

COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LAS FILTRACIONES DE LA LADERA IZQUIERDA DE LA PRESA DE RIALB (LÉRIDA)

Raimundo José Lafuente Dios. ¹
René Gómez López de Munain. ²
Irene Domingo Comeche. ³
José Antonio Gestí Canuto. ⁴

RESUMEN: La presa de Rialb, de hormigón compactado con rodillo y 101,5m de altura fue construida entre 1995 y 1999 y tiene un volumen de embalse de 402 Hm³.

Desde 1999 hasta la actualidad se ha venido realizando el proceso de puesta en carga de la presa. Durante este proceso se han detectado unas filtraciones en la ladera izquierda de la presa, que aparecen sólo cuando la cota del embalse es superior a la 395 m.s.n.m.

Se ha procedido al estudio de las filtraciones, para poder determinar la cantidad y el origen de las mismas, además de la estructura geológica de la ladera. Estos estudios y las conclusiones conforman el cuerpo del presente artículo.

¹ Jefe de Área de Proyectos y Obras I. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos Confederación Hidrográfica del Ebro.

² Licenciado en Ciencias Geológicas e Ingeniero Técnico de Obras Públicas. Confederación Hidrográfica del Ebro.

³ Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos Confederación Hidrográfica del Ebro.

⁴ Ingeniero Técnico de Obras Públicas.

1. CARACTERÍSTICAS DE LA PRESA.

La presa de Rialb está destinada a riegos y a la regulación del río Segre, sobre el que fue construida entre los años 1.995 y 1.999, con una capacidad de embalse de 402 Hm³. Esta presa comenzó su puesta en carga en mayo de 1999.

Es una presa de gravedad, planta recta, de 101 m de altura sobre cimientos y con una longitud en coronación de 604,60m.

El volumen de hormigón colocado en la estructura es de 1.200.000 m³, de los cuales 1.000.000 m³ corresponden a hormigón HCR y el resto a hormigón vibrado. Este último únicamente se ha distribuido en la zona de 1m que está más próxima a los paramentos de aguas arriba y aguas abajo.

El cuerpo de presa lo constituyen 17 bloques que están separados por 16 juntas verticales continuas, que van desde la cimentación a la coronación. El ancho de los bloques es en general de 40 m, aunque en siete de ellos está comprendido entre 30m y 7,22 m.



Otras características de la presa son las siguientes:

- Cota de coronación: 436,00
- Cota más baja de cimentación: 335,00
- Talud aguas arriba: 0,35 / 1,00 desde cimientos hasta la cota 386
0,15 / 1,00 desde la cota 386,00 hasta cota 435,00
Resto superior en voladizo
- Talud aguas abajo: 0,65 / 1,00 desde cimientos hasta la cota 427,57
0,18 / 1,00 desde la cota 427,50 hasta la 434,70
Resto superior en voladizo

- Aliviadero: 3 vanos de 12,00m de longitud y 7,40m de altura

El centro de la presa corresponde a los bloques denominados 1, 0 y 2, estando ocupado por el aliviadero, que mide 82,20m.

En la presa se ha instalado un sistema de auscultación muy completo, con cerca de 600 aparatos instalados con los que además de las principales variables de acción externa (nivel del embalse, temperaturas del aire y agua del embalse y precipitaciones), se controlan: temperaturas del hormigón, movimientos de las juntas de contracción, desplazamientos de la estructura, deformaciones del cimiento y del hormigón, subpresiones y filtraciones en el interior y en el exterior. Las mediciones se realizan tanto de forma manual como automática.

2. GEOLOGÍA DE LA CERRADA

El embalse de Rialb se sitúa en el curso medio del río Segre, aguas arriba de la localidad de Ponts, estando la cerrada localizada después de un meandro del río. Geológicamente, la zona se encuentra en el borde noroccidental de la depresión central catalana (cuenca del Ebro) y la naturaleza de los materiales presentes es de tipo detrítico continental, de edad Oligoceno Superior, con una disposición subhorizontal, puesto que están afectado por un suave plegamiento que ondula las capas y que produce alguna falla inversa pero que no da accidentes tectónicos de importancia.

La roca que constituye el cimiento de la presa (los depósitos aluviales fueron excavados), se enmarca dentro de una serie sedimentaria, formada por unos bancos de areniscas de espesor variable entre 0,2 m. y 2,0 m. (en algunas zonas la granulometría de los estratos de arenisca aumenta llegando, incluso, a poder considerarse como estratos de microconglomerados), alternando con margas y eventualmente limolitas.

La proporción de estos materiales en la globalidad del cimiento de la presa resulta lógicamente variable, pero puede apuntarse como valores medios típicos los siguientes: margas (60-80%), limolitas (15-25%) y areniscas (10-20%). Los microconglomerados pueden considerarse como secuencias más anecdóticas en el conjunto del cimiento de la presa

Los primeros reconocimientos geológicos realizados para investigar la cerrada datan del año 1968 y con posterioridad se han realizado numerosas campañas adicionales hasta la actualidad.

El objetivo perseguido con la realización de estas campañas de reconocimientos ha ido variando con el tiempo:

Las primeras campañas de reconocimiento del cimiento tenían como finalidad fundamental permitir una primera evaluación entre posibles cerradas alternativas.

Una vez seleccionada la actual cerrada era necesario complementar esta primera información, con nuevos reconocimientos que sirvieran de base para el propio diseño de la presa y que formaran parte del correspondiente Proyecto Base de licitación.

Esta información de partida fue ampliada por nuevos estudios complementarios, por los licitantes, en la fase de oferta y, una vez adjudicadas las obras, quedaron reflejados en el correspondiente Proyecto de Construcción.

Durante la construcción de la presa, se llevaron a cabo reconocimientos destinados bien a precisar las cotas definidas de excavación de cada bloque, bien a evaluar con mayor fiabilidad los parámetros geotécnicos definitorios de la resistencia al corte del macizo, de su deformabilidad y de la permeabilidad del mismo. Estos reconocimientos revelaron la existencia de un diaclasado, con un espaciamiento de 2,00 metros aproximadamente en los bloques 17, 19 y 21 de la margen izquierda.

Posteriormente a la ejecución de la presa se han llevado a cabo reconocimientos encaminados a caracterizar la estructura del diaclasado anteriormente mencionado. Este estudio arrojó los siguientes resultados:

- El funcionamiento hidrogeológico de la cerrada viene definido por un medio de baja permeabilidad por fracturación principalmente en los tramos de areniscas.
- Las direcciones principales de fracturación se refieren a dos familias de dirección 80-100° E y 5-10° E con buzamientos subhorizontales.
- La permeabilidad de este medio es muy anisotrópica presumiblemente con baja permeabilidad vertical y una permeabilidad horizontal condicionada por las direcciones de fracturaciones indicadas.
- Los niveles margosos hacen de sustrato impermeable de los diferentes acuitardos que configuran los niveles de areniscas, por lo que este contacto suele encontrarse ligeramente alterado.

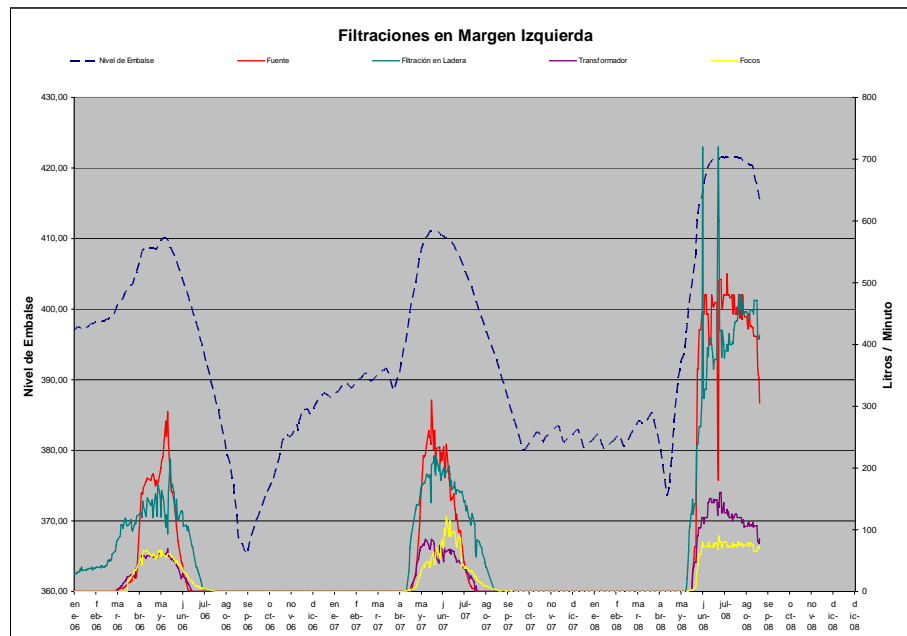
| ESTACIÓN GEOMECÁNICA I: FIN ESTRIBO IZQUIERDO DE PRESA | | | | | | |
|--|-----------|------------|---------------------------------|-------------|---------------------|----------------------------------|
| Tipo de plano | Dirección | Buzamiento | Espaciado (cm) | Continuidad | Apertura (mm) | Rugosidad |
| So | 95° | 10° W | Varios metros | | | |
| S1 | 100° | 85° | Separadas. Cada 200, a veces 30 | Muy alta | Muy ancha (50 -100) | Ondulada rugosa. Precipit de CO3 |
| S2 | 0-10° | 80-85° W | Separadas(60-200) | Muy Alta | Muy ancha (50 -100) | Ondulada rugosa. Precipit de CO3 |
| S3 | 65° | 80° E | Muy Separadas (300) | Alta | Abierta (0,5 -2,5) | Ondulada rugosa. |

| ESTACIÓN GEOMECÁNICA 2: CARRETERA DE ACESO DEBAJO DE OFICINAS DE OBRA | | | | | | |
|---|-----------|------------|---------------------------------|-------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Tipo de plano | Dirección | Buzamiento | Espaciado (cm) | Continuidad | Apertura (mm) | Rugosidad |
| So | 50° | 10° NW | Varios metros | | | |
| S1 | 100° | 85° | Separadas. Cada 200, a veces 30 | Muy alta | Muy ancha (50 -100) | Ondulada rugosa. Precipit de CO3 |
| S3 | 65° | 80°E-90 | Separadas (100) | Alta | Parcialmente Abierta (0,25 - 2,5) | Ondulada rugosa. |
| S4 | 130-150° | 90° | Separadas. Cada 200, a veces 30 | Alta | Cerrada (0,1-0,25) | Ondulada rugosa. |

3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Rialb comenzó su puesta en carga en mayo de 1999 y superó por primera vez la cota 395 el 12 de Mayo de 2000. Durante el proceso de puesta en carga, se han venido detectando unas filtraciones en la ladera izquierda de la presa, que están activas sólo cuando la cota del embalse es superior a la 395 m.s.n.m, y crecen en relación directa con el nivel de embalse.

Estas filtraciones, que comienzan siendo del orden de 0,5 litros por segundo, alcanzaron su máximo a la cota 421,5 (máximo nivel de embalse registrado en julio de este año), con un total de 28 l/seg en la margen izquierda del embalse.



4. ESTUDIOS REALIZADOS

Una vez identificado el problema se llevaron a cabo una serie de estudios que se detallan a continuación:

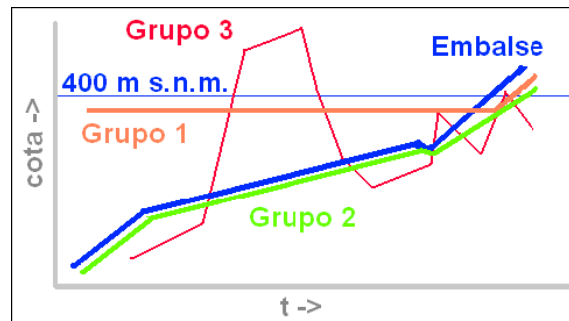
4.1. AFORO DE FILTRACIONES

Se procedió al registro y aforo de todos los puntos de filtración de la ladera: Se aforan diariamente un total de 9 puntos en la ladera desde 2005.

Además, sobre la ladera del estribo izquierdo de la presa se dispusieron 18 piezómetros abiertos, en los que se registran datos de nivel de manera diaria también.



Un análisis detallado de la evolución de estos piezómetros en relación a la cota de llenado del embalse pone de manifiesto un comportamiento diferente que se puede sintetizar según tres modelos:



En el grupo 1 se incluyen los piezómetros cuyos niveles no son sensibles a la evolución de llenado del embalse por debajo de la cota 400. Por encima existe una relación directa entre la cota en el piezómetro y la del embalse.

En el grupo 2 se incluyen aquellos piezómetros cuya respuesta muestra una relación directa con el nivel de llenado del embalse a cualquier cota.

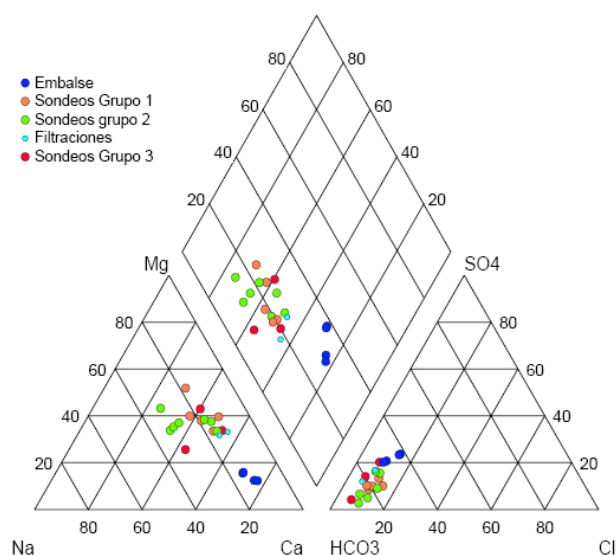
En un tercer grupo de gráficas, se aprecia una evolución que si bien puede mostrar cierta relación con la cota de embalse, su característica más notoria es la presencia de pulsos de recarga y agotamientos no relacionados con el nivel del embalse, y que obedecen a procesos hidrológicos propios de la ladera.

En algunos casos, los resultados pueden mostrar características intermedias entre los grupos 1 y 2. Es decir, existe una relación con el nivel del embalse por debajo de la cota 400, aunque muchos menos acusado, que cambia notoriamente por encima de la esta cota.

4.2. ESTUDIO HIDROGEOQUÍMICO E ISOTÓPICO

Para la caracterización química de las surgencias se ha realizado un análisis detallado de: las características químicas de las aguas del embalse, de los piezómetros, de las surgencias y de las filtraciones generadas en el cuerpo de la presa.

También se ha llevado a cabo una campaña de muestreo en el embalse, algunos de los sondeos y las surgencias observadas. Sobre estas muestras se ha realizado una analítica geoquímica estándar de los componentes mayoritarios, realizada en los laboratorios de la Confederación Hidrográfica del Ebro. Varias de estas muestras se remitieron al laboratorio de isótopos estables de la Universidad Autónoma de Madrid donde se analizaron los isótopos estables O18 y D.



4.3. RECONOCIMIENTO GEOFÍSICO

Para la caracterización de las filtraciones también se hizo un reconocimiento geofísico. La finalidad que se perseguía era el estudio del terreno, definiéndose la disposición de las distintas formaciones geológicas, su grado de fracturación, detección de zonas de fractura, fallas, cambios laterales, posibles zonas de karstificación, etc. Para cubrir estos objetivos se proyectaron y realizaron los siguientes estudios:

Dos perfiles de sísmica de reflexión de alta resolución, paralelos al paramento de la presa a lo largo de la margen izquierda, en el tramo que fue posible (aguas arriba la presa estaba llena).

Dos perfiles de tomografía eléctrica, coincidentes con los perfiles de sísmica de reflexión.

Los resultados obtenidos en estos estudios son los siguientes:

4.3.1. Sísmica de reflexión

Se realizaron dos perfiles de sísmica, uno aguas abajo de la presa (perfil 1) de 110 trazas y una longitud en el terreno de 327 m y otro aguas arriba (perfil 2) de 70 trazas y 207 metros de longitud. Los resultados obtenidos se describen a continuación:

Perfil 1: Los accidentes principales corresponderían con una zona de fracturación que aflora en la vertical de las trazas 34 y 55 (Entre el metro 100 y el 160 del perfil). Más adelante se detecta otro conjunto de fallas, de menor entidad que las anteriores, pero cuyo conjunto podría presentar otra zona problemática de cara a las filtraciones existentes.

Perfil 2: El principal accidente detectado bajo este perfil correspondería a una falla que aflora en los primeros metros del perfil. En planta esta falla podría presentar una alineación con cualquiera de las fallas que afloran en la traza 34 o 55 del perfil 1. El tramo comprendido entre los metros 35 y 100 del perfil presenta un alto índice de fracturación así como el tramo hasta el metro 150 aproximadamente. En ambos casos las fracturas detectadas no deben presentar desarrollos considerables, del orden de 1 a 3 m.

4.3.2. Tomografía sísmica

Los resultados obtenidos con la tomografía son los que se detallan a continuación:

Litológicamente y referente a los dos perfiles realizados tenemos que:

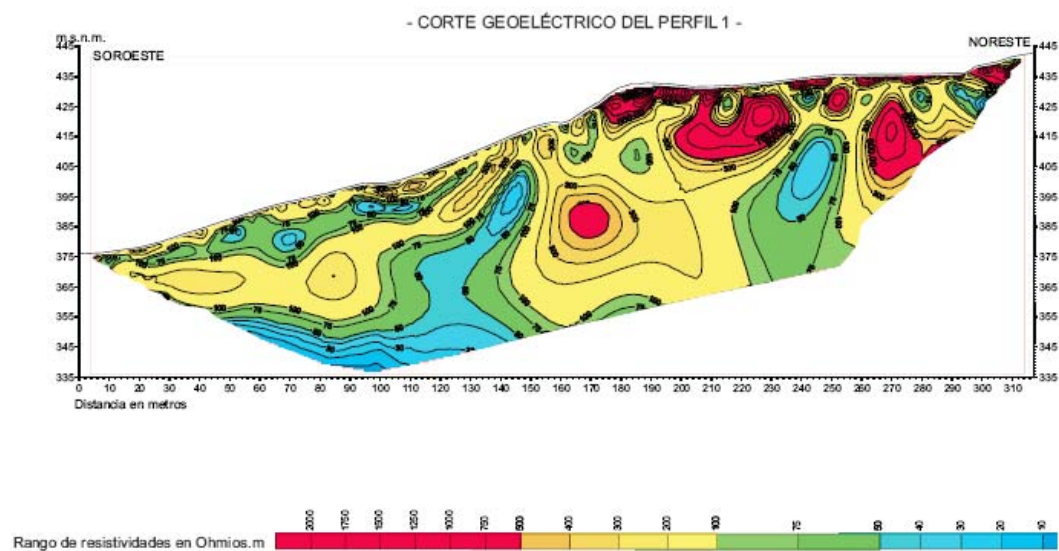
- Los dos perfiles están sobre una formación constituida por una alternancia de areniscas y margas.
- De acuerdo con esta situación los valores más altos de resistividad deben corresponder a predominio de areniscas y los más bajos a margas.

Con estas premisas generales, los rasgos más destacados del Perfil 1 son:

Un estrato pseudo-paralelo a la superficie en los primeros 100 metros de perfil con resistividades inferiores a 100 Ohmios.m que debe ser claramente margoso.

Sin embargo lo más llamativo son las zonas azules, resistividades inferiores a los 50 Ohmios.m. Con estos valores y dada su posición deben corresponder a zonas de fracturación posiblemente con circulación de agua, especialmente el primero.

Las amplias zonas coloreadas en amarillo y rojo deben corresponder a un predominio de areniscas. Singulares son los tramos rojos con resistividades muy altas que deben ir asociados con la presencia de rocas o restos constructivos en superficie (no está del todo clara su atribución).



En lo que respecta al Perfil 2 se observa que:

Lo más llamativo son amplias zonas con resistividades altas y muy altas. Su atribución resulta problemática, viendo su correspondencia con la sísmica de reflexión es posible que se trate de zonas de fracturación en areniscas con grietas abiertas.

No hay zonas semejantes a las del perfil 1 atribuibles a fracturación con circulación de agua.

5. ACTUACIONES ENCAMINADAS A REDUCIR LAS FILTRACIONES

Desde la detección de las filtraciones de la ladera izquierda se han venido realizando actuaciones encaminadas a reducirlas lo máximo posible:

5.1. CAMPAÑA PRIMERA: TALADROS EN CORONACIÓN. 2004-2005

Esta campaña de inyecciones se efectuaron en coronación, entre los bloques 11 y 21. Se ejecutaron 39 taladros, todos ellos perforados e inyectados. La profundidad de cada uno de ellos es de 55 metros, alcanzando la cota 381.

La admisión total fue de 27 9480 kg con una media de 7 166,15 kg por taladro. Las admisiones máximas se han dado en el taladro T14, con 526 kg/ml y en el taladro T12, con 363,62 kg/ml. Las presiones de inyección varían entre las 3 y las 10 atmósferas.

Es significativa la situación de los taladros con más admisión, que coincide sensiblemente con la ubicación propuesta por la tomografía y la sísmica para las zonas de mayores filtraciones.

5.2. CAMPAÑA SEGUNDA: TALADROS VERTICALES EN ESTRIBO DE M.I. 2006-2007

Esta campaña se hizo en el estribo izquierdo, desde el contacto con la presa hasta 250 m siguiendo la prolongación del estribo formando una media luna, para cerrar con la antigua carretera de acceso al embalse el posible paso del agua por detrás del dique.

Se perforaron un total de 19 taladros, de los cuales se inyectaron en su totalidad 16, teniendo que abandonar los 3 restantes por diversos problemas.

Los taladros con mayor admisión de material son los T - 05, con 22 465 kg, T - 07, con 20 455 Kg., y T - 10 con 17 900 Kg. El total de kilos inyectados durante esta campaña fue de 214 440 kg, con una media de 13 402,5 kg. por taladro.

Las profundidades de los taladros van desde el T - 00 menos profundo con una longitud de 60 m, al más profundo T - 20 con una longitud de 72.31 m, variando las presiones de inyección desde las 0 atm. hasta las 10 atm.

Las mayores admisiones de esta campaña las tenemos en los siguientes tramos:

- T - 05 entre los 28 y 33 metros (corresponden a las cotas 411 a 406) se utilizaron una media de cemento de 2 135 kg/ml.
- T - 07 entre los 29 y 34 metros (corresponden a las cotas 411 a 406) de profundidad admitió 1 690 kg/ml de cemento.
- T - 08 recibió una media de 1 390 kg/ml de cemento entre los 20 y 30 metros, (corresponden a las cotas 421 a 411) tramo de 10m.

5.3. CAMPAÑA TERCERA: TALADROS INCLINADOS ESTRIBO M.I. 2007- ACTUALIDAD

En esta campaña se efectuarán un total 34 taladros a distancias regulares de 3m y con una inclinación de 30°, las inyecciones se realizarán en tramos de

5m. En esta campaña se intenta inyectar las familias de fracturas subverticales que se han detectado con los estudios anteriormente mencionados.

En la actualidad se llevan inyectados y terminados 13 taladros y 2 iniciados. La cantidad de cemento utilizado es de 58580 kg con una media de 4506.15 kg por taladro, siendo la presión de trabajo de 3 atm máximo en boca.

Longitud de los taladros van desde el S -1 menos profundo, con 70.80m hasta el más profundo el S -34 con una profundidad de 83.91m.

Las admisiones mayores se encuentran registradas en los taladros S - 1, con 629,55 kg/ml entre las cotas 391 y 386, S - 5, con 463,46 kg/ml entre las cotas 396 y 391 y S - 3, con 347,82 kg/ml entre las cotas 396 y 391.

Además, durante esta campaña se efectuaron unos taladros intercalados o de prueba, denominados R-1, R-2 y R-3. En un principio estaban proyectados 5 taladros, pero ante los buenos resultados obtenidos se desecharon los otros dos restantes. Se efectuaron en zonas donde las admisiones habían sido excesivas en ocasiones anteriores, concretamente entre los taladros verticales T-5 y T-8. Se trabajó con una presión de 5 atm.

6. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados obtenidos en los distintos estudios sobre las filtraciones de la margen izquierda de la presa de Rialb, cabe resaltar las siguientes conclusiones:

- El agua de estas filtraciones proviene del embalse en un 85% viniendo el resto de aportación de ladera.
- Las filtraciones evolucionan de manera proporcional al nivel de embalse, siguiendo una curva polinómica de segundo grado.
- El agua de las filtraciones es limpia, no existe sifonamiento ni lavado de finos en la ladera, pero el paso continuo del agua por la ladera provoca erosiones no deseadas en la misma.
- Entre los bloques 15 y 21 se concentran la mayor parte de las fracturas y es la zona de mayor admisión de las inyecciones realizadas.
- Las inyecciones hasta ahora efectuadas no han reducido significativamente el caudal de las filtraciones.

Entre las actuaciones a llevar a cabo para atajar estas filtraciones y reducir el daño a la ladera se encuentran, además de la continuación de los estudios para la localización exacta del origen de las filtraciones, las siguientes:

- Continuar con la actual campaña de inyecciones inclinadas y valorar los resultados de la misma una vez terminada. Contemplar la posibilidad de esperar a la total puesta en carga de la presa para detectar nuevas vías de filtraciones.
- Proteger con un filtro inverso las laderas, asegurando el encauzamiento de las filtraciones y evitando así daños a la ladera.