

## 4 DESCRIPCION GEOLÓGICA DEL TERRENO

### 4.1 INTRODUCCIÓN

Para estudiar el problema de las filtraciones en la presa de Camarasa, debemos estudiar en primer lugar la geología en la zona del embalse. Necesitamos saber el tipo de rocas así como los pliegues, fallas y distintas formaciones existentes con el fin de delimitar la zona por donde se producen estas filtraciones.

En este capítulo describiremos los terrenos que existen en el embalse, por orden cronológico empezando desde el Triásico hasta el Cuaternario actual. La fuente de esta información viene del estudio geológico que realizó Mr. Lugeón, profesor de la universidad de Lausanne en 1924.

Después de esta descripción de los terrenos que existen en el embalse, describiremos los pliegues y distintas formaciones existentes. Estas son las que nos modelan el relieve del entorno y nos afectan directamente al mecanismo de filtración al crear grietas y fracturas por donde entra el agua en el macizo. Los pliegues a la vez, dan un buzamiento a los planos por donde circula el agua, esto afecta directamente a la dirección de filtración.

Para entender mejor la formación de estos pliegues, haremos una pequeña introducción explicando a grandes rasgos la formación de los Pirineos.

### 4.2 LA GEOLOGÍA DEL EMBALSE

Según el Profesor Mr. Lugeón, los terrenos que afloran en el embalse de Camarasa, por orden de antigüedad, desde el más antiguo al más moderno, son los siguientes [5]:

- a) *Triásico*- Este piso está constituido por yesos, calizas en capas delgadas, arcillas abigarradas, en general muy replegadas y atravesado en varios puntos por una roca eruptiva característica: la ofita. Aflora en este terreno en los barrancos de Santaliña. Por la presencia de yesos, que en profundidades se transforma en anhidrita, por la presencia de gran número de masas arcillosas, y por el carácter particular de las masas calizas, este terreno es de una impermeabilidad absoluta.
- b) *Liásico*- Este terreno no aflora en la zona del embalse, al parecer no existe o está oculto por terrenos más modernos (pudingas Numulíticas). Desde el punto de vista hidrológico es análogo al Triásico.  
El liásico está constituido por capas de margas frecuentemente verdosas, entre las cuales se intercalan bancos de calizas margosas de poco espesor.  
Esta zona margosa tiene aproximadamente unos 60 metros de espesor; en su base se encuentra una capa de unos 30 metros de potencia de caliza litográfica superpuesta a las calizas magnésicas con vacuolas que se apoyan directamente sobre el triásico.

Los bancos margosos del Liásico forman una pantalla absolutamente impermeable. Se les ve pasar, inclinados por la garganta del Segre en la confluencia con el Noguera Pallaresa y aflorar bajo las antiguas casas del personal de la presa. Su gran cantidad de fósiles hacen que se les reconozca fácilmente

- c) *Dogger*- Este terreno ( Jurásico intermedio) está caracterizado por sus famosas calizas magnésicas cavernosas (dolomías) y sobre él se apoya la presa. Su espesor es variable. Llega en algunos puntos a 150 metros y se reduce considerablemente en otros como se puede observar en los escarpes del Montroig.

Es el terreno permeable por excelencia y ya veremos como es a él al que se deben las pérdidas del embalse.

- d) *Santoniense*- Una de las características de la cadena de los pirineos y de sus ramificaciones es la ausencia del jurásico superior y, en la región que nos ocupa, de una buena parte del Cretáceo.

Sobre las calizas dolomíticas del Dogger reposa directamente el Santoniense que pertenece al cretáceo superior.

Está constituido por areniscas o calizas sabulosas y por arenas en determinados sitios. Son estas arenas y areniscas las que forman una capa continua por las paredes que dominan el Segre aguas abajo de la presa, y que en la Rentisclera constituyen el suave declive que se observa encima de las calizas dolomíticas del Dogger.

Estas arenas Santonienses son las que han sido explotadas no lejos de la presa para su construcción.

El Santoniense no tiene una composición constante. Así se ve a medida que se separa la presa hacia el embalse, se hace menos arenoso y más calizo.

Desde el punto de vista hidrológico, sin ser de una permeabilidad absoluta, no puede dejar pasar más que una cantidad muy pequeña de agua y dar lugar a pequeñas fuentes. Prácticamente debe ser considerado como impermeable.

- e) *Campaniense*- El campanéense forma esas admirables paredes de caliza coloreadas de amarillo o rojo, que corona la sierra de Montroig y que forma la zona estrecha del vaso aguas arriba de la Massana.

Este terreno, como todos los calizos, es muy permeable si está fisurado. Las diáclasas son numerosas pero más adelante veremos que el agua que penetra en ellas no puede salir por ninguna parte.

- f) *Garumnense*- Sobre las calizas Campanienses, se extiende en la zona principal del embalse capas alternantes de areniscas con calizas, arcillas y margas. Los bancos calizos son visibles en las cercanías de la Massana. Uno de ellos es muy característico, es el que atraviesa el embalse en los Vasalls formando una muralla blanca de las más pintorescas.

Todo el conjunto Garumnense es una formación lacustre muy característica de los sedimentos pirenaicos y que ha sucedido a las formaciones marinas precedentes.

Las rocas de este piso son completamente impermeables.

- g) *Numulítico inferior*- La formación lacustre Garumnense está cubierta por una formación marina que constituye el Numulítico inferior (Eoceno, Terciario inferior).  
Se pasa insensiblemente de una a otra formación pero en la Baronía se encuentran ya fósiles característicos de la base del Terciario. Desde este punto hasta la cola del embalse no aflora más que este Numulítico. Está constituido principalmente por bancos de arenisca frecuentemente con pequeños granos verdes y se intercalan algunos bancos de calizas blancas fosilíferas como puede verse por el lado sur de la Baronía. El conjunto es completamente impermeable.
- h) *Numulítico medio*- Después del plegamiento principal de la cadena de los Pirineos, las montañas que acaban de nacer fueron profundamente erosionadas por potentes corrientes de agua arrastrando con ella los aluviones que se depositaron a lo largo de sus cauces y en las lagunas dependientes del gran mar lacustre inferior que ocupaba toda la cuenca del Ebro.  
Estos cantos rodados se cimentaron en Pudingas que alternan frecuentemente con margas amarillentas y formaciones yesosas. Cuando estos depósitos yesosos predominan, como por ejemplo al sur del pueblo de Camarasa, pueden ser confundidos los triásicos existentes al Norte de la colina del mismo pueblo.  
Estos depósitos de Numulítico o eoceno medio, reposan en general, en discordancia con los precedentes, ello es debido a la erosión. Juegan el papel de un manto de aluvión más o menos desnudado por las erosiones anteriores. El manto es continuo en la planicie ondulada que desde Camarasa se extiende hasta Lleida y desde allí, igual que en la zona del embalse, los depósitos son más o menos discontinuos. Forman importantes masas en la orilla derecha del embalse, en frente del Molino de Montroig, en los barrancos de Santaliña, orilla izquierda y en algunos otros puntos.  
En los barrancos de Santaliña se ven yesos intercalados entre las margas amarillentas y los conglomerados.  
Estas masas no forman más que pequeño recubrimiento sobre los otros terrenos, son pues comparables a los de aluvión. Como su grosor es escaso no intervienen en la circulación subterránea de agua.
- i) *Cuaternario*- Señalamos por último los derrubios de pendientes (coluviones) más o menos tendidos y de mayor o menor espesor sobre las vertientes del valle inundado.

Hacemos un resumen de los terrenos que afectan al embalse desde el más antiguo al más moderno:

1- Triásico	Impermeable
2- Liásico	Impermeable
3- Dogger	Permeable
4- Santoniense	Impermeable
5- Campaniense	Permeable
6- Garumnense	Impermeable
7- Numulítico inferior	Impermeable
8- Numulítico medio	Impermeable
9- Cuaternario	Permeable

Desde el punto de vista de las filtraciones, solo nos interesan dos terrenos, el Dogger y el Campaniense.

### 4.3 LA FORMACIÓN DEL PIRINEO.

El principio fundamental de la Tectónica de Placas es la división de la litosfera en un número de placas rígidas. Los movimientos relativos de estas placas nos delimitan unas regiones, las de contacto entre ellas, con una elevada actividad sísmica, volcánica y con deformaciones tectónicas notables. Estas deformaciones son las que crean las diferentes cadenas montañosas del planeta.

Las cadenas montañosas se forman, pues, en los márgenes de las placas como resultado de los sucesivos movimientos relativos entre las placas contiguas.

Los Pirineos provienen del mecanismo del ciclo alpino, desarrollado en el contacto entre las placas ibérica y euroasiática. Si lo entendemos así, el mecanismo que da lugar a los Pirineos es mucho más extenso que lo que entendemos de manera orográfica como la cadena Pirenaica.

De Este a Oeste, los Pirineos se extienden desde la Provenza, donde queda empotrado contra la estructura de los Alpes, formados con posterioridad, hasta más allá de Galicia, en medio del océano Atlántico donde limita con la corteza oceánica en la dorsal atlántica.

En los Pirineos se pueden distinguir cuatro sectores [6]:

- 1) Sector entre los Alpes y el Cap de Creus, donde gran parte de la cadena pirenaica se encuentra bajo las aguas del golfo de León.
- 2) Los Pirineos propiamente dichos o Pirineos ístmicos, entre el Cap de Creus y el golfo de Vizcaya.
- 3) El sector que va desde el golfo de Vizcaya hasta Galicia y que comprende tanto las montañas del País Vasco y la Cornisa Cantábrica como las estructuras submarinas de la plataforma Cantábrica.
- 4) El sector más occidental, más allá de la costa occidental de Galicia hasta el medio del océano Atlántico, hasta la dorsal atlántica.

Las características de los diferentes sectores son el resultado de los movimientos relativos entre las placas euroasiática y ibérica y de la evolución de sus límites durante los periodos secundario y terciario.

[6] Durante el la Periodo Secundario o Mesozoico, simultáneamente con la apertura del Atlántico, la placa ibérica tendió a separarse de la euroasiática. La consecuencia de esta separación y durante el Cretácico inferior, en la zona de contacto de las dos placas se produce un efecto de *rifting* ( estiramiento y adelgazamiento de la litosfera) de diferente intensidad según el sector.

Así pues, en el golfo de Vizcaya la corteza continental llegó a romperse y se paso a la formación progresiva de corteza oceánica. Hacia el este, en los Pirineos ístmicos, el estiramiento se redujo progresivamente, de manera que no llegó a romperse la litosfera y no se llegó a la oceanización.

Durante el cretácico superior la placa ibérica se desplaza lateralmente, en sentido levógiro respecto a la euroasiática. Más tarde, entre el cretácico superior y el Mioceno inferior, las placas ibérica y euroasiática convergirán.

En el golfo de Vizcaya, la litosfera oceánica se hunde bajo la continental. En el dominio de los Pirineos ístmicos, en cambio, se produjo al revés, fue la placa ibérica la que se hunde bajo la europea. El resultado de esta subducción continental fue la colisión entre las dos placas y como consecuencia la deformación del ámbito pirenaico (previamente adelgazado y fallado durante la extensión mesozoica) dando lugar al levantamiento de los Pirineos.

Como la convergencia entre las placas continuaba y el mecanismo pirenaico no podía absorber los esfuerzos, la deformación alpina se propagó hacia al sur y se generalizó en toda la placa ibérica, formando las cadenas montañosas de su interior como la cadena ibérica y el sistema central. Finalmente el límite entre África y Eurásia se trasladó definitivamente al dominio bético, al sur de la placa ibérica donde se formó la cadena Bética. Así, la placa ibérica quedó incorporada a la europea.



*Fig. 14:* En esta figura vemos las placas ibérica y eurasiática. Se observa como los Pirineos quedan cortados al este por los Alpes más jóvenes y van hasta mitad del océano Atlántico.

En este estudio nos interesa la formación de los Pirineos ístmicos, que es donde se encuentra la región de Camarasa. La formación de ese tramo, empieza a partir del Cretácico inferior. Como consecuencia a una importante extensión se produce un adelgazamiento de la litosfera a base de un sistema de fallas normales que caracteriza la zona donde se levantará la cordillera.

A finales del Cretácico inferior (-105 Ma) y durante buena parte del Cretácico superior la placa ibérica se individualiza de la eurasiática desplazándose lateralmente en sentido levógiro y siguiendo la zona de la falla nor-pirenáica, que se desarrollo en la zona donde la litosfera era más delgada.

Así pues, durante el cretácico superior, la falla nor-pirenáica habria sido el límite entre las placas eurasiática e ibérica.

Durante el Cretácico superior ( Campaniense –80 Ma) empieza la convergencia de las dos placas, proceso que durará hasta el final del Oligoceno (-25 Ma). Es en esta etapa donde se produce una delaminación de la corteza ibérica, es decir, la corteza superior se desprende de la inferior y se escama y apila, aplastándose contra la corteza eurasiática. La corteza inferior, mientras, se sumerge por debajo de la placa eurasiática.

En la corteza superior, las fallas que anteriormente habían actuado como fallas normales delimitando el límite entre placas, invierten sus movimientos y se convierten en cabalgamientos.

En todo el abanico de cabalgamientos de la corteza superior se pueden distinguir tres grandes unidades, que de sur a norte son: los mantos superiores y los mantos inferiores que forman los Pirineos meridionales y tienen vergencia al sur; y las unidades septentrionales con vergencia al norte que forman los Pirineos septentrionales.

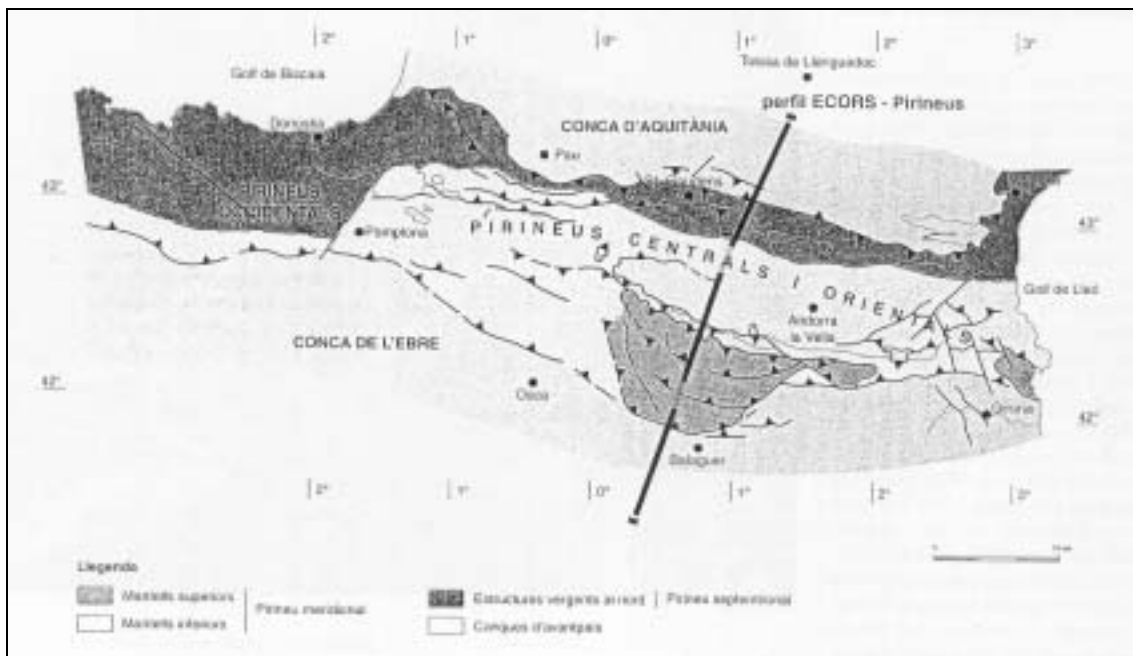


Fig. 15: En esta figura se observan las grandes unidades estructurales de los Pirineos. La división entre Pirineos septentrionales y meridionales se basa en la vergencia norte o sur de los cabalgamientos.

Esta disposición en abanico no implica una simetría, como se observa en la figura anterior, respecto al origen de plegamiento. La estructura en las dos vertientes es muy diferente. Tanto los mantos superiores como los mantos inferiores, están dirigidos hacia el sur y totalizan una cantidad de desplazamiento muy superior a la de los cabalgamientos dirigidos al norte en los Pirineos septentrionales.

La restitución geométrica de las unidades apiladas a su posición original, ha permitido evaluar este acortamiento de la placa ibérica del orden del centenar de kilómetros por lo que respecta a los encabalgamientos de los Pirineos meridionales, mientras que el acortamiento de los pliegues septentrionales es del orden de los 35 kilómetros.

La región de estudio que nos ocupa, está ubicada en los mantos superiores del Pirineo meridional. Así pues todos los pliegues que nos encontraremos en nuestra geología tendrán tendencia a verger hacia el sur.

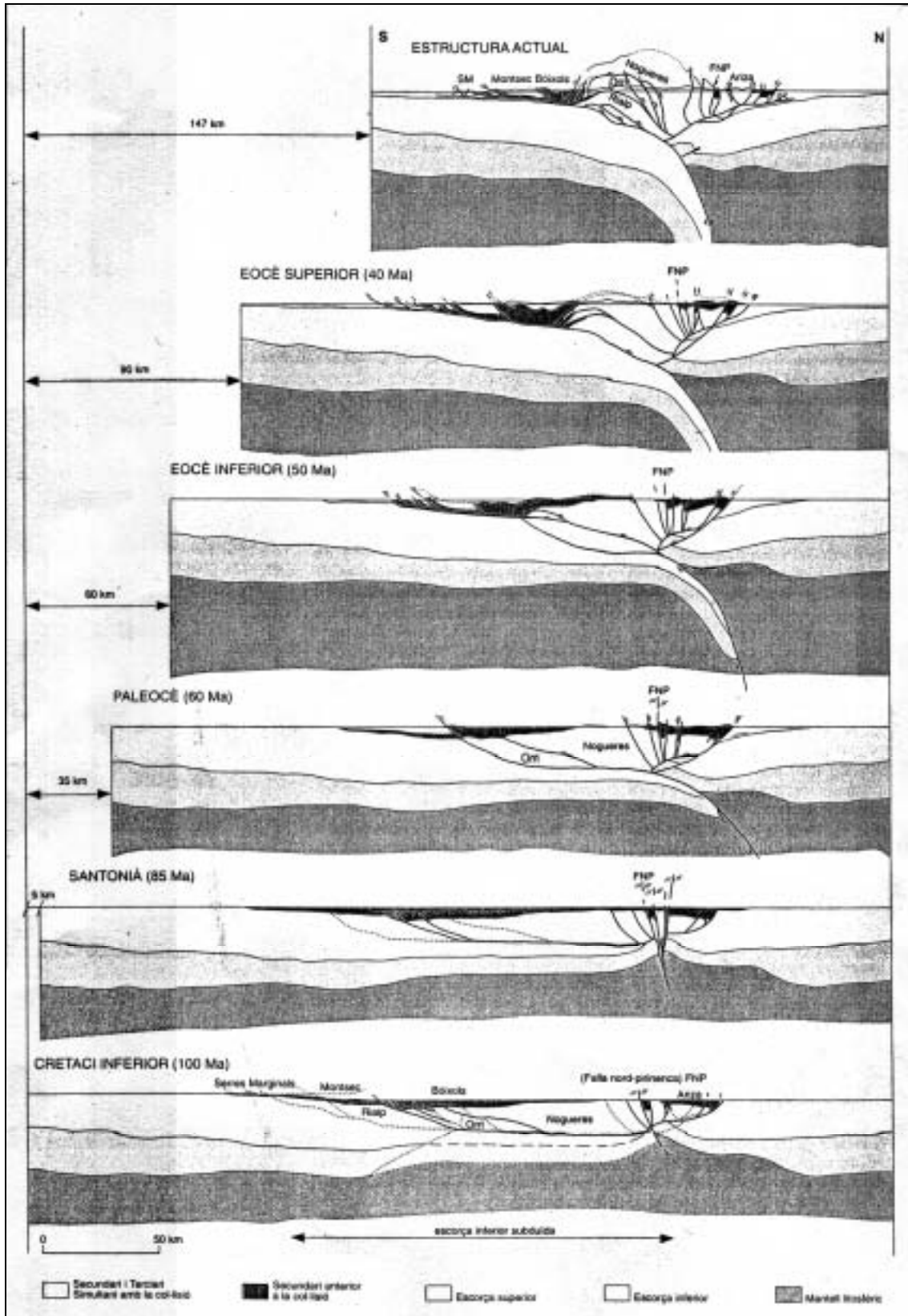


Fig. 16 : Esta figura muestra la evolución de los Pirineos desde antes de la convergencia de las dos placas hasta el estado actual. Se observa como en el primer estadio, la litosfera es más delgada bajo el punto donde se levantará la cordillera. Después se observa el efecto de delaminación y como la corteza inferior de la placa ibérica se unda bajo la placa europea.



#### 4.4 PLIEGUES EN LA ZONA DEL EMBALSE

En este capítulo vamos a ver un estudio más detallado de cada uno de los pliegues existentes en la región cercana al embalse de Camarasa [5][7].

-De Camarasa a la confluencia. El valle es sensiblemente transversal. Corta las capas en sentido inverso de su formación, atravesando alternativamente de abajo a arriba, el Triásico, el Liásico impermeable y las dolomías del Dogger.

La demostración de la impermeabilidad del Liásico está dada por el hecho de que las filtraciones no aparecen más que cuando se presentan las dolomías del Dogger en el cauce.

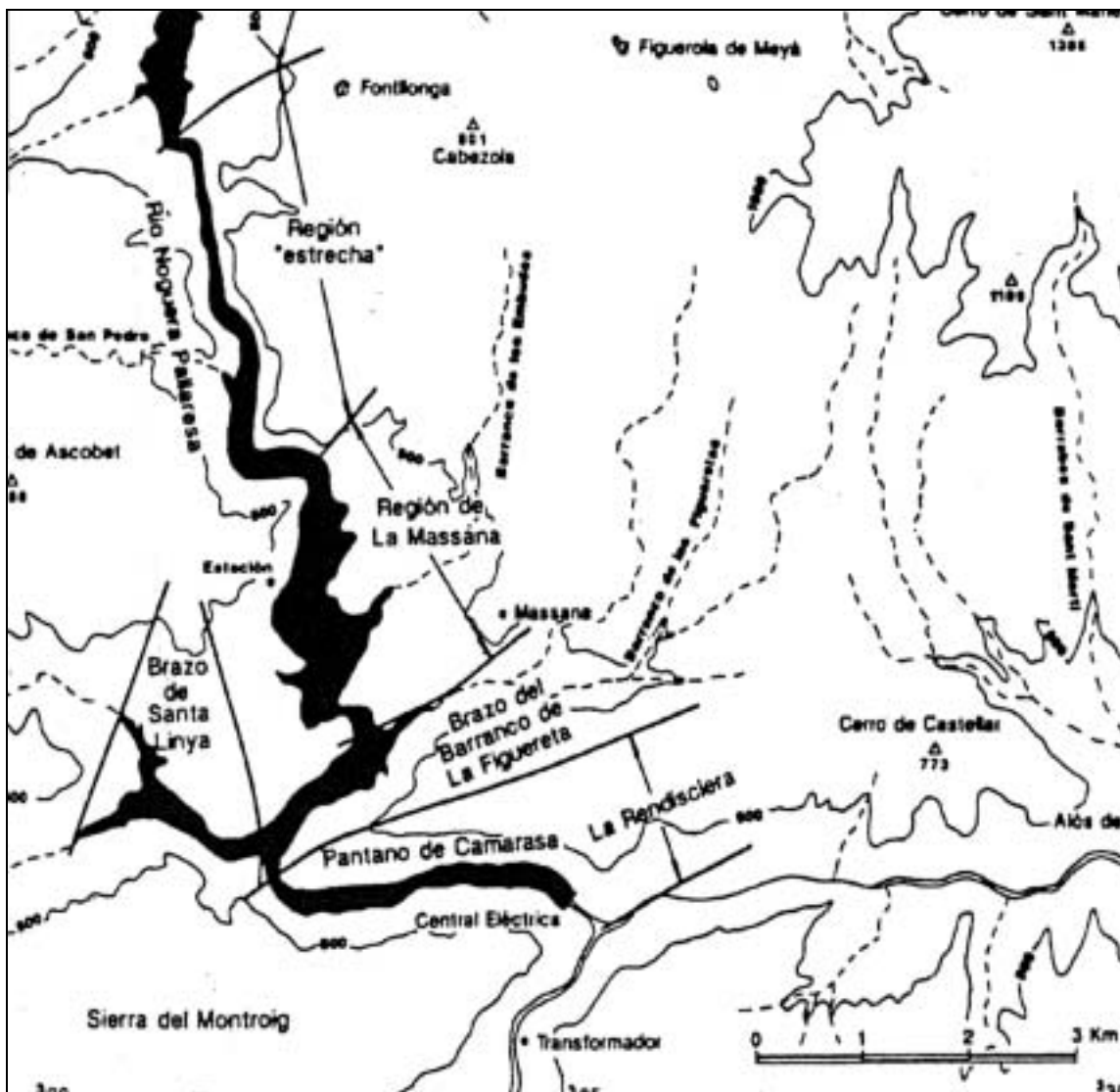


Fig 17: Esta figura nos muestra la región del embalse con todas sus partes y sus denominaciones. En este apartado de la tesina haremos referencia a ellas continuamente.

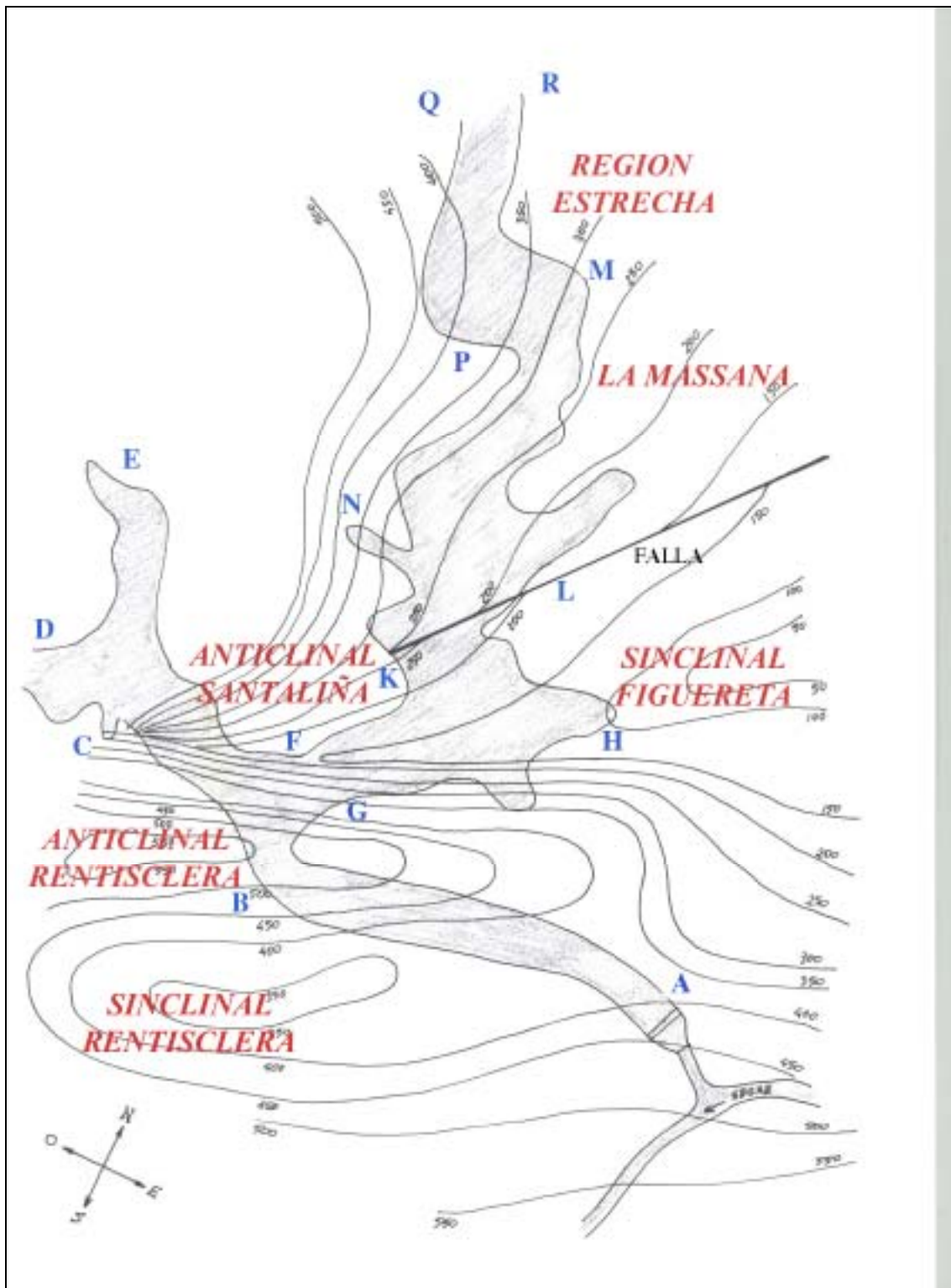


Fig 18: En esta figura están marcados en rojo los diferentes pliegues de la región del embalse de Camarasa. Las diferentes curvas de nivel, no se corresponden con la topografía de la región, sino con la topografía del techo de la capa de dolomías.

-La Rentisclera. Este es el nombre de la antigua garganta longitudinal del Noguera hasta su confluencia con el barranco de Santaliña. El embalse en esta región está comprendido enteramente en las dolomías. Estas hacia la presa, buzan ligeramente del Sur hacia el Nordeste, este buzamiento se suaviza por arriba de la Rentisclera; en su confluencia con el barranco de Santaliña, es opuesto, o sea de 15° al Sur Sureste. Por este hecho debe admitirse que en la Rentisclera el valle corta muy oblicuamente un pequeño sinclinal.

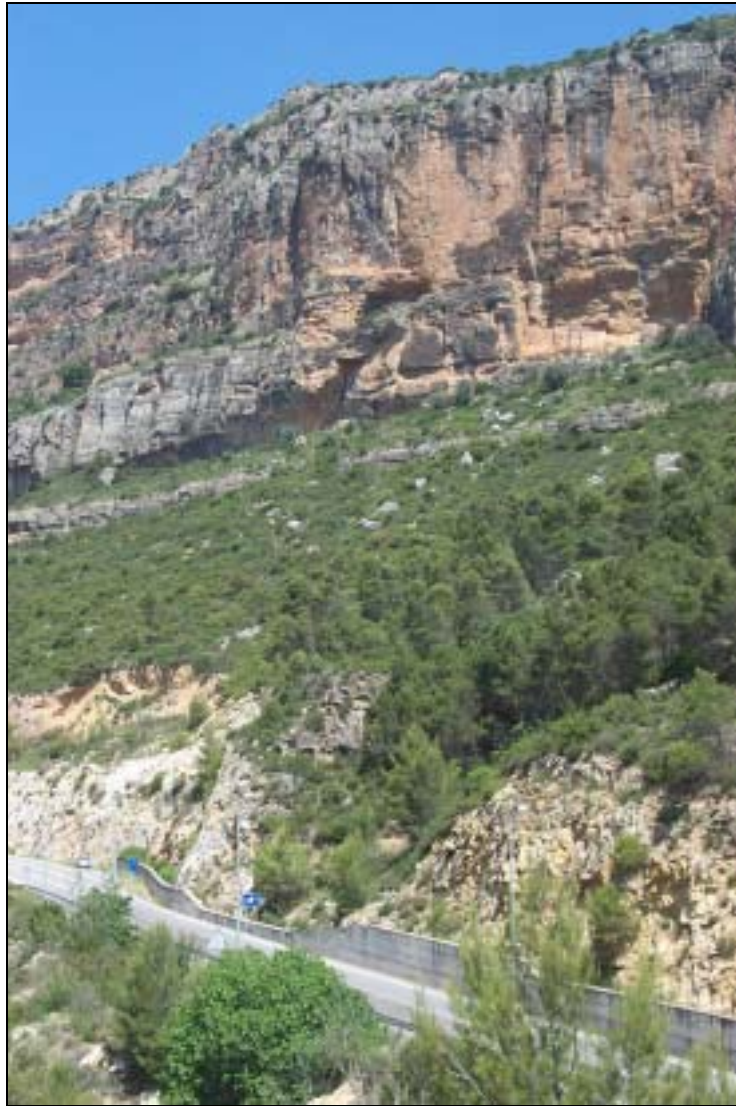


Foto 11: Esta foto nos muestra el buzamiento de sur a noreste ( de izquierda a derecha en la foto) de las capas que componen la Rentisclera.

Por otra parte, si uno se coloca en el vértice, cota 615, que domina al Norte la confluencia, el sinclinal es claramente visible en la montaña del Montroig. Se ve este pliegue apenas indicado en las pendientes que dominan la boca norte del túnel del Ferrocarril (Lleida-La pobla de Segur). Después se acusa visiblemente y al acercarse a la Rentisclera se hace apenas perceptible, luego continúa muy suave en las montañas de la vertiente Norte de la Rentisclera.

Este sinclinal juega ciertamente un gran papel en la cuestión de las pérdidas del embalse.

-El brazo de la Figuereta. Bajo este nombre designamos la región que se extiende desde la confluencia del río con el barranco de Santaliña hasta el barranco de la Figuereta.

Para comprender bien la geología de esta importante región, hay que estudiarla desde el barranco de la Figuereta y dirigirse hacia la confluencia.

En el barranco de la Figuereta, la disposición es sinclinal, como una V abierta, es de las más características. Ahí el sinclinal está en la superficie formado por caliza campaniense.

Este sinclinal se dirige hacia la confluencia. Es decir, que toda la parte de la sección G-H de la figura 18 esta contenida en este pliegue en V.



Foto 12: Imagen del brazo del barranco de la Figuereta. Marcado con un línea en rojo se puede apreciar una de las vertientes en V de este sinclinal. También están marcadas en amarillo los puntos G y H de la figura 18.

También puede verse en la margen izquierda, un testigo de pudinga mesonumulítica (Eoceno medio) horizontal descansando sobre este Campaniense. El pliegue es bastante regular hasta cerca de la confluencia, pero a partir de ella se estrecha dirigiéndose de este a Oeste o dicho de otro modo, la charnela de la V descende en esta dirección al mismo tiempo que el pliegue se estrecha. Además, el flanco meridional del pliegue está erosionado y en la región G aparece la dolomía.

Como entre dos sinclinales o pliegues en V debe existir necesariamente un anticlinal, es esta dolomía jurásica la que forma su núcleo (anticlinal de la Rentsclera).

No hay pues falla en el brazo de la Figuereta, propiamente hablando. Por el contrario, la flexión intensa que han sufrido las capas de la rama norte del anticlinal de

la Rentisclera, o lo que es lo mismo, la rama Sur del sinclinal de la Figuereta, ha debido determinar una conmoción considerable en la dolomía. No es de extrañar que en esta roca y en este punto en particular existan filtraciones visibles.

-El brazo de Santaliña. Es el brazo de embalse que comprenden los puntos B, C, D, E, y F de la figura 18.

En la región B. C., por la disposición de la vertiente izquierda de la sección G. H del brazo de Santaliña, continúan los mismos efectos que en el sinclinal.

A lo ancho de la bifurcación de los brazos, o sea, en la región C. D., el sinclinal tan pronunciado de Figuereta se repliega sobre sí mismo para prolongarse más allá del embalse hasta el valle en donde se encuentra la boca Norte del túnel del ferrocarril. (línea lleida- La Pobla de Segur).

En su lado norte existe el anticlinal de Santaliña. En el barranco de Santaliña, este pliegue es muy ancho. Las dolomías se elevan bastante y aparece el núcleo del pliegue constituido por el Triásico impermeable; caracterizado además por dos afloramientos superficiales de ofita, el primero con su forma típica puntiaguda en el borde del lecho del arroyo de Santaliña, el segundo frente a la montaña que conduce a la garganta Norte.

Cabe destacar que este anticlinal ha sido fuertemente erosionado antes del Eoceno. En la orilla misma del lago, margen izquierda, se puede comprobar la existencia de estas pudingas numulíticas, acompañadas de yeso, en discordancia con el Triásico.



Foto 13: Esta foto nos muestra el sinclinal de Santaliña (vertiente sur del brazo de Santaliña), comprendido entre los puntos B y C de la figura 18. Este sinclinal es la continuación del sinclinal de la Figuereta.

-Región de la Massana. Bajo este nombre se comprende la parte ensanchada del embalse cubriendo la cueva de la Massana hasta la entrada de la parte estrecha. (designada con la letra M. En la figura 18).

La parte baja de esta región, la que cubre la cueva está tallada en la rama Norte del sinclinal de la Figuereta. Pero un accidente geológico notablemente visible se intercala aquí. Se trata de una verdadera falla oblicua ( Figura 18, K.-L.), falla normal cuya longitud pasa probablemente de 100 metros al cruzar el embalse. Hecho singular, esta notable falla se dirige en dirección Nordeste. De esta manera, una parte de la rama Norte del sinclinal de la Figuereta está hundida.

Para formarse una idea clara de esta gran falla, basta observarla desde el promontorio rocoso de la Massana que domina todo el embalse en un centenar de metros.

Este hundimiento en el mismo sinclinal determina a modo de cubeta en el pliegue. Esta cubeta nos permite ver las diferencias notables existentes entre ambos márgenes. Mientras en el margen derecho existe un depósito enorme de pudingas Eoceno medio, en el izquierdo existe un gran desarrollo de calizas lacustres del garumnense (Cretácico inferior), además de un banco de caliza marina intercalada.

En la vertiente derecha, en las alturas de la Garganta Norte, esta pudinga toca el Triásico, lo que indica una gran erosión post-eocena y la existencia de una especie de laguna durante el depósito de esta pudinga.

Hay pues un fuerte descenso axial hacia el este de esta región del sinclinal limitado por la falla. Dicho de otra manera, el conjunto de las capas se hunde del Oeste hacia el Este. El pliegue se elevará de nuevo probablemente, pero ya muy alejado de las montañas del este.

Es decir que el Noguera ha sido atraído hacia una región de hundimiento longitudinal del pliegue o sea hacia la antigua laguna donde se depositaba la pudinga.

-La región estrecha. Con este nombre designamos la región de paredes calizas que comienza debajo del 'vertiente de las columnas calizas' (M.), y que continúa hasta los alrededores del barranco de San Urbá.

Toda esta región esta situada en el anticlinal de Santaliña. Cuando dejando la región de la Massana, se entra en la región del estrecho, se ven las capas del Campaniense salir de debajo del Garumnense y levantarse para formar los altos escarpes del vértice del margen izquierdo, tan caracterizado por su curioso proceso de destrucción en forma de columnas de caliza en la parte alta de la pared.

El levantamiento de las capas es tan brusco, que la inmersión ha sobrepasado su límite de elasticidad, determinando rompimientos y fallas que pueden apreciarse claramente, en particular en los escarpes del vertiente izquierdo.



Foto 14: Esta fotografía nos muestra la región estrecha del embalse. Se puede apreciar la espectacular formación en forma de columnas calizas.

Las capas se levantan tanto, que dejan asomar un poco el Santoniense y la dolomía jurásica.

En este punto pasa el eje del anticlinal de Santaliña. Por tanto, localmente en el embalse aparece de nuevo la dolomía, pero solo en una pequeña extensión y particularmente sobre la vertiente derecha.

La prueba del descenso axial del anticlinal de Santaliña hacia en nordeste puede verse aquí, considerando que la dolomía es precisamente más elevada en el margen derecho que en el izquierdo.

La rama Norte del anticlinal está extremadamente suavizada, pues, en efecto, las capas de caliza Campaniense que bordean el embalse hasta los alrededores del barranco de San Urbá, son casi siempre horizontales.

Estas altas murallas de caliza Campaniense son en general sanas, sin ninguna falla y solamente de cuando en cuando se ven diaclasas sin importancia. Debe admitirse una gran permeabilidad.

-La región superior del embalse. Esta región está ocupada por capas del Garumnense que buzan regular y suavemente hacia el Norte.

A partir de la baronía, descansa en ellas el Eoceno constituido por capas muy semejantes. El conjunto es completamente impermeable.

## 4.5 FUENTES EN CAMARASA

### 4.5.1 INTRODUCCION

Un hecho por los que destaca el embalse de Camarasa es por sus filtraciones. Desde el inicio de la construcción del embalse empezaron a aparecer fuentes de reducido caudal en las inmediaciones de la presa, aguas abajo de la misma. A medida que se producía el llenado del embalse, de manera gradual, ascendiendo simultáneamente con la construcción de la presa, fueron apareciendo numerosas fuentes en toda la zona. Las surgencias aparecieron tanto en el tramo comprendido entre la presa y la confluencia de los dos ríos, como en las márgenes del río Segre, aguas arriba y abajo de la confluencia.

### 4.5.2 FUENTES EN CAMARASA

Estas fuentes han sido objeto de numerosos estudios con el fin de solucionar el problema de las filtraciones. Cuando el embalse estaba completamente lleno, la suma de los caudales de todas las fuentes era equivalente a casi todo el caudal entrante por el río al embalse, dejando inservible la construcción del mismo.

[8][9][10][11][12][13] La información acerca de la ubicación de estas fuentes así como de sus caudales, temperaturas, etc., es bastante escasa debido principalmente a que el paso de los años ha supuesto la pérdida de múltiples documentos.

A pesar de todo, hemos podido conseguir algunos planos donde están detalladas las ubicaciones de las diferentes fuentes así como su nomenclatura.

En estos planos nos encontramos con varios problemas. El primero de ellos es la diferencia en la denominación de las fuentes. Cada uno de los planos designa de manera diferente a las fuentes, siempre con combinaciones de una letra y un número.

También cabe mencionar, que estos mapas realizados en la década de los años veinte, están levantados a mano y su escala es de 1/2.000. Los planos no coinciden con demasiada precisión con el plano topográfico actual. Donde más se aprecia esta diferencia es en el margen del curso del río, donde están ubicadas la mayoría de las fuentes. Este hecho puede venir de la inexactitud del método antiguo de trabajo o a que realmente hubiera habido cambios de este margen, sin duda el margen de un río es un margen dinámico.

A pesar de estas dificultades, hemos preparado un único mapa actual, donde están ubicadas todas las fuentes y con la nomenclatura que hemos visto utilizar con mayor frecuencia así como de la que nos ha dado más fiabilidad su fuente de información.

Este plano se puede observar en el anejo de figuras y se corresponde con la figura 59. Así mismo, también se incluye un plano donde aparecen las fuentes, catalogadas según la cota que alcanzó el embalse en el momento de su aparición. Este mapa se corresponde con la figura 58.

La cantidad de agua que se escapaba por estas fuentes hizo reaccionar a los técnicos en busca de una solución, ya que el embalse no les era rentable con ese nivel de pérdidas.



En la siguiente tabla podemos ver la cantidad de agua que se perdía por filtración en el embalse entre los años 1921 y 1926.

Fecha	del aforamiento		Nivel medio embalse	Filtraciones totales del embalse
25	Enero	1921	371,00	8,00 m. <sup>3</sup> /seg.
11	Marzo	1921	369,45	9,00 m. <sup>3</sup> /seg.
29	Enero	1922	370,76	8,80 m. <sup>3</sup> /seg.
4	Febrero	1923	370,33	10,50 m. <sup>3</sup> /seg.
30	Noviembre	1924	372,80	11,00 m. <sup>3</sup> /seg.
15	Marzo	1925	353,45	5,30 m. <sup>3</sup> /seg.
5	Julio	1925	371,60	14,41 m. <sup>3</sup> /seg.
12	Julio	1925	333,98	5,99 m. <sup>3</sup> /seg.
13	Julio	1925	334,55	6,27 m. <sup>3</sup> /seg.
19	Julio	1925	335,20	14,46 m. <sup>3</sup> /seg.
23	Agosto	1925	334,34	11,39 m. <sup>3</sup> /seg.
23	Agosto	1925	334,35	9,44 m. <sup>3</sup> /seg.
31	Octubre	1925	329,69	9,33 m. <sup>3</sup> /seg.
8	Noviembre	1925	331,68	9,58 m. <sup>3</sup> /seg.
22	Noviembre	1925	334,50	11,50 m. <sup>3</sup> /seg.
23	Noviembre	1925	334,52	9,20 m. <sup>3</sup> /seg.
23	septiembre	1926	332,56	10,05 m. <sup>3</sup> /seg.

Tabla 3: Esta tabla muestra el total de agua pérdida por filtración en cada fecha, así como el nivel medio del embalse en dicha fecha.

Así pues, según la tabla y a modo de resumen, se perdieron [2]:

El año 1921, se perdieron ..... 8 m.<sup>3</sup>/seg.  
 El año 1922, se perdieron ..... 9 m.<sup>3</sup>/seg.  
 El año 1923, se perdieron .....10.5 m.<sup>3</sup>/seg.  
 El año 1924, se perdieron .....10.5 m.<sup>3</sup>/seg.  
 El año 1925, se perdieron .....11.4 m.<sup>3</sup>/seg.  
 El año 1926, se perdieron .....11.4 m.<sup>3</sup>/seg.

[14]De las numerosas fuentes cabe destacar una en particular. Se trata de la fuente 2-A situada en la margen derecha del Noguera justo en la confluencia de los dos ríos.

Esta fuente sin duda alguna, a sido un gran referente en todos los estudios realizados en Camarasa. Cuando el nivel del embalse llegó al máximo, de esta fuente salía un caudal de unos 2.847 litros por segundo, siendo este un porcentaje muy elevado del total de agua perdido por filtración en el embalse.

El caudal era tan elevado que se encauzó su caudal y se construyo un vertedero de salida para el agua. Las siguientes fotografías muestran este encauzamiento y su vertedero. El caudal y la fuerza con la que sale el agua de esta fuente son sorprendentes.



Foto 15: [15]En esta foto podemos ver el vertedero de la fuente 2-A



Foto 16: [15] Otra imagen del vertedero de la fuente 2-A. Se puede apreciar el elevado caudal que brota de ella y la fuerza en que sale.

Existen otras fuentes importantes, aunque no de la misma magnitud que la anterior, que también han sido objeto de estudio. A continuación se detallan la ubicación y el caudal de algunas de las fuentes que aparecieron en Camarasa.

La H-2, con un caudal de 20 litros por segundo, situada en la margen izquierda del Segre, 300 metros aguas debajo de su confluencia con el Noguera Pallaresa.

La A-13, con un caudal de 170 litros por segundo, situada también en la margen izquierda del Segre y a unos 150 metros de la citada confluencia.

La 3-P, de 270 litros por segundo, la fuente más importante del grupo situado en la margen derecha del Noguera Pallaresa entre la confluencia y la presa.

La B-14, con un caudal de 44 litros por segundo, en la margen derecha del Segre a unos 500 metros aguas debajo de la confluencia.

La A-7, con un caudal de 18 litros por segundo, situada también en la margen derecha del Segre a unos 300 metros de la confluencia.

La B-2, con un caudal de 40 litros por segundo, situada en la margen derecha del Segre a 630 metros aguas arriba de la confluencia y la A-15, con un caudal de 45 litros, situada a unos 70 metros aguas arriba de la confluencia y en la margen derecha del Segre.

Las ubicaciones de todas estas fuentes pueden verse en las ya citadas figuras 58 y 59 del anejo de figuras.

#### 4.5.3 SITUACIÓN ACTUAL

[2]Las enormes pérdidas de caudal por filtración hacían de la central de Camarasa una central poco rentable, con enormes pérdidas anuales. Este hecho requería de una actuación para salvar esa situación insostenible.

Basándose principalmente en los estudios para la corrección de las filtraciones llevado a cargo por el Mr. Lugeon, la empresa Riegos y Fuerza del Ebro se decide a iniciar los trabajos de impermeabilización presentando a la Dirección General de Obras Públicas un proyecto completo de corrección de filtraciones de la presa, en el cual se propone una pantalla impermeable de inyecciones de 100 metros de profundidad a lo largo de la presa con prolongación en túnel de 50 y 150 metros en las márgenes izquierda y derecha respectivamente.

El proyecto se aprobó el agosto de 1926, y el 7 de Diciembre del mismo año se firmó el contrato con la French Cementation Company, empresa que llevaría a cargo la construcción de la pantalla [16].

[17][18][19]Las obras empezaron el día 7 de Septiembre de 1927 y acabaron el 31 de Agosto de 1931. Podemos observar una sección transversal de la pantalla de impermeabilización en la figura 63 del anejo de figuras.

Durante la construcción de esta pantalla, el caudal perdido por filtración fue disminuyendo paulatinamente de la siguiente manera:

Enero	1927	11.3	m. <sup>3</sup> /seg.
Enero	1929	9.6	m. <sup>3</sup> /seg.
Enero	1930	6.0	m. <sup>3</sup> /seg.
Enero	1931	3.5	m. <sup>3</sup> /seg.
Agosto	1931	2.7	m. <sup>3</sup> /seg.

Tabla 4: Caudales perdidos por filtración durante los trabajos de impermeabilización

Una vez acabadas las obras de la pantalla de impermeabilización, en 1931, la opinión de todos los técnicos era que al suspender los trabajos de impermeabilización, las filtraciones aumentarían un 5% anual.

Aún y así, desde el 1931 no ha existido este aumento y las diferencias de caudal en los diferentes años, se pueden explicar más bien por su inexactitud a la hora del cálculo de ese caudal.

El caudal perdido por filtración a partir de la finalización de las obras de la pantalla, queda resumido en la siguiente tabla:

Agosto	1931	2,7	m. <sup>3</sup> /seg.
Julio	1934	2,9	m. <sup>3</sup> /seg.
Enero	1942	2,4	m. <sup>3</sup> /seg.
Mayo	1945	2,1	m. <sup>3</sup> /seg.
Octubre	1950	2,6	m. <sup>3</sup> /seg.
Octubre	1950	2,8	m. <sup>3</sup> /seg.
Julio	1958	3,0	m. <sup>3</sup> /seg.

Tabla 5: Caudales perdidos por filtración una vez finalizados los trabajos de impermeabilización

De los anteriores aforamientos, parece ser que desde el 1931 hasta el 1945 las filtraciones disminuyeron de 2,7 a 2,0 m.<sup>3</sup>/seg., y que desde 1945 volvieron a aumentar hasta 3,0 m.<sup>3</sup>/seg. Se debe tener en cuenta que en los aforos totales se ha de considerar un error de +/- 10%.

Existe la posibilidad que los años secos comprendidos entre 1940 y 1945 se redujeran las aportaciones de agua por filtraciones de procedencias distintas a las del embalse.

Si miramos las surgencias actuales según las distintas zonas donde se producen, se pueden dividir en tres clases:

Clase 1 - Esta zona comprende las surgencias que aparecen en el río Segre aguas arriba de la confluencia.

Clase 2 – Comprende las surgencias ubicadas en el tramo del río Noguera que va desde la presa hasta su confluencia con el río Segre.

Clase 3 – Comprende las surgencias que aparecen el río Segre aguas abajo de la confluencia.

En la siguiente tabla podemos observar los caudales que se perdían en cada una de las clases, anteriormente descritas, antes y después de la construcción de la pantalla de impermeabilización, así como la reducción de caudal obtenida.

	1927	1958	Reducción
Clase 1	3,6 m. <sup>3</sup> /seg.	1,2 m. <sup>3</sup> /seg.	70 %
Clase 2	6,5 m. <sup>3</sup> /seg.	0,6 m. <sup>3</sup> /seg.	90 %
Clase 3	1,3 m. <sup>3</sup> /seg.	0,8 m. <sup>3</sup> /seg.	60 %

Tabla 6: Esta tabla nos muestra los caudales que se perdían por filtración en cada una de las clases anteriormente descritas, antes y después de la construcción de la pantalla. También muestra el porcentaje de reducción de las mismas.

En las filtraciones que pertenecen a la clase 1, cabe destacar que las capas impermeables se van hundiendo hacia el norte, cosa que hace que la prolongación de la pantalla en esa dirección sea muy cara, por lo que no parece recomendable ni rentable realizar esos trabajos de impermeabilización.

Las fuentes pertenecientes a la clase 2, en conjunto representaban el 60 % de las pérdidas, y fue donde se concentraron los mayores esfuerzos en los trabajos de inyección. La reducción conseguida ha sido casi total, por lo que no cabe esperar grandes mejoras en esta zona, si se continuasen los trabajos de impermeabilización.

Respecto a las filtraciones pertenecientes a la clase 3, la reducción ha sido solo de un 60 %. Con la continuación de los trabajos de impermeabilización durante los años 1954 a 1959, la reducción en esta clase alcanzó el 69 %. Hasta la actualidad estos porcentajes se mantienen estables.

Aún en la actualidad se pueden apreciar algunas fuentes en las márgenes de los dos ríos, de las cuales brota agua de manera continuada. En alguna de ellas se le ha construido un pequeño aliviadero y la gente del lugar las usan como toma de agua potable.



Foto 17: Esta foto muestra una fuente existente en la margen derecha del río Segre aguas arriba de la confluencia.



Foto 18: En esta fotografía se observa una fuente existente en la margen derecha del Noguera, justo aguas abajo de la presa.



Foto 19 y 20: Estas fotografías nos muestran una fuente en la margen izquierda del río Segre aguas arriba de la confluencia. Se puede observar en la fotografía de la derecha, la construcción de un pequeño aliviadero.