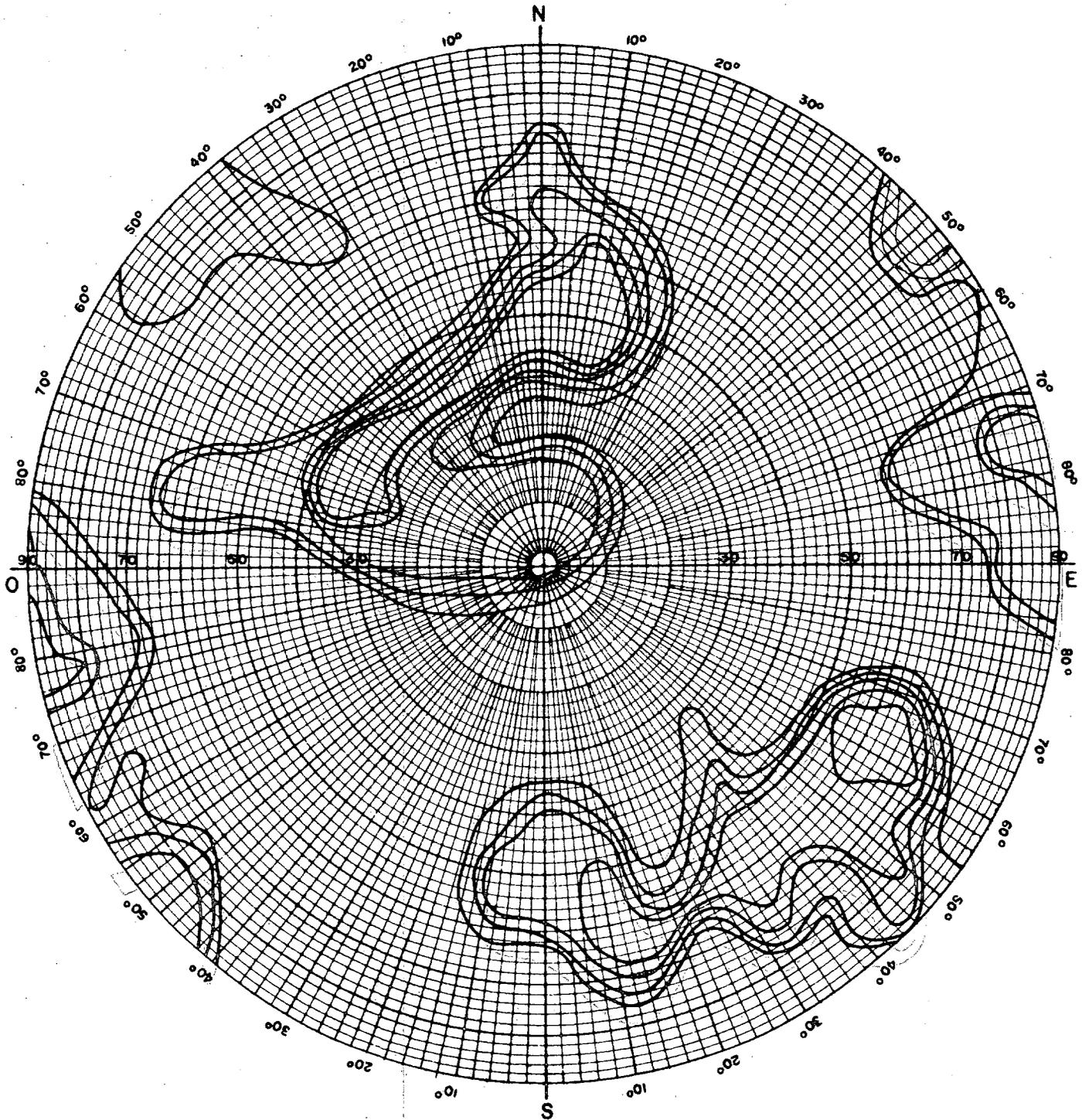


Fig. 5. — Plano de detalle de la galería número 15 de la cerrada de Las Portas.
 (Detailed drawing of the gallery No. 15 at Las Portas dam location.)

REPRESENTACION DE DIACLASAS

DIAGRAMA DE FRECUENCIA
CERRADA DEL ATAZAR



-  0.1-1
-  1-2
-  2-4
-  4-8
-  8-16
-  16-32

Fig. 6.

puede ser la apertura de pozos y galerías que permitan su completa definición (fig. 5) en situación, dimensiones y constitución.

Por otra parte, ha de abordarse el análisis de la red de fracturación sistemática. Para ello es preciso medir el mayor número posible de litoclasas, su dirección, extensión, abertura y naturaleza del relleno si lo hubiera, deduciendo de ahí, por procedimientos estadísticos, las características geológicas de las diversas familias que fracturan el macizo. Este análisis exhaustivo, que permitirá la definición geométrica, ha desarrollado los actuales sistemas de representación de litoclasas (fig. 6).

En síntesis, el estudio ha de partir de un encuadre zonal para concretarse en un detallado análisis de la estructura local. El grado de detalle es función de muy diversas circunstancias que van desde la importancia de la obra en proyecto, hasta el terreno que se estudia. Así, por ejemplo, en los terrenos paleozoicos donde la trascendencia de la fracturación es o puede ser decisiva, tanto desde un punto de vista intrínseco, debido a una intensa tectonización, como por su relación con una roca matriz consistente, el estudio puede alcanzar una precisión, que se pondrá de relieve en ejemplos de ulteriores capítulos, y que no hace mucho tiempo hubieran sorprendido. Por el contrario, en los terrenos más modernos, dentro de un planteamiento que en su fundamento es similar, el estudio atiende más a las características de la roca matriz, en tanto que el análisis de fracturación se centra con mayor intensidad en las discontinuidades de estratificación.

Señalemos, por otra parte, que, como es bien sabido, existen medios auxiliares de prospección que permiten obtener o completar la información en zonas difícilmente accesibles. Fundamentalmente, los sondeos mecánicos y la geofísica se utilizan profusamente. No nos detendremos en exponer estos métodos, ya conocidos, pero si queremos destacar la postura que entendemos debe guiar el planteamiento de estos reconocimientos. Plantear estas prospecciones como constitutivas de la específica "geología de presas" es, en nuestra opinión, conceptualmente equivocado. Por el contrario, creemos que su misión estriba en dar contestación a los interrogantes que los reconocimientos previos hayan originado. La geofísica y los sondeos los entendemos como dadores de respuestas a preguntas previas, y de ahí que su programación tiene una importancia que hay que considerarla comparativa con sus resultados que, por otra, no pueden limitarse a la obtención de unos perfiles o testigos, sino que deberán proporcionar una completa información que va desde la descripción litológica hasta los índices de fracturación, como son la velocidad de perforación, recuperación de testigo, RQD, sin olvidar las lecturas de niveles de agua en la perforación, pruebas de permeabilidad, etc.

Finalmente debemos subrayar el carácter comparativo que hay que asignar a la ponderación de estos índices que en su conjunto, y nunca parcialmente, permiten crear una idea del estado de fracturación del macizo.

1.3. La medición de las características mecánicas.

2

Evidentemente, la validez de un ensayo, a efectos prácticos, está íntimamente vinculada a su representatividad y en ésta influyen no sólo las características del terreno, sino también las de la obra a que se refieren. Así, por ejemplo, poco nos importan las deformaciones diferidas en un material arcilloso al estudiar su comportamiento ante una sollicitación instantánea. Resulta, por tanto, imprescindible antes de definir el ensayo, saber sus objetivos.

En general, en el planteamiento de las campañas de ensayos se han dado dos posturas. La más simple de intentar, fundamentalmente en lo referente a la deformabilidad, obtener valores globales aplicables al conjunto, y otra más analítica procurando medir las características estadísticamente previsibles en los elementos (bloques unitarios y distintas familias de discontinuidad) que componen el macizo. La adopción de una u otra depende de una serie de circunstancias, pero siempre es fundamental tener bien presente la relación de escalas entre el ensayo y la realidad.

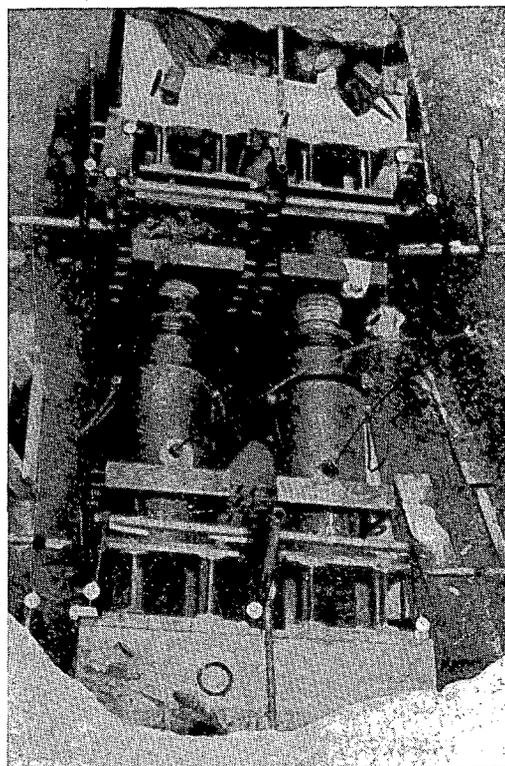


Fig. 7. — Ensayo de carga sobre placa flexible de 1,30 × 0,7 metros (central de Castrelo).

(Loading test on a flexible plate 1.30 × 0.7 m. (Castrelo powerhouse).)

La primera postura enunciada ha permitido desarrollar profusamente la técnica de los ensayos *in situ*. Dentro de ellos han cobrado gran difusión los ensayos de carga (fig. 7) con gatos y presiómetros planos para medir los módulos de deformación y los de corte directo para estudiar la resistencia tangencial.

de la realización de un volumen de ensayos tal, que permita su análisis estadístico.

Buscando obtener un mayor número de datos de deformabilidad, fundamentalmente a profundidades relativamente fuertes, se han desarrollado los procedimientos de ensayo mediante dilatómetros (fig. 10), que miden la

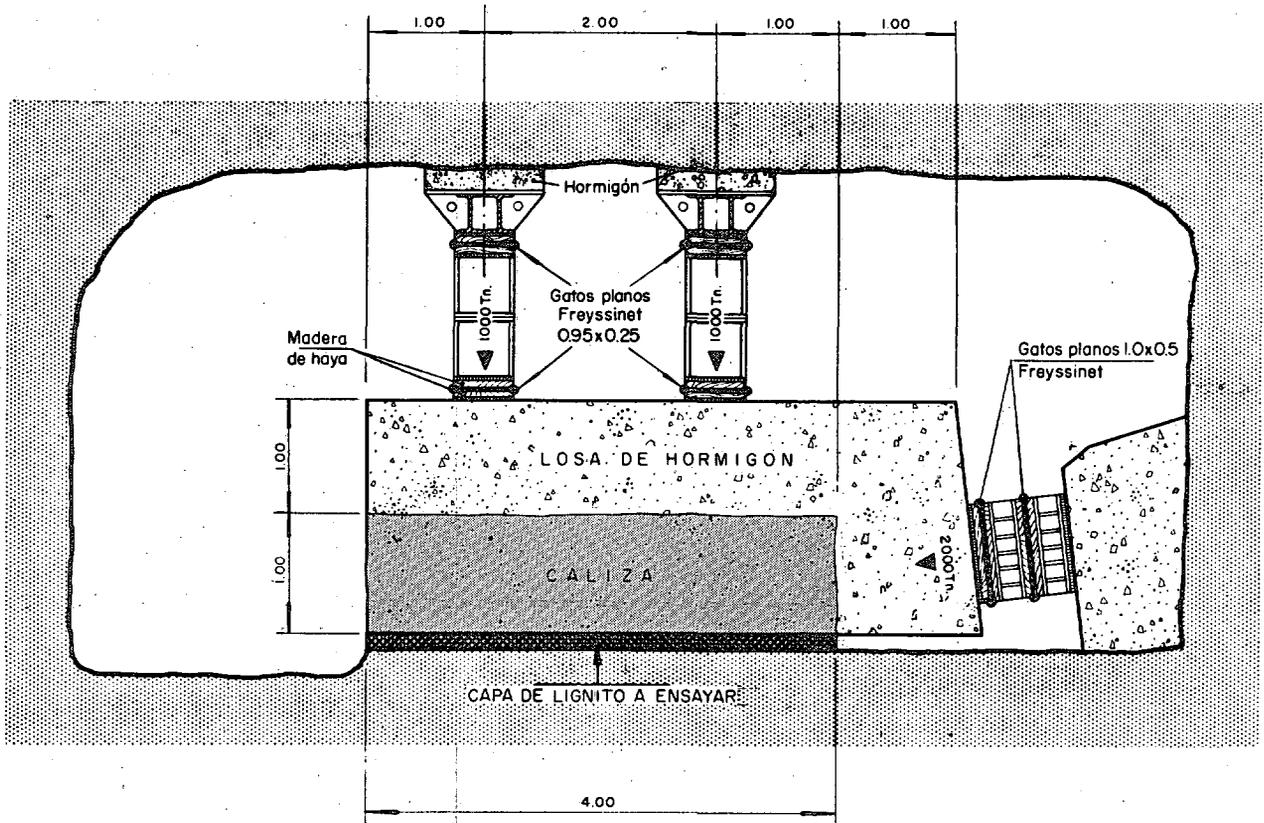


Fig. 8. — Ensayo de corte *in situ* sobre probeta de 6 × 6 m. (presa de Mequinenza).

(Test cut on site over a lignite sample 6 × 6 m. Mequinenza dam.)

La técnica española en este campo cuenta con numerosas realizaciones, algunas de las cuales figuran en primera línea a nivel mundial. Tal es el caso del ensayo de corte sobre probeta de 6 × 6 m. en Mequinenza (fig. 8) y la puesta en carga con medidas radiales de deformación en un tramo de la galería de Atazar (fig. 9).

En general, los ensayos *in situ* bien programados y rigurosamente ejecutados proporcionan una excelente información. Probablemente su mayor inconveniente reside en su elevado costo, no tanto el de la realización material del ensayo como los originados por la excavación y cuidada preparación de las probetas y cámaras de ensayo, que fácilmente se elevan a valores cinco veces superiores al estricto de la realización. Este elevado coste impi-

deformación radial al someter a una determinada presión un tramo de sondeo.

En esta misma línea para aumentar el número de ensayos, dentro de unos límites económicamente admisibles, se van utilizando cada vez con mayor frecuencia los ensayos de laboratorio. Así, para medir la resistencia tangencial en discontinuidades relativamente limpias se pueden tomar muestras *in situ*, con tamaños de hasta 20 × 20 centímetros, que posteriormente se someten en el laboratorio a un ensayo de corte (fig. 11).

Para el estudio de la roca matriz y de los rellenos y milonitos de falla, así como para las zonas alteradas, el laboratorio puede ser de gran utilidad. Ensayos bien conocidos a través de la Mecánica del Suelo —resistencia

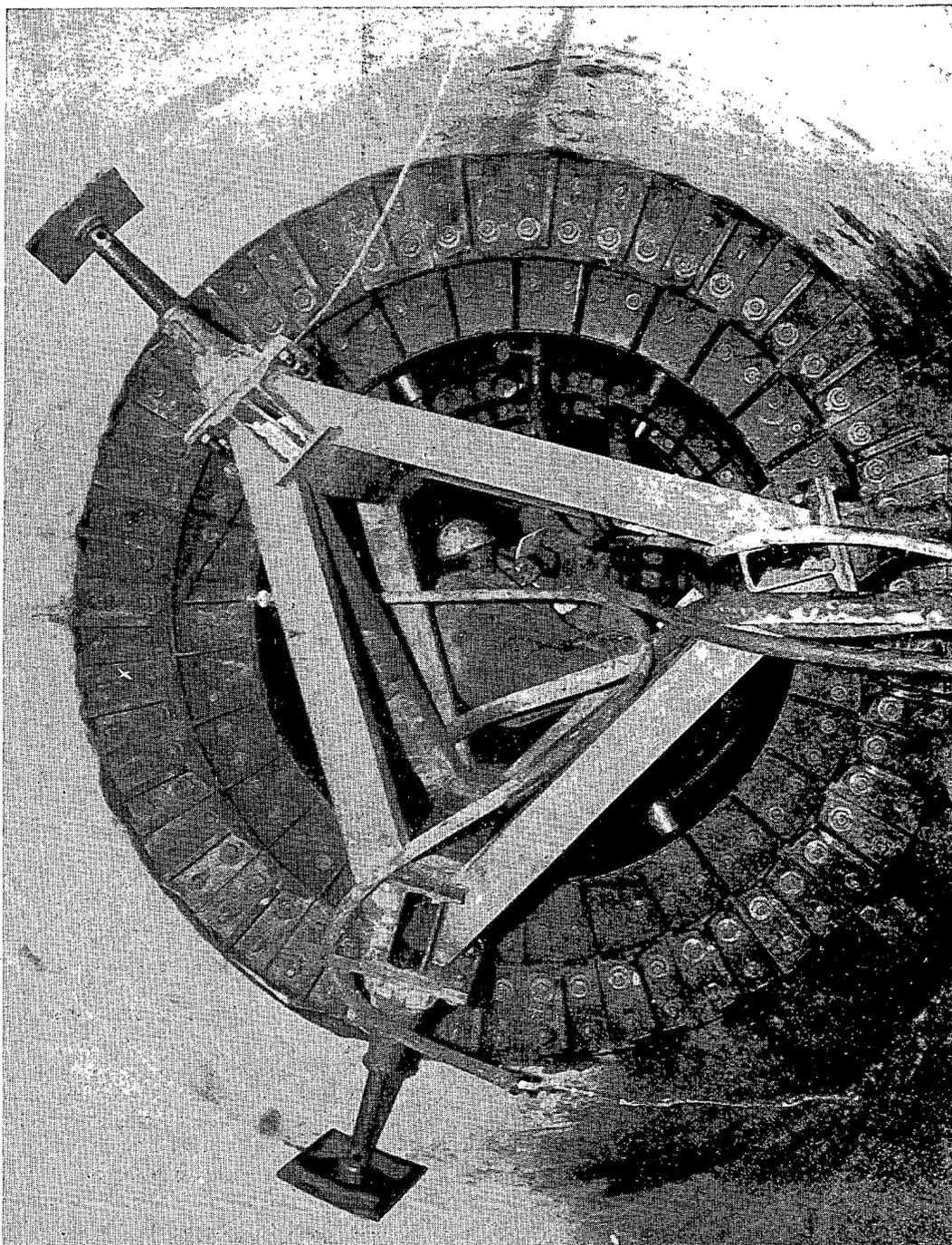


Fig. 9.— Ensayo de carga a escala natural en la galería de El Atazar.
(Loading test at natural scale in the Atazar gallery.)

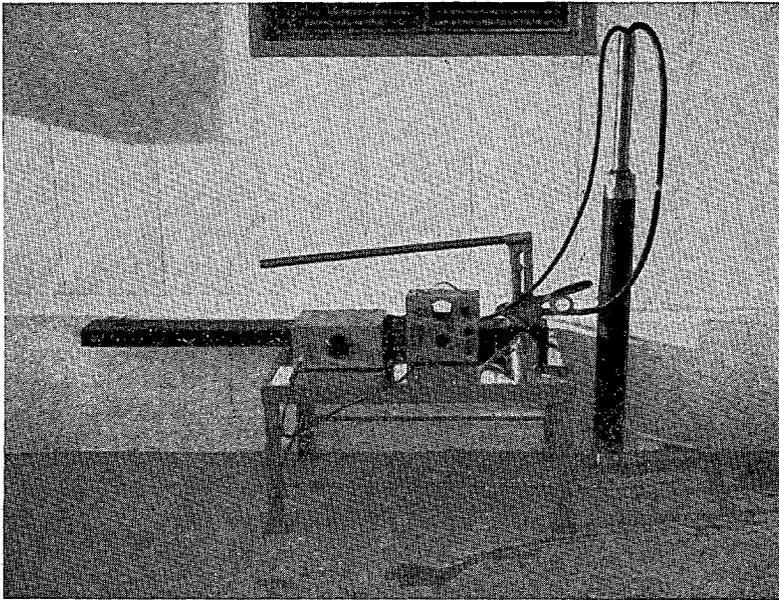
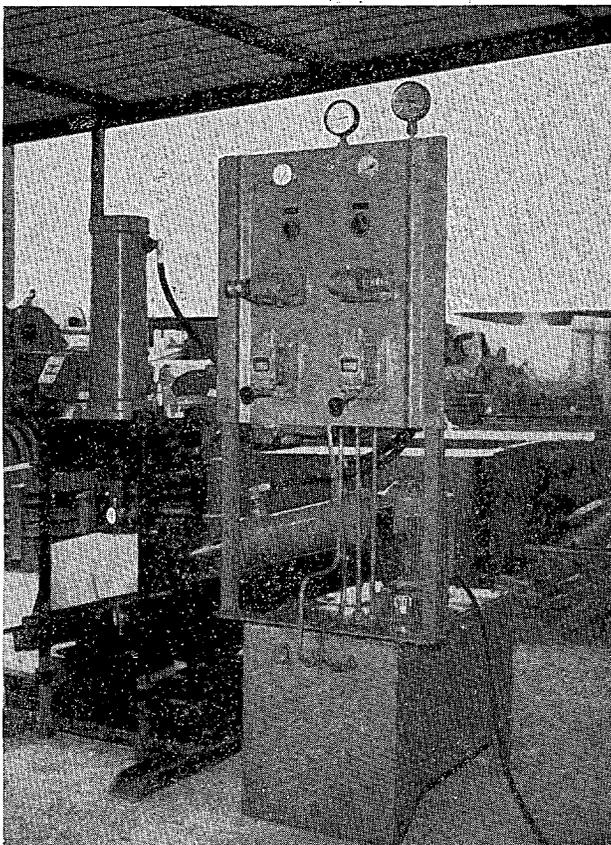


Fig. 10. — Dilatómetro de sondeo.
(A borehole dilatometer.)

Fig. 11. — Aparato de ensayo de corte en laboratorio.
(Test cut device in laboratory.)



a compresión simple y triaxial, permeabilidad y edométricos— tienen aquí amplia aplicación.

Cuando es posible la obtención de muestras inalteradas, el procedimiento presenta excelentes garantías de representatividad. En ocasiones es necesario trabajar con muestras remoldeadas, y en estos casos surge la interrogante del efecto que la alteración ha provocado en los resultados obtenidos. Es imposible, dentro de los límites del presente artículo, tratar este tema en cuyo debate serían aducibles numerosos argumentos en sentidos incluso opuestos. En cualquier caso entendemos que su utilización es interesante y a ello responde nuestra cita.

Finalmente dejaremos constancia de los ensayos de permeabilidad *in-situ* que con mayor frecuencia se utilizan. Antes de enunciarlos recordaremos que el tipo de ensayo difiere notablemente según la formación geológica a que se refieren. Así en las formaciones rocosas de baja permeabilidad es normal la ejecución de ensayos Lugeon. Menos frecuente y, en nuestra opinión, muy interesante es la recopilación de datos de absorción de agua durante la perforación de los sondeos; estos datos, como anteriormente dijimos, dan una orientación adicional del índice de fracturación del macizo. En los terrenos de mayor permeabilidad conviene estudiar los niveles de agua que aparecen y son más recomendables los ensayos de aportación o extracción de agua con sus diversas posibilidades, caudal constante y lectura de nivel o manteniendo éste fijo y midiendo el caudal. En España se han realizado en los últimos años varios estudios en este campo, que pueden presentarse como auténticos ejemplos a seguir.