

## 2. PROBLEMÁTICA INICIAL. OBJETIVOS.

En el aprovechamiento hidráulico de cualquier río el ingeniero selecciona los lugares más adecuados en principio para la construcción de una presa, en base a tres grandes premisas [1]:

- Que la estrechez de la cerrada sea máxima para que el volumen ocupado por el cuerpo de la presa, así como su coste de construcción, sean mínimos.
- Que la roca de los estribos sea capaz de soportar las cargas transmitidas por la presa bajo cualquier condición de llenado del embalse.
- Que la impermeabilidad de la roca de la cerrada sea la suficiente como para permitir embalsar el agua una vez construida la presa.

Las regiones cársticas, constituidas esencialmente por calizas y rocas afines como dolomías, presentan los emplazamientos topográficamente tentadores para construir presas, ya que estas rocas cumplen holgadamente la combinación de las dos primeras premisas citadas anteriormente.

Sin embargo, en este tipo de rocas, la tercera condición la cumplen sólo en ocasiones debido a la presencia de carstificación en algunos macizos. En estos casos, la función buscada en la construcción de la presa puede quedar invalidada y la inversión perdida.

La carstificación es un proceso de disolución de la roca calcárea, aunque esta sea una roca prácticamente insoluble puesto que a 17°C un litro de agua pura sólo puede disolver 15 mg de caliza.

Sin embargo el CO<sub>2</sub> existente en la atmósfera es parcialmente disuelto en el agua de lluvia que adquiere un carácter de solución ácida de ácido carbónico, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, cuyo pH se hace más inferior a 7 cuanto más CO<sub>2</sub> disuelto contenga. De esta manera el poder disolvente del agua sobre la caliza aumenta para formar bicarbonato cálcico según la reacción:



Esta es la reacción fundamental de la carstología que explica tanto el fenómeno de la corrosión como el de reconstrucción o recristalizaciones.

Por otro lado la influencia de la temperatura es importante puesto que cuanto más baje la temperatura de la solución ácida más se favorece la disolución

Otro mecanismo de corrosión es el de oxidación-reducción. En este caso el O<sub>2</sub> atmosférico se disuelve en el agua de lluvia aumentando su poder oxidante paralelamente con el corrosivo. Así por ejemplo para diferentes carbonatos como la dialoguita, MnCO<sub>3</sub>, se obtiene por oxidación del manganeso un residuo negro de bióxido de manganeso hidratado; o como la siderita, FeCO<sub>3</sub>, en donde el hierro se oxida y se obtiene limonita, de color pardo-rojiza.

Cuando se superponen la corrosión clásica y la oxidación se produce una liberación en cadena de CO<sub>2</sub> con lo que la corrosión se ve potenciada.

Otro mecanismo en el que el poder corrosivo del se ve aumentado ocurre por mezcla de aguas, dicho de otra manera, cuando se mezclan dos aguas corrosivas diferentes resulta un agua con mayor capacidad corrosiva que las primeras. Esto ocurre en la zona freática, tanto en la de fluctuación como en la de saturación.

En la zona del embalse de Camarasa se dan esos tres efectos. La cartificación clásica se ve potenciada por la oxidación de otros carbonatos como el de hierro o

manganeso, presentes en la zona. También se potencia con las bajas temperaturas y la mezcla de aguas, procedentes del deshielo, la lluvia mezclándose con la propia del embalse o río.

En el mecanismo de carstificación, inicialmente el agua circula por fisuras estrechas desarrollándose la acción disolvente en un flujo laminar. El punto crítico ocurre cuando la fisura se ensancha y el flujo se hace turbulento, entonces las fisuras que tengan mayor anchura y estén sometidas a mayor gradiente hidráulico darán lugar a cavidades mayores.

Este proceso, visto a gran escala, es el responsable de la formación de cuevas y cavernas, en pequeña escala nos crea una serie de agujeros interconectados de manera aleatoria que permiten el paso del agua sin ofrecer ninguna resistencia.



Foto 2: Estas dos fotografías muestran ejemplos de carsts de diferentes tamaños existentes cerca del estribo derecho de la presa de Camarasa. Son un claro ejemplo de la circulación del agua existente en esa zona.

En estas dos fotos vemos como el proceso de carstificación convierte a la roca calcárea en una roca totalmente porosa.

Debido a estos problemas de permeabilidad de las rocas calcáreas, los ingenieros civiles recurren a las técnicas de impermeabilización que suelen consistir en la inyección de lechadas de cemento, con las que consiguen en algunos casos cortar las fugas de agua en el macizo, pero a un nivel de costos y plazos de ejecución tales que habitualmente rebasan con creces las predicciones más pesimistas.

La base del problema radica en el insuficiente conocimiento que del carst se tiene, así como del proceso de carstificación y de la manera como se conectan entre ellos.

A partir de aquí es donde se necesita un método fácil, rápido y sobretodo económico para poder evaluar el hecho de si habrá pérdidas en un posible embalse, es decir, antes de la construcción de la presa, y en el caso de que estas puedan existir, como evaluar la cantidad y sobretodo las direcciones por donde filtra el agua.

El caudal de agua que se podría filtrar es muy difícil de conocer por lo que se nos hace vital conocer el recorrido que seguirían las posibles filtraciones, con el fin de evaluar, entre otras soluciones, si es más rentable interceptarlas con una pantalla o impermeabilizar la superficie del embalse. También en el caso de optar por una pantalla de impermeabilización, conocer el recorrido que siguen ayuda a diseñar una pantalla óptima para la interceptación de las aguas.

## 2.1 OBEJETIVO DE LA TESINA

Ante esta situación es aquí donde aparece el método propuesto por Adolfo Eraso Romero para la predicción de las direcciones principales de drenaje subterráneo en un macizo anisotrópico. Este se basa en la hipótesis que la dirección con más probabilidad de facilitar el paso del agua es la dirección de la componente menor del tensor de tensiones del macizo rocoso.

El objetivo de la tesina es validar la utilidad de este método, aplicándolo en un caso particular. Para ello se a elegido el embalse de Camarasa puesto que dicho embalse tuvo muchos problemas de filtraciones al encontrarse en un entorno altamente cárstico.

En primer lugar se pretende realizar una amplia reseña histórica de la presa desde su construcción hasta su estado actual.

Para aplicar este método será necesario hacer un exhaustivo trabajo de campo, seleccionando las áreas representativas del problema, localizando y midiendo los diferentes conjuntos de elementos que intervienen en el proceso de las filtraciones.

Todos los datos de campo se procesan usando un conjunto de programas creados por el propio Sr Eraso. Una vez aplicados estos programas a los datos de campo, para poder obtener resultados es necesario un trabajo de interpretación de datos conociendo el lugar de estudio así como un amplio análisis estadístico.

Una vez tenemos resultados se nos plantea un gran problema. El problema es como podemos validar los resultados que ofrece el método.

Para poder validar el método, necesitamos información sobre las filtraciones reales. Estos datos requieren un gran trabajo de investigación, ya que son datos que datan de los años 20 hasta los años 50, cuando finalizaron las obras de la pantalla de impermeabilización y el problema quedó solucionado. Aún y así, los datos no nos revelan el funcionamiento interno de las redes de filtración, puesto que es ese mismo esquema lo que tratamos de buscar con esta tesina.

Para comprobar si los resultados son correctos, deberemos interpretar correctamente todos los datos reales que podemos conseguir, a la vez que construiremos posibles esquemas de redes de filtraciones con las soluciones obtenidas.

De todos los diferentes esquemas, intentaremos encontrar uno que sea posible y que encaje con los datos reales. En función del grado de complejidad del esquema, de cómo encajen en él los datos reales y de la herramienta que nos da la observación del terreno in situ, intentaremos extraer conclusiones sobre la eficacia del método.