

LA PRESA RECRECIBLE DEL GAYÁ

Por ALFONSO ALVAREZ MARTINEZ

Prof. Doctor Ingeniero de C., C. y P.
EDES, S. A.

J. A. BAZTAN DE GRANDA

Prof. Doctor Ingeniero de C., C. y P.
EDES, S. A.

ANTONIO GENS SOLE

Ingeniero de C., C. y P.
Cimentaciones Especiales, S. A.

En un artículo aparecido en la REVISTA DE OBRAS PUBLICAS con motivo del Congreso de Madrid, colaboración de los ingenieros Vallarino y Baztán, se glosaba el tema de recrecimientos y refuerzos de presas, con especial referencia a presas de hormigón. Las limitaciones que entonces se planteaban para este tipo de obras en el campo del hormigón no existen prácticamente en el caso de presas de material suelto.

Posteriormente, hemos tenido que intervenir en la construcción de la presa del Gayá, estructura proyectada en colaboración con el profesor Alvarez, para un recrecido ulterior de la misma. Hemos vivido dos problemas fundamentales:

a) La resolución de los condicionantes peculiares en el proyecto, previsto para posterior recrecimiento, de una presa de materiales sueltos.

b) El tratamiento de arenas, mediante inyección química, para evitar posibles sifonamientos, posteriores al recrecimiento.

Trataremos en lo que sigue de exponer las ideas fundamentales que han llevado a la resolución de ambos problemas, con un comportamiento de la estructura, hasta el momento actual de proceso de llenado, completamente satisfactorio.

1. PREVISION DEL FUTURO RECRECIMIENTO EN EL PROYECTO

En el caso de la presa del Gayá, y por razones ajenas al tema, se trataba de proyectar una estructura de 50 m de altura que permitiese un posterior recrecimiento de 25 m. Aunque económicamente, y con independencia del recrecimiento, la solución óptima era una presa de materiales sueltos, ya que el cimientado está constituido por una alternancia mioceno-marina de arenas y molasas, evidentemente la necesidad de dejar la estructura dispuesta para la mencionada obra futura de recrecimiento obligaba a adoptar dicha solución de presa.

Los condicionantes del proyecto pueden resumirse en los siguientes puntos fundamentales:

- Un plazo muy reducido de ejecución, ya que el embalse tiene como fin el abastecimiento de la Refinería de Petróleo de Tarragona, cuya fecha de puesta en marcha imponía la de terminación de obra civil de presa, incluso contando con un mínimo embalse inicial, a utilizar en el proceso industrial.
- La estructura debería permitir su posterior recrecimiento sin alteración en el régimen normal de explotación durante la segunda fase de obras referentes a dicho recrecimiento.
- Necesidad de evacuar una avenida de 637 m³/s, correspondiente al periodo de recurrencia de quinientos años.
- El tratamiento de un cimientado con bancos espesos arenosos sin acudir a sistemas de tapizado lateral para evitar sifonamientos, cuyo plazo de ejecución era incompatible con el de la obra, y el de iniciación de la puesta en marcha de la refinería.

Todos estos imperativos se han tenido en cuenta en el proyecto final, como brevemente expondremos a continuación. La obra ha sido ultimada en su primera fase y se están iniciando las obras de recrecimiento de la misma, con un embalse correspondiente al primer llenado equivalente a 30 m de carga.

2. PECULIARIDADES DE LA SOLUCION

La sección tipo proyectada se incluye en la figura 1. Los imperativos de explotación sin interferencias a la hora de recrecer obligaban a que la zona de aguas arriba de la estructura construida fuese definitiva. En el estudio tipológico de presa de materiales sueltos más idónea, en el aspecto técnico-económico, se había llegado a la conclusión de utilizar depósitos impermeables del mioceno continental como material de núcleo, las zonas menos deleznable del mioceno presente en la cerrada como material de espaldón y, como complemento alternativo, calizas cretácicas próximas a la ubicación de la obra. En

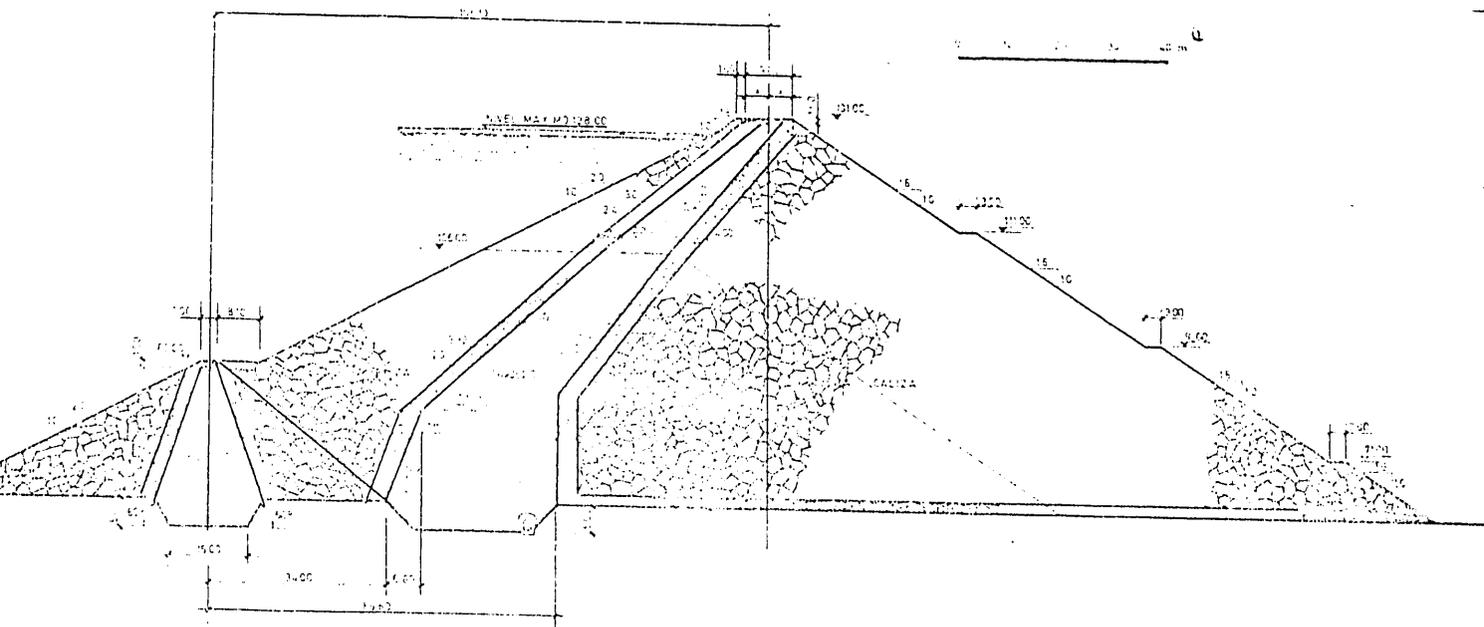


Figura 1.

la figura 1 se presenta en línea discontinua lo que constituye la primera fase de la obra respecto al dibujo total que corresponde a la sección de presa, una vez recrecida. Refiriéndonos a la mencionada sección tipo, podemos resaltar el cumplimiento en ella de los condicionantes establecidos para nuestro caso particular:

- Inclinación del núcleo para minimizar la obra de aguas arriba que, en primera fase, debe ser definitiva para evitar problemas de explotación durante la ejecución de la segunda fase.
- Crear una ataguía incorporada a la presa para asegurar una carga que permitiese caudales suficientes de evacuación por desvío y desagüe de fondo, de forma que se redujeran al mínimo las posibilidades de sufrir un retraso en la explotación.

De la figura 2, que corresponde a la planta general de la fase final de presa recrecida, resaltamos el siguiente punto:

- El aliviadero, situado en margen izquierda, constituye el elemento de conjunto menos adaptable al recrecimiento sin sobre costo importante, ya que se trata, en definitiva, de una presa de hormigón.

Para buscar una solución ecléctica que, sin gravar excesivamente la fase inicial, permitiera un recrecimiento posterior con el menor problema posible, se estableció la situación que se observa en el plano. Es la optimización entre una solución sólo válida para cota baja, de primera fase con eje más próximo al río, sin excavación de alimentación, pero que en segunda fase hubiese forzado a construir un muro de gran altura entre presa y aliviadero;

y una solución sólo válida para cota de recrecimiento, con eje de aliviadero más alejado del río, pero que hubiese obligado a muy fuertes excavaciones de alimentación del aliviadero para el embalse a cota baja.

El doble sistema de túneles independizando desagüe de fondo y desvío del río, viene impuesto en este caso por las siguientes razones:

- Necesidad de contar con un control profundo de embalse y de suficiente capacidad para permitir el llenado, coincidiendo con el último período de construcción de la presa. Como las obras se iniciaron en época de crisis económica general (inicios de 1974), los fuertes plazos de entrega de elementos mecánicos, compuertas, etc., imponían la necesidad de construir un túnel de desvío independiente del desagüe de fondo, para poder iniciar las obras sin interferencia de montajes y plazos para los mismos.
- Necesidad, por condiciones de la concesión, de dejar preparada una toma independiente del desagüe de fondo, con embocadura 25 metros por encima del nivel del cauce. Esta toma debe ser independiente de todo el sistema, ya que se utilizará para abastecimiento futuro al campo de Taragona.

Estos dos condicionantes, unidos al plazo perentorio, obligaron a independizar decididamente desvío y desagüe de fondo, ya que de haberse compactado en un solo túnel, no hubiera podido garantizarse un mínimo de embalse controlado durante la ejecución del segundo año de la obra.

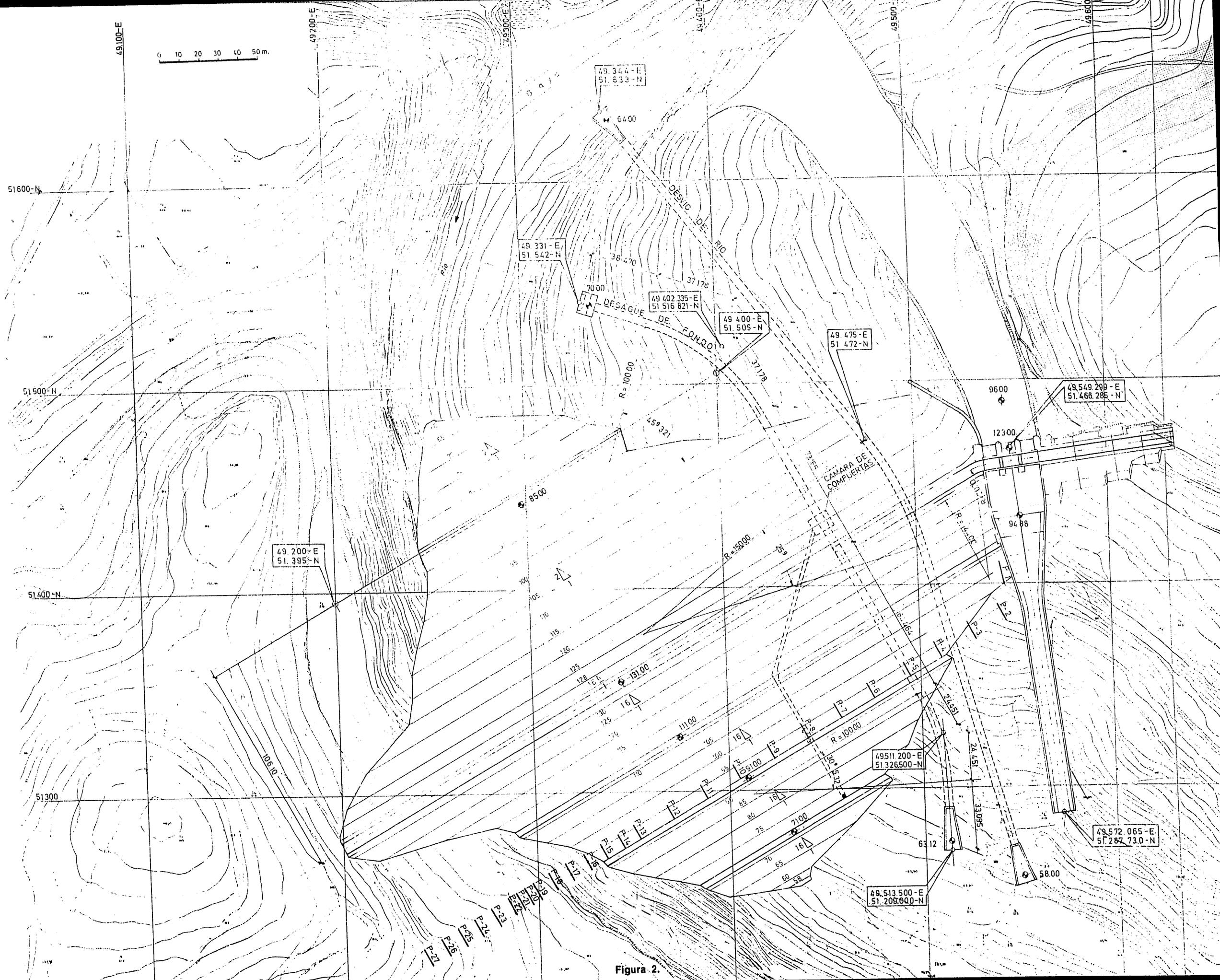


Figura 2.

En la fotografía de la figura 3 se observa la iniciación del llenado con las obras en plena ejecución. La toma, adaptada al túnel de desvío, puede verse a la izquierda.

3. TRATAMIENTO DE LAS ARENAS DE CIMENTACION

Este aspecto presenta especial interés, ya que, como hemos expresado, preferimos acudir a un sistema de estabilización de arenas que proyectar soluciones tendientes a alargar recorridos de circulación en las mismas, más caros y, sobre todo, inviables en plazo para nuestro caso.

El proyecto de tratamiento de las arenas de cimentación incluía los siguientes puntos:

- a) Productos de inyección y dosificaciones.
- b) Disposición de taladros de inyección.
- c) Técnica de inyección, Presiones y admisiones límites.

3.1. Productos de inyección y dosificaciones.

La mezcla a utilizar debía ser a base de productos químicos, puesto que cualquier lechada de cemento sería incapaz de penetrar por los huecos de la arena.

Sin embargo, el problema difería considerablemente de los casos normales de presas de escollera cimentada sobre aluviones, donde también se emplean tratamientos químicos. En efecto, en estos casos los aluviones eran muy heterogéneos y, en general, con huecos suficientemente grandes para permitir una inyección con mezclas de cemento-bentonita, o cemento bentonita-silicato. Sólo en algunos casos se empleaban subsidiariamente mezclas químicas para tratar aquellas zonas que no hubieran quedado inyectadas con la mezcla primaria.

Véanse, por ejemplo, los casos descritos por Bolomey y Osende (1967), Gerber (1961), Lorenz (1967), Heldt (1967), Jathal (1967), Kropatschel y Riendssl (1967), Swiger (1961) y Terzaghi y Lacroix (1964).

En el caso de la presa de obra descrito por Garg y Agrawal (1967), donde el terreno de cimentación era ex-

Figura 3.

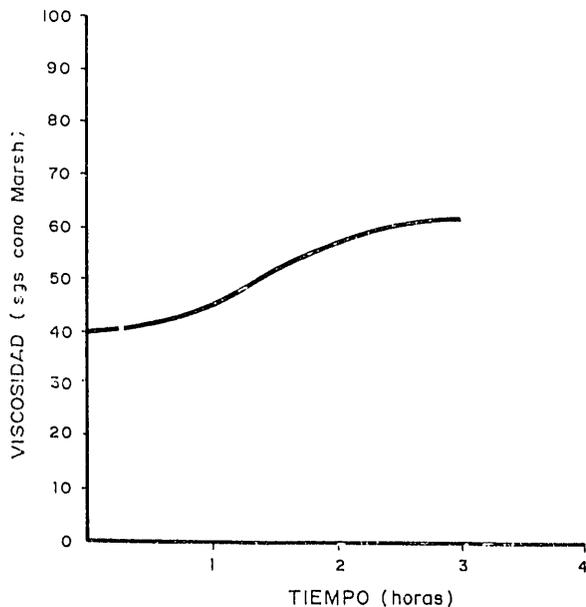


clusivamente arena, se realizó una pantalla convencional de hormigón. No se recurrió a un tratamiento a base de inyecciones químicas, tanto por su coste como por estar poco desarrollada la técnica de dichas inyecciones en la India durante la época de la construcción de la obra.

No obstante, la presa del Gayá también difería de este último caso, pues la arena se presentaba intercalada entre estratos rocosos, por lo que, por una parte, impedía cualquier solución a base de pantalla, y por otra, reducía el coste de la inyección al ser menor el volumen a tratar.

Adoptado, pues, un tratamiento químico de las arenas mediante inyecciones, y teniendo en cuenta la granulometría y permeabilidad de la arena, se escogió como producto de inyección una mezcla de silicato-acetatos.

Viscosidad mezcla bentonita-cemento



Viscosidad mezcla silicato-acetato

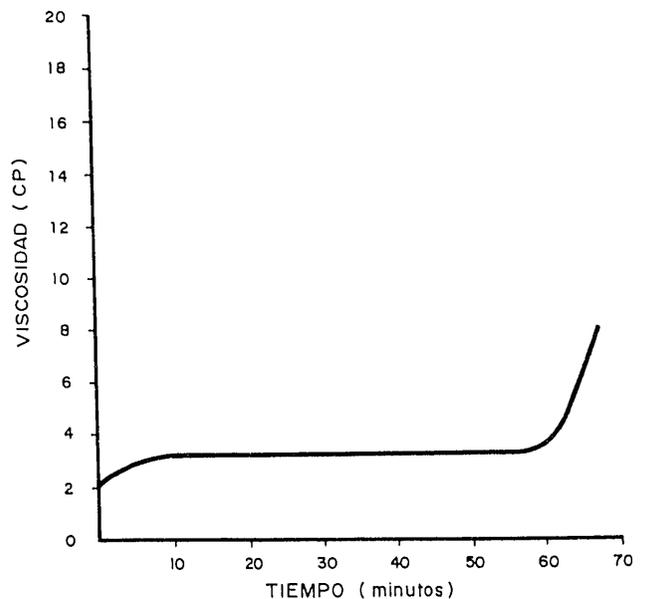


Figura 4.

El fenómeno químico que provoca la gelificación de la muestra es una saponificación que libera el ácido y el alcohol, reaccionando ambos con el silicato. Esta reacción no es inmediata, por lo que transcurre un cierto tiempo hasta la gelificación, permitiendo de esta forma la inyección.

En cuanto a la dosificación, debía cumplir las siguientes condiciones: viscosidad suficientemente baja para conseguir una buena penetración; tiempo de fraguado lo suficientemente largo para permitir su inyección; resistencia final suficiente para los fines pretendidos y coste reducido.

Naturalmente, estos objetivos son incompatibles entre sí, por lo que la dosificación elegida fue un compromiso entre dichos factores.

Las características del producto escogido fueron:

- a) Viscosidad inicial, 2,3 cp. Su evolución puede verse en la figura 4. Se eleva rápidamente a 3,5 cp, permaneciendo constante hasta el inicio del fraguado, momento en que crece muy rápidamente.
- b) Densidad: 1,1 gr/cm³.
- c) Resistencias a compresión simple en probetas de arenas final y gel, moldeadas en el laboratorio y preservadas del secado del aire:

A 24 horas	1,7 Kg/cm ²
A 3 días	2,6 Kg/cm ²
A 7 días	4,2 Kg/cm ²

Estas resistencias de laboratorio son siempre más bajas que las del terreno inyectado, pues en el subsuelo se produce un mejor fraguado; la arena es más compacta y, debido a la presión de inyección, se consigue una mejor impregnación.

- d) Tiempo de fraguado. Oscilaba entre 60 y 80 minutos, tiempo suficiente para realizar la inyección.

El tiempo de fraguado es muy sensible a los cambios de temperatura, lo que puede ocasionar problemas de ejecución. Una forma de prolongar el tiempo de fraguado y limitar su variación es el uso de acetatos de peso molecular más elevado. Sin embargo, esta solución tiene límites por cuanto supone un incremento del coste.

Previamente a la inyección de la mezcla silicato-acetatos, se consideró necesario tratar el contacto roca-arena y las zonas de roca contiguas a las capas arenosas con

una lechada de bentonita-cemento, a fin de confinar el tratamiento posterior.

Se adoptó la siguiente dosificación base:

Cemento	445 Kg
Bentonita	25 Kg
Agua	843 Kg

para un volumen de un metro cúbico, con las siguientes características:

- a) Viscosidad inicial, 39,8 segundos, medida en tiempo de paso en cono March. Su posterior evolución puede verse en la figura 4.
- b) Densidad, 1,31 gr/cm³.
- c) Resistencia a compresión simple a los veintiocho días, 11 Kg/cm².
- d) Principio de fraguado, seis horas; final de fraguado, diez horas.

Con esta lechada se realizó, asimismo, un tratamiento previo de las capas de arenas, a fin de que si existieran zonas más permeables fueran inyectadas con bentonita-cemento. Si estas eventuales zonas fueran tratadas directamente con la mezcla silicato-acetato, no sólo hubiera sido más costoso, sino que, en parte, inefectivo, debido a la rápida sinéresis que sufre el gel de sílice al ocupar huecos grandes.

3.2. Disposición de taladros de inyección.

La disposición de taladros estaba condicionada por el radio de acción de la inyección, el cual, a su vez, dependía de la permeabilidad del terreno, la viscosidad y el tiempo de fraguado de la mezcla y la presión máxima admisible.

Como se ha indicado, este caso difiere radicalmente del usual de presa sobre aluviones, donde las pantallas tienen una gran anchura (de 10 a 35 m), con una elevada separación entre filas y entre taladros. Por tanto, se estimó que a igualdad de costes, era más efectivo centrarse en el tratamiento de una faja más estrecha para lograr una inyección de gran calidad.

Los taladros se dispusieron en dos filas al trespelillo, con distancia de 1,20 m entre taladros de la misma fila y de 0,60 m entre filas. La separación adoptada era un poco inferior a la estrictamente necesaria, con el fin de asegurar la calidad del tratamiento. La distancia estrictamente necesaria se determinó calculando el recorrido efectuado por un líquido con la misma evolución de viscosidad que la mezcla inyectada en un medio poroso con la permeabilidad de la arena a tratar durante un tiempo igual al del fraguado, descontando el tiempo empleado en la elaboración y almacenamiento de la mezcla, y con una presión y caudal máximos iguales a los del proyecto.

Las diferencias que se observan entre las distancias entre taladros de las pantallas clásicas en aluviones y en este caso se deben a la permeabilidad más elevada que generalmente poseen los aluviones y, también, al distinto concepto de inyección. En este caso particular se requiere una perfecta impregnación del terreno, y cualquier rotura iría en detrimento de la cantidad final, pues crearía una zona de fácil circulación por donde escaparía la mezcla.

3.3. Técnica de inyección. Presión y admisiones máxima.

La técnica de la inyección se describe en el siguiente apartado que trata de la ejecución.

Las presiones máximas se fijaron atendiendo a la profundidad del tratamiento, admitiéndose mayores presiones en las capas más profundas. Se comprobó, mediante ensayos en obra, que las presiones de proyecto eran inferiores a las de rotura del terreno. El hecho de que la presa estuviera parcialmente construida permitió el uso de presiones más elevadas.

El volumen máximo de inyección se fijó ligeramente superior al estrictamente necesario, determinado a partir de la porosidad de la arena, a fin de asegurar la calidad del tratamiento.

Todos los elementos de proyecto tuvieron carácter provisional, a reserva de los datos que proporcionase el desarrollo de los trabajos. Sin embargo, los puntos esenciales resultaron ser ajustados, por lo que sólo sufrieron leves modificaciones.

3.4. Ejecución de los trabajos y resultados.

La técnica de ejecución escogida fue la conocida como "inyección con tubos manguitos", ya que permite un tratamiento del terreno adecuado a cada circunstancia, el uso de diferentes productos en el mismo taladro y ofrece la posibilidad de reinyección.

Los trabajos pueden dividirse en cuatro fases:

- a) Perforación de los taladros.
- b) Colocación de los tubos manguitos e inyección de la vaina.
- c) Inyección de lechada de bentonita-cemento.
- d) Inyección de la mezcla de silicato-acetatos.

Se registraron todos los datos de admisiones, presiones de rotura de vaina, presiones de inyección y caudales, de forma que sirvieran para controlar la calidad del tratamiento, para confirmar o variar los datos del proyecto y para programar la forma de ejecución de los trabajos que quedaban por efectuar.

Para la ejecución del tratamiento se realizaron 6.187 metros de perforación, inyectándose 310 m³ de lechada de bentonita-cemento y 1.369,5 m³ de mezcla de silicato-acetatos.

El volumen de lechada de bentonita-cemento se inyectó en el contacto roca-arena y en los estratos de roca contiguos a las capas de arena. En estas últimas, la lechada no penetró en absoluto, tal como se esperaba.

Por el contrario, la mezcla de silicato-acetatos penetró bien en las capas de arena, requiriendo una presión inferior a la señalada como máxima. Se observó que la presión requerida en las capas más profundas era mayor que la requerida en las más superficiales, debido, probablemente, a diferencias de compacidad de las arenas.

Para controlar los resultados del tratamiento efectuado se perforaron en la zona inyectada taladros a intervalos de 6 m, con extracción continua de testigo. Estos taladros confirmaron la excelente calidad del tratamiento, que dio como resultado una verdadera arenisca, siendo la recuperación de testigo prácticamente el 100 por 100 en todos los casos. Pruebas de agua realizadas en estas perforaciones demuestran la impermeabilidad de la zona tratada.

Posteriormente, se ensayaron a compresión simple muestras talladas a partir de los testigos extraídos. La resistencia media fue 9,3 Kg/cm², con un mínimo de 5,2 Kg/cm² y un máximo de 17,1 Kg/cm².

4. CONCLUSIONES

La adaptación de una solución de presa de materiales sueltos a un posterior recrecimiento importante en altura, impone distintos condicionantes, que se traducen en sobrecostos de la solución inicial. Sin embargo, tiene la ventaja de admitir recrecimientos de altura prácticamente imposible para una presa de hormigón. Si la futura explotación no debe verse afectada por la obra de recrecimiento, la servidumbre en el perfil tipo se traduce en un aumento de volumen en primera fase y, por tanto, un sobrecosto para el concesionario de la misma. El aliviadero presenta especiales complicaciones por tratarse de una obra de hormigón. El "justo medio" entre las soluciones óptimas para primera y segunda fase puede ser definitivo como solución.

Por último, y con independencia del problema de recrecimiento, el tratamiento químico en cimientos arenosos con peligro de sifonamiento, debe contemplarse, en cualquier caso, como variante económicamente competitiva de otras soluciones tradicionales.

- ALVAREZ, A.; BAZTAN, J. A., y SANCHO, J.: "Proyecto de construcción de la presa del río Gayá".
- BOLOMEY, E., y OSENDE, J. (1967): "Presa de Arbón. Prolongación del núcleo de la presa mediante inyección de los aluviones". Revista de Obras Públicas, número 3.028, agosto 1967.
- EINSTEIN, H. H., y SCHNITZER, G. (1970): "Selection of chemical grout for Mattmark Dam". Journal A.S.C.E., Soil Mechanics and Foundation Div., vol. 96, noviembre 1970, págs. 2007-2023.
- GARG, S. P., y AGRWAL, R. K. (1967): "Cut-off and stability measures for a dam on san foundation". IX International Conference on Large Dams, I, págs. 1069-1088.
- GEDDES, W. G. N., y PRADOURA, H. H. M. (1967): "Backwater Dam in the country of Angus, Scotland. Grouted cut-off". IX International Conference on Large Dams, I, págs. 253-274.
- GERBER, F. P. (1961): "Les injections dans les alluvions et dans le rocher de la fondation pour le dique de Mattmark". VII International Conference on Large Dams.
- HELOT, A., y PERSSON, T. (1967): "Cut-offs in deep deposits of pervious materials and their effectiveness". IX International Conference on Large Dams, I, páginas 421-440.
- JATHAL, M. N., et al. (1967): "Cut-off for the earth dam in the river on the right bank at Vkai". IX International Conference on Large Dams, I, págs. 1.089-1.113.
- KROPATSCHEK, H., y RIEWOSSL, K. (1967): "Travaux d'étanchement du sous soil du barrage du Durlassboden". IX International Conference on Large Dams", I, págs. 695-713.
- LORENZ, W. (1967): "The grout curtain of Sylvenstein Dam". IX International Conference on Large Dams", I, págs. 19-36.
- SWIGER, F. F. (1961): "Symposium on grouting: construction of Rocky Recch Grouted Cut-off". Journal A.S.C.E., Soil Mechanics and Foundation Div., vol. 87, abril 1961.
- TERZAGHI, K., y LACROIX, Y. (1964): "Mission Dam. An earth and rockfill dam on a highly compressible Foundation". Geotechnique, vol. XIV.
- WAFI, T. A. (1961): "Field tests for grouting Nile alluvial under the Aswan High Dam". VII International Conference on Large Dams", II, págs. 191-314.
- WAFI, T. A. (1967): "The great grout curtain under the High Aswan Dam". IX International Conference on Large Dams", I, págs. 275-302.