

RIESGOS GEOLÓGICOS EN LOS EMBALSES DE YESA E ITOIZ

Antonio M. Casas Sainz¹

RESUMEN: Los embalses de Yesa (río Aragón) e Itoiz (río Irati), en el Pirineo meridional presentan riesgos geológicos asociados a la inestabilidad de las laderas sobre las que se apoyan los estribos de ambas presas. En el caso del embalse de Itoiz, un deslizamiento de falla planar, a lo largo de las superficies de estratificación del flysch, que buza en torno a 20° hacia la cerrada del embalse, ha dado lugar a un deslizamiento con un volumen aproximado de 18 Hm³, con movimiento descendente (del orden de mm/año) hacia la presa. En el caso del embalse de Yesa, el deslizamiento es probablemente de tipo rotacional y presenta un volumen aproximado de 12 Hm³, aunque toda la ladera izquierda de la parte final del vaso muestra síntomas de inestabilidad, con movimientos recientes de escala métrica y volúmenes de al menos 3 Hm³. En ambos casos, la posibilidad del deslizamiento supone un grave riesgo para las poblaciones situadas aguas abajo del curso de los ríos Aragón e Irati.

1.- INTRODUCCIÓN

Los ríos pirenaicos cuentan con una gran cantidad de embalses, construidos a lo largo de este siglo. Una buena parte de ellos están construidos aprovechando las propias características geológicas del Pirineo. Es decir, estructuras de dirección Este-Oeste, cortadas perpendicularmente por los ríos, alternancia de unidades calcáreas competentes, en las que pueden anclarse las presas y zonas situadas aguas arriba, con litología más blanda donde los valles se amplían considerablemente, y que sirven para la instalación de los vasos de los embalses. Aprovechando estas ventajas, los embalses construidos hasta los años 50 en el Pirineo meridional no presentaban graves problemas de seguridad, aunque sí es cierto que la carstificación de las calizas cretácicas y terciarias dio lugar a filtraciones que han hecho absolutamente inservibles algunos embalses.

Frente a esta situación, a partir de los años 50 empiezan a proyectarse y construirse embalses sobre otro tipo de rocas. El primer caso es el del embalse de Yesa, (500 Hm³) en el río Aragón, anclado sobre materiales turbidíticos, que aparecen localmente entre las margas Eocenas. En años recientes cuatro de los grandes embalses proyectados, y algunos realizados: Rialp (400 Hm³), Itoiz (480 Hm³),

¹ Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. C/Pedro Cerbuna, 12, 50009 Zaragoza.

Biscarrués (280 Hm³) y Santaliestra (70 Hm³) se sitúan sobre litologías poco competentes, que van desde las alternancias de detríticos continentales, casos de Rialp y Biscarrués, hasta el flysch calcáreo en el caso de Itoiz o alternancias de margas y areniscas de origen marino (Santaliestra). En estos casos es previsible que los problemas geotécnicos referidos a cimentación y filtraciones se multipliquen, y lo mismo ocurre en aspectos que se refieren a la seguridad de las presas.

2.- MARCO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO

La inestabilidad de laderas en el Pirineo debe entenderse en el contexto global de la evolución reciente de la cadena. Hacia el Mioceno superior la cuenca del Ebro se encontraba completamente rellena de sedimentos y enrasada a una altura de unos 1100 m. Desde el borde de cuenca hacia el Pirineo Axial el relieve iba ascendiente hasta alcanzar más de 3000 m en la parte central. Desde el Mioceno superior hasta ahora los cursos fluviales se han ido encajando conforme bajaba el nivel de base en el centro de la cuenca, asociado a su vez a la apertura hacia el Mediterráneo del margen oriental de la Península. Esta evolución rápida del paisaje, que implica encajamientos de más de 1000 m en menos de 10 millones de años, ha dado como resultado una dinámica de vertientes muy activa asociada a los cursos fluviales, dinámica que por supuesto sigue manifestándose en la actualidad. Como consecuencia de la misma es muy frecuente la aparición de grandes deslizamientos, cuyos volúmenes varían desde pocos metros cúbicos a más de 15 Hm³. La tipología de los deslizamientos varía desde deslizamientos planares en roca (cuando el sentido de buzamiento de la ladera y de las capas es el mismo) a deslizamientos en suelos con geometría rotacional.

La estabilidad de las laderas se ve castigada fundamentalmente por dos factores: uno de ellos es la saturación en agua y el segundo los movimientos sísmicos. Las condiciones de saturación son perjudicadas evidentemente por la construcción de nuevos embalses o el recrecimiento de los embalses existentes. En lo que respecta a los movimientos sísmicos, la sismicidad pirenaica es de tipo intraplaca y moderada, es decir, difícil de predecir y asociar con fallas superficiales. Sin embargo existen varios epicentros con intensidad VIII y IX, es decir, lo suficientemente importantes como para producir graves efectos de inestabilidad en las laderas. Además, hay que tener en cuenta la posibilidad de generación de sismicidad inducida (triggered seismicity), en el caso de grandes presas, sea por altura o por volumen embalsado. En el caso del embalse de Itoiz, estudios macro y microsísmicos muestran la generación de una crisis sísmica a partir de septiembre de 2004, y que se mantiene activa todavía, ligada al primer llenado del embalse. Esta sismicidad inducida provocó un sismo con intensidad máxima de 4.6. En el caso del embalse de Yesa no hay informes que apunten a sismicidad inducida durante el primer llenado del embalse. No obstante, no se puede descartar la posibilidad de que el recrecimiento del mismo ponga en marcha los mecanismos (debido fundamentalmente al aumento de presión de fluidos en profundidad) de generación de sismos inducidos. En este caso esta posibilidad reviste una cierta gravedad ya que hay sismos históricos relativamente recientes en la canal de Berdún de intensidad VIII. Puesto que la sismicidad inducida se localiza normalmente a cortas distancias de la zona embalsada, los sismos producidos por esta revista especial importancia de cara a considerar la estabilidad de las laderas.

3.- CONDICIONES DE ESTABILIDAD DE LAS PRESAS DE YESA E ITOIZ

3.1. LA PRESA DE ITOIZ

En el caso del embalse de Itoiz la inestabilidad principal está condicionada por la propia estructura geológica, ya que se sitúa en el flanco de un anticlinal de dirección pirenaica con estructura no cilíndrica, debido a la interferencia con pliegues de dirección N-S que dan lugar a que los ejes de los pliegues menores presenten inmersión hacia el oeste. Esta situación estructural es muy patente en el entorno inmediato de la presa de Itoiz, donde las capas del *flysch* eoceno presentan dirección próxima a NW-SE y N-S, con buzamientos medios de 20° hacia el oeste. En el entorno de la presa, las laderas presentan direcciones que varían desde NW-SE a N-S. Esto hace que las direcciones de las capas y de la pendiente del terreno sean las mismas, y que en el estribo izquierdo de la presa las capas bucen en el mismo sentido que la pendiente pero con menor ángulo. Esta situación favorece de entrada la posibilidad de deslizamientos masivos, con geometría planar-traslacional, de una masa de roca importante sobre el estribo de la presa y el vaso del embalse.

La inestabilidad de las laderas del embalse de Itoiz se ve además favorecida por la litología de las facies *flysch*, que está compuesta por una alternancia litológica de areniscas y lutitas. En seco, es decir, antes de la construcción del embalse, y sin que exista presión de agua, aparecían ya deslizamientos de tamaño considerable en toda la cuenca de la parte final del vaso. En el caso de llenado del embalse este peligro aumentaría considerablemente debido a que la altura de la lámina de agua (más de cien metros en muchos puntos) hará disminuir el esfuerzo efectivo, y por tanto, el factor de seguridad. Los taludes también se verán castigados por los sucesivos procesos de llenado y vaciado del embalse durante su explotación, con los consiguientes cambios de tensiones internas dentro del macizo rocoso. Hay que tener en cuenta que el conjunto del macizo rocoso que forma el estribo izquierdo de la presa no ha estado, a lo largo de la historia geológica reciente, sometido a un estado tensional equivalente a una columna de 110 m de agua.

La geometría del deslizamiento del estribo izquierdo de la presa de Itoiz se ha obtenido a partir de observaciones de campo y del análisis de la fotografía aérea, apoyada por datos recientes de sondeos y medidas inclinométricas, que permiten una caracterización detallada de la geometría del mismo, así como realizar estimaciones sobre su velocidad. Presenta una geometría compleja, formada por una serie de cicatrices, coladas y lóbulos que abarcan los más de 400 m de desnivel que existen a lo largo de la ladera, desde la cicatriz situada en la parte alta hasta prácticamente la zona media de la presa. A lo largo de la misma pueden observarse también grandes bloques de caliza aislados, que han sido movilizados durante el funcionamiento del citado deslizamiento. Los saltos de las fallas superficiales asociadas a las cicatrices en la parte superior del deslizamiento están en torno a los 70-80 metros. Estas fallas han propiciado la fragmentación de las capas de caliza y su posterior disgregación en forma de bloques repartidos por toda la ladera. Parte de los lóbulos presentan una constitución interna de debris-flow con matriz muy arcillosa. La presa se encuentra situada sobre uno de las fallas secundarias del deslizamiento principal, que presenta un salto de varias decenas de metros.

3.2. EL EMBALSE DE YESA

Las laderas que constituyen las dos vertientes del vaso y la cerrada del embalse de Yesa están localizadas sobre las margas de la Formación de Arguis-Pamplona y sobre el flysch de Yesa, que se encuentra intercalado dentro de la unidad citada. Las laderas presentan un perfil cóncavo hacia arriba en las margas y con geometría más irregular dentro del flysch. En el entorno del vaso del embalse se pueden identificar numerosas cicatrices de deslizamientos, con lóbulos en la parte baja, que indican que existe una cierta inestabilidad de las laderas, debida probablemente al comportamiento plástico de las margas meteorizadas y los depósitos coluviales que las recubren.

En el sector de la cerrada del embalse la morfología cambia de forma brusca, al aflorar el flysch de Yesa. Las pendientes de las laderas son mayores y se aprecian cicatrices y lóbulos de deslizamientos de mucha mayor entidad que los que se encuentran sobre las margas de Arguis. Las cicatrices de deslizamientos se sitúan sobre todo en la margen izquierda del río Aragón, que constituye la cara norte del interfluvio entre el Aragón y el Arroyo de la Gardonera, que presenta una dirección subparalela. Los deslizamientos más importantes se sitúan inmediatamente aguas abajo y aguas arriba de la presa actual. El deslizamiento más importante que aparece en la zona afectada por el embalse es sin duda el de La Refaya, localizado en la margen izquierda del río Aragón, junto a los aliviaderos de la presa actual. Este deslizamiento presenta un volumen deslizado de unos 12 Hm³, de acuerdo con el Proyecto de recrecimiento del embalse de Yesa. Este deslizamiento ha sufrido movimiento en tiempos recientes (posiblemente anteriores al registro histórico), y está marcado por un escarpe en la parte alta y un rellano correspondiente en el bloque deslizado.

En cuanto a la geometría de la superficie a favor de la cual se produjo el deslizamiento, esta no es paralela a las capas del *flysch* (buzando hacia el norte), que forma la mayor parte de la masa del material deslizado sino que aparece cortándolas limpiamente como puede observarse en los afloramientos de roca del bloque estático que aparecen al lado del deslizamiento. La dirección de estos estratos es 060-070 mientras que la dirección aproximada de transporte del deslizamiento es 020. Por tanto la geometría de la superficie es más probable que sea similar a la de un deslizamiento en suelos y no aprovechando las discontinuidades de la roca. La masa deslizada está cubierta por vegetación boscosa y arbustiva de poca altura, lo cual implica una mayor retención de agua, que puede percolar hasta la base del deslizamiento. Las medidas de planos de estratificación en las facies flysch de la base del deslizamiento muestran una distribución caótica que no se ajusta a la tendencia regional de buzamiento hacia el sur. En cambio, en el deslizamiento situado aguas arriba de la presa y movilizado en los últimos tiempos, puede observarse cómo las capas del flysch buzan en el mismo sentido que la ladera, con menor ángulo, situación que favorece los deslizamientos planares en roca.

El estudio de estabilidad de este deslizamiento debe contar, como ya se ha comentado con una consideración estricta de la aceleración sísmica máxima registrada. En una región como la estudiada, donde las aceleraciones debidas a sismos pueden llegar, en función de las intensidades máximas citadas anteriormente, a 0.1 o 0.2, sin considerar aquí las posibles amplificaciones debidas al relieve y al tipo

de material, es imprudente no considerar este factor en la construcción de una obra que implica graves riesgos para los habitantes localizados aguas abajo de la presa. Los análisis de estabilidad realizados por mediante los métodos de Bishop modificado y de Janbu modificado, introduciendo varios valores de aceleración sísmica, muestran que, únicamente con aceleración sísmica horizontal, el factor de seguridad se acerca a 1 cuando el valor de la aceleración es de 0.1 g. Con valores de aceleración superiores el factor de seguridad desciende por debajo de 1. Si además consideramos la posible existencia de aceleración vertical el factor de seguridad desciende por debajo de 1 para valores de la aceleración (horizontal y vertical) de 0.12 g (117 cm/s^2); este valor de la aceleración puede alcanzarse con un sismo de intensidad VI, la cual es relativamente frecuente en la Canal de Berdún. En estos cálculos de estabilidad ni las condiciones del nivel freático ni los parámetros que se han considerado para el material son loOs más desfavorables posible. Esto significa que en condiciones más desfavorables en cuanto a la posición del nivel freático, y si se consideran además los efectos del llenado y vaciado durante la explotación del embalse, los valores del factor de seguridad serían considerablemente más bajos. El resto de los parámetros (cohesión, ángulo de rozamiento interno, etc.) utilizado en estos análisis son los mismos que se utilizan en el citado proyecto de Recrecimiento (cohesión=0, ángulo de rozamiento residual=25°).

En lo que respecta al resto de la ladera izquierda del embalse, la inestabilidad es evidente a partir de los movimientos en masa que se han producido recientemente, que involucran según un cálculo aproximativo 3 Hm^3 de material coluvial y rocoso (facies flysch). En este caso, la inestabilidad parece haberse desarrollado a partir de las obras de recrecimiento. Esto también puede aplicarse a inestabilidades de talud desarrolladas aguas abajo de la presa actual.

4.- CONCLUSIONES

Las consecuencias de la generación de los deslizamientos son difíciles de predecir, y pueden ir desde el bloqueo de desagües de fondo, lo que inutilizaría las presas y las dejaría fuera de control, a inundaciones catastróficas producidas por el vaciado rápido de los embalses. En caso de vaciado catastrófico los dos factores más importantes que influyen en los caudales punta obtenidos son la altura de la presa y el volumen embalsado por la misma. Las curvas empíricas que indican los caudales que pueden llegar a generarse en caso de rotura de las presas alcanzan en algunos casos los $100.000 \text{ m}^3/\text{s}$, lo cual implicaría una enorme capacidad de destrucción. En los dos casos analizados hay poblaciones importantes situadas aguas debajo de los embalses, con lo cual tendrían lugar catástrofes sin precedentes, sin excluir posibles repercusiones en infraestructuras situadas en el propio eje del Ebro. Hay que tener en cuenta también que deslizamientos de menor volumen podrían dar lugar, aunque no a catástrofes inmediatas, sí a problemas en la explotación de las presas.

La rotura de presas puede parecer un fenómeno poco habitual. Sin embargo, las estadísticas dicen que el 2% de las grandes presas (más de 15 m de altura) han fallado de forma catastrófica, y que un 4% tiene graves problemas. Teniendo en cuenta que en el mundo existen 40.000 grandes presas es fácil calcular el número de presas que han dado lugar a catástrofes, no precisamente de origen natural.