

LADERAS DEL EMBALSE DE YESA

Raimundo J. Lafuente Dios¹
René Gómez López de Munain¹
Marcelo Merino Arroyo¹
Pablo De Diego¹
José Luis Martínez Mazariegos².
Javier García Domínguez³

RESUMEN: El embalse de Yesa, en explotación desde el año 1959, se está recreciendo en la actualidad, habiéndose adjudicado las obras en diciembre de 2000 a la U.T.E. formada por Ferrovial-Agromán, Fomento de Construcciones y Contratas y A.C.S (Dragados) y la Asistencia Técnica para el Control y Vigilancia de las obras en 2002, a las empresas Euroestudios, Iberinsa e Inocsa. en U.T.E.

La solución adjudicada recrece en 30 m la presa actual de hormigón, apoyándose en el paramento de aguas abajo con una presa de materiales sueltos de pantalla de hormigón de 30 cm de espesor, conformándose una presa recrecida de 108 m de altura, 430 m de longitud de coronación y taludes 1,5(H):1,0(V) aguas arriba y 1,7(H):1,0(V) aguas abajo.

Se exponen los movimientos de ladera estudiados en el embalse de Yesa desde el inicio de las excavaciones realizadas para la ubicación de la presa en 1928, hasta la actualidad.

¹ Confederación Hidrográfica del Ebro

² Euroestudios

³ Iberinsa

1. SITUACIÓN ACTUAL

La presa actualmente construida es de gravedad, con 78 m de altura sobre cimientos y en su construcción se emplearon 480.000 m³ de hormigón; el paramento de aguas arriba es vertical y el de aguas abajo escalonado, con un talud equivalente a 0,78(H):1(V). Su coronación tiene 398 m de longitud, 7,0 m de anchura y se sitúa a la cota 490. El volumen de embalse a su nivel máximo normal (cota 488,61 m) es de 447 hm³.



Figura 1. Aspecto de la presa en la actualidad.

El aliviadero es un elemento singular de esta obra. Se sitúa en el estribo izquierdo aguas arriba de la presa. Está formado por cuatro pozos verticales de 6,50 m de diámetro cada uno, con compuertas de tipo sector de 20 m de longitud y 6 m de altura, con accionamiento hidráulico. Los pozos conectan con cuatro galerías en túnel de unos 500 m de longitud, a través de las cuales se entregan las aguas vertidas por aquél al río Aragón, a través de un cuenco amortiguador.

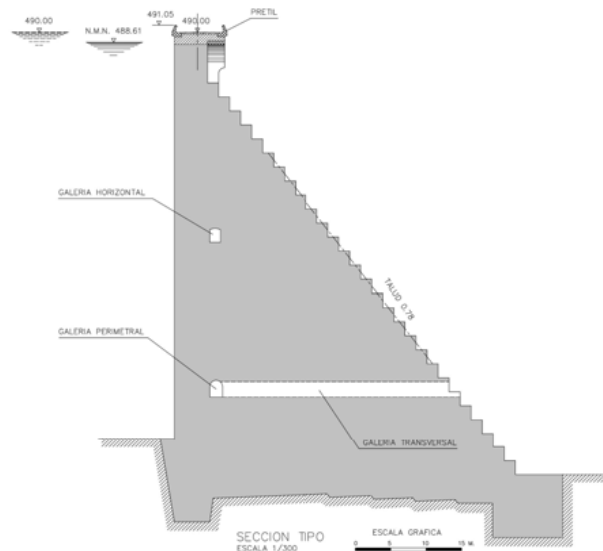


Figura 2. Sección tipo de la presa actual.

Las nuevas necesidades planteadas: aumento de la población a abastecer (ciudad de Zaragoza y su entorno, con más de 800.000 habitantes), terminación de la transformación en regadío de las 110.000 hectáreas previstas en la zona de Bardenas, y las necesidades asociadas a los cultivos actuales, han hecho necesario el aumento de la regulación del sistema hidráulico del río Aragón. Para ello se ha realizado el Proyecto de recrecimiento del embalse de Yesa.

El proyecto de recrecimiento se adjudicó en diciembre de 2000 a la U.T.E. formada por Ferrovial-Agromán, Fomento de Construcciones y Contratas y A.C.S (Dragados). La Asistencia Técnica para el Control y Vigilancia de las obras fue adjudicada en 2002 a Euroestudios, Iberinsa e Inocsa en U.T.E.

La solución adjudicada recrece 30 m la presa actual, apoyándose en su paramento de aguas abajo con una presa de materiales sueltos de pantalla de hormigón. Dicha pantalla se apoya en la presa actual a los 2/3 de su altura. El talud de aguas arriba es el 1,5 (H):1,0 (V) y el de aguas abajo, que incluye dos bermas intermedias, 1,7 (H): 1,0 (V).

Su altura máxima sobre cimientos será de 108 m, la longitud de coronación 430 m y su volumen total, 3.377.000 m³ (el volumen de excavación para cimentación del cuerpo de presa será de 1.456.000 m³).

La pantalla tendrá una superficie de 28.155 m². Se ha previsto una pantalla de hormigón armado de 30 cm de espesor, con hormigón de 40 mm de tamaño máximo de árido y una resistencia característica a los 28 días de 250 kg/cm², utilizándose cemento de bajo calor de hidratación. La armadura, se ha dispuesto en el plano medio de las losas con una cuantía de 67,5 kg/m³ equivalente al 0,35% en sentido horizontal y el 0,50% en sentido vertical, incrementándose la armadura en los 5 metros inferiores.

El cuerpo de presa está constituido por gravas zonificadas, estando previsto que todo el material proceda de las terrazas de los ríos Aragón y Esca, situadas dentro del vaso y a unos 20 km. de la cerrada, en la cola del embalse.

El aliviadero de la nueva presa está situado en la ladera izquierda de la cerrada y aprovecha los cuatro túneles existentes del aliviadero actual, recreciéndose sus embocaduras y disponiéndose compuertas en dos de ellos. Las compuertas serán de sector, abriéndose hacia abajo desde su posición más elevada (cota 511,00) hasta su apertura máxima (cota 506,25), vertiendo el agua por encima de ellas. Las nuevas compuertas tienen igual longitud que las actuales (20 m) y menor altura (4,75 m).

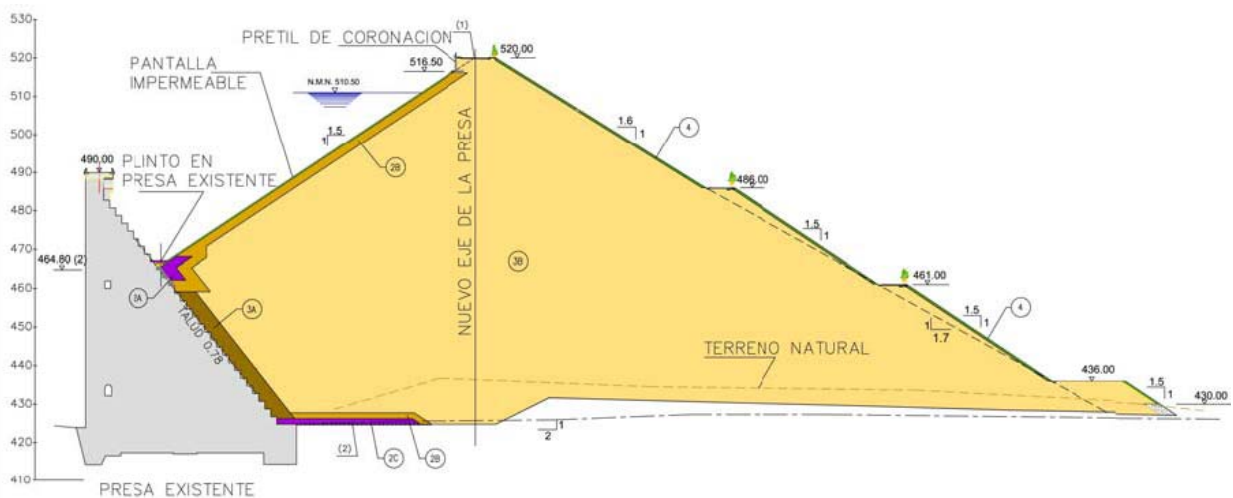


Figura 3. Sección tipo del recrecimiento de la presa de Yesa.

El embalse recrecido aumentará su capacidad útil desde los 411 hm³ actuales hasta 1.043 hm³, aumentando la altura de la presa de 76,5 m a 108 m.

Con el recrecimiento del embalse de Yesa, se pretende cumplir con los siguientes objetivos:

- a) **Laminar las avenidas y evitar inundaciones** en el río Aragón y el valle del Ebro, manteniendo los resguardos necesarios, cumpliendo el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses.
- b) Garantizar el **caudal ecológico** del río Aragón aguas abajo del embalse de Yesa.
- c) Garantizar las **concesiones existentes** aguas abajo de la presa: riego tradicionales y concesión hidroeléctrica de “La Sangüesina”.
- d) **Consolidar la Zona Regable de Bardenas**, con dotación suficiente.
- e) **Abastecimiento** a las poblaciones de la Zona Regable de **Bardenas**.
- f) **Abastecimiento a Zaragoza y su entorno**, que se considera prioritario en el artículo 65.4 del Plan Hidrológico del Ebro.
- g) Apoyo a **riegos del eje del Ebro** (Canal Imperial, Canal de Tauste y elevaciones Ebro).
- h) **Aportación de excedentes**, si los hubiere, a la cuenca del Gállego.
- i) Generar **energía hidroeléctrica**, siempre que no interfieran con los otros usos. (Las centrales no se contemplan en el proyecto vigente).

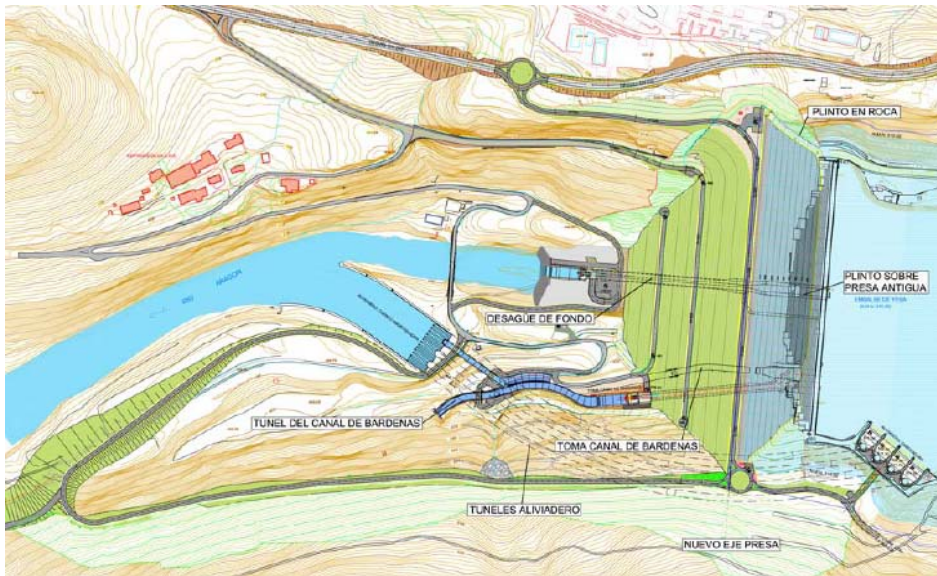


Figura 4. Planta general de las obras de recrecimiento.

2. GEOLOGÍA

Parece oportuno centrar geológicamente el emplazamiento de las obras y poder comprender así los fenómenos que se producen.

LITOLOGÍA

El embalse se localiza al sur de la zona central de la Sierra de Leyre en materiales del Eoceno, donde podemos encontrar de muro a techo los siguientes niveles:

- a) Se inicia con 40 m de caliza gris azulada con niveles lumaquéricos de Nummulites y Alveolinas que permiten datar el tramo como Ilerdiense medio; el depósito de estos materiales es epicontinental.
- b) Sigue la serie con margas de color gris-azulado y niveles calizos intercalados ricos en fauna con 1.000 m de potencia en su conjunto. La fauna de Globigerinas y Globorrotálidos ha permitido datar el tramo como Luteciense. La sedimentación es batial a nerítica.
- c) Un nuevo tramo de margas azules de difícil separación respecto al precedente con Globigerinas y Globorrotalias cuyas especies permiten detectar zonas y subzonas dentro del Priaboniense. La sedimentación es batial a nerítica.
- d) Nivel de 70-100 m de arenisca calcárea en niveles delgados alternando con margas grises en facies Flysch. Las areniscas presentan numerosas pistas de anélidos, su sedimentación es epicontinental y corresponde al piso Priaboniense Superior

En la cerrada de la presa de Yesa afloran materiales de facies Flysch, debajo de los cuales encontramos en sondeos las margas azules (en gran parte del vaso afloran estas margas azules). Por ser estas dos formaciones las únicas presentes en la cerrada de Yesa, se realiza a continuación una descripción más detallada de ambas:

Margas gris azulado de Arguís-Pamplona

En los sondeos realizados en la margen derecha aparecen a poca profundidad debajo del flysch. Litológicamente estas margas de color gris-azuladas generalmente son margas calcáreas, monótonas en toda su potencia, aunque a veces contienen niveles de caliza detrítica, e incluso areniscas calcárea de color más claro.

Son compactas, e impermeables en sustrato sano y en superficie adquieren tonos grisáceos y oscuros encontrándose meteorizadas y cuarteadas en forma reticular, lo que facilita su alterabilidad y poca resistencia a la erosión en las pendientes superficiales.

Facies Flysch de Yesa

Como se ha comentado, la presa actual y la cerrada recrecida se encuentran en estas facies. Está formada por niveles en general de 10-30 cm de areniscas calcáreas, algo rojiza, de grado medio a fino, con pistas de anélidos y ripple-marks, y niveles de caliza detrítica de color claro en estratos de igual potencia, alternando con margas gris azuladas.

Estas margas en las zonas superficiales están meteorizadas y presentan color ocre. En los niveles calcáreos o de arenisca la meteorización se aprecia por la existencia de zonas oxidadas, vetillas de calcita e indicios de circulación de agua a través de fisuras y áreas fracturadas.

El espesor de este tramo en la zona es de 70-100 m.

TECTÓNICA

La tectónica de la zona viene encuadrada por las estructuras de la Sierra de Leyre al norte y la Sierra de La Magdalena al sur, y entre ambas localizado el valle del Aragón.

La región presenta dos accidentes tectónicos:

- a) De dirección predominante E-W motivado por el levantamiento de la Cordillera Pirenaica que con empujes en sentido NNE-SSW produjo una serie de pliegues con vergencia hacia el S-SW, pliegues tumbados y cabalgamientos
- b) De dirección NNE-SSW producido debido al retraso con que actúan los empujes del punto anterior a lo largo del flanco sur de la Cordillera. El resultado es la presencia de numerosas fallas paralelas al empuje principal de dirección NNE-SSW, como la que pasa por el Monasterio de Leyre y las del sinclinal de Undués de Lerda y el anticlinal tumbado de la Sierra de La Magdalena.

Todos estos movimientos tuvieron lugar durante la fase pirenaica de los movimientos alpinos y las sucesivas de reajuste.

Al norte de la presa, en la Sierra de Leyre, con dirección E-W existen una serie de fallas inversas y cabalgamientos del Cretácico sobre el Eoceno e incluso hay cabalgamientos entre materiales del Eoceno. El sustrato cabalgado con más intensidad corresponde al conjunto de margas azules del Luteciense-Priaboniense.

En la zona de la cerrada, los estratos del Flysch aflorante buzan en general hacia el norte, con valores de 40° en la margen izquierda a la cota 550, 30° en la toma del Canal de Bardenas, 15° en la margen derecha a la altura de la antigua carretera Jaca-Pamplona. Pasada la antigua carretera hacia el norte a la cota 575 la estratificación buza hacia el sur entre 25-30°, lo que indica la existencia de un eje sinclinal de dirección casi E-W. Este eje sinclinal pasa por las inmediaciones del pueblo de Yesa y su eje se hunde hacia el oeste, lo que explica la poca presencia de margas azules en el eje de la presa.

Al sur del río Aragón existe un amplio sinclinal de materiales Oligocenos y finalmente un anticlinal volcado hacia el sur que forma la Sierra de La Magdalena.

Se dispone de un centenar de documentos técnicos referentes a aspectos geológico-geotécnicos del embalse de Yesa, que se inician en el año 1912 con el primer proyecto. Hay que destacar que en 1926, como consecuencia de los reconocimientos geológicos realizados, se varió ligeramente el emplazamiento previsto para la presa, que correspondía al mayor estrechamiento topográfico, llevándolo unos 60 m hacia aguas abajo para mejorar la cimentación en su estribo izquierdo, saliéndose de la zona posteriormente identificada como “Deslizamiento de La Refaya”.

A continuación se reproduce el plano geológico de la ubicación de la presa de Yesa de 1937 de los autores D. Primitivo H. Sampelayo, y D. Clemente Sáenz, donde se aprecian los sondeos y galerías de reconocimientos realizados, hasta esa fecha, representados en rojo.

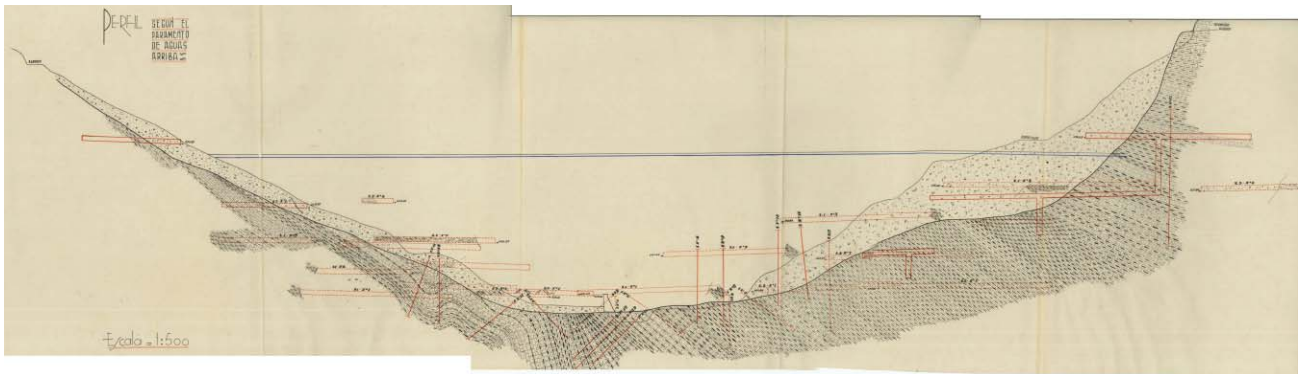


Figura 5. Perfil Geológico de la cerrada de la presa de 1937.

Desde entonces se han realizado muchos reconocimientos adicionales además del propio estudio de la cimentación de la presa durante su construcción, pero en esencia coincide con el perfil actual.

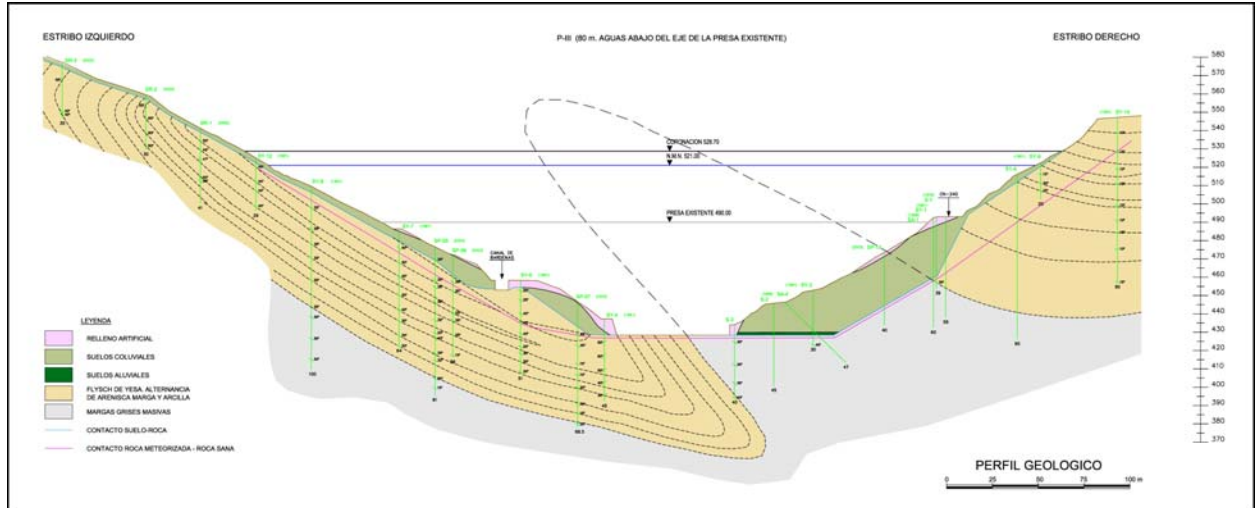


Figura 6. Perfil Geológico actual por el eje de la presa recrecida.

3. MOVIMIENTOS DE LADERA.

Durante la excavación de la cimentación de una presa, se producen con relativa frecuencia, fenómenos locales de desestabilización de los taludes que se están excavando sin dar tiempo a su sujeción. Estos fenómenos no tienen habitualmente ninguna trascendencia debido a su carácter local, y aunque se toman todas las medidas de seguridad para prevenirlos y evitarlos, a veces ocurren, y entonces se utilizan los métodos mas adecuados para estabilizarlos y continuar las excavaciones

A continuación se muestran algunos movimientos de laderas ocurridos a lo largo del proceso de construcción de la presa de Yesa y su recrecimiento:

3.1.- Flexural toppling

En rocas con un sistema preferente de discontinuidades (en nuestro caso la estratificación) formando columnas semicontínuas en voladizo, tiene lugar un tipo de movimiento denominado Flexural toppling (Goodman y Bray, 1977). Estas columnas cuando se doblan hacia delante, rompen por flexión, siendo característico de esquistos, filitas, pizarras y en secuencias rítmicas finamente estratificadas (facies flysch) como es este caso.

El 30 noviembre de 2003 mientras se realizaba la excavación del estribo izquierdo y antes de que diera tiempo a su estabilización definitiva, se produjo un movimiento de toppling que afectó desde la coronación del talud, hasta la plataforma de excavación, que en ese momento se encontraba a la cota 540 (si se observa la figura 6 corresponde a la parte superior del estribo izquierdo).

La estratificación tenía una dirección subparalela al talud y con buzamiento subvertical hacia el interior del mismo (buzamientos hacia el S-SE, es decir hacia dentro del desmante entre 70° y 85° e incluso vertical).



Figura 7.- Movimiento Flexural toppling en el estribo izquierdo

El movimiento del terreno tenía forma circular de unos 45 m de largo por 60 m de ancho. En la coronación se formó una grieta con una abertura máxima de 4 m y una profundidad de entre 3 y 4 m. El movimiento presentaba una dirección SSE-NNW, en forma de abanico, observándose como los estratos inferiores deslizan bajo los superiores por el plano de estratificación, dando lugar en la ladera a una morfología en dientes de sierra. En la parte inferior este mismo fenómeno se ve acrecentado por el peso de la masa superior lo que da lugar a un abombamiento.

Después de un detallado estudio se procedió a retirar el material movido, tendiéndose el talud de la excavación protegiéndose con hormigón proyectado armado, con bulones de anclaje, drenes, y creándose dos bermas. El talud está estabilizado desde aquella fecha sin indicios de movimiento.

Aunque para un profano pudiera constituir un motivo de riesgo inaceptable, la experiencia y el dominio del estado del arte demuestran constantemente que son perfectamente asumibles. Salvando las distancias, pudiera expresarse que cualquier excavación es una cirugía del terreno para retirar las sustancias extrañas que hay en el interior de su cuerpo y el resultado final es la robustez del individuo aunque para ello se haya tenido que correr el riesgo de una anestesia.

3.2.- Margen Derecha

En la margen derecha y aguas arriba de la presa se detectó, desde los primeros documentos administrativos fechados a comienzos del siglo pasado, la existencia de un pequeño movimiento de ladera cuya geometría formaba un elipsoide en planta con ejes de 250m * 150 m, y su altimetría alcanza la cota 540 m en su cresta y la 430 m en su pie. El volumen involucrado sería inferior a 1 hm³.

Parte de este deslizamiento ha desaparecido a lo largo de la excavación y construcción de la presa actual y fueron numerosas las medidas que se tomaron en su sostenimiento.

Por fortuna la tecnología actual nos permite el sostenimiento de estos pequeños deslizamientos sin excesivas dificultades técnicas, aunque con importantes cuantías económicas.



Figura 8.- Fotografía donde se puede apreciar el movimiento de 1930

Historia de los movimientos

1.- El proyecto de construcción de la presa de Yesa fue aprobado técnicamente por Real Orden de 18 de julio de 1924 y como consecuencia de los reconocimientos del terreno se decidió desplazar el eje de la presa 60 m aguas abajo modificándose el proyecto. El 13 de noviembre de 1928 comenzaron las obras.

Desde el comienzo se observaron movimientos, empujes y corrimientos parciales de los terrenos que debían ser desmontados en la margen derecha. Las dificultades surgidas durante la excavación de la margen derecha motivó la rescisión de la contrata cuya liquidación fue aprobada en diciembre de 1933.

En 1935 se redacta el Informe acerca de las condiciones donde se ubica las obras del pantano de Yesa y de las precauciones que deben adoptarse durante la construcción de las mismas de D. Primitivo Sampelayo, D. J.M. Valdés y D. Clemente Sáenz. La conclusión más destacada de ese informe es que *“las causas del trastorno del terreno de la margen derecha está en la rápida alteración que sufre la roca margosa bajo la acción meteórica agravada por la heterogeneidad y su disposición estratigráfica, por lo que consideramos esencial evitar que el terreno se descubra”*.

Después de muchos avatares, en 1959 se inaugura la presa.

2.- Deslizamiento de 1960. Después de terminarse la construcción de la presa y durante su primer llenado, como consecuencia de un descenso del embalse de unos 30 m, se produjeron algunos movimientos de ladera.

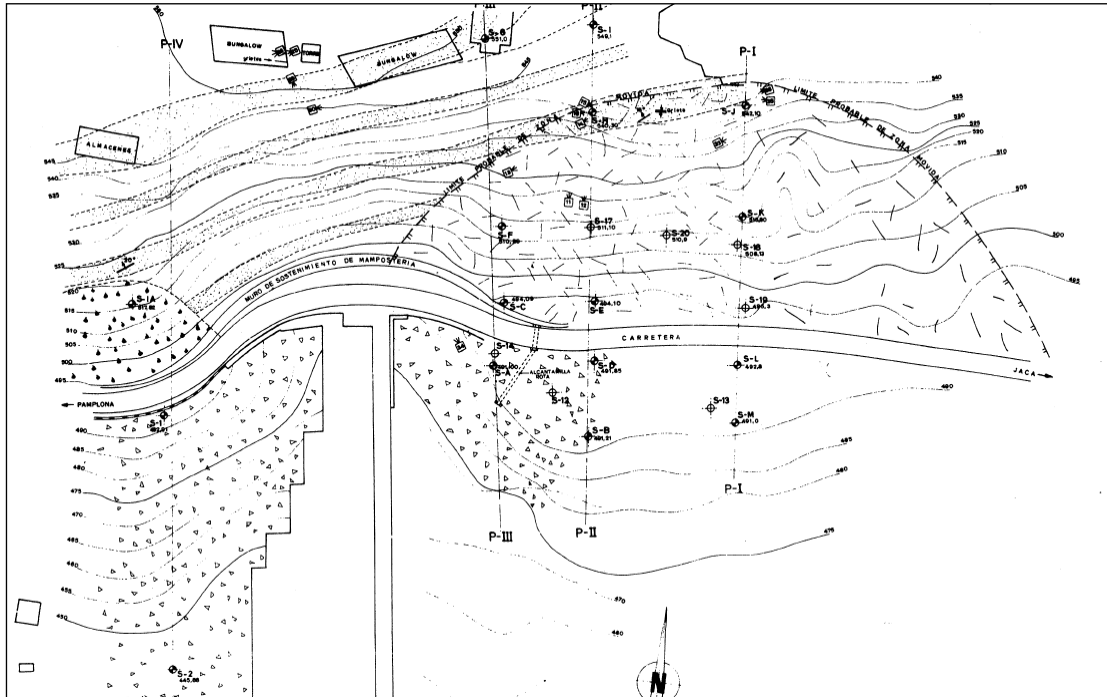


Figura 9.- Plano geológico del proyecto de recrecimiento de la presa de Yesa de 1980, donde se describe el deslizamiento.

Como consecuencia de ello se realiza una asesoría geológica de D. Clemente Sáenz, M. Vidal, y J. A. Jiménez Salas en 1961, y se procede a su estabilización ese mismo año mediante el descabezado del círculo de rotura próximo a la presa en el estribo derecho (excavando 60.000 m³ que fueron vertidos parcialmente en el pie).

3.- Nuevos reajustes de la margen derecha en 1964. Se forman cárcavas y el talud pierde su configuración (desaparecen los abanalamientos de 1961).

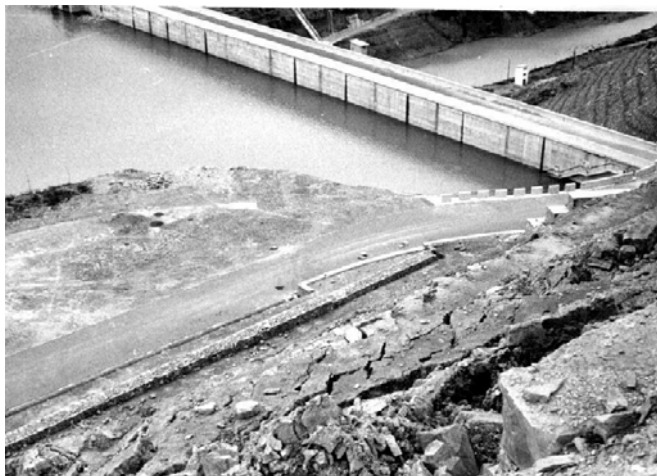


Figura 10.- Fotografía del informe de 1964

Ese mismo año se realiza un informe acerca de los riesgos de deslizamientos que pudieran tener lugar en la ladera derecha del embalse de Yesa, en el Río Aragón (Navarra) por el Servicio Geológico de Obras Públicas con autores ilustres. Francisco Hernández Pacheco, Manuel Lorenzo Blanc, Federico Macaun Villar, Ángel García Yagüe. De sus conclusiones se extrae: *“el conjunto del flysh arenoso-margoso del eoceno batoniense, al empaparse de agua en épocas de fuertes precipitaciones,*

adquieren acusada plasticidad, y se meteorizan muy rápidamente hasta dar lugar a materiales térreo-arcillosos. El estado de agrietamiento y rotura de los estratos areniscosos, favorece la infiltración del agua en los niveles margosos". Su recomendación fue reconstruir el abanalamiento y realizar un tapiz vegetal.

Desde entonces la ladera ha soportado estoicamente los llenados y vaciados anuales del embalse.

4.- Fase de Recrecimiento de Yesa.

Como consecuencia de los trabajos de excavación del talud necesario para cimentar el plinto en el estribo derecho, durante la tercera semana de Febrero de 2004 se produjo un movimiento de escasa entidad a la cota 505 aproximadamente.



Figura 11.- Fotografía del estribo derecho de febrero de 2004 durante los trabajos de excavación.

Como parte de los trabajos de estabilización, se procedió a la consolidación del macizo rocoso mediante las técnicas clásicas de gunitado, bulonado y anclaje



Figura 12.- Fotografía de septiembre de 2005, donde se observa el gunitado.

3.3.- Zona de la Refaya en la margen izquierda

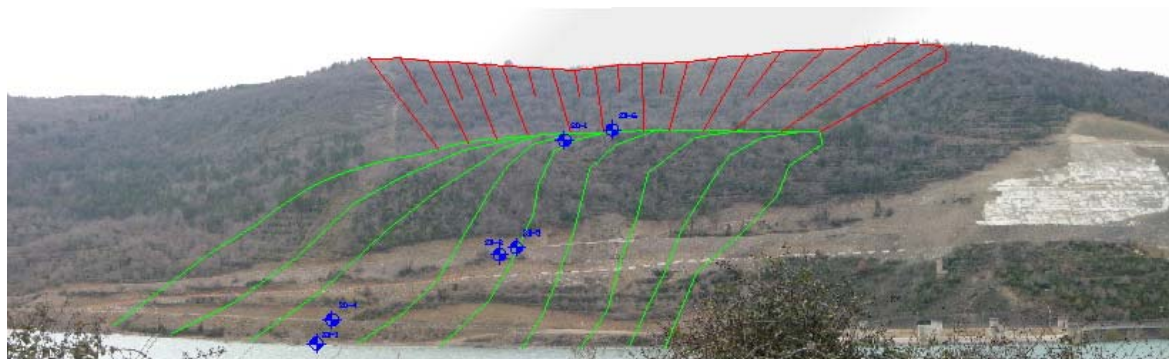


Figura 13.- Vista general de la Refaya.

En 1983, durante las campañas geológicas realizadas para definir el proyecto de construcción del recrecimiento, se detectó y analizó por primera vez el deslizamiento de la Refaya (su nombre se refiere a una toponimia y no tiene una connotación de elemento geológico superlativo).

Se localiza en la margen izquierda del embalse a unos 150 m aguas arriba de la presa actual y se trata de un deslizamiento fósil de tipo traslacional del macizo rocoso a favor de los planos de estratificación, con unas dimensiones en planta de 750 m medidos perpendicular al río Aragón, por 400 m de anchura, estimándose el volumen de la masa ya deslizada en 12 hm³.

La estratificación tiene un rumbo E-W paralelo a la ladera con buzamientos hacia el valle comprendidos entre 25° y 30°. La masa deslizada es sustrato rocoso del denominado Flysch de Yesa, bajo el cual aparece unos 50 m de margas grises con intercalaciones centimétricas de areniscas.

El deslizamiento se produjo a favor de un plano de estratificación cuando el pie de la ladera fue erosionado por el río Aragón. Este plano está constituido por una capa de marga meteorizada asimilable a un suelo arcilloso con indicios de arena. Parte de la masa rocosa caída se depositó encima de una terraza de unos tres metros de potencia a la cota 445, unos 25 m sobre el cauce actual del río, lo que confirma que el deslizamiento se produjo hace mucho tiempo, no habiéndose detectado movimientos desde entonces. Encima de la terraza hay 40 m de masa deslizada.

La sección del deslizamiento se muestra a continuación:

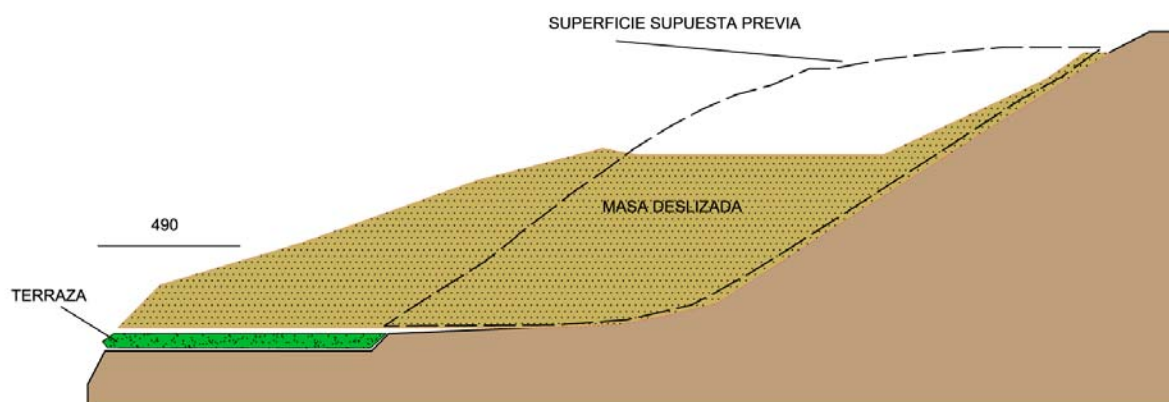


Figura 14.- Esquema de un perfil de la Refaya

En la parte baja de la masa deslizada, en la orilla del embalse existe una acumulación de rellenos artificiales procedentes de las excavaciones de los aliviaderos.

Los ensayos de resistencia en el triaxial arrojan para el ángulo de resistencia interna residual valores comprendidos entre $27,5^\circ$ y $29,5^\circ$. A partir de los ensayos de identificación $LL=32,3$ e $IP= 13,1$ por correlación se obtuvieron ángulos de resistencia residuales entre 24 y 26° , que concuerda con los valores anteriores ensayados y que siempre son algo superiores en laboratorio. En resumen los valores residuales que se adoptaron fueron $c'=0$ y $\phi'=25^\circ$.

A tenor de estos datos se estimó que la ladera antes de deslizar estaba en equilibrio límite con buzamientos de entre 25° y 30° y ángulos de rozamiento interno de unos 25° . La erosión del río fue el detonante, probablemente ayudado por unas lluvias intensas. La masa deslizada invadió la llanura aluvial, actualmente terraza, conservándose prácticamente íntegra desde entonces y denotando su nula actividad posterior.

Estas conclusiones se confirmaron con los cálculos de estabilidad por el método de equilibrio límite, obteniéndose para desembalse rápido valores del coeficiente de seguridad de $1,49$ para la situación del embalse actual y $1,31$ para el embalse recrecido a su máxima cota. Estos valores confirman la estabilidad del deslizamiento en la situación actual y futura.

En cuanto a los reconocimientos, se han realizado calicatas, seis sondeos con extracción de testigo contiguo, de los cuales tres han quedado instalados como inclinómetros.

De los datos de auscultación disponibles, se deduce que no existe en la actualidad indicios de movimiento ni superficiales, ni a través de los registros inclinométricos.

3.4.- Zona del P.K. 1+400 del camino de la margen izquierda

En las proximidades del p.k 1+400 se sitúa un vertedero de inertes procedentes de las obras, y a finales de Julio de 2006, con el embalse a cota 477,78 y 257 Hm3 embalsados (10,83 m bajo cota de vertido por aliviaderos, que suponen un volumen de 190 Hm3), se detectaron una serie de grietas en el p.k. 1+400 del camino Monte Mérida, situado en la margen izquierda del embalse de Yesa y construido como camino de servicio a la obra del recrecimiento del embalse sobre un camino existente.

En el mencionado p.k. del camino el substrato rocoso esta constituido por una formación geológica denominada Flysch de Yesa o Turbiditas de Yesa. Esta formación consiste en una alternancia de areniscas y margas con ocasionales intercalaciones de arcillitas, depositadas en estratos de espesor centimétrico a decimétrico, de edad Priaboniense (Eoceno). En esta zona del camino la estratificación buza hacia el Norte con 20-25° (N350E/20-25).

Una vez detectada la grieta se cartografió y se representó en el plano topográfico que aparece a continuación señalándose en rojo la grieta.

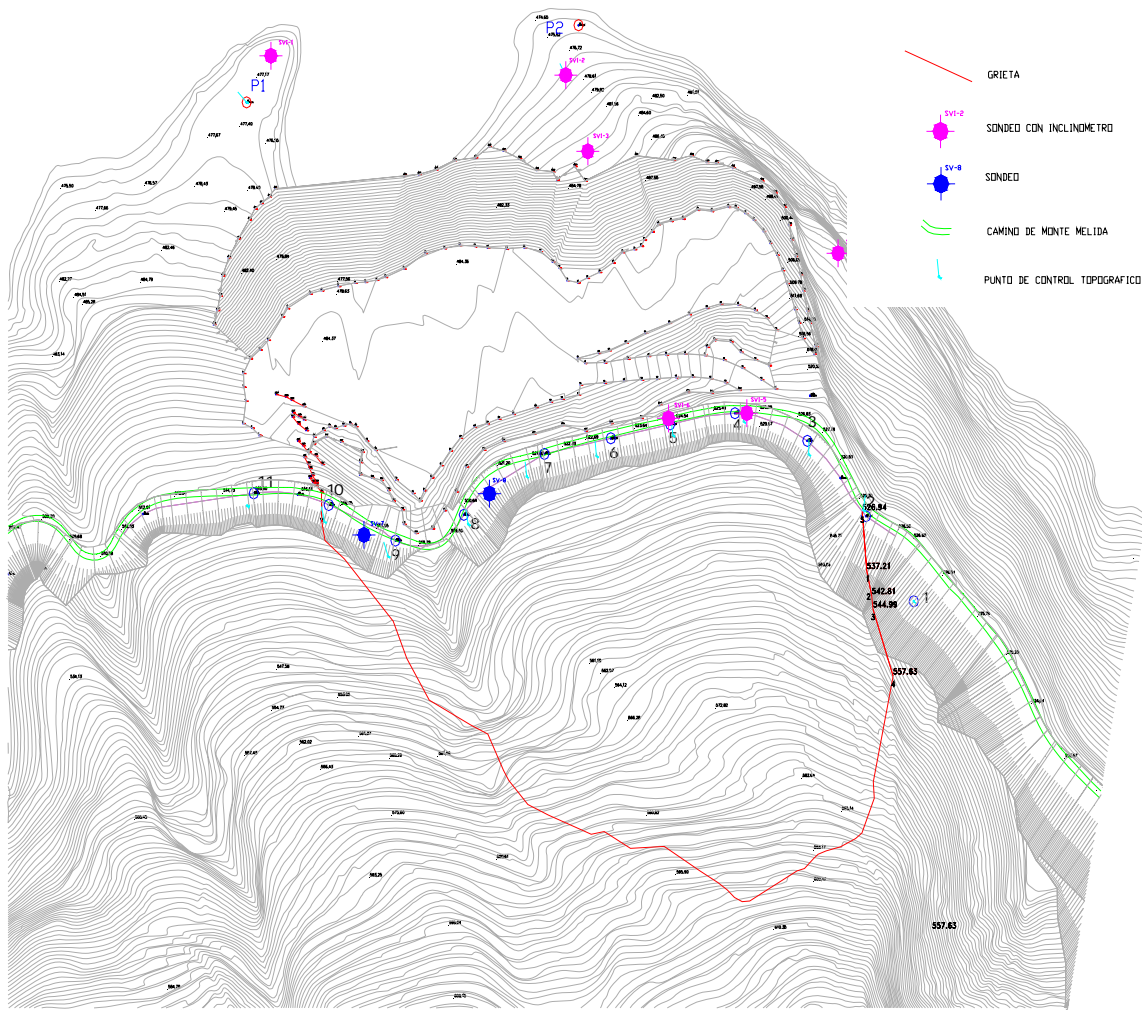


Figura 15. Plano topográfico en planta de la zona del p.k. 1+400

Así mismo se realizó una cartografía geológica de detalle del entorno de la masa movilizada y se consultó a especialistas geotécnicos de reconocido prestigio para que colaborasen en la evaluación del movimiento y emitiera sus recomendaciones al respecto.

Se trata de un movimiento traslacional de tipo planar (a favor de la estratificación) que tiene unas dimensiones de 250 m de longitud en la dirección de máxima pendiente y 325 m de anchura en la perpendicular, con un volumen aproximado de tres hectómetros cúbicos y cuya causa última estaría relacionada con la ubicación de un vertedero de inertes a pie del camino de servicio.



Figura 16. Fotografía de la grieta extraída de la pagina web www.yesano.com



Figura 17. Fotografía de la izquierda donde se aprecia el movimiento y su influencia en la cuneta de pie. Fotografía de la derecha donde se aprecia la dimensión mayor de la grieta de cabecera.

Inmediatamente se procedió a la nivelación del camino, la ejecución de ocho sondeos e instalación de inclinómetros y medida de apertura de grietas. Tanto los puntos de nivelación como los inclinómetros se midieron en un principio diariamente, pasando a semanalmente y mensualmente conforme se ha conocido la ralentización del movimiento.

A continuación se representa el control topográfico del punto 6 de movimiento máximo situado en el centro del movimiento, observándose la paralización del movimiento desde octubre de 2006 hasta la actualidad:

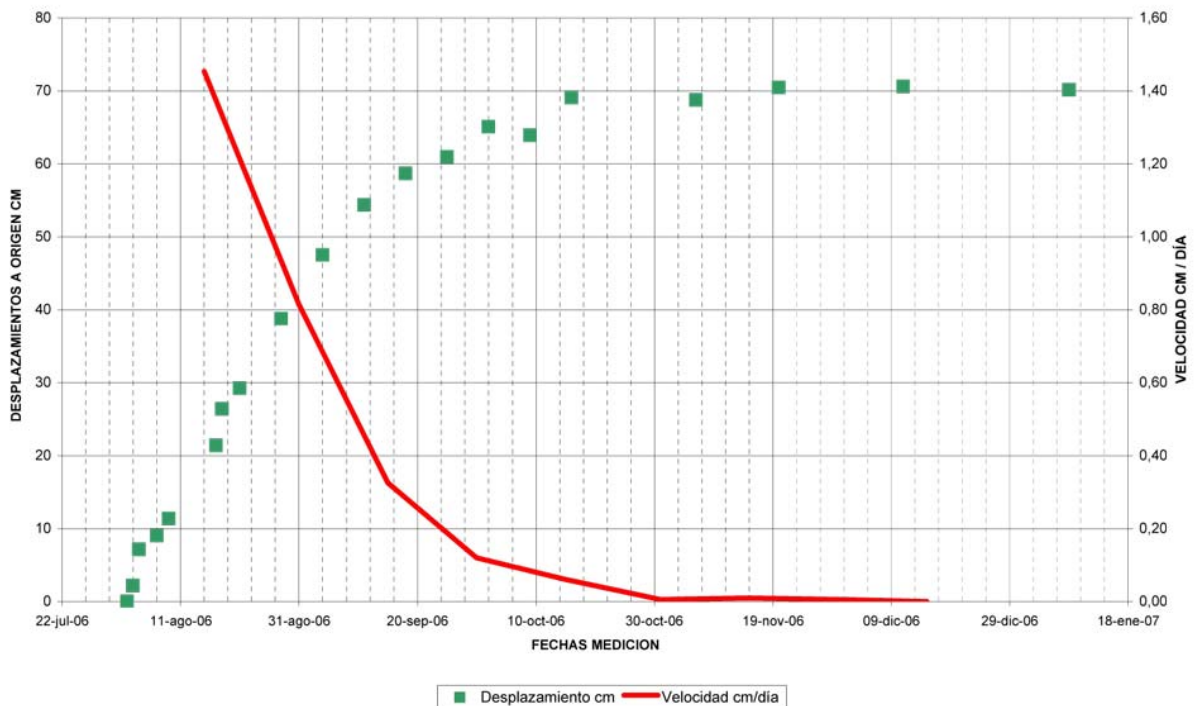


Figura 17. Evolución del punto de control topográfico 6.

Como se puede deducir, si bien en los primeros días la masa se movía a una velocidad próxima a los 2 cm diarios, este movimiento se ha ralentizado paulatinamente hasta que actualmente se ha paralizado.

Cabe destacar que las velocidades mayores de movimiento de la masa movilizada se produjeron durante el desembalse que tuvo lugar en los meses de Agosto y Septiembre de 2006, mientras que la reducción de la velocidad de movimiento de la masa movilizada coincide con la reducción de la velocidad de desembalse. Actualmente, con el embalse lleno, el deslizamiento se ha detenido, y siguen operativas las labores de control y seguimiento.

De los datos inclinométricos, se deduce que el plano de deslizamiento se sitúa a una profundidad variable entre 25 y 36 metros. Con los datos obtenidos de la cartografía geológica, del registro de los sondeos y de los inclinómetros se ha dibujado un perfil topográfico de la masa deslizada que se incluye seguidamente.

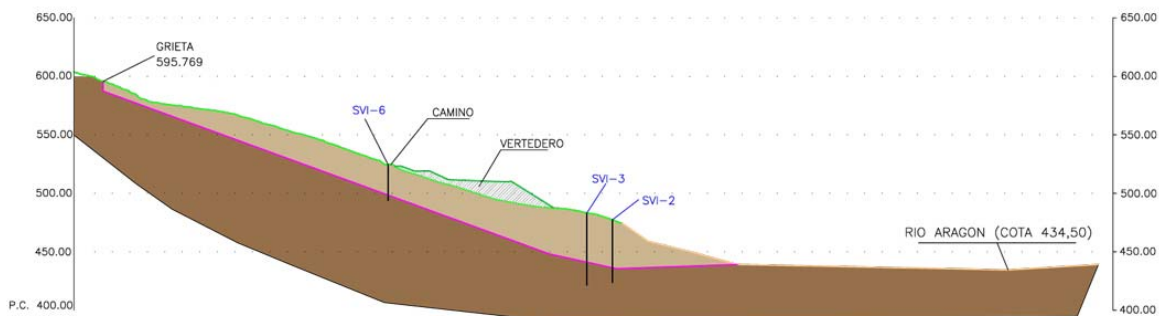


Figura 18. Perfil del deslizamiento de la zona del vertedero

Se ha comprobado que los niveles de embalse altos contribuyen a la ralentización del movimiento, mientras que la situación más desfavorable resulta de un desembalse rápido. Dado que la situación más desfavorable se da con el embalse en proceso de vaciado, el volumen de la masa movilizada, se asumiría por la propia capacidad del embalse.

La máxima velocidad registrada de 2,5 cm/día, atendiendo a la clasificación internacional de Cruden y Varnes 1996, sería de tipo “lenta”. Bajo esta consideración y que la pendiente de la ladera es muy suave, próxima a los 20°, no hay justificación técnica que avale la formación de olas como consecuencia de un deslizamiento.

Por otra parte, en algunos artículos de prensa se ha escrito que el deslizamiento podría inutilizar el embalse al anegarse los desagües de fondo. Basta recordar en este punto que el embalse muerto tiene una capacidad de 17,58 hm³ y los desagües de fondo distan 1.500 m de la zona.

Se debe comentar también que si, en contra de todo pronóstico, hubiera un desplazamiento de masa hacia el embalse, incluso en las condiciones de nivel máximo normal (cota 487,91 m y volumen almacenado 432 hm³) existe un volumen de resguardo (hasta la cota de vertido por los aliviaderos) de 15 hm³. Dicho volumen supone casi cuatro veces el volumen total de la masa movilizable y seis veces el

volumen de la masa movilizable situada por encima de la cota actual del embalse (2,5 hm³).

3.5.- Zona de Monte de Mélida en la margen izquierda

Los materiales que rodean la mayor parte del vaso no son propensos a la formación de deslizamientos, ya que las margas de Arguís-Pamplona, de carácter masivo y con pocas discontinuidades, no constituyen materiales susceptibles de deslizamiento. Únicamente la cobertera alterada, en los primeros metros en donde la marga pierde su contenido en carbonatos transformándose en una arcilla, puede dar lugar a reptación o pequeños deslizamientos superficiales, si las condiciones de pendiente y contenido en agua son suficientes para provocar su inestabilidad. Sin embargo, la morfología de la zona con pendientes suaves, asociadas a amplias terrazas del río Aragón y superficies de glaciales, en gran parte cubiertas por suelos de tipo granular, no favorecen la aparición de este fenómeno; y de hecho, no se ha identificado ninguna zona de reptación, o deslizamiento de suelos, a excepción de la acumulación de suelos existentes al pie del Monte de Mélida, situada en la margen izquierda del embalse, a unos dos kilómetros de la cerrada.

El Monte de Mélida, excavado en margas masivas de Pamplona, presenta una pendiente a favor de la cual se ha producido una zona de erosión de suelos. Estos suelos de poca consistencia y en parte saturados por aguas del propio embalse, experimentan asentamientos y pequeños movimientos, que se han evidenciado en un camino forestal existente al pie de la ladera, durante la explotación del actual embalse. Dicho camino se está acondicionando para su utilización como camino de obra y posteriormente, por esta zona, discurrirá la futura carretera local de Ruesta a la presa de Yesa.

Con el recrecimiento del embalse y la subida y bajada periódica del embalse, se producirá probablemente un movimiento lento y estacional de los suelos hacia el fondo del vaso, como ha sucedido en el embalse actual durante los más de cuarenta años (desde 1959) que lleva en servicio. Estos movimientos, muy lentos, no han tenido ninguna incidencia sobre cualquier aspecto de seguridad relacionado con el recrecimiento. Con objeto de evitar la reptación de los suelos se está procediendo a su retirada.

4. CONCLUSIONES

Puede parecer una frivolidad que se cuente con minuciosidad los problemas de estabilidad de taludes de las obras civiles, pero en estos tiempos la Sociedad demanda una mayor información y es nuestra obligación proporcionársela.

Los movimientos de laderas se han producido siempre (como ocurre en los taludes de carreteras, del ferrocarril, o en muchas laderas de nuestras montañas) y seguirán produciéndose, sin que ello conlleve un riesgo inasumible para las poblaciones próximas, para sus usuarios o para los trabajadores que construyen y controlan estas instalaciones. Como todos los problemas de este mundo, la peligrosidad depende de su grado de actividad (volumen, velocidad y aceleración).

Se debe recordar en este punto que la causa mayor de riesgo natural de este país son las inundaciones y según estudios realizados por el Instituto Geológico y Minero las pérdidas económicas potenciales de riesgo medio para el periodo 1986-2016 corresponden un 57 % a las inundaciones y el 15 % a los deslizamientos. Tal vez

ya no nos acordemos de la función de laminación de avenidas de los embalses porque ese nivel de seguridad ya está conquistado en gran medida.

Los taludes, como otros elementos de un embalse, deben estar en continuo proceso de vigilancia y control de forma similar a las revisiones médicas en el ser humano, pero el que suframos un catarro no presupone que vayamos a morir de ella, sino sólo que hay que tratarlo. Los tratamientos de los taludes cuentan en la actualidad con infinidad de herramientas eficaces y es por ello que cada vez es más excepcional ver noticias de víctimas relacionadas con taludes.

Sin embargo en la Cordillera Pirenaica se está convirtiendo en habitual las noticias alarmistas de “enfermedades de laderas”, cuando no de “laderas sana”, que aparecen como jinetes de la Apocalipsis. Nunca existe un trabajo técnico serio que respalde esas alarmas y son a menudo simples opiniones sin justificación técnica. Se están utilizando de plataforma para otros objetivos, que seguro serán lícitos, pero que nada tienen que ver ni con la geología, ni la geotecnia, ni el riesgo para las poblaciones.

Por otra parte es verdaderamente aberrante ver como los esfuerzos realizados en aplicación de la técnica (sondeos, ensayos de laboratorio, modelización informática, auscultación sísmica, topográfica piezométrica e inclinométrica) por los especialistas de mayor renombre a nivel nacional e incluso internacional que colaboran con la Confederación Hidrográfica del Ebro para realizar sus trabajos (y por tanto con toda la Sociedad), son continuamente minusvalorados, acusados públicamente de falta de profesionalismo y relegados a una simple opinión más.