

LA IMPERMEABILIZACIÓN POR INYECCIONES DEL EMBALSE DEL TRANCO

Por LUIS ALDAZ MUGUIRO, Ingeniero de Caminos.

Reproducimos en el presente artículo la conferencia que el autor pronunció en la Escuela de Caminos el 18 del pasado mayo, por considerarla de gran interés, como podrán ver nuestros lectores a continuación.

El pantano del Tranco de Beas está situado en la cabecera del río Guadalquivir, aguas abajo de su confluencia con el río Hornos; su capacidad es de 550 millones de metros cúbicos, y su presa, de 90 metros de altura, está situada en la gran cerrada que forma, al atravesar el valle, el macizo Jurásico, formado por calizas litográficas del Dogger. Dada la naturaleza de la cerrada, uno de los problemas más interesantes, en cuanto a la construcción de la presa se refiere, ha sido el conseguir la impermeabilización del embalse, así como una buena cimentación.

Varios han sido los *informes geológicos* que se han redactado sobre el Pantano del Tranco de Beas desde el informe provisional de la Comisión Geológica de 1925 hasta el último, emitido en el año 1943, por la Asesoría Geológica del Ministerio de Obras Públicas, en el que se hace un estudio geológico muy completo de las características del vaso y de las posibles zonas permeables.

De todos estos informes se deduce la preocupación constante que sobre el problema de permeabilidad de las calizas jurásicas en que está ubicada la presa ha existido, como consecuencia de los datos obtenidos en los sondeos que han servido de base a dichos informes. Lo cual, por otra parte, no es de extrañar, ya que se contaba en España con la experiencia de varias presas sobre cierres calizos, como Santa María de Belsue, Montejaque y Camarasa, etcétera; estas últimas en calizas jurásicas.

El proceso general de filtración a través de esta clase de roca es de todos bien conocido: el agua pasa primero lentamente y en pequeñas cantidades, podíamos decir tímidamente, a través de las fisuras que presenta la caliza, fallas diaclasas, etc.; después continúa ensanchándolas por disolución y por arrastre del material que en ellas puede haber interpuesto, en general arcilla, y acaba por formar una verdadera red de conductos y oquedades que permiten la circulación de caudales considerables.

Es, pues, del mayor interés, evitar, a ser posible, en un principio dichas filtraciones cuando las fisuras son pequeñas, y, por lo tanto, es posible cementarlas

con el mínimo consumo de cemento. Por otra parte, se comprende la conveniencia de efectuar la impermeabilización antes de haber embalsado, pues al no haber corriente de agua a través de las fisuras no hay el peligro de que arrastren el cemento antes de fraguar, que de otra forma se perdería o iría a consolidar zonas inútiles, encareciendo en definitiva la impermeabilización en forma a veces muy cuantiosa y obligando a recurrir, en algunos casos, al empleo de otros materiales que impidan dichos arrastres.

La tendencia a que los trabajos de impermeabilización se efectúen antes de embalsar se encuentra actualmente generalizada, sobre todo cuando se trata de grandes embalses.

La característica principal de la cerrada es la permeabilidad de las calizas; los demás accidentes geológicos locales que afectan a la obra son debidos a la gran falla, FF' , que cruza el valle en dirección sensiblemente NNE. y pone en contacto anormal las calizas jurásicas con las arcillas triásicas del vaso.

Las zonas de fricción se acusan principalmente en la ladera derecha, en el contacto de las calizas y la marga Oxfordiense; los sondeos efectuados en esta ladera demuestran el gran quebrantamiento que el fenómeno tectónico ha determinado en los bordes del paquete jurásico. No obstante haber variado la curvatura de la presa, en esta ladera, no se pudo evitar que, en una longitud aproximada de unos treinta metros, se apoye sobre la zona de fricción, si bien en una profundidad que, como máximo, llega a ser de cuatro metros.

El buzamiento del paquete de margas hacia aguas arriba, de 50° aproximadamente, constituye una pantalla protectora que reduce la zona peligrosa del área de calizas en contacto con el embalse a dos zonas independientes; una, contigua a la presa, y otra, que forma una pequeña mancha en el llamado Arroyo del Gato.

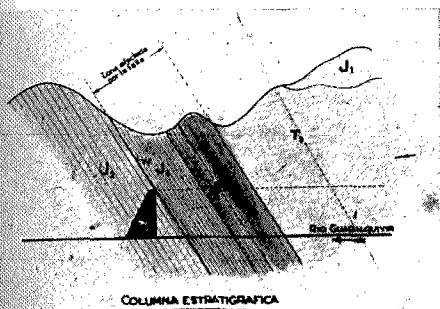
Un accidente local de mucho interés es la gran cueva de la margen derecha, que, según la leyenda, sirvió de refugio al bandolero *El Pernalés*, famoso en la región, y que está situada en la margen derecha, entre el paramento de aguas arriba de la presa y la

falla. Los bancos calizos aparecen en su interior en posición normal; no así los estratos margosos, sin duda dislocados por su proximidad a la falla.

Estando, en noviembre de 1943, terminada la construcción de la presa y trabajándose en plena actividad en la torre de toma y en los desagües de fondo, se pensó en la posibilidad de embalsar para recoger las precipitaciones de la primavera y paliar la angustiosa situación creada en la región andaluza por

¡cómo no!, la mayor riada registrada desde dicha fecha hasta el día de hoy, cerrándose las compuertas de fondo en el *plazo prometido*, a fines de febrero, lo que permitió embalsar si no los 150 000 000 de metros cúbicos que ambiciosamente se habían previsto, sí la tercera parte, con los beneficios consiguientes.

Se efectuaron las inyecciones, se rellenó la cueva y el túnel de desviación de la margen derecha, para lo cual hubo que desviar el río convenientemente.



JURÁSICO.

- J₃ - Calizas magnesianas y silíceas, de color blanquecino en su fractura.
- J₂ - Calizas y margas silíceas, de colores rosáceos y amarillentos, en bancos delgados y con espesor de una docena de metros.
- J₁ - Margas, arcillosas o calcáreas, de tonos griseos y amarillentos, con espesor de 10 a 12 metros, abundancia de los fósiles del género, característicos del ordenense.
- J₀ - Calizas litográficas en grandes bancos muy fracturados por diaclasas en varias direcciones y con enorme espesor: representan el Dogger y el Lias.
- J₁ - Calizas dolomíticas y carníolas, mal estratificadas; infraías.

TRIÁSICO.

- T₃ - Arcillas traasadas rojas y gris-verdosas, con escasas y aisladas boladas de yeso y elástico arenoso: Keuper.

(Informe de la Asesoría Geológica de Obras Públicas)

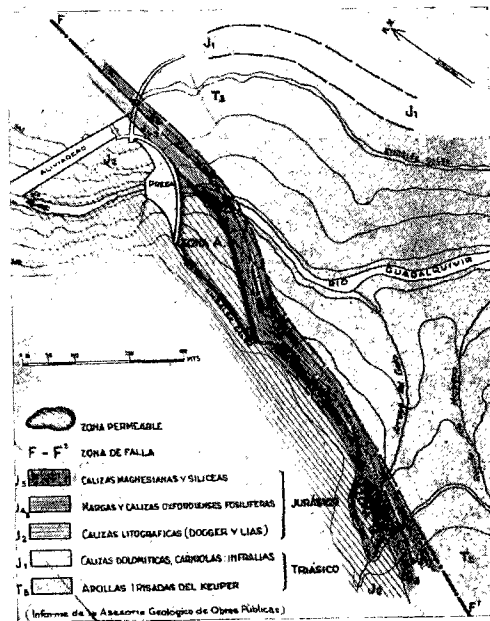


Figura 1.ª

la pertinaz sequía. Pero apareció el peligro de esa roca que los geólogos han calificado de temible, así como la zona de fricción y la cueva.

Consultada, por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, la Asesoría Geológica del Ministerio de Obras Públicas, formuló la necesidad de que antes de cerrar las compuertas de fondo para almacenar en el embalse 150 000 000 de m.³ se efectuase la impermeabilización con inyecciones a lo largo de la presa y la consolidación e impermeabilización del estribo derecho hasta la altura que habían de alcanzar las aguas en este primer embalse, y que se macizase la cueva de hormigón, de acuerdo con los proyectos redactados por D. Florentino Briones.

Se intensificaron al máximo las inyecciones, trabajando con cinco sondas en tan reducido espacio, y se consiguió cumplir el compromiso, a pesar de que la labor a realizar era considerable y de que en dicho lapso de tiempo, a principios de enero, se produjo,

La distribución de los taladros en esta zona, que llamaremos urgente, vino obligada por la existencia de gran cantidad de escombros y acarreos en el fondo del cauce, junto a la presa, y por la torre de toma.

La profundidad de estos escombros, que en algunos sitios alcanza 16 m., y el estar formados por bloques de caliza de gran tamaño, ya que proceden de la excavación de cimientos y rellenan la zona comprendida entre la presa y la ataguía de aguas arriba hasta la coronación de ésta, hizo que en esta parte se sustituyesen los taladros verticales de la pantalla principal por taladros ligeramente inclinados, emboquillaados en el paramento de la presa, con lo que se evitaron dichos escombros, y por taladros efectuados desde la galería de grandes avenidas, detrás del tapón de hormigón, que se realizó antes de efectuar el cierre de las compuertas de fondo.

La pantalla de inyecciones rodea en planta a la torre de toma en la zona de su emplazamiento.

Una vez hormigonada la cueva se inyectó, así como el túnel de desviación y el tapón de hormigón de la galería de grandes avenidas, para evitar toda filtración que pudiera producirse por las posibles juntas con la roca y la fábrica antigua, bien por defectos del hormigonado y por contracción del hormigón, y que podían desorientar al evaluar las pér-

La pantalla secundaria, que estaba proyectada con taladros verticales efectuados con perforadoras de aire comprimido, se ha realizado efectuando los taladros inclinados, con objeto de coser de una manera más perfecta y eficaz la unión de la fábrica de hormigón con la roca de cimentación, prolongándolos para asegurar la impermeabilización de los bancos de

• PRESA DEL TRANCO DE BEAS • IMPERMEABILIZACIÓN •

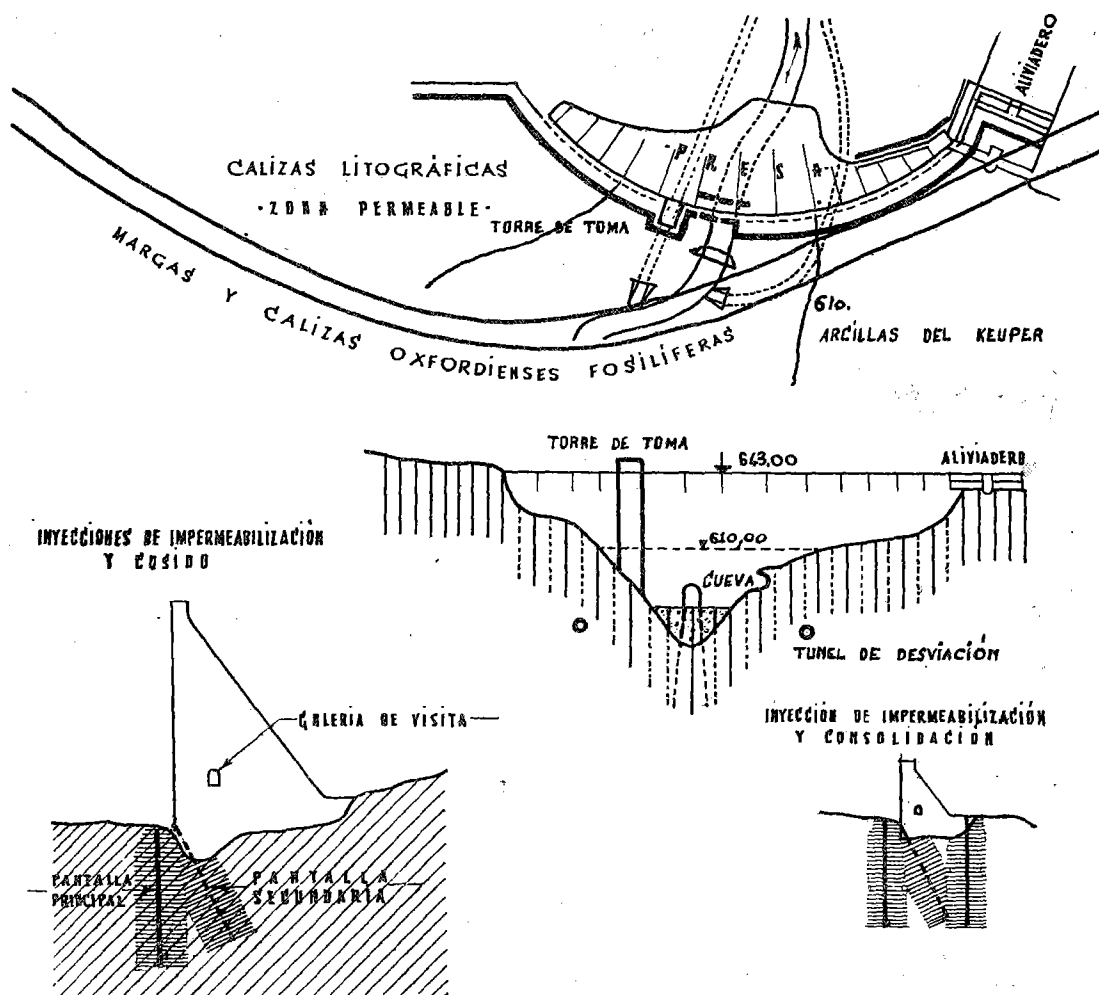


Figura 2.^a

didias de agua que al embalsar pudieran producirse; las cuales se observaron cuidadosamente, reduciéndose a ligeras exudaciones en la parte alta de la ladera izquierda.

Los datos obtenidos en esta primera fase sirvieron para orientar los sucesivos trabajos de impermeabilización. Se completó después la pantalla general de impermeabilización, llegando con ella a profundidades de 50 a 60 metros, en las que se comprobó que la permeabilización de la roca es muy reducida.

caliza, a los que cortaban casi normalmente, dado el buzamiento de éstos, que es de 50° hacia aguas arriba. Las inyecciones efectuadas demostraron la impermeabilidad del hormigón de presa, y que la soldadura lograda anteriormente, al cimentar la presa, había sido muy buena.

Estos taladros se han efectuado también con sondas rotativas, para evitar las dificultades que se presentan en la limpieza de los detritus en los taladros

profundos por percusión y por el gran peligro de que dicho polvo dificulte, e incluso imposibilite, la entrada de la lechada en las fisuras y diaclasas. La ejecución exclusiva de los taladros por rotación en perforaciones profundas es mucho más recomendable.

Se ha cuidado mucho la impermeabilización y

pantallas de impermeabilización se consigue consolidar toda esta zona tan trastornada, quedando la presa así perfectamente cimentada.

La pantalla general se ha seguido por el aliviadero, pues si bien es verdad que esta zona está muy protegida por la capa de margas, también lo es que,

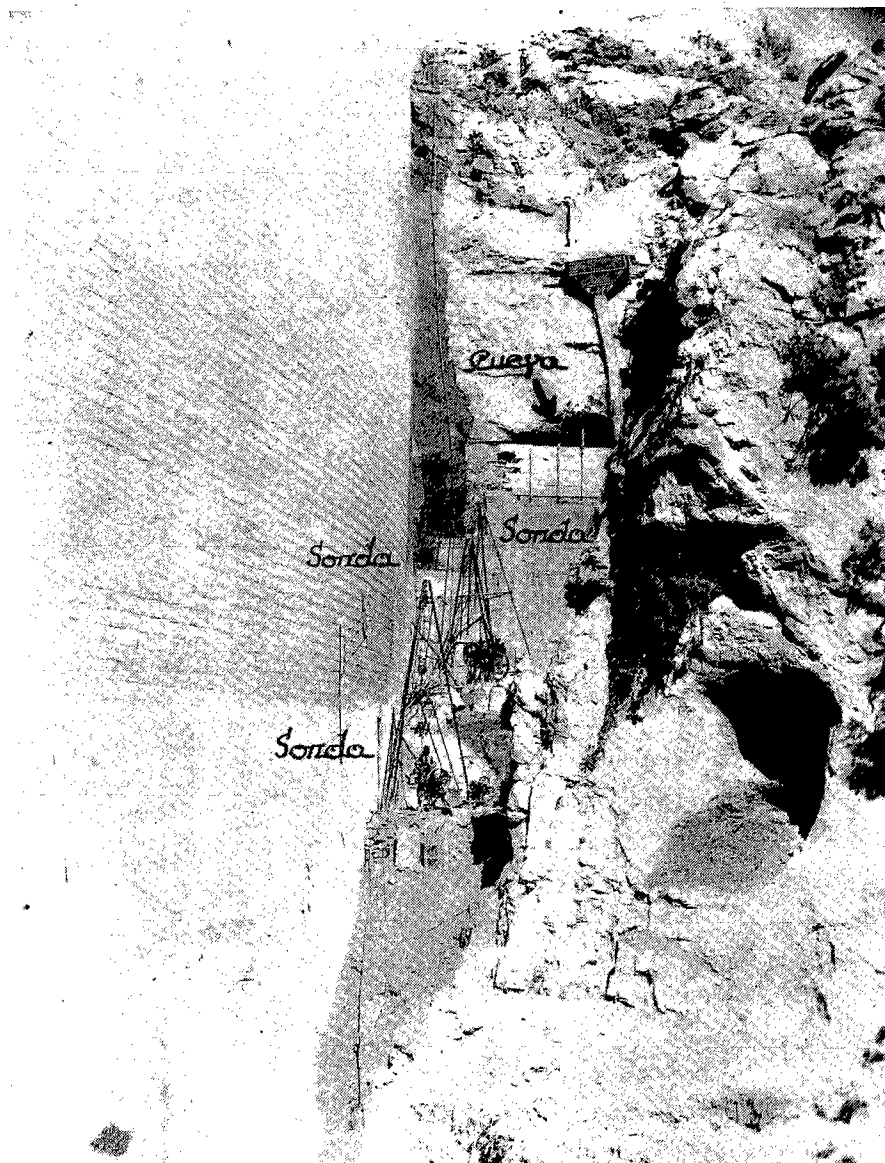


Fig 3.^a — Impermeabilización de la ladera derecha y hormigonado de la cueva.

consolidación del estribo derecho de la presa por su proximidad a la falla, sobre la que monta, si bien ligeramente. Además de la pantalla principal se ha hecho otra en el paramento de aguas abajo, con el fin de impermeabilizar el macizo de calizas que sirve de apoyo a la presa.

Al inyectar los taladros inclinados entre estas dos

dada la inclinación de éstas, no evitan las filtraciones profundas que pudieran producirse.

En la ladera izquierda, en la llamada zona permeable, se ha continuado la pantalla principal con dos filas de taladros verticales y profundos, siguiendo su misma dirección, hasta que la configuración del terreno, muy escarpado en esta parte, ha obligado a

seguir prácticamente una línea de nivel como solución más económica. Con esta pantalla se ha tratado de evitar la impermeabilización superficial de toda la zona permeable, que resultaría muy costosa, ya que la roca está muy trastornada. La experiencia que proporcionan las primeras puestas en carga a distintos niveles, decidirá si hay que prolongar más todavía la

las soluciones adoptadas, vamos a dar algunos detalles, que pueden ser interesantes, del *modus operandi*.

La impermeabilización se ha efectuado por el método llamado de fases descendentes; en él se inyectan los taladros por tramos de 4 a 5 metros de longitud, empezando de arriba a abajo e inyectando cada zona perforada antes de taladrar la siguiente.

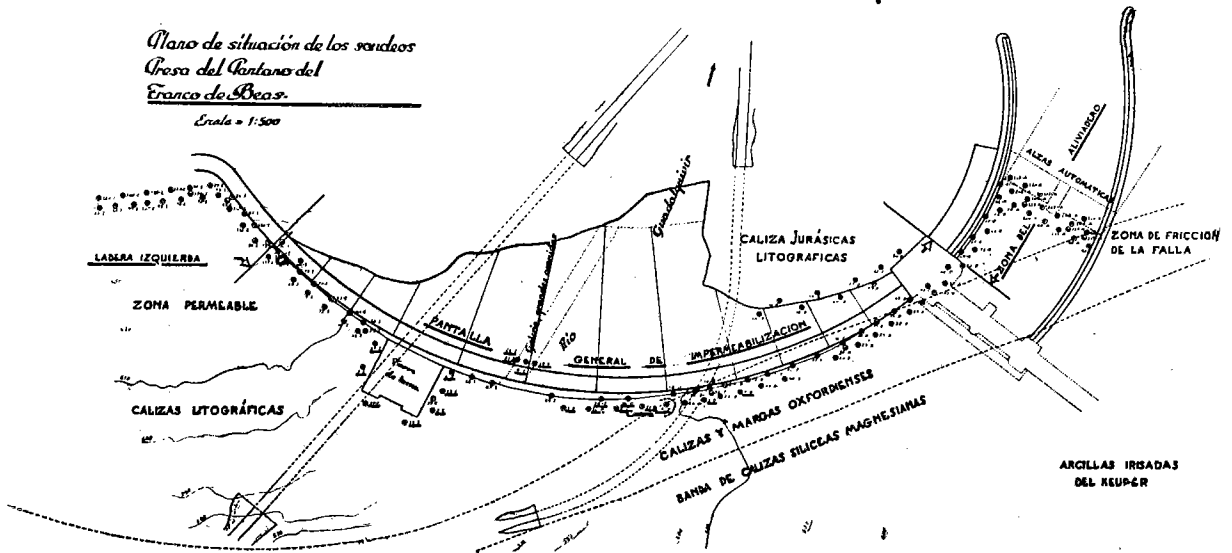


Figura 4.^a

pantalla de impermeabilización o si conviene efectuar dicha impermeabilización superficial. La circunstancia de ser un hiperembalse tiene la ventaja de que dicha zona estará muchas épocas sin embalsar, sobre todo, su parte alta, lo que permite llegar por fases masivas a la solución más económica.

Una vez que hemos visto el problema general y

Este método, aunque encarece algo la perforación, tiene muchas ventajas, sobre todo en rocas tan fisuradas como las calizas de este embalse, como son la de poder colocar el obturador en zonas inyectadas anteriormente y asegurar la inyección de las zonas profundas.

Para efectuar con probabilidades de éxito la in-

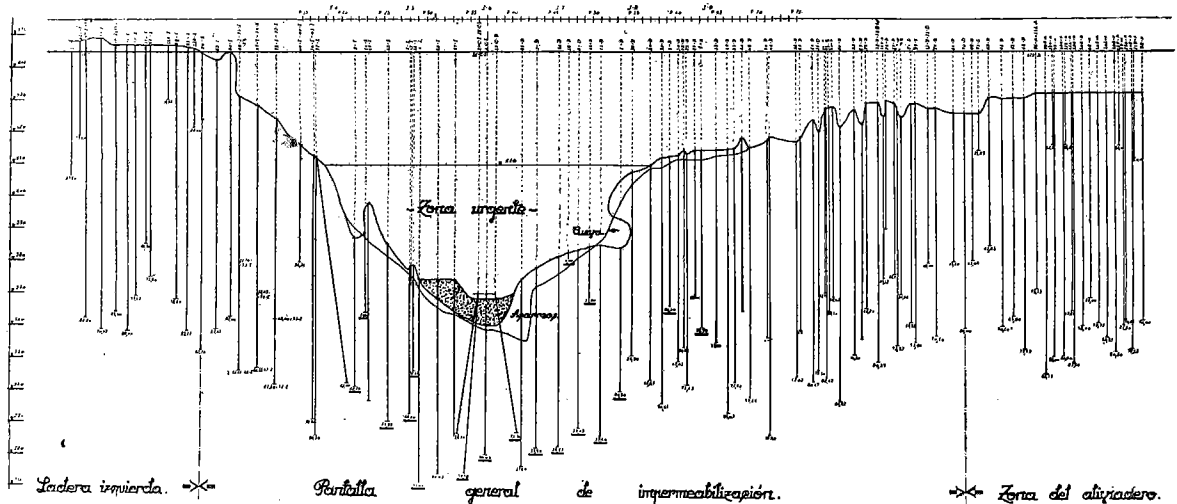


Figura 5.^a

yección de cada uno de estos tramos, es necesario llevar un control muy riguroso de todas las operaciones que se realizan mediante personal especializado.

La determinación de las fisuras y su permeabilidad tiene mucha importancia en sondeos de inyección. Cuando son muy grandes, se acusan por la pérdida total del agua de sondeo; las fisuras pequeñas pueden determinarse por la llamada prueba de permeabilidad.

Ésta sirve para determinar la permeabilidad de las diferentes zonas, para lo cual se inyecta agua a

El material inyectado en esta obra ha sido *sand-cement*, con el que se ha tenido una gran eficacia, debido a su gran finura, ya que su residuo era solamente del 5 por 100 en el tamiz de 4 900 mallas.

En las zonas muy permeables, y para conseguir un taponamiento más rápido, se ha utilizado también serrín, que se añadía a la lechada en proporciones del 20 y hasta del 40 por 100, con resultados muy satisfactorios, según se ha podido comprobar con los taladros de control realizados.

AGROMAN Empresa Constructora S.A.

SONDEO

TRAMO INYECTADO 29,50 - 31,00

DIAGRAMA HORARIO
INYECTORA N°3
INYECTOR CHALEYSSIN
 26 DE AGOSTO DE 1944

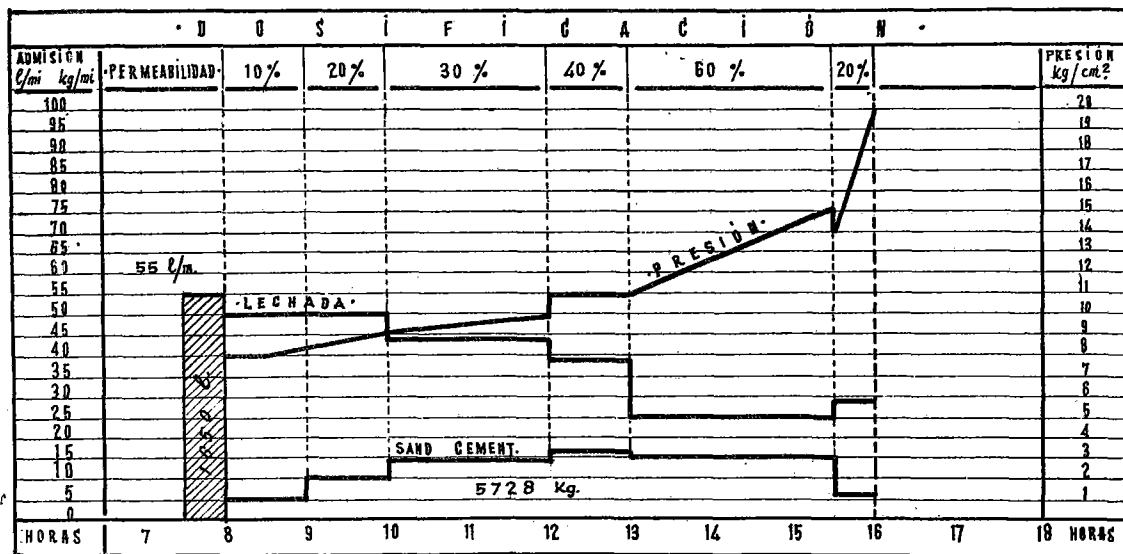


Figura 6.ª

presión, con presiones distintas y en tiempos determinados, formando así las curvas de permeabilidad, que sirven para determinar, de acuerdo con los resultados obtenidos, las dosificaciones a emplear. Se ha considerado como permeabilidad admisible la de un litro por minuto y por metro lineal, con inyección de agua a 10 atmósferas.

Las grietas se investigan también por medios mecánicos, eléctricos y ópticos.

En la inyección de los diferentes tramos se llevan los diagramas horarios, que permiten controlar perfectamente aquella, así como sacar conclusiones, a veces muy interesantes, para la marcha de los trabajos.

Solamente en un taladro fué necesario utilizar gravilla, para rellenar una cueva que, sin duda, había en el interior de la caliza. Este procedimiento se utiliza también con muy buenos resultados para taponar grietas importantes.

Se han realizado en total 7 728 metros lineales de sondeo, habiéndose inyectado 2 066 Tm. de cemento, de las cuales 150, aproximadamente, lo han sido en la inyección de la cueva-túnel de fondo y galería de grandes avenidas. Además se han inyectado 25 138 litros de serrín.

La admisión media que resulta por metro lineal de sondeo es de 247 Kg., que consideramos muy satisfactoria en este tipo de roca tan permeable.