

## 8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### 8.1 INTRODUCCION

Antes de empezar a sacar conclusiones, es necesario saber los datos de partida para conocer las posibles limitaciones de nuestro estudio así como los suplementos informativos que poseemos.

De entre los datos de origen distinguimos entre dos tipos claramente diferenciados, los que tomamos en el campo y los que hacen referencia a las filtraciones reales existentes.

### 8.2 RESULTADOS OBTENIDOS AL APLICAR EL METODO ERASO

En este capítulo vamos a hacer un análisis sobre los resultados obtenidos al aplicar el método Eraso a los datos de campo.

El programa, después de entrar con todos los datos de campo, nos da una serie de planos de drenaje solución que introducimos en un diagrama de densidad. De aquí nos quedamos con los más representativos en número. El resultado se compone de cuatro planos claramente diferenciados.

Estos cuatro planos son:

DIRECCIÓN DE CAPA	DIRECCIÓN BUZAMIENTO	ANGULO DE BUZAMIENTO
150	60	12
153	63	85
119	209	83
51	141	76

Tabla 13: esta tabla muestra las cuatro familias de fracturas que tomaremos como solución.

Estos cuatro planos vienen a representar cuatro familias diferentes de discontinuidades, dos de ellas muy verticales y otra casi horizontal.

Si comparamos estos resultados con la experiencia visual obtenida en el campo, comprobamos que se corresponden de manera bastante exacta con las familias de grandes grietas observadas. El hecho que los resultados se correspondan con ellas de manera notable nos hace pensar en un primer momento que el resultado del programa podría darse por válido.

Cabe destacar la limitación de toma de datos a las zonas accesibles, quedando así muchas de las discontinuidades, que claramente intervienen en el proceso de las filtraciones, por medir.

Algunas de ellas son claramente visibles en fotos y nos hacemos una idea de su dirección al poder medir otras de la misma familia y sabemos que conservan la misma dirección y buzamiento.

Este hecho nos quita valor a un posible estudio estadístico a posteriori, pues este estudio solo recogería las discontinuidades accesibles a pie y no incluiría todas las que realmente afectan debido a inaccesibilidad para medirlas.

A pesar de esta limitación, sabemos donde están ubicadas estas discontinuidades y sabemos aproximadamente su dirección, hecho que nos será de gran utilidad cuando intentemos de reconstruir la red de filtraciones por el interior del macizo rocoso. Para intentar ver que fracturas son más importantes y en que zona aparecen, se ha hecho una interpretación de la fotografía aérea con el estereoscopio con el fin de delinear las discontinuidades, su dirección y longitud. El procedimiento se ha descrito en el capítulo anterior.

Aún y así estamos muy lejos de poder afirmar que los resultados son satisfactorios pues aún falta por conocer el objetivo principal de esta tesina, que es el funcionamiento de la red de filtraciones por el interior del macizo rocoso.

### **8.3 VALIDACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS**

El principal problema que se presenta para extraer alguna conclusión sobre los planos que resultan de la aplicación del método Eraso en el embalse de Camarasa, es como podemos validar la bondad de los resultados a partir de las filtraciones observadas.

Para intentar interpretar los diferentes mecanismos de filtración que ocurren en el interior del macizo rocoso, nos basaremos en una serie de datos históricos de la evolución de las filtraciones, así como la información visual que nos da el reconocimiento exhaustivo del lugar.

Con esta información, intentaremos ver como encajan los diferentes planos de drenaje obtenidos en el análisis, buscando una solución compatible con la historia de las filtraciones que hemos obtenido de los archivos de Endesa.

Los datos que consideramos más relevantes son un mapa que muestra la ubicación de las diferentes fuentes aguas abajo de la presa así como el nivel del embalse en el momento de su aparición (figura 58) y otro mapa que muestra las relaciones entre puntos donde se realizaron diferentes sondeos y las fuentes que se vieron afectadas (figura 60).

Empezaremos analizando estos dos mapas y veremos que conclusiones se extraen de ellos a la hora de intentar recrear los mecanismos de filtración.

#### **8.3.1 ANÁLISIS DE LOS DATOS DE PARTIDA**

El primer mapa muestra los puntos de salida de las diferentes fuentes. Estos puntos están representados en la figura 58. Los diferentes signos con los que vienen representados indican las diferentes cotas del nivel del embalse en el momento de su aparición.

Estos datos son muy antiguos y eso afecta en su precisión, ya que los mapas de ubicación de fuentes datan de los años 20. Estos mapas están hechos a mano alzada y su formato no se corresponde con ninguna de las medidas estándar actuales de papel. También se nota diferencia en el lecho del río si comparamos ese mapa con el del Institut Cartogràfic de Catalunya, mucho más preciso y actual.

Aún y así, hemos trasladado todos esos datos al mapa actual intentando ser lo más precisos posible, respetando siempre los datos antiguos.

En el mapa de ubicación de fuentes en función de la cota a la que estaba el embalse en el momento de su aparición, distingue entre cinco tipos diferentes de fuentes [22]:

- Grupo A: fuentes que ya existían en el río o aparecieron antes que el embalse llegara a la cota 301. (cota 262 respecto el nivel medio del mar en Alicante)

- Grupo B: fuentes que aparecieron cuando el embalse estaba entre las cotas 301 y 337. (cotas 262 y 298 respectivamente respecto el nivel medio del mar en Alicante)

- Grupo C: fuentes que aparecieron cuando el embalse estaba entre las cotas 337 y 341. (cotas 298 y 302 respectivamente respecto el nivel medio del mar en Alicante)

- Grupo D: fuentes que aparecieron cuando el embalse estaba entre las cotas 350 y 364. (cotas 311 y 325 respectivamente respecto el nivel medio del mar en Alicante)

- Grupo E: fuentes que aparecieron debido a la gran avenida de 1929.

Como se comprueba en la figura 58, el número de fuentes de cada tipo es de 14, 19, 3, 5, 6 respectivamente. En función de su número, ubicación y cota del embalse en su aparición podemos extraer las siguientes conclusiones:

Grupo A (cota de embalse  $\leq 262$  m.)

Este tipo de fuentes no aportan demasiada información ya que algunas existían antes de la construcción del embalse y no podemos distinguir cuales son. Debido a la geología de la zona estas podrían venir de la infiltración del agua de lluvia en el macizo. También desconocemos su caudal y con qué frecuencia salía agua antes de la construcción del embalse.

Grupo B (cota de embalse entre 262 y 298)

Este tipo de fuentes son las más numerosas, además aparecen en el momento en que el embalse empieza a ganar cota. De estas fuentes se extraen varias conclusiones, la primera y más importante es el hecho que, al aparecer en las primeras cotas de llenado y teniendo en cuenta la forma de la lámina de agua del embalse y la topografía del lecho cuya cota aumenta de forma muy lineal aguas arriba, el único punto donde existe algo de presión es en las cercanías de la presa.

El lecho del río gana cota rápidamente y a poca distancia aguas arriba de la presa sale de la cota de embalse. En cualquier caso, las filtraciones en el lecho tendrían una mayor pérdida de carga. Todo ello nos conduce a pensar que las filtraciones provienen de la zona más cercana a la presa.

Como en ese momento era la primera vez que el agua llegaba a esas cotas, las filtraciones primeras, las más numerosas y de mayor caudal debieron producirse a través de las fracturas más permeables y de menor recorrido. Las siguientes fuentes se deberían corresponder a discontinuidades menos permeables que requieren más presión para permitir la circulación del agua o que provengan de más lejos. Al aumentar el nivel del embalse lo que hacemos es aumentar el caudal circulante por estas fuentes.

Grupo C (cota de embalse entre 298 y 302)

Este tipo de fuentes no nos aportan ninguna información adicional. En primer lugar el nivel del embalse solo sube cuatro metros, y esto nos origina únicamente tres nuevas fuentes. Se da el caso que estas tres nuevas fuentes están al lado de una del Grupo B lo que nos induce a pensar que el mecanismo que da origen a estas fuentes es el mismo.

La única diferencia es que al aumentar un poco la presión del agua, cuando su camino se encuentra ya muy cerca de la superficie, esta sobre presión le permite encontrar algún camino adicional a su anterior salida.

Este hecho es un fenómeno puntual en los últimos metros del recorrido que sigue la filtración, por lo que carece de importancia. Así pues no distinguiremos entre fuentes de los grupos B y C y las consideraremos iguales en todos los aspectos.

Grupo D (cota de embalse entre 311 y 325)

En este tipo de fuentes los datos no son fáciles de interpretar. En primer lugar porque no existe una continuidad en las cotas de llenado del embalse, lo que nos genera la siguiente pregunta: Existe alguna fuente entre las cotas 302 y 311 del embalse?

Si aparece alguna no tenemos información de ella. Si consideramos por válido el hecho de que aparece ninguna, vamos a analizar que ocurre entre las cotas 311 y 325.

Entre esas cotas solo nos aparecen cinco nuevas fuentes que fácilmente se pueden agrupar en tres subgrupos.

El subgrupo 1 consta de una única fuente ubicada al lado de otras pertenecientes a otros subgrupos. Este hecho, al igual que pasaba en las fuentes del grupo C y B nos induce a pensar que los conductos que dan lugar a las fuentes del subgrupo 1 son los mismos que las fuentes vecinas y que la única diferencia es que la mayor presión ha permitido el flujo a través de juntas menos permeables y buscar la salida al exterior. Como ya hemos comentado con anterioridad, este es un hecho accidental por lo que englobaremos esta fuente junto a sus vecinas en lo que al mecanismo de filtración se refiera.

El segundo y tercer subgrupos contienen dos fuentes cada uno de ellos. Estos dos subgrupos de fuentes se encuentran en la margen izquierda del Segre, es decir, la filtración cruza por debajo del río antes de salir a la superficie.

Este camino es más raro y sin ninguna duda tiene mucha más pérdida de carga que todos los anteriores, por lo que nos parece lógico que no se haya manifestado hasta que el agua alcanza cierto nivel de presión.

En las cotas de embalse que nos movemos, existen muchos puntos aguas arriba que tienen suficiente presión como para poder provocar nuevas fuentes, superando las pérdidas de carga que supone este camino más largo sin ningún problema. Este hecho nos abre el abanico de posibilidades en cuanto a la toma de agua del embalse se refiere.

De este primer análisis de los datos de origen destacamos tres conclusiones:

-Las fuentes más representativas son las del grupo B, por número y por el hecho que son las que abren la mayoría de los diferentes mecanismos de filtración. Las fuentes de otros tipos que se encuentran muy cercanas a las de este tipo, tienen el mismo mecanismo de filtración, y solo se diferencian en que al aumentar la presión del agua, esta puede encontrar nuevos caminos de salida cuando ya esta muy cerca de la superficie.

- El origen del agua que da lugar a las filtraciones del grupo B proviene de las cercanías de la presa, ya que aguas arriba, al aumentar la cota del lecho del río, el agua embalsada tiene menos presión. Esta menor presión no es suficiente como para poder superar la pérdida de carga que supone el camino por el interior del macizo hasta su punto de salida. El único punto donde existe un incremento notable de presión es en las cercanías de la presa, al ser el primer lugar donde queda agua embalsada, y estimamos que las diferentes entradas de agua están ubicadas hacia el fondo del embalse.

- Las fuentes del grupo E, no podemos extraer ninguna conclusión relevante en cuanto al origen de aguas del embalse, ya que podrían darse los casos de un origen cercano a la presa, origen lejano o incluso una combinación de ambos.

El otro mapa que debemos tener en cuenta, son las relaciones existentes entre fuentes y entre puntos del interior del macizo. Estas relaciones vienen representadas en la figura 60, que nos muestra diferentes sondeos perforados en el macizo y su relación o relaciones con algunas fuentes de su entorno. Esta figura, aunque a priori nos parece muy difícil de interpretar, nos ha permitido extraer algunas conclusiones de interés.

La conclusión más importante que se extrae al observar esa figura, es el hecho que las fuentes que aparecen en la margen derecha del río Noguera antes de llegar a la confluencia, no son producidas por las fracturas verticales sino por el plano suavemente inclinado hacia el río, que se corresponde en la dirección de buzamiento y ángulo con las direcciones 060/12

La explicación de cómo se ha llegado a esta conclusión será ampliamente desarrollada en el capítulo donde explicaremos los diferentes mecanismos de filtración.

Otras conclusiones que se derivan del estudio de esa figura son que las fuentes de la margen derecha del río Segre, aguas abajo de la confluencia de los dos ríos, son producidas por las fracturas verticales, ya que sería del todo imposible que pudiera actuar en ellas el plano suavemente inclinado (060/12) siguiendo las relaciones que allí se muestran.

De hecho esas relaciones coinciden casi de manera exacta con una de las direcciones de los planos de drenaje que consideramos como solución. Esa es otra coincidencia que nos permite volver a tener esperanzas en que los resultados del programa podrían ser satisfactorios.

Ocurre lo mismo con las fuentes ubicadas en la margen derecha del río Segre aguas abajo de la confluencia. La relación existente con los sondeos nos coincide con otras de las direcciones consideradas solución. Otra coincidencia con otro de los planos verticales de drenaje.

Una vez analizados los datos de partida vamos a intentar recrear el mecanismo de las filtraciones. Existen dos formas de explicar este fenómeno, una de ellas es la expuesta por el profesor Lugeon basándose en la geología tectónica y la otra es combinando los planos de drenaje que tenemos como solución.

Estas dos visiones del mismo fenómeno no son excluyentes una de la otra sino que se complementan, las filtraciones son suma de los dos factores.

## 8.4 ANALISIS TECTONICO DE LAS FILTRACIONES

### 8.4.1 INTRODUCCIÓN

Antes del llenado del embalse existían únicamente unas insignificantes fuentes alrededor de la confluencia del Noguera Pallaresa con el Segre, con un caudal total de unos 4 l./s.

El llenado del embalse se hizo, como ya se ha comentado en el segundo capítulo, de forma escalonada, siendo regulado por los pasos temporales de agua dejados en el cuerpo de la presa en las cotas 315,00 y 327,5, además de un vertedero provisional situado a la cota 361,10 que tenía la finalidad de evitar la inundación de agua en la zona del aliviadero.

Del 1 al 30 de Enero de 1920 el embalse llegó a la cota 335.

Del 15 de Abril al 15 de Mayo de 1920 llegó hasta la cota 365, y al final de Diciembre del mismo año llega a la cota 372.

Durante este tiempo aparecieron en el pie de la presa y en las dos márgenes del Noguera Pallaresa y Segre varias fuentes que fueron aumentando su caudal proporcional a la subida del embalse.

Sin duda alguna, la fuente más importante y que antes del llenado no existía, fue conocida como la 2-A. Esta pasó al final del 1920 de un caudal de 900 l./s. a 3000 l./s.

Se calcula que estas pérdidas representaron unos 51 millones de kWh cada año [2][3].

La situación, sin ser inquietante para la estabilidad de la presa, llegó a preocupar seriamente a los técnicos responsables de la ejecución, hasta que, el 12 de Abril de 1923 el Sr. José M.<sup>a</sup> Ortega Ballester, ingeniero jefe de Obras Públicas de la provincia de Lleida y miembro de la comisión inspectora, comunicó a la sociedad concesionaria que, en un término lo más breve posible, transmitieran a la Prefectura la documentación siguiente [12][19]:

1º Un informe sobre las medidas adoptadas por la Sociedad Riegos y Fuerza del Ebro de los trabajos para estudiar y corregir las filtraciones producidas, indicando las causas probables según el entendimiento de los encargados del estudio, con un mapa de su situación.

2º Un resumen de todas las observaciones realizadas hasta la fecha de las diferentes filtraciones existentes.

3º Un proyecto de aliviadero para el caudal de la filtración más importante y de las que se las pudiera conducir.

4º Proyecto de las instalaciones necesarias para la observación y medida de caudal de las aguas de las otras filtraciones.

Para estudiar la naturaleza de las filtraciones se desarrollaron los siguientes trabajos:

1º Sondeos de profundidad para intentar localizar las corrientes de agua subterránea.

2º Reconocimiento de todo el terreno del embalse, en especial las cuevas, cavernas, pozos y grietas que aparecían en las rocas porosas que había a lo largo de las márgenes.

3º Medida de la resistencia específica del agua con soluciones salinas en diferentes puntos del embalse y en todas las fuentes.

4° Sondeos sonoros a lo largo del embalse utilizando campanas sumergidas.

5° Ensayos de coloración de las aguas del embalse controlando su salida por las diferentes fuentes.

6° Medida y comparación de las temperaturas del agua del embalse y de las fuentes.

A mediados de 1924, W. Diem, ingeniero jefe de Obras Hidráulicas de Riegos y Fuerza del Ebro, reconoce que sabe tanto sobre el origen de las filtraciones como cuando estas empezaron a aparecer, y tienen aún la idea que el agua filtra por grietas, cuevas y cavernas de la zona del Valle de Santaliña.

Ante esta situación Mr. Diem se pone en contacto con Mr. Emile Pinson de la Compagnie Generale de Electricité de Francia, que le recomienda los servicios de Mr. Maurice Lugeon, geólogo y profesor de la universidad de Lausanne, miembro de la Academia de Ciencias de Paris y doctor honoris causa por La Sorbona y que había estudiado para la C. G. E. Varios proyectos de pantanos con resultados satisfactorios.

Los antecedentes de Maurice Lugeon son de la conformidad de Mr. Diem, que consigue de la dirección de Riegos y Fuerza del Ebro la contratación de los servicios del geólogo, quien fija sus honorarios en 10.000 fr. suizos además de 3.000 fr. suizos de su ayudante Mr. Olianoff, los gastos de viajes y alojamiento de los dos aparte.

#### **8.4.2 INFORME LUGEON. ANÁLISIS TECTONICO DE LAS FILTRACIONES**

[5] En el informe de Mr. Lugeon aparece un capítulo muy extenso dedicado a las zonas porosas del embalse. Como hemos citado con anterioridad, en el apartado que describe la geología de la zona del embalse, las rocas que pueden dar lugar a filtraciones solo son dos, las calizas Campanienses y las dolomías del Dogger. Las conclusiones a las que llega Mr. Lugeon, aunque no se han podido demostrar con certeza, son muy válidas y prueba de ello es el hecho de haber podido solucionar el problema de las pérdidas del embalse casi exclusivamente con esta única herramienta.

-Análisis de las zonas porosas.

Ya hemos dicho que el agua puede circular en las calizas y en las dolomías por los lechos de estratificación de las capas, por las diaclasas y por las fallas anchas.

El agua que así penetra en las calizas desciende hasta la primera capa inferior impermeable, rellena todas las fisuras y busca su salida (a menudo por vía ascensional) en los puntos donde la presión hidrostática es más débil, es decir, en donde se encuentre el punto bajo más cercano a la capa impermeable; puede ser una excepción local si en las cercanías de este punto bajo se encuentran fisuras que faciliten su salida.

Hay que examinar dos fenómenos: la posible entrada en la caliza porosa y la posible salida de ella. Porque a menudo, como el caso de un agua artesisiana, existe una entrada pero no una salida.

Las rupturas, sean fallas o diaclasas anchas, son el resultado del límite de elasticidad de la roca, las filtraciones han de encontrarse pues en las regiones más plegadas de las capas.

Estas son reglas generales, pero hay que tener en cuenta siempre los accidentes locales.

### 8.4.2.1 LAS CALIZAS CAMPANIENSES

Debajo de las calizas Campanienses existe el Santoniense prácticamente impermeable.

Supongamos el Campaniense impermeable y veamos donde se podría dirigir el agua subterránea.

El agua que penetre en estas calizas, solo puede hacerlo por la región estrecha M.P.Q.R. de la figura 18. El agua que se acumule en la superficie Santoniense no podrá hacer más que rodear hacia el NE. El anticlinal de Santaliña que baja en esta dirección. Hacia el oeste el agua no puede alejarse mucho porque las capas se remontan en esa dirección contorneando el anticlinal de Santaliña. El agua estaría obligada a dirigirse hacia el sinclinal de la Figuereta. Como este sinclinal se eleva axialmente en dirección Oeste es imposible que por ese lado existan filtraciones.

Del lado Sureste, este sinclinal se aleja hasta tal punto que las pérdidas de carga deben impedir toda salida. Además no se conoce ninguna fuente en esa dirección desde la creación del embalse.

Así pues, las calizas Campanienses, aunque impermeables, no juegan ningún papel perjudicial en las pérdidas del embalse.

### 8.4.2.2 LAS DOLOMIAS DEL DOGGER (JURASICO)

Por eliminación, se demuestra que el único terreno que puede causar las pérdidas del embalse es la dolomía jurásica. Como hemos dicho en anterioridad, se sospecha que esta roca debería ser porosa y en efecto, lo es. Vamos a examinar las dolomías más detalladamente:

#### **Anticlinal de Santaliña**

Sabemos que este anticlinal muestra superficialmente la dolomía en una pequeña zona, en la región estrecha del embalse, bajo la forma de una especie de cúpula, cuyo eje se inclina hacia el Este. No creemos que en esta región, aunque realmente porosa, sea perjudicial ya que lo más probable es que todo el agua que penetre en ella sea devuelta al embalse.

Si examinamos el camino que debería seguir el agua en la vertiente derecha, y observando las capas de cota 335, es decir, el nivel medio del embalse (sin olvidar que la capa impermeable se encuentra 100-150 metros por debajo) se ve que el agua no puede dirigirse más que hacia la parte baja de Santaliña, donde quedaría en equilibrio. No hay escape posible en esta dirección.

Examinamos el agua que filtrándose sigue la línea de máximo pendiente del flanco del anticlinal, es decir, que sigue una dirección orientada al Este. Esta agua iría a chocar contra la falla K. L. De la figura 18.

En estas circunstancias, se pueden presentar dos casos, ya que no podemos precisar los terrenos que existen en contacto con los bordes de la falla:

- la falla pone en contacto la dolomía con el Santoniense impermeable o el Campaniense; en este caso el agua quedaría retenida.
- La falla deja parcialmente en contacto la dolomía de un borde con la del otro. En este caso el agua puede pasar y continuar su descenso bajo el Santoniense del labio Sur de la falla.

El agua penetrará entonces en el sinclinal de la Figuereta y se le ofrecerán dos caminos.



El primero es entrar en presión en la cubeta que representa el fondo del sinclinal, el agua no podría extenderse hacia el Oeste por la subida axial en esta dirección.

El segundo camino, consistiría en que el agua, rebasando el borde meridional de la cubeta, franquease transversalmente el anticlinal de la Rentisclera y penetrando en el sinclinal de la Rentisclera tomase el camino de las filtraciones. Aunque este camino es muy complicado y poco probable, no podemos desestimarlos.

En resumen, las filtraciones por el anticlinal de Santaliña son muy poco probables pero la prudencia no nos permite desestimarlas.

### **La dolomía de las regiones G. Y B.-**

En la región G. son conocidos cierto número de puntos de filtración. En esta región las capas son muy poco inclinadas y el anticlinal de la Rentisclera es muy poco definido. El agua que penetra debe poder pasar fácilmente, dada la presión existente en el pliegue liásico del anticlinal, y localizarse en el sinclinal de la Rentisclera.

Aquí existe pues, una región que se puede considerar particularmente peligrosa, pues la dolomía desciende mucho más que el nivel del embalse.

La región B. es una de las zonas más porosas. En efecto, en ese punto del embalse, las dolomías han sufrido el mayor esfuerzo de plegamiento. Las diaclasas son numerosas. A priori, es la región que debe ser más permeable, no solamente por las diaclasas sino también porque las capas buzan directamente hacia el eje del sinclinal de la Rentisclera.

El camino que sigue el agua al penetrar por las diaclasas y por los lechos de las capas, desciende directamente al fondo del sinclinal de la Rentisclera. Hacia el Oeste, el levantamiento axial del pliegue impide toda fuga. Hacia el Este, aunque las capas se levanten localmente, no suben lo bastante para impedir al agua deslizarse en esa dirección. Así pues, el agua se dirige en principio hacia la hoya del sinclinal, o sea, bajo el margen derecho de la Rentisclera. De aquí el caudal de la filtración mayor atraviesa por debajo y oblicuamente el embalse se dirige al Segre y reaparece en la superficie.

### **La Rentisclera-**

El vaso del embalse en la zona de la Rentisclera está formado por las dolomías, por lo que debe admitirse que las filtraciones existen en esa zona. Como las diaclasas están en relación con la intensidad del plegamiento, se ve que es en la región superior de la Rentisclera donde las dislocaciones han sido las más importantes. Las filtraciones serán allí también importantes en número y en rendimiento.

Si seguimos hacia el Sur, el pliegue poco acusado del sinclinal de la Rentisclera ha resquebrajado poco las capas, por consiguiente la filtración estará allí limitada a una cantidad relativamente pequeña. Por lo menos esta es la hipótesis más admisible.

Más al Sur todavía, dado el buzamiento de las capas de la margen derecha hacia la izquierda, esta última debería ser la más porosa. La existencia de grandes filtraciones al pie de la vertiente derecha, inmediatamente aguas abajo de la presa, hacen pensar en la existencia de anchas diaclasas en la vertiente derecha a pequeña distancia del embalse.

### 8.4.3 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO GEOLOGICO DE MR. LUGEON

[5] En resumen, este estudio tectónico nos muestra que solamente la dolomía es porosa. Entre las regiones que parecen a priori, más peligrosas, se encuentran las zonas B. y G. y decimos a priori, porque con las infinitas variedades que muestra a menudo la circulación subterránea, no sería de extrañar que experiencias metódicas desmintiesen estas afirmaciones, pronunciadas exclusivamente basándonos en la geología tectónica.

En las investigaciones de Mr. Lugeon, no encuentra en ningún sitio fisuras que fueran de importancia por lo que concluye que se trata de una multitud de pequeñas filtraciones, parecidas a las que se ven en los alrededores de la región G.

La región dolomítica porosa del embalse puede ser evaluada a grosso modo en 500.000 a 600.000 m<sup>2</sup>. El caudal de las filtraciones puede estimarse en 10 m<sup>3</sup> por segundo, lo que significaría que cada 50 o 60 m<sup>2</sup> de las paredes dolomíticas dejan pasar un litro por segundo.

### 8.5 PREDICCIÓN DEL ESQUEMA DE FILTRACIONES EN CAMARASA.

Teniendo en cuenta todas las condiciones anteriores, intentaremos combinar los diferentes planos de drenaje para comprobar si existe alguna solución compatible entre la posición de la lámina de agua y la situación de las surgencias. Después de obtener estas soluciones o planos preferentes de filtración, deberemos comprobar que se correspondan con lo observado en el campo así como que los resultados sean lo más lógicos posible.

Dada la naturaleza de los cuatro planos solución, e incluso solo con los tres planos verticales, se puede llegar desde cualquier punto del embalse a cualquier fuente combinando solo dos de los planos o incluso con los tres.

Dado que solución existe, el problema es encontrar una que se asemeje lo máximo posible a la realidad.

Como se observa sobre el terreno, en la zona más próxima a los estribos de la presa existen unas grandes grietas verticales que se corresponden con el plano de drenaje solución 063/85 (esta notación para determinar el plano se corresponde a dirección buzamiento/ ángulo de buzamiento). Estas fracturas existentes en ambos márgenes del embalse, funcionan como toma de agua del embalse hacia el interior del macizo. Esta familia de fracturas por si sola no es peligrosa ya que el agua que por ellas penetra no tiene ninguna salida al exterior.

Estas fracturas funcionan de toma de agua y en el interior del macizo, se combinan con las otras tres direcciones de drenaje para dar lugar al sistema de filtraciones. En la margen izquierda, esta es la única vía de toma de agua mientras que en la margen derecha, además de esta dirección, también existe el plano 209/83 que ayuda en esta función de toma de agua.

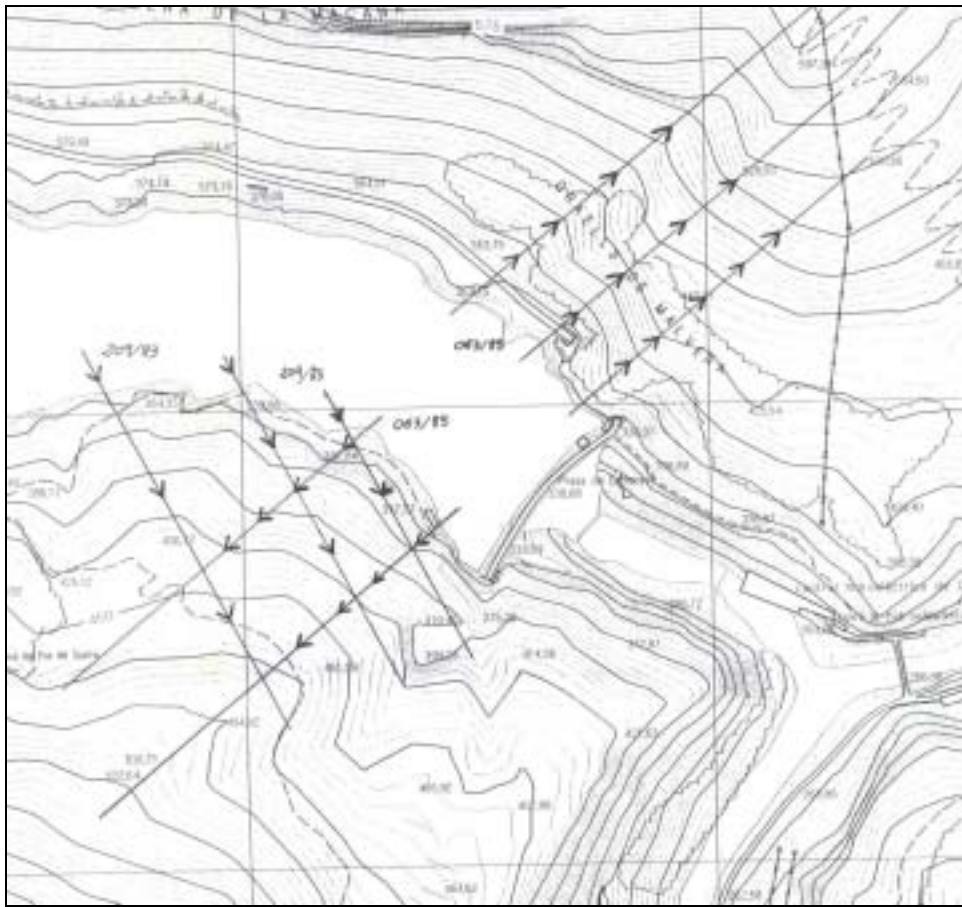


Fig 61: Esta figura muestra las dos direcciones que funcionan como toma de agua. Se ve claramente como la dirección 063/85 por si sola no da salida del agua al río

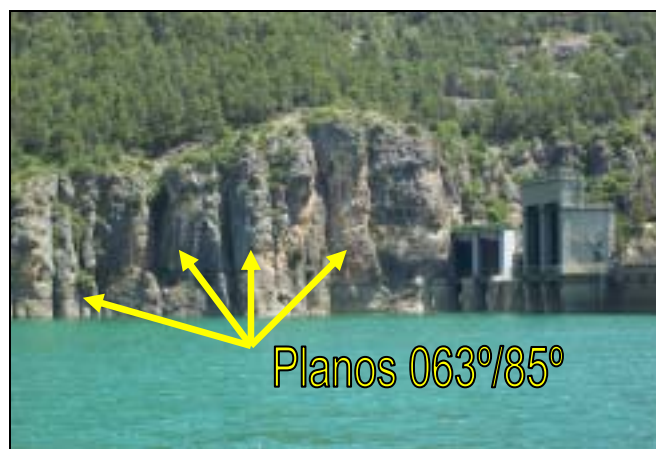


Foto 45: Foto del estribo izquierdo de la presa. Al lado del estribo se observan unas importantes fracturas casi verticales.

En la foto anterior podemos ver esas grietas verticales que se corresponden con el plano 063/85, en el estribo izquierdo de la presa, marcados con flechas amarillas.

Las fuentes existentes en la margen derecha del río Noguera antes de llegar a la confluencia con el Segre, son una combinación de los planos 063/85 y 060/12. La conclusión de que el flujo de agua subterránea busca la salida siguiendo la dirección de este plano muy poco inclinado se deduce de lo siguiente.

Si observamos la figura 60, en la que se relacionan algunos sondeos realizados con las fuentes a la que afectaron, vemos que existen direcciones que no pueden darse de ninguna manera siguiendo solamente los tres planos verticales. Es entonces cuando suponemos que se producen por ese plano casi horizontal. Si partimos de la cota 265 en la que se producen las surgencias, y conociendo el buzamiento de dicho plano de drenaje, comprobamos que la cota de corte de este plano con el vertical que funciona de toma de agua, el plano 063/85, se encuentra a cota 300 m.

Esta cota es precisamente la cota que alcanzo el embalse en el momento en que aparecieron dichas fuentes. Así pues, el mecanismo en este caso funcionaria de la siguiente forma. El agua penetra en la familia de planos 063/85, saturando el interior del macizo de agua. Una vez esta agua alcanza la cota 300, se encuentra con el plano horizontal 60/12 por donde desliza el agua hasta el exterior.

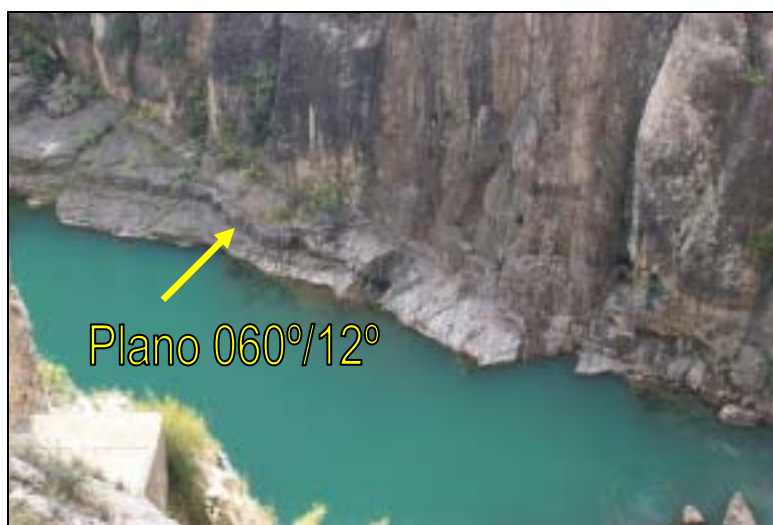


Foto 46: La foto nos muestra el lugar donde estaban ubicadas todas las fuentes, incluso se observa una de ellas aun activa. Vemos como el plano 060/12 como intercepta al vertical.

Este hecho se puede demostrar ya que, en la zona donde se encuentran las fuentes, se puede distinguir claramente este plano suavemente inclinado (como se puede observar en la foto anterior). Además, como se ha demostrado anteriormente, la familia de fracturas horizontales es más moderna que la familia vertical con la que intersecta por lo que, al ser aquella la que corta, la fractura vertical se ve interrumpida y la que tiene continuidad es precisamente la familia 060/12, menos inclinada.

El segundo conjunto de fuentes están ubicadas en el río Segre aguas abajo de la confluencia. Estas fuentes son producidas por la combinación de varios de los planos de drenaje verticales que tenemos como solución.

En primer lugar tenemos el plano 063/85 que funciona de toma de agua en la zona del embalse más próxima a la presa y el plano 209/83 que podría funcionar también como toma un poco más alejado de la presa.

Una vez el agua satura el interior del macizo por medio de estas dos familias de planos, la salida se realiza por combinación con los planos 141/76 y 209/83 que los llevan directamente a las fuentes. Estas direcciones coinciden con las representadas en la figura 60, con lo que las podemos dar por validas. En el campo hemos encontrado una junta que presenta evidencias claras de circulación de agua, esta coincide con la dirección 141/76, lo que confirma nuestra hipótesis que las fuentes en este sector se producen por dichos planos verticales.

Si la salida del agua está clara y probada, el punto de toma no lo está tanto. En ese sector coexisten fuentes de diferentes tipos, es decir, fuentes que aparecieron a diferentes cotas del embalse. Tenemos algunas que aparecieron cuando el embalse estaba en la cota 262. Estas primeras fuentes, su origen debe estar situado necesariamente en la parte más cercana a la presa, ya que sería el único punto donde puede existir una sobrepresión de unos siete metros de columna de agua, debido al embalse. Aguas arriba de la presa esta sobre presión pierde importancia a medida que el lecho del río va ganando cota, además aumentarían las pérdidas de carga en el caso que existieran dichas filtraciones.

Al existir fuentes de este tipo, pertenecientes a la clase A y B descritas anteriormente en el *capítulo 8.3.1*, nos hace pensar que parte del agua filtrada proviene de las cercanías de la presa, aunque también tenemos fuentes que, por sus características, su origen podría situarse en puntos aguas arriba más alejados de la presa.

Aquí se barajan dos posibilidades no excluyentes entre ellas. La primera es que al existir fuentes de varios tipos situadas tan cerca unas de las otras, compartan el mismo mecanismo de filtración, incluyendo la toma de agua del embalse, y que la diferencia resida en que al aumentar la cota del embalse, aumentando así la presión del agua, cuando esta está a punto de salir a la superficie puede encontrar nuevos caminos de salida a la superficie. Eso explicaría porque fuentes a priori tan diferentes se encuentran entre ellas separadas por escasos metros.

La otra explicación es la que nos facilita el profesor Lugeon basándose en las teorías de la geología estructural. Estas hipótesis se han comentado en el capítulo anterior y serían una explicación para las fuentes que aparecieron a cotas altas del embalse y que se encuentran aisladas, incluso llegando a cruzar por debajo el propio río Segre.

El tercer conjunto de fuentes son las que se encuentran en el río Segre aguas arriba de la confluencia. Todas las filtraciones que se producen por la margen izquierda del embalse, la toma del agua solo puede darse de dos maneras.

La forma más probable es que el agua penetre en el macizo por la familia de fracturas que sigue el plano 063/85. Si analizamos la disposición de los planos de fractura, esta familia es la única que permite una conexión directa con el embalse. Este hecho sabemos que realmente ocurre al encontrar una fractura que sigue esa misma dirección con unas claras evidencias de circulación de agua. Este plano se encuentra situado por encima del emboquille del túnel del estribo izquierdo de la presa.

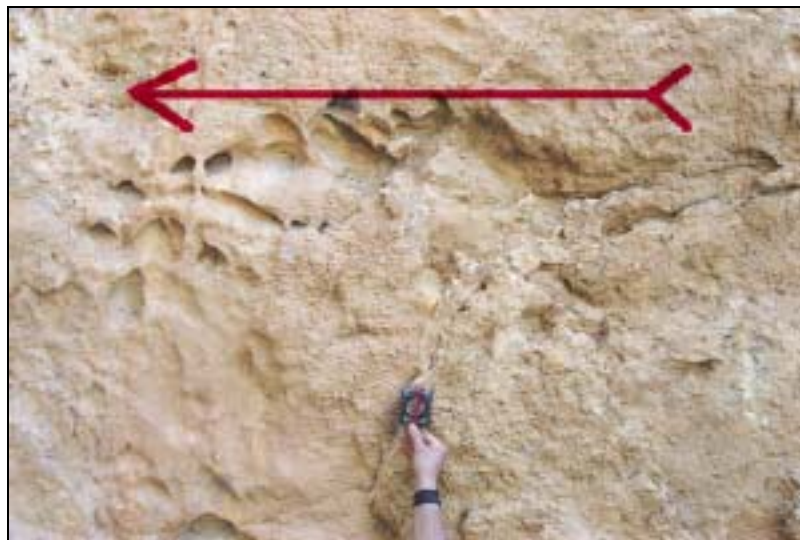


Foto 47: En la foto se observa con gran detalle la sección de un carts perteneciente al plano. Esta sección nos permite distinguir la dirección de circulación del agua, marcada con una flecha roja en la foto.

En la foto anterior vemos una parte de ese plano, totalmente relleno de calcita. Observamos también una serie de conductos cársticos interconectados de manera que nos indican la dirección de circulación del agua, en este caso va desde el embalse al interior del macizo (dirección representada con una flecha roja). En el capítulo 6 de esta tesina, dedicado al trabajo de campo, en la descripción de la segunda parada, hacemos una descripción más detallada de dicho plano.

La toma de agua la tenemos determinada. En este sector el plano 060/12 no puede intervenir ya que de hacerlo, nos llevaría el agua hacia el interior del macizo y muy por debajo del lecho del río.

En este caso, el mecanismo se basa en la combinación de los tres planos verticales, el plano 63/85 funciona de toma de agua y se intercepta con los otros dos. El plano 209/83 nos genera las fuentes más cercanas a la confluencia mientras que el plano 141/76 nos genera las que están más alejadas.

Estas direcciones nuevamente coinciden con las de la figura 60, cosa que prueba su veracidad.

La otra forma que puede explicar la existencia de estas filtraciones, aunque menos probable, sería que la toma de agua se situara muy alejada aguas arriba de la presa, justo en el punto donde el embalse cambia de dirección, en el brazo del barranco de La Figuereta. Estas filtraciones se producirían siguiendo las dos direcciones verticales 209/83 y 141/76.

Este otro mecanismo está condicionado por la permeabilidad de la zona de toma de agua del embalse, puesto que en esa zona no afloran las dolomías. Si la permeabilidad fuese suficiente, podría filtrar agua hacia el interior del macizo siguiendo esas dos direcciones de fractura. Otro condicionante que debe superar es la gran pérdida de carga que supone este recorrido, sensiblemente mayor que el otro propuesto. Si el gradiente de presiones puede superar esta pérdida de carga, se podría dar este mecanismo.

Así pues, para las fuentes ubicadas en el Segre, aguas arriba de la confluencia de los dos ríos, como los dos mecanismos propuestos no son excluyentes entre sí, pueden estar actuando simultáneamente, aunque el único del que se tiene total certeza que realmente funciona es el primero de los propuestos.

El mecanismo final de las filtraciones en Camarasa, puede verse en la figura 62 del anejo de figuras. En ella se puede apreciar las diferentes direcciones que puede seguir el agua, es decir, los diferentes planos de drenaje solución, así como la manera de combinarse entre ellos.