TRABAJOS DE CONSOLIDACIÓN Y MEJORA DEL TERRENO

José Eloy Pérez Martínez
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
SONDEOS, INYECCIONES Y TRABAJOS ESPECIALES S.A

En el marco de esta Jornada Técnica organizada por el Comité Nacional Español de Grandes Presas (CNEGP) con la colaboración de la Asociación de Empresas de la Tecnología del Suelo y Subsuelo (AETESS), S.I.T.E. tratará los trabajos de consolidación del terreno en presas, para lo cual hablaremos de la consolidación de la Presa de Rules construida en el termino municipal de Vélez de Benaudalla en la provincia de Granada, cuyos trabajos han sido ejecutados por dos empresas de AETESS, RODIO y SITE, que se han unido temporalmente con este motivo.

UN CASO PRACTICO: LA PRESA DE RULES

DEFINICIÓN DEL TRATAMIENTO

El tratamiento de consolidación de la Presa de Rules fue definido por la Dirección de Obra encabezada por D. Antonio Nevot Pérez con el asesoramiento de D. Antonio Soriano Peña.

Se optó por un tratamiento de consolidación a base de inyecciones de lechada con dosificación 1:1 = A/C con taladros de 2” colocados en una cuadrícula de 5 x 5 mts, ejecutada desde dentro de las galerías con el fin de aprovechar el peso del hormigón para cargar el terreno antes de realizar el tratamiento de consolidación.

Debemos tener en cuenta una serie de consideraciones previas sobre el tratamiento definido:

- Profundidad del tratamiento.
- Ensayos previos.
- Presión de inyección.
- Tipo de inyección.

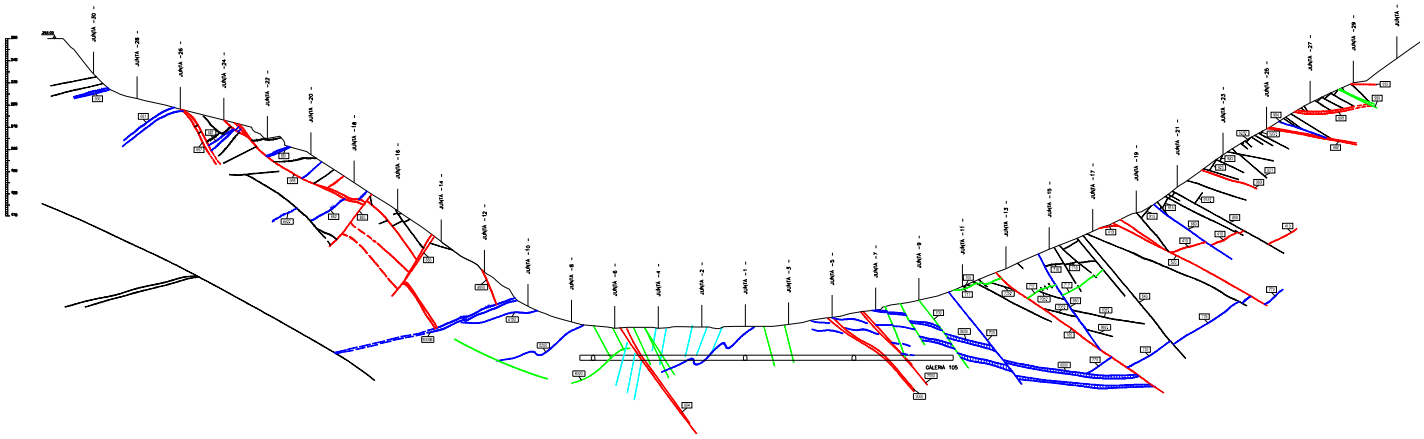
Profundidad del tratamiento.

La profundidad definida por la Dirección de Obra en Rules fue de ocho metros de perforación en terreno con los que se cumple un doble objetivo, por un lado un efecto de cosido creando una transición lo más continua posible de la presa al terreno para compatibilizar deformaciones y un aumento de la capacidad portante del terreno.

Ensayos previos.

Para la definición de los trabajos a realizar se han contado con distintos datos obtenidos a partir de distintos trabajos y ensayos:

- Galerías ejecutadas en el terreno. Estas permitieron la observación in situ del terreno.
- Dos campañas de sondeos cuyos resultados arrojan un terreno típicamente Alpujárride en la cerrada, formado por esquistos, micaesquistos, cuarzoesquistos, filitas y cuarcitas, correspondientes al manto de Murtas.



- Perfiles geológicos del cimiento de la Presa.
- Ensayos de permeabilidad Lugeon, que arrojaron unos resultados de permeabilidad altos.
- Ensayos de corte “in situ” del terreno en noviembre del 95, con los que se busca caracterizar la deformabilidad y características resistentes del terreno, siendo quizás este el ensayo que más información da sobre las necesidades de consolidación del terreno.

En la siguiente fotografía se puede ver el ensayo preparado.

En base a los resultados obtenidos definieron el tratamiento de consolidación más adecuado.

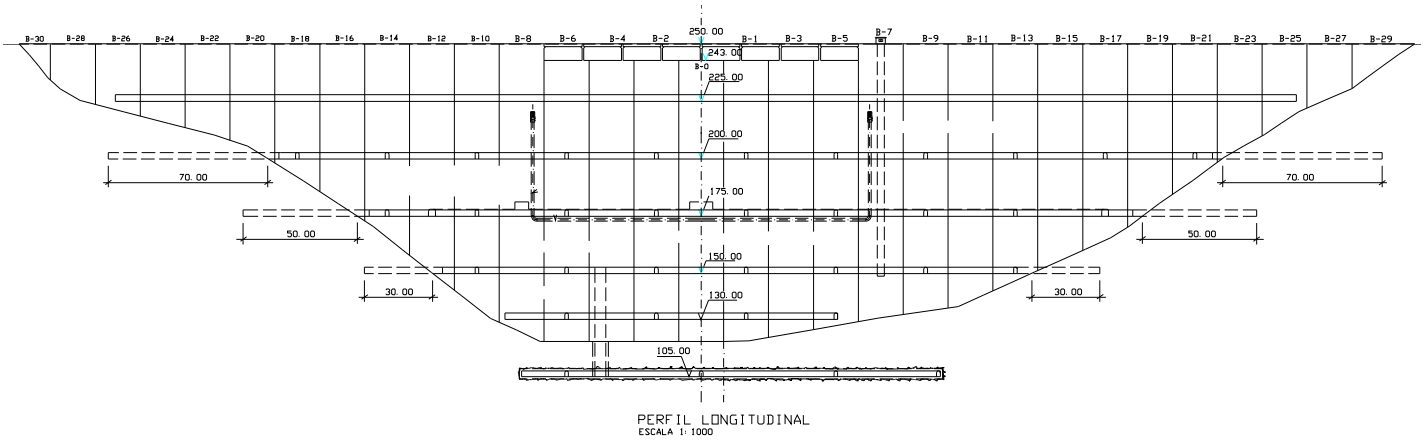
Presión de Inyección.

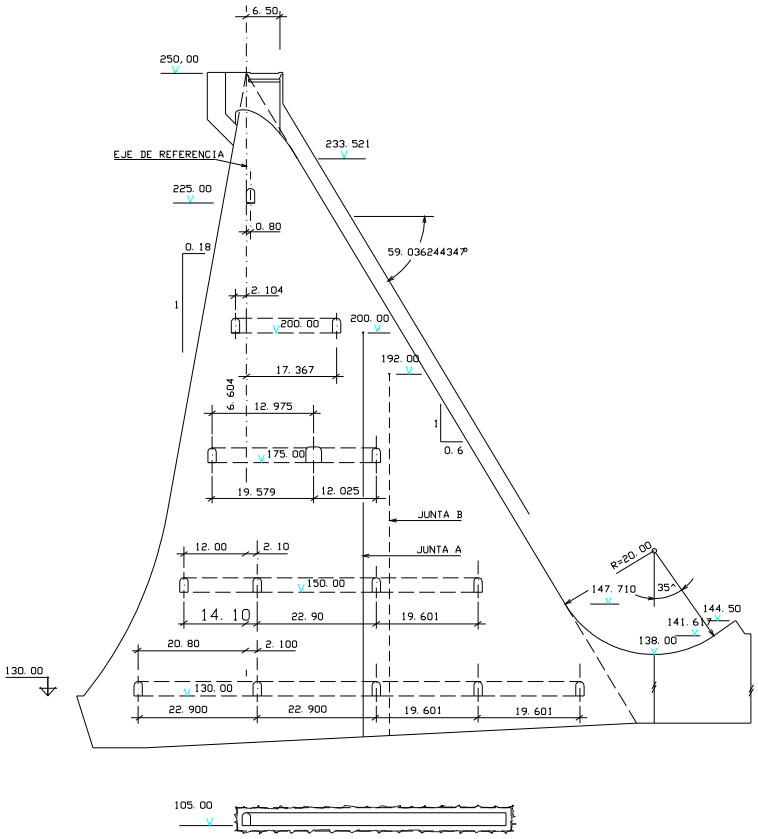
Cuando se plantea esta cuestión es necesario tener en cuenta el tipo de fisuras que tenemos en el terreno, que en este caso son muy diversas, para evitar roturas del mismo que pudiesen afectar al cimiento y a la estructura. En Rules tuvieron la precaución de limitar tanto la presión de inyección como la admisión de lechada de forma que se paraba la inyección al alcanzar una admisión de 5 tn/taladro aunque no se alcanzase presión, para reinyectarlo con posterioridad. La presión máxima de 10 Kg/cm^2 era de 0 Kg/cm^2 en el caso de una admisión de 5000 Kg.

Tipo de inyección

Esta puede ser de varios tipos, en este caso se usó la inyección de abajo a arriba, obturando en el hormigón lo más cerca posible del contacto hormigón-terreno, materializando la inyección de cosido con los tres primeros metros de los taladros. La inyección se realizó con varillaje a fondo para asegurar una correcta inyección pues se corría el riesgo de cortarla debido a los continuos desprendimientos del terreno.

A continuación se adjuntan unas secciones de la presa con las que se pueden localizar las zonas de trabajo definidas para la consolidación:

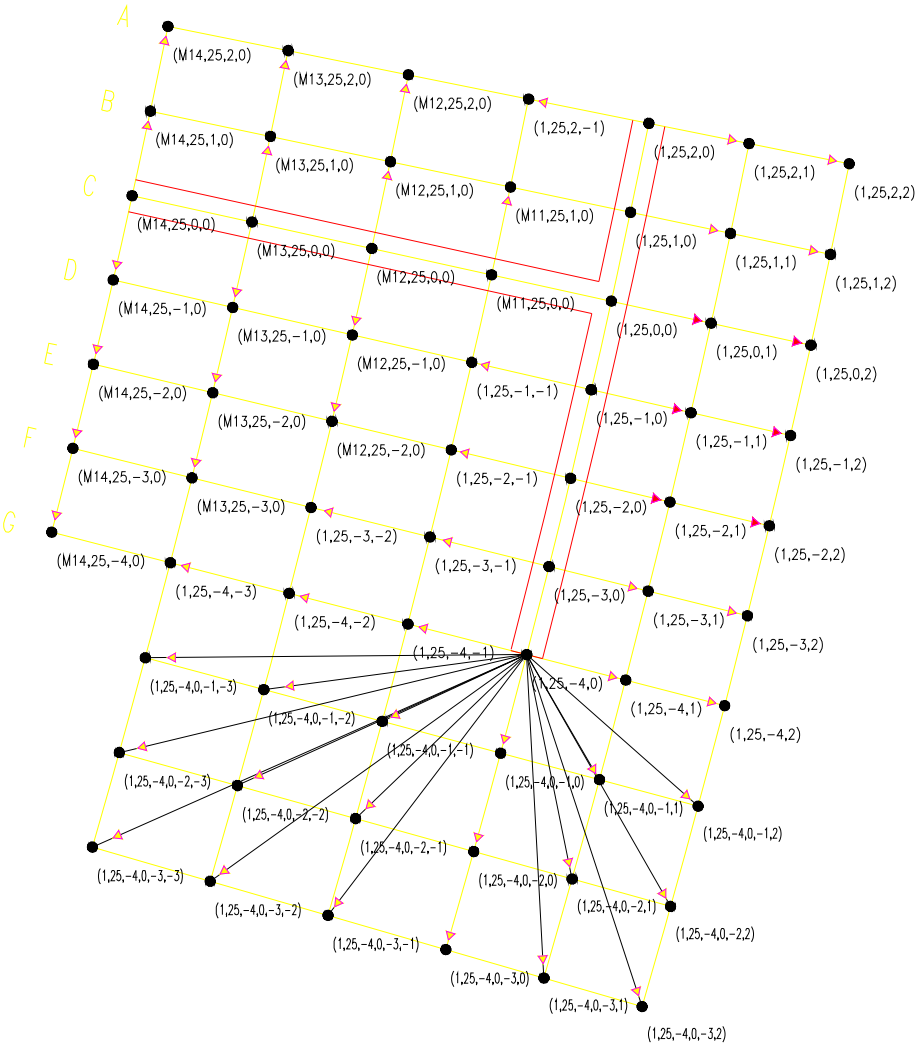


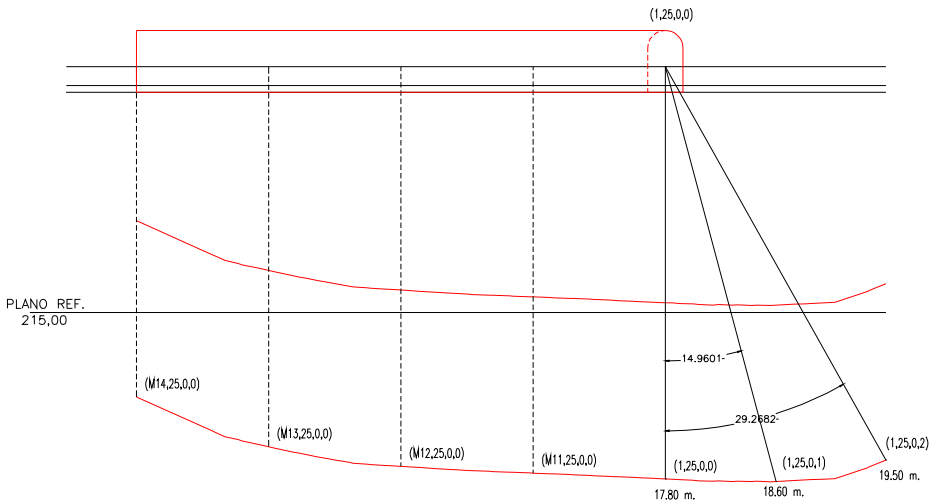


El tratamiento general de consolidación consistió en la perforación de una malla de taladros repartidos por todo el cimiento de la presa, que ocupa una superficie aproximada de 60.000 m^2 ejecutados desde cada una de las galerías situadas a las cotas 130, 150, 200, 225 y 250.

La profundidad del tratamiento se fijó en 8 metros, con una longitud variable en hormigón y roca en función de la disposición de la malla de taladros en cada bloque.

En este croquis se pueden ver los taladros de consolidación proyectados para la cota 225 margen izquierda y algún perfil donde se aprecia la profundidad de los taladros, observandose que estos alcanzan unos 8 metros de profundidad en el terreno.

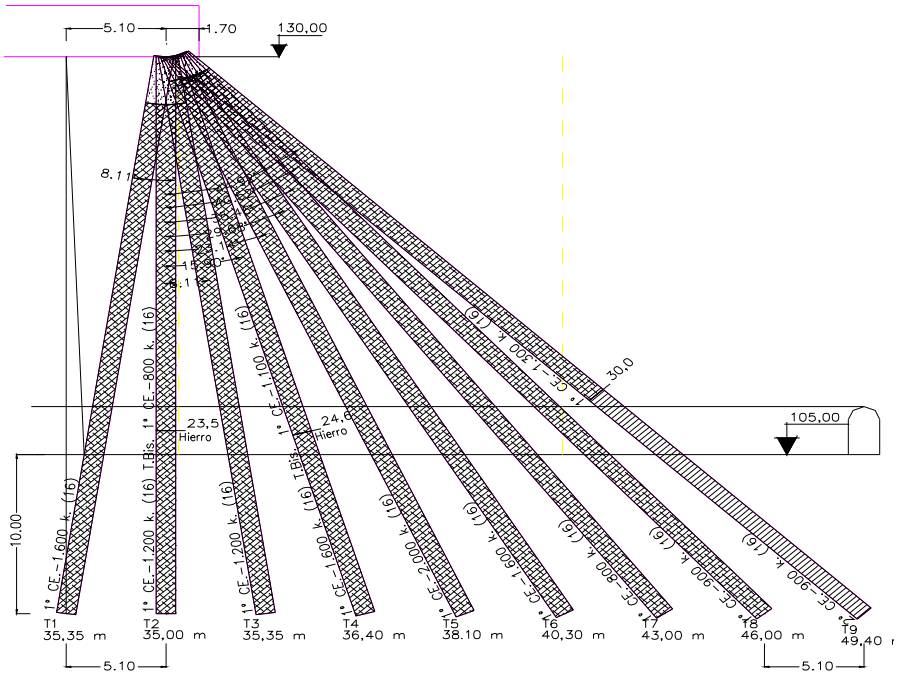




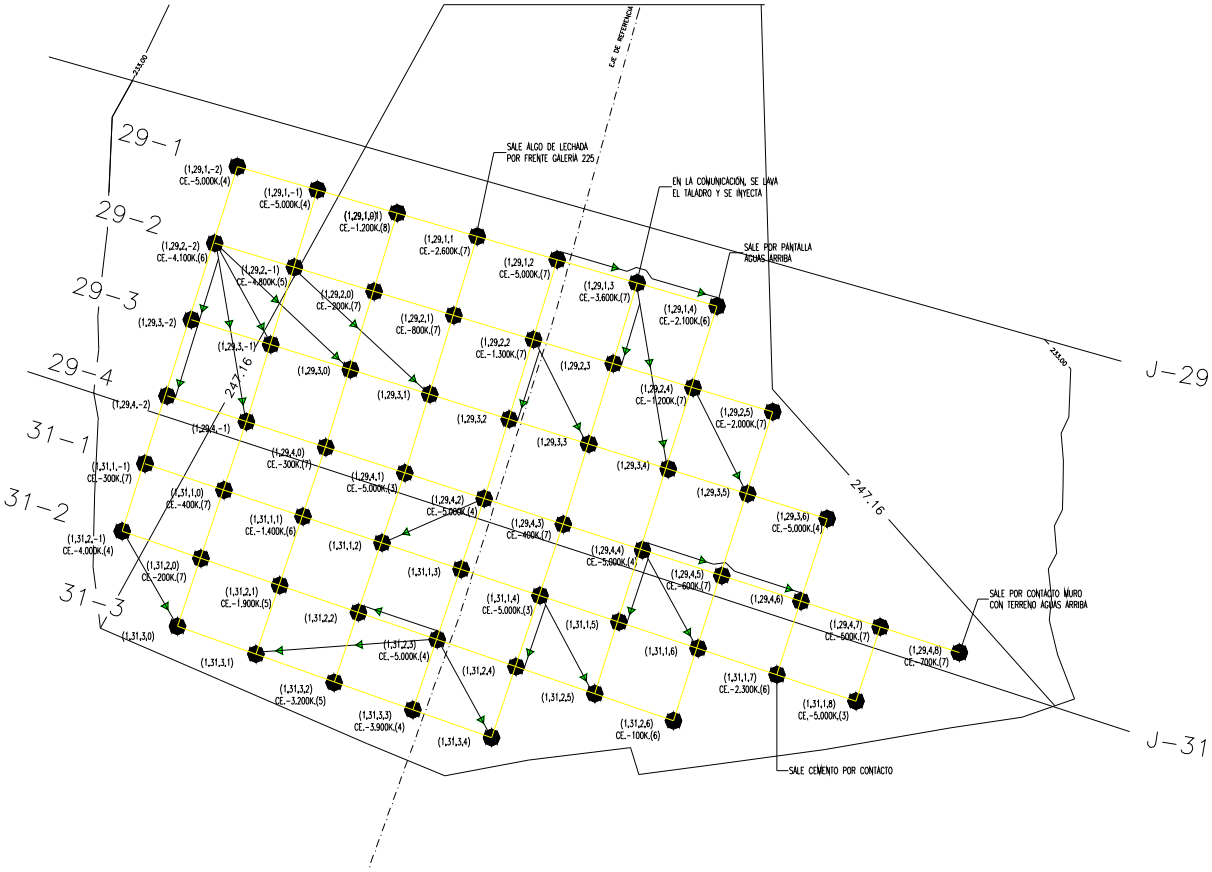
En los gráficos anteriores se puede ver como existen puntos de la malla de consolidación que para alcanzarlos fue necesario ejecutar taladros inclinados con un determinado ángulo de deriva e inclinación. En ocasiones estos ángulos eran muy acusados lo que complicaba la ejecución de los mismos y su posterior inyección.

Durante la ejecución se nos daban los datos necesarios para el replanteo de taladros teniendo siempre en cuenta las posibilidades de los equipos que había en obra en ese momento.

Algunos taladros correspondientes, por cota, a una galería determinada se realizaron desde la inmediatamente superior debido a la imposibilidad de alcanzarlos desde la correspondiente a esta cota, esto ocurrió, por ejemplo, con algunos taladros de la consolidación de la cota 105 que se realizaron desde la galería a la cota 130 al quedar un altura de trabajo en la galería a la cota 105 de 1,10 metros tras hormigonar la solera necesaria para la inyección de los taladros.



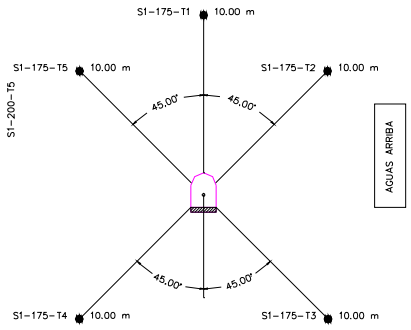
A la hora de inyectar los taladros podían existir comunicaciones entre los estos como ocurrió en la consolidación ejecutada desde la coronación de la margen izquierda de la presa, como se ve en el siguiente croquis:



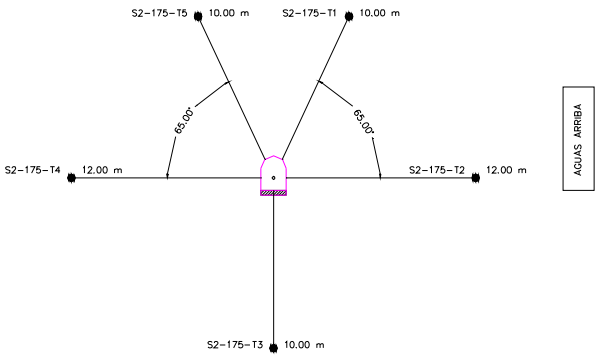
Otro problema con el que nos encontramos fueron las fugas de lechada a distinto nivel, como ocurrió en la inyección de taladros desde la galería de la cota 225 margen derecha, que comunicó con la galería ejecutada en terreno de la cota 200 margen derecha, este problema se resolvió tapando estas fugas con cemento rápido, con lo que se conseguían unos resultados muy satisfactorios permitiendo alcanzar la presión especificada.

En las cotas 175 y 200 las galerías continúan hasta el terreno metiéndose en este varios metros, en estas galerías a parte de realizarse el tratamiento original se realizó un tratamiento complementario de refuerzo de la zona descomprimida que consistió en la ejecución de unos taladros como los que se indican en el croquis siguiente:

SECCIONES-1, 3, 5, 7, 9 y 11

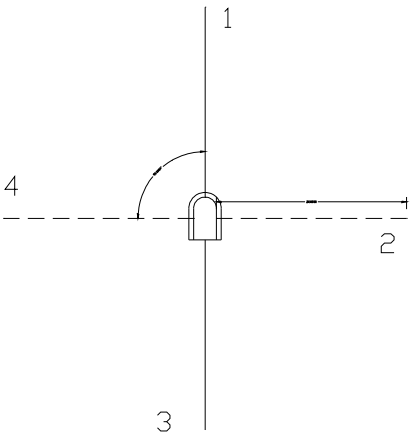


SECCIONES-2, 4, 6, 8 y 10



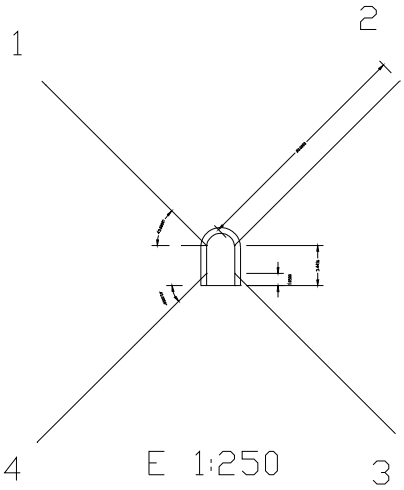
En la zona descomprimida de la cota 105, afectada por una importante carga de agua, se realizó un tratamiento que consistía en la ejecución de unos taladros en forma de abanico en secciones transversales semejante al anterior con una longitud de 10 metros e inyectados a una presión máxima de 5 kg/cm^2. Ambos se pueden ver en los siguientes croquis.

COTA 105



E 1:250

Sección Par



E 1:250

Sección Impar

EJECUCIÓN

Para llevar a cabo los trabajos de consolidación en la Presa de Rules se ha utilizado maquinaria de pequeñas dimensiones accesible a las diferentes galerías de la presa. Todas las galerías tienen unas dimensiones de 2,5 mts de alto y 1,6 mts de ancho, excepto las galerías ejecutadas en terreno en la cota 105 que se encuentra 50 metros por debajo del nivel del río que tienen un ancho de 1,2 mts por una altura que varía de 1 a 2 mts, detalle este, que dificulta aún más los trabajos.

Maquinaria empleada en galería.

Aunque inicialmente se pensó en perforar a rotación, las características del terreno hacían muy costosa la perforación por lo que el método de perforación empleado fue el de rotopercusión, bien con martillo de fondo o con martillo en cabeza, el diámetro de la perforación mínimo fue de 2” y la longitud máxima de 8 metros en terreno de los que los primeros se consideraban de cosido y los demás de tratamiento de consolidación. La correcta ventilación de las zonas de trabajo permitió perforar con aire, evitando, en esta fase de los trabajos la engorrosa suciedad a la que da lugar el uso del agua en las perforaciones.

A modo de guión se dan aquí las características de las máquinas usadas para la ejecución de los trabajos:

- Máquina de perforación hidráulica Beretta sobre orugas, con un peso de 2.625 Kg. Tiene una longitud de 2,25 metros y un ancho de 1 metro, alcanzando una profundidad de perforación máxima de 65 metros. Se usó con martillo en cabeza
- Máquina de perforación neumática BBC sobre trípode con martillo en cabeza, de ancho 1 metro y una longitud de 1,75 metros alcanzando una profundidad máxima de perforación de 40 metros.

Se montaron instalaciones de aire, agua y lechada por las galerías de la presa para poder acceder a todos las zonas de trabajo. A continuación se describen estas instalaciones:

- Instalación para la conducción de aire. Esta se hizo con tubería metálica de 4" y 2" y manguerones reforzados de 2", este aire era suministrado por dos compresores de 21 m^3/min cada uno que dan una presión de 12 Kg/cm^2.
- Instalación para la conducción de agua. Esta se montó con tubería metálica y de polietileno de 2".
- Instalación para la conducción de lechada: Montada con tuberías de polietileno de 1"1/4.

En cuanto a la inyección de los taladros, esta se realizó con una central de inyección compuesta por dos mezcladoras con dosificadores, una batidora y dos bombas de pistón, desde la que se manda la lechada a los distintos taladros a través de las conducciones antes descritas y distribuidas, a tal efecto, a lo largo de todas las galerías. Esta central esta gestionada por ordenador lo que asegura las dosificaciones. Como consecuencia de las pérdidas de carga a lo largo de las conducciones se hizo necesario instalar en cada zona de trabajo, a una distancia no superior a 20 metros, una bomba de

alta Bonne- Esperance, con motor neumático, un peso de 870 kg y capaz de alcanzar una presión máxima superior a 50 bares (kg/cm^2) y un rendimiento de 5 m^3/h a baja presión, con una batidora para mantener la mezcla estable y una unidad de control formada por un manómetro de glicerina con amortiguador de aceite cuya membrana era cambiada con regularidad, para asegurar el buen funcionamiento del conjunto y la fiabilidad de las mediciones de presión tomadas, y amortiguador para compensar los golpes de presión debidos a la marcha alterna de las bombas de pistón.

Silos y sala de inyección

Compresores

Se usaron obturadores manuales y en ocasiones obturadores neumáticos para poder adaptarlos a la boquilla del taladro que, como consecuencia de incidencias en la perforación había quedado muy irregular.

Una vez terminada la inyección se mantenía el taladro obturado conservando la presión alcanzada en la inyección durante unas horas para evitar las pérdidas. En el caso de comunicación de varios taladros se obturaban todos y se les daba la presión prefijada actuando de igual manera que antes.

Por último decir que el control de este tratamiento se hizo mediante partes diarios de trabajo en los que constan las incidencias en el proceso de ejecución del taladro, longitudes de perforación y admisiones en cada uno de los taladros, haciendo constar en cada uno las posibles comunicaciones en la inyección.

Se alcanzó un rendimiento medio de 40 mts/día de taladro perforado por cada uno de los equipos, ajustando la inyección a la perforación para evitar la interrupción de los trabajos.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se perforaron un total de 31.780 metros de los que 12.870 fueron en hormigón.

Las admisiones alcanzadas en el tratamiento son las siguientes.

- Admisiones medias en terreno por cotas en ambas márgenes:
  - Taladros ejecutados desde la galería a la cota 130 = 83 kg/ml
  - Taladros ejecutados desde la galería a la cota 150 = 149 kg/ml
  - Taladros ejecutados desde la galería a la cota 175 = 82 kg/ml
  - Taladros ejecutados desde la galería a la cota 200 = 79 kg/ml
  - Taladros ejecutados desde la galería a la cota 225 = 64 kg/ml
  - Taladros ejecutados desde la coronación = 295 kg/ml, se advierte aquí que este terreno debido a su localización está más descomprimido por lo que las admisiones son claramente más elevadas.
- Admisiones del tratamiento de consolidación en la galería de cota 105.
  - Cota 105 tratamiento inicial = 30 kg/ml
  - Cota 105 tratamiento de refuerzo = 26 kg/ml

Con este tratamiento se ha conseguido introducir en el cimiento de la Presa de Rules 1.022 Tn de cemento, con lo que se prevé un comportamiento adecuado durante las fases de servicio de la presa.