

COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

RECRECIMIENTO DE LA PRESA DE YESA. DISEÑO DEL ALIVIADERO

Raimundo Lafuente Dios¹
Marcelo Merino Arroyo²
Pablo De Diego Calvo³
José Luis Martínez Mazariegos⁴
Luis Javier Corcuera Arriola⁵

RESUMEN: La actual presa de Yesa, situada sobre el río Aragón afluente del Ebro, lleva en servicio desde 1959, tiene 78 m de altura y 447 hm³ de capacidad. El aliviadero está formado por cuatro pozos con compuertas tipo sector de 20 m de longitud y 6 m de altura. Los pozos conectan con cuatro galerías en túnel a través de las cuales se entregan las aguas al río Aragón, a través de un cuenco amortiguador.

En la actualidad se está ejecutando el recrecimiento de dicha presa, cuyo aliviadero aprovecha los túneles existentes y recrece la cota de la embocadura en los pozos de entrada.

En la comunicación se expone el diseño del nuevo aliviadero, que dispondrá de compuertas para maximizar la cota del Nivel Máximo Normal del embalse recrecido, sin llegar a afectar a ninguna población de su vaso; y mejorar la laminación de avenidas al actuar conjuntamente con el embalse de Itoiz, cuyo aliviadero tiene labio fijo. Aunque las compuertas del aliviadero son necesarias por los dos motivos expuestos, la cota de la coronación de la presa recrecida se ha establecido sin considerar el funcionamiento de las compuertas, al tratarse de una presa de materiales sueltos.

¹ I.C.C.P. - Confederación Hidrográfica del Ebro (rlafuente@chebro.es)

² I.T.O.P. - Confederación Hidrográfica del Ebro (merino@chebro.es)

³ I.T.O.P. - Confederación Hidrográfica del Ebro (pdediego@chebro.es)

⁴ I.C.C.P. - Euroestudios, S.L. (j.l.martinez@euroestudios.es)

⁵ I.C.C.P. - CV Yesa UTE (obra.yesa@euroestudios.es)

1. MARCO GEOGRÁFICO Y PRESA EXISTENTE

La presa de Yesa se encuentra situada al norte de España, en el límite de las comunidades de Navarra y Aragón, sobre el río Aragón, que es uno de los principales afluentes del río Ebro por su margen izquierda.

La presa existente, entro en servicio en el año 1959, es de gravedad, tiene 78 m de altura sobre cimientos y 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 a la cota 490,0 y 7,0 m de anchura. El volumen de embalse a su Nivel Máximo Normal (cota 488,61 m) es de 447 Hm³.

El aliviadero está situado fuera de la presa, lateralmente a ella, en las proximidades del estribo izquierdo. 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 aquel al río Aragón, a través de un cuenco amortiguador.

La presa existente se ha comportado muy satisfactoriamente durante los casi 50 años que lleva en explotación, tanto desde el punto de vista de su seguridad estructural, como desde el punto de vista hidrológico.

2. EL RECRECIMIENTO DE LA PRESA

El aumento de la población a abastecer (ciudad de Zaragoza y su entorno, actualmente con más de 800.000 habitantes), la terminación de la transformación en regadío de las 110.000 ha previstas en la zona de Bardenas, y las necesidades de agua asociadas a los cultivos actuales, hacen necesario el aumento de la regulación del río Aragón, planteándose desde la década de los años 70 el recrecimiento de la presa existente.

Después de estudiar diversas alternativas y tras un largo proceso de estudio de las afecciones, que se detalla en el artículo de estas Jornadas denominado "RECRECIMIENTO DE LA PRESA DE YESA. CONDICIONANTES DE LA EXPLOTACIÓN EN LAS OBRAS", se ha diseñado para el recrecimiento una presa de gravas con pantalla de hormigón apoyada sobre la presa existente.

El recrecimiento de la presa de Yesa crea un embalse de 1.079 Hm³ y 3.584 Ha, con su Nivel Máximo Normal a cota 511 m, la coronación a cota 520 m y una altura sobre cimientos de 108 m, sin precisar el traslado de ningún pueblo.

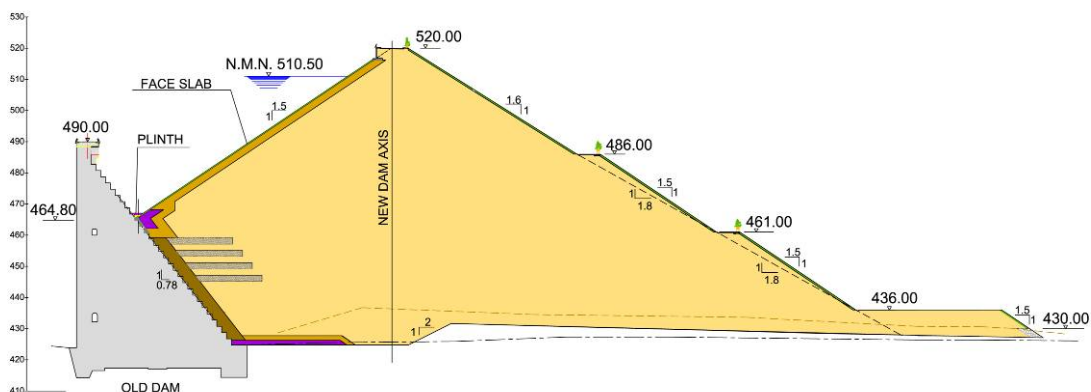


Fig. 1. Sección tipo de la nueva presa de Yesa

3. ACTUACIONES EN SIGÜÉS

La población de Sigüés se asienta, junto al embalse de Yesa recrecido, sobre una ladera del río Esca, afluente del río Aragón por su margen derecha. En la parte baja (cota 502,00 m) se sitúan naves y construcciones agrícolas de escaso valor, mientras que el centro del pueblo con sus edificios históricos se encuentran a cota 519,00 m.

La última calle del casco urbano se encuentra a cota 512,50 m y bajo ella únicamente se sitúan cinco viviendas. Para minimizar las afecciones se contempla un dique de protección con su coronación a cota 514,25 que lo rodeará con suficiente amplitud, permitiendo la creación de una zona de expansión al rellenar y acondicionar el espacio comprendido entre el dique y el casco urbano, que se podrá utilizar como zona de servicios con instalaciones deportivas y jardines.

El dique de protección de Sigüés minimiza la banda árida que genera el embalse en el entorno de su casco urbano, pero la corrección total de este impacto requiere que el nivel del agua del embalse alcance siempre el pie de dicho muro, para lo que es necesario disponer de una presa de cola en el río Esca. Esta presa estará dentro del embalse recrecido de Yesa, aguas abajo del núcleo urbano de Sigüés, por debajo de su Nivel Máximo Normal, sin crear por lo tanto nuevas afecciones, resultando con categoría C en función de su riesgo potencial.

El Nivel Máximo Normal del embalse de cola en el río Esca debe cumplir la condición de quedar por debajo del de la presa de Yesa recrecida y suficientemente alto para alcanzar el pie del dique de protección de Sigüés, habiéndose fijado en la cota 508,00 m, que es la mínima cota que permite la adecuada integración del entorno de Sigüés, quedando una carrera de embalse máxima de solamente tres metros.

La presa del Esca dispondrá de un desagüe de fondo que permitirá el vaciado del embalse, cumpliendo con la vigente normativa y posibilitando la utilización del volumen embalsado (3 Hm³), en caso de necesidad, por lo que la construcción de esta presa no supone reducción del volumen útil del embalse

de Yesa recrecido. El vaciado de este embalse de cola únicamente se produciría en años extremadamente secos, al final del estiaje (últimos días de septiembre), siendo el primer volumen que se almacenaría en cuanto comenzaran a recuperarse las aportaciones y disminuir las demandas (mediados de octubre).

4. TIPOLOGIA DEL ALIVIADERO

La presa de Yesa se encuentra situada sobre el río Aragón, cerca de su confluencia con el río Irati, situada aguas arriba de la población de Sangüesa, teniendo ambos ríos cuencas muy semejantes, siendo habitual la coincidencia de sus avenidas. El río Irati está regulado por la presa de Itoiz cuyo aliviadero tiene labio fijo, por lo que es conveniente que la presa de Yesa recrecida disponga de compuertas en el aliviadero, como ocurre con la actual presa, para poder actuar sobre las puntas de las avenidas, reduciéndose las afecciones aguas abajo de la confluencia de ambos ríos, especialmente en Sangüesa, población que históricamente se ha visto afectada por las crecidas del río Aragón.

Por otra parte, las compuertas del aliviadero servirán para reducir la diferencia entre Nivel Máximo Normal del embalse y la cota de afección al casco urbano de Sigües, maximizando el volumen de embalse sin afectar a dicho pueblo, reduciéndose las afecciones a los ecosistemas más interesantes y a los elementos del patrimonio histórico (se evita afectar a las ermitas del Camino de Santiago).

Por los dos motivos expuestos anteriormente, poder desincronizar puntas de avenidas aguas abajo y reducir las sobre elevaciones para laminar las avenidas aguas arriba, la presa de Yesa recrecida, requiere disponer de un aliviadero con compuertas, pese a tratarse de una presa de gravas con pantalla de hormigón.

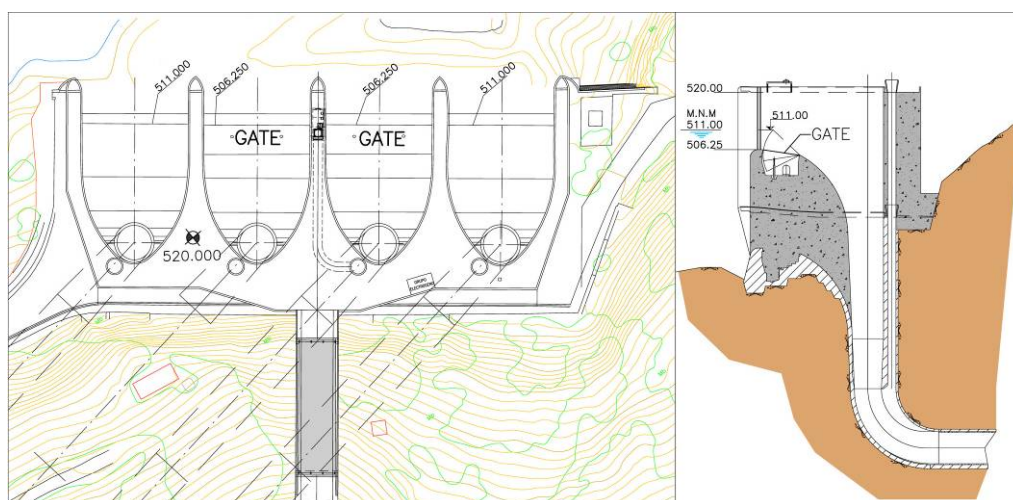


Fig. 2. Aliviadero Planta y Sección

Puesto que la presa de Yesa recrecida es de materiales sueltos, se ha optado por disponer compuertas de sector con accionamiento hacia abajo, permitiendo el vertido sobre ellas en cualquier posición. Esta disposición supone que la situación más desfavorable para la coronación de la presa se produce cuando la compuerta está fija a su máxima cota, y es en esa posición en la que se ha realizado el cálculo de los resguardos para la presa de Yesa recrecida, fijándose su coronación como si se tratara de un aliviadero de labio fijo.

El aliviadero de la nueva presa estará situado en la ladera izquierda de la cerrada y aprovechará los cuatro túneles existentes del aliviadero actual, recreciéndose sus embocaduras, manteniéndose el diseño del aliviadero actual que ha funcionado perfectamente durante los casi cincuenta años de servicio. En cuanto a su tipo, se ha optado por disponer un aliviadero mixto con compuertas en dos de sus embocaduras y labio fijo en las otras dos. El número y dimensiones de las compuertas del aliviadero se han diseñado para que una maniobra incorrecta no produzca daños aguas abajo.

En las Normas de Explotación de la actual presa de Yesa se definen los siguientes caudales característicos:

- Q1 Caudal que desborda el cauce natural: 450 m³/s.
- Q2 Caudal que empieza a producir daños: 550 m³/s (piscifactoría de Yesa); y 1.000 m³/s (proximidades de Sangüesa).
- Q3 Caudal que produce daños de gran importancia: 1.500 m³/s (parte baja de Sangüesa).

El número (2 ud en los dos vanos centrales) y dimensiones de las nuevas compuertas (igual longitud que las actuales: 20 m; y menor altura 4,75 m) se han fijado para limitar los daños aguas abajo de la presa por una maniobra incorrecta. Con el diseño adoptado, el máximo caudal vertido con el embalse a cota de NMN para cada uno de los dos vanos es de 414 m³/s. En estas condiciones, el abatimiento de una compuerta no supera el caudal que desborda el cauce natural (450 m³/s); y el abatimiento de las dos, junto con la máxima apertura del desagüe de fondo ($2 \times 414 + 134 = 962$ m³/s), no supera el caudal que empieza a producir daños en Sangüesa (1.000 m³/s).

Si se hubiera optado por disponer de compuertas en los cuatro vanos del aliviadero, la altura debería haber sido menor, para que los daños por un vertido incorrecto no se incrementaran y el volumen de embalse dominado sería menor, lo cual no es conveniente dado que la función del aliviadero considerado es semejante a la de una toma superior.

Se ha optado por disponer dos compuertas en lugar de una para facilitar las labores de mantenimiento y reducir las limitaciones de llenado en caso de que una compuerta se encuentre fuera de servicio.

5. LAMINACIÓN DE AVENIDAS

5.1. AVENIDA DE DISEÑO

Las avenidas consideradas corresponden con las calculadas en las Normas de Explotación de la actual presa de Yesa, con criterios estacionales. El estudio hidrológico partió de los datos registrados en las estaciones pluviométricas de la zona, y aplicó el método modelo HEC-1 desarrollado por el Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineers, cuya utilización está recomendada en la “Guía Técnica de Seguridad de Presas nº 4: Avenida de Proyecto”.

La selección de la avenida de diseño se ha realizado siguiendo la vigente normativa española que establece la obligatoriedad de clasificar las presas en función del riesgo potencial derivado de su posible rotura en tres categorías, y según la clasificación resultante se asigna la avenida de diseño y la avenida extrema correspondiente.

- Categoría de la presa de Yesa

La actual presa de Yesa tiene, en función de su riesgo potencial, categoría A ya que, entre otros aspectos, afectaría a la población de Sangüesa, situada a unos 15 Km aguas abajo de ella. Evidentemente la presa de Yesa recrecida mantiene su clasificación con categoría A.

Como avenida de proyecto para la presa de Yesa se considera, siguiendo lo estipulado para presas con categoría A, la de 1.000 años de período de recurrencia. Asimismo, se considera como avenida extrema la de 10.000 años de período de recurrencia, al tratarse de una gran presa de materiales sueltos con categoría A.

- Categoría del muro de Sigüés

Para clasificar el muro de Sigüés, considerándolo como una presa de hormigón, se supone que la máxima inundación que ocasionaría su potencial rotura alcanzaría la coronación del muro, situada a la cota 514,25 m, produciendo una inundación remontante en su casco urbano que está situado a media ladera. De las casas afectadas solamente en una se tendría un calado superior a 1,75 m, por lo que habría afección grave a una casa, además esta inundación no produciría daños materiales ni medioambientales importantes. En consecuencia, al muro de Sigüés, considerado como presa, se le asigna la categoría B.

Como avenida de proyecto para muro de Sigüés se considera, siguiendo lo estipulado para presas con categoría B, la de 500 años de período de recurrencia. Asimismo, se considera como avenida extrema la de 1.000 años de período de recurrencia, al tratarse de una presa de hormigón con categoría B.

5.2. CRITERIOS DE LAMINACIÓN

- Estacionalidad de las avenidas

Durante el verano, el embalse de Yesa, coincidiendo con las menores aportaciones del río Aragón, debe suministrar los mayores volúmenes de agua por él regulados, destinados principalmente al riego de los cultivos agrícolas. Esta situación hace que la explotación del embalse procure tenerlo lo más lleno posible al inicio del verano para finalizar este trimestre con el menor volumen de todo el año.

Las mayores avenidas se presentan en el embalse de Yesa en otoño y las siguientes en primavera, calculándose los resguardos necesarios para esta época, en la que el embalse debe estar lo más lleno posible antes de comenzar la campaña de riego. De esta forma, se fija el máximo nivel de embalse en primavera, que es válido tanto para invierno como para verano, ya que sus avenidas son menores. El máximo nivel de embalse en otoño se determina reduciéndose el establecido para primavera, de forma que pueda laminarse sus mayores avenidas disponiéndose de mayores resguardos, sin que ello afecte la capacidad de regulación del embalse, puesto que al principio del otoño finaliza la campaña de riego.

5.3. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL VERTIDO

La Confederación Hidrográfica del Ebro ha adoptado como criterio general para la explotación de sus embalses en situación de avenidas, la recomendación de no desaguar caudales superiores a los que entran al embalse.

5.4. LONGITUD DE FETCH

Como consecuencia de la forma del embalse de Yesa, se tiene que la máxima distancia de la superficie del agua (fetch), a cota 514,00 m, en la presa de Yesa, es de 20 Km; mientras que la máxima distancia de la superficie del agua, a cota 514,00 m, al casco urbano de Sigüés, es de 5 Km. Estos datos implican alturas de ola muy distintas para estos dos puntos y, por tanto, requieren distintos resguardos. En el entorno de Ruesta, donde el Camino de Santiago y sus ermitas se encuentran más próximas al embalse, se tiene un fetch semejante al de Sigüés.

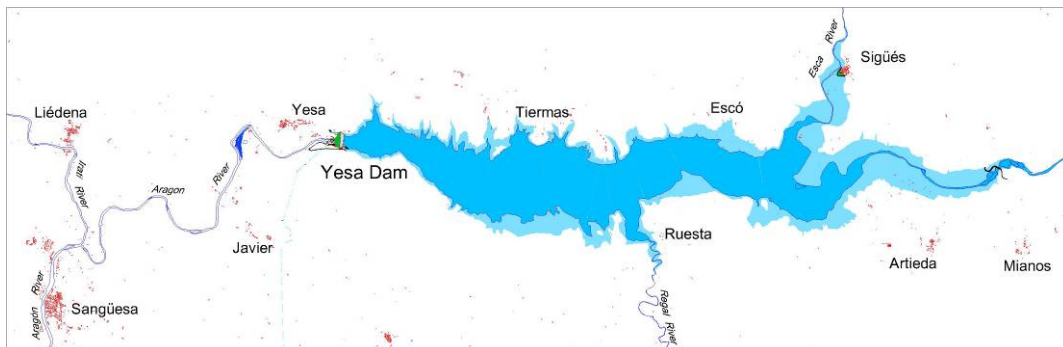


Fig. 3. Planta del embalse de Yesa

6. DETERMINACIÓN DE NIVELES Y COTAS

Después de varios tanteos y cálculos se ha limitado el Nivel Máximo Normal del embalse (NMN) en primavera (y también en verano e invierno) a 511,00 m; reduciéndose el NMN en otoño a 509,00 m para poder laminar sus mayores avenidas.

La Guía Técnica N° 2 de Seguridad de Presas “Criterios para proyectos de presas y sus obras anejas” establece las comprobaciones a realizar en una presa, en función de su tipología (hormigón o materiales sueltos), que se han realizado en las tres primeras columnas de las Tablas 3 y 4 (en las que: NMN: Nivel Máximo Normal; NAP: Nivel Avenida Proyecto; NAE: Nivel Avenida Extrema; NC: Nivel Coronación; SOM: Sobreelevación producida por la ola máxima; SOA: Sobreelevación producida por la ola en avenida; SOS: Sobreelevación producida por la ola sísmica).

El Nivel de Avenida de Diseño (NAP) y el Nivel de Avenida Extrema (NAE) se calculan laminando la avenida del periodo de retorno correspondiente, suponiendo el embalse a cota de su Nivel Máximo Normal (NMN).

La amplitud de la onda del oleaje producida por el viento (A, en m) se obtiene en función del fetch (F, en km), aplicando la fórmula de Stevenson ($A = 0,76 + 0,34 \cdot F^{1/2} - 0,26 \cdot F^{1/4}$), recomendada por la citada Guía Técnica de Seguridad de Presas n° 2. La sobreelevación debida a la ola máxima producida por el viento (SOM), se obtiene incrementando la anterior en un 50% ($SOM = 1,5 \cdot A$). Como sobreelevación debida a la ola máxima producida por el viento en avenidas (SOA), se considera el 70% de esta última ($SOA = 0,7 \cdot SOM$).

La altura de ola por sismo (AS) se calcula, para cada emplazamiento, en función de las características de la presa, principalmente su altura máxima a cimentación. A efectos de resguardo, se considera como sobreelevación máxima debida a la ola sísmica (SOS), el valor de la altura de ola por sismo incrementado en un metro ($SOS = AS + 1 \text{ m}$).

Se ha establecido la cota 514,25 m para el nivel de coronación (NC) del muro de Sigüés, que es la máxima compatible con el mantenimiento de este pueblo, comprobándose en la Tabla 1, que dicho nivel permite laminar las avenidas prescritas por la legislación e incluso las consideradas en la presa de Yesa.

Se ha establecido la cota 520,00 m para el nivel de coronación (NC) de la presa de Yesa recrecida, comprobándose en la Tabla 2 que dicho nivel permite laminar las avenidas incluso con las compuertas fijas en la posición más desfavorable, y sin bajar el NMN en otoño ni considerar reducción de ola en avenidas.

Tabla 1: Comprobación de la Cota de Coronación del muro de Sigües

	MURO SIGÜES primavera	MURO SIGÜES otoño	<i>CONSIDERANDO MISMAS AVENIDAS QUE EN LA PRESA</i>	MURO SIGÜES primavera	MURO SIGÜES otoño
NMN (m)	511,00	509,00	NMN (m)	511,00	509,00
TR NAP (años)	500	500	TR NAP (años)	1.000	1.000
NAP (m)	512,41	512,25	NAP (m)	512,71	512,67
TR NAE (años)	1.000	1.000	TR NAE (años)	10.000	10.000
NAE (m)	512,71	512,67	NAE (m)	513,94	514,16
Fetch (km)	5	5	Fetch (km)	5	5
A (m)	1,13	1,13	A (m)	1,13	1,13
SOM (m)	1,70	1,70	SOM (m)	1,70	1,70
SOA (m)	1,19	1,19	SOA (m)	1,19	1,19
AS (m)	0,37	0,37	AS (m)	0,37	0,37
SOS (m)	1,37	1,37	SOS (m)	1,37	1,37
NC > NMN + SOM =	512,70	510,70	NC > NMN + SOM =	512,70	510,70
NC > NMN + SOS =	512,37	510,37	NC > NMN + SOS =	512,37	510,37
NC > NAP + SOA =	513,60	513,44	NC > NAP + SOA =	513,90	513,86
NC > NAE =	512,71	512,67	NC > NAE =	513,94	514,16
NC	514,25	514,25	NC	514,25	514,25

Tabla 2: Comprobación de la Cota de Coronación de la presa de Yesa recrecida

	PRESA YESA primavera	PRESA YESA otoño	<i>SIN CONSIDERAR FUNCIONAMIENTO DE COMPUERTAS</i>	PRESA YESA primavera	PRESA YESA otoño	PRESA YESA otoño **
NMN (m)	511,00	509,00	NMN (m)	511,00	509,00	511,00
TR NAP (años)	1.000	1.000	TR NAP (años)	1.000	1.000	1.000
NAP (m)	512,71	512,67	NAP (m)	514,29	514,21	515,11
TR NAE (años)	10.000	10.000	TR NAE (años)	10.000	10.000	10.000
NAE (m)	513,94	514,16	NAE (m)	515,53	515,68	516,48
Fetch (km)	20	20	Fetch (km)	20	20	20
A (m)	1,73	1,73	A (m)	1,73	1,73	1,73
SOM (m)	2,60	2,60	SOM (m)	2,60	2,60	2,60
SOA (m)	1,82	1,82	SOA (m)	1,82	1,82	1,82
AS (m)	0,89	0,89	AS (m)	0,89	0,89	0,89
SOS (m)	1,89	1,89	SOS (m)	1,89	1,89	1,89
NC > NMN + SOM =	513,60	511,60	NC > NMN + SOM =	513,60	511,60	513,60
NC > NMN + SOS =	512,89	510,89	NC > NMN + SOS =	512,89	510,89	512,89
NC > NAE + SOA =	515,76	515,98	NC > NAE + SOA =	517,35	517,50	518,30
			NC > NAE + SOM =			519,08
NC	520,00	520,00	NC	520,00	520,00	520,00

Los cálculos realizados determinan que la diferencia del nivel alcanzado en el embalse al dejar de funcionar una compuerta, manteniéndose las restantes hipótesis de laminación, es inferior a 1 m; por lo que, se reducirá el nivel estacional del embalse en un metro por cada compuerta del aliviadero que este fuera de servicio.



Fig. 4. Recrecimiento de la presa de Yesa (junio 2008)

Finalmente, hay que resaltar que la coronación de la presa de Yesa recrecida se ha situado a cota 520,00 m, para dotarla de una seguridad hidrológica adicional: que la proteja incluso con las compuertas del aliviadero fijas en su posición más desfavorable, con el nivel normal de embalse más alto posible y sin considerar reducción de la altura de ola de viento en avenidas (ver columna “otoño **” de la Tabla 2).