

El diseño del recrecimiento del embalse de Yesa

The design of the new Yesa Dam

Raimundo Lafuente Dios. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Director de Obra. Confederación Hidrográfica del Ebro. rlafuente@chebro.es

Fermín Molina García. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Director Técnico. Confederación Hidrográfica del Ebro. f Molina@chebro.es

Juan Carlos de Cea Azañedo. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Dirección General del Agua. jcdecea@mma.es

José Luis Martínez Mazariegos. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Jefe Asistencia Técnica. Euroestudios, S.L.. j.l.martinez@euroestudios.es

José M. Villaroel González-Elipe. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Director de Proyectos de Ingeniería Civil. Euroestudios, S.L. j.m.villarroel@euroestudios.es

Resumen: En este artículo se exponen los principales aspectos de la nueva presa de Yesa, una presa de gravas con pantalla de hormigón 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. La presa, que está ahora en construcción, es similar en varios aspectos a la presa de New Exchequer: el paramento de aguas arriba se apoya a 2/3 de la altura de la presa de gravedad existente. Se presenta una descripción de su proyecto y materiales empleados en su construcción, remarcando los detalles más novedosos de su diseño.

Palabras Clave: Presa de pantalla de hormigón, Diseño, Gravas, Recrecimiento

Abstract: The paper explains the main aspects of the New Yesa Dam, a concrete faced gravel dam of 108 m high, crest length 430 m, and slopes 1.5(H):1 (V), upstream, and 1.7(H):1(V), downstream. The dam is now under construction. This dam is similar, in several aspects to New Exchequer Dam: the upstream slope is retained up to a height of 2/3 of the total height of the pre-existing dam. A brief description of the desing of the dam and the materials to be employed in its construction is given, with emphasis in details which have evolved in the last years.

Keywords: Concrete face dam, Design, Gravels, Hightennig.

1. Marco geográfico

La presa de Yesa se encuentra situada al norte de España, en el límite de las comunidades de Navarra y Aragón, dentro en la cuenca del río Ebro, en uno de sus principales afluentes por la margen izquierda, el río Aragón.

El río Aragón recoge en su cabecera las nieves de buena parte del pirineo aragonés y en su curso medio discurre paralelo a las alineaciones pre-pirenaicas por la Canal de Berdún, de este a oeste, hasta que en Yesa las corta con un giro de 90 grados hacia el sur, para salir a las fértiles y mucho mas llanas tierras navarras.

Estas condiciones hacen de Yesa un sitio estratégico para regular el río, ya que es el punto mas bajo

donde se puede encontrar una cerrada para construir una presa y además, el embalse creado es de una gran capacidad, aun para alturas moderadas de la presa, al extenderse por las margas grises que configuran la Canal de Berdún.

2. La presa existente

La regulación del río Aragón es un objetivo que se ha perseguido desde hace varios siglos. El primer proyecto completo de la actual presa se redactó en el año 1912. Se comenzó a construir en el año 1923, y desde su puesta en servicio en 1959, ha servido para satisfacer las demandas de la importante zona regable de Bardenas (80.000 Has), para abas-

Fig. 1. Situación de la presa y cuenca vertiente.

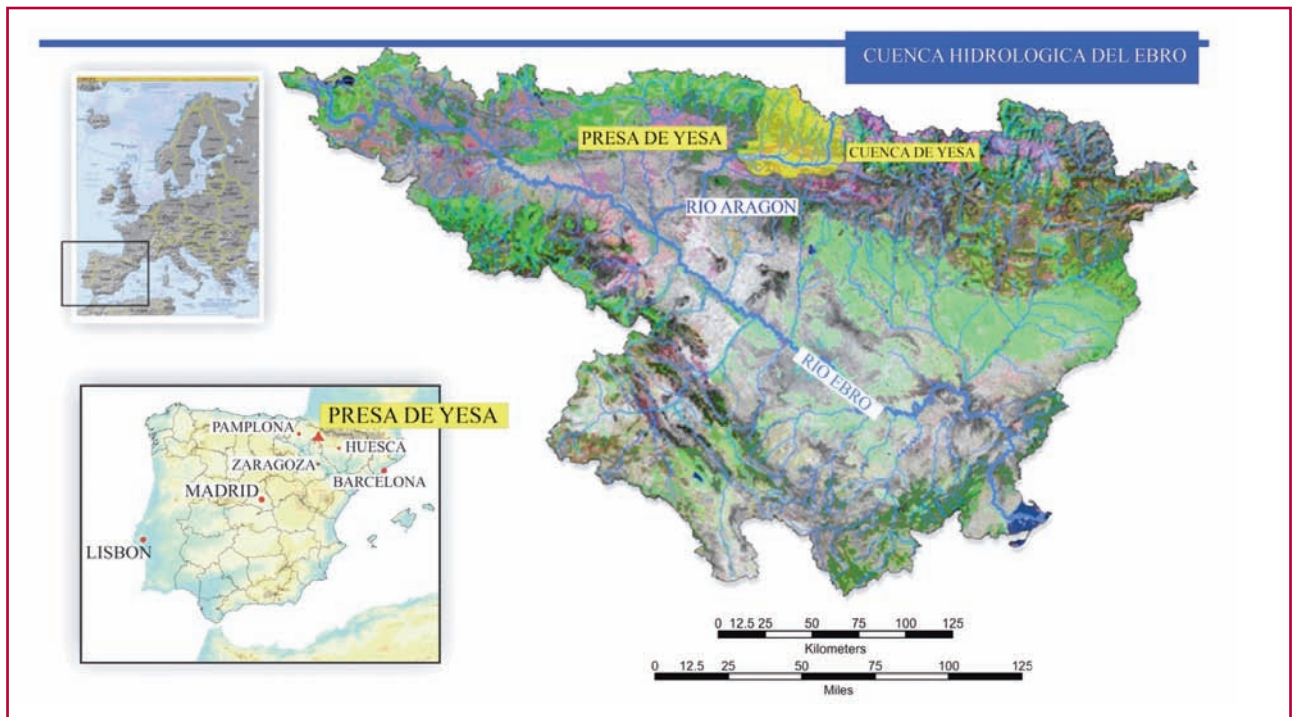


Fig. 2. Vista general de la presa existente y embocadura de sus aliviaderos en el estribo izquierdo.

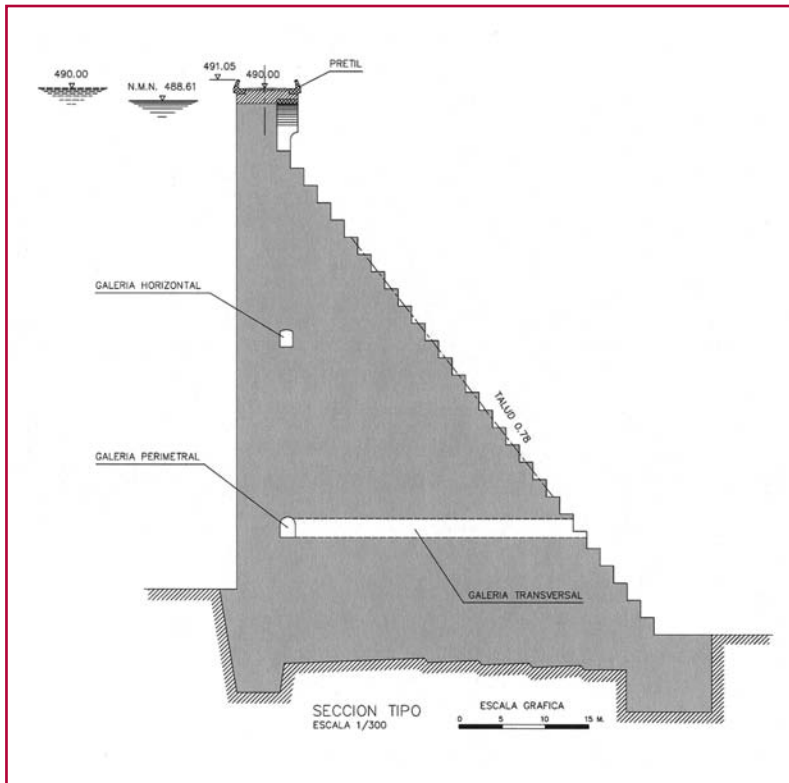


Fig. 3. Sección tipo de la presa existente.

tecer a los pueblos de la zona, para laminar las avenidas del río Aragón y para mantener el caudal ecológico del río.

La presa 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, cercano al estribo izquierdo. Está formado por cuatro pozos verticales de 6,5 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, dotada de un completo sistema de auscultación, se ha comportado muy satisfactoriamente durante los 45 años que lleva en explotación, tanto desde el punto de vista de su seguridad estructural, como desde el punto de vista hidrológico.

3. Antecedentes del recrecimiento de la presa

En 1956 se solicitó por diversos organismos de Navarra, el estudio de la regulación de los ríos Aragón, Irati y Salazar. Como consecuencia de aquella solicitud, en 1966 fue redactado por la Confederación Hidrográfica del Ebro el anteproyecto del embalse de la Foz de Lumbier, aunque ya se estimaba que sus afecciones socioeconómicas y ambientales eran muy importantes.

El aumento de la población a abastecer por la presa (ciudad de Zaragoza y su entorno, actualmente con más de 800.000 habitantes), la terminación de la transformación en regadío de las 110.000 hectáreas previstas en la zona de Bardenas, y las necesidades de agua asociadas a los cultivos actuales, hacían necesario el aumento de la regulación del sistema hidráulico formado por los ríos antes citados.

En 1977 se completó un estudio de regulación de los ríos Aragón e Irati, recomendando en sus conclusiones la realización del embalse de Lumbier y posteriormente el de Aspuz y el recrecimiento de Yesa o el embalse de Berdún en último lugar. Este estudio incluía un anteproyecto del recrecimiento de la presa de Yesa con escollera con pantalla de hormigón apoyada en la presa actual, similar a la finalmente proyectada. Se desaconsejaba la presa de hormigón en base a la mala calidad del macizo rocoso en la margen derecha y a la dificultad de conseguir la transmisión de esfuerzos entre la vieja y nueva estructura de hormigón. Finalmente, a principios de los 80 se acometió el proyecto de construcción del recrecimiento de Yesa, al haberse desestimado por motivos técnicos y socioeconómicos la construcción de las presas de Lumbier y Berdún.

Desde entonces, también se ha estudiado y terminado recientemente su construcción, la presa de Itoiz, que permite la regulación del río Irati, dando así paso al comienzo del recrecimiento de Yesa, para lograr la regulación adecuada de todo este sistema hidráulico, cuyas aportaciones naturales medias sobrepasan los 2.500 Hm³ anuales.

4. La nueva presa de Yesa

En Octubre de 1983 se redactó el proyecto de construcción del recrecimiento de Yesa, con J. Barry

Cooke como asesor de su concepción y detalles constructivos. El proyecto contemplaba la ejecución de una presa de escollera con pantalla de hormigón apoyada sobre el paramento de aguas abajo de la presa actual a los 2/3 de altura, esquema semejante al de la presa de New Exchequer. El recrecimiento proyectado incrementaba en un 50% la altura de la presa actual hasta 116,7 m, duplicaba la superficie de embalse a 4.804 Ha y triplicaba el volumen total de embalse hasta 1.525 Hm³, aunque inundando el pueblo de Sigüés, de 150 habitantes. Un modificado del proyecto en 1991 adaptó su contenido a la normativa existente en ese momento.

Las obras del recrecimiento de la presa de Yesa fueron adjudicadas en diciembre de 2000 con un proyecto semejante al redactado en 1983, pero que presentaba dos importantes modificaciones con respecto a la solución inicial:

- Cuerpo de presa a base de gravas procedentes del interior del vaso del futuro embalse en vez de escollera, reduciendo el impacto ambiental de la obra y utilizando un material entre 4 a 5 veces menos deformable que la escollera, y
- Nuevo diseño del desagüe de fondo y de la toma, con objeto de reducir el embalse muerto, disponiendo además de un desagüe intermedio de gran capacidad (700 m³/s).

Al proyecto de 1983 se incorporaron además en el año 2000, una serie de importantes medidas para la corrección del impacto ambiental, tales como un embalse de cola para la protección de la fauna, diversas medidas de revegetación y restauración paisajística, y especialmente actuaciones para la conservación del importante patrimonio histórico artístico existente en el entorno del embalse (investigación de los yacimientos arqueológicos, conservación del "Camino de Santiago" y de las ermitas asociadas a él y de los principales edificios del pueblo de Sigüés, que resultaría inundado por el futuro embalse recrecido). Además, se contempla la ejecución de un "Plan de Restitución Territorial del entorno del embalse de Yesa" para potenciar la zona directamente afectada, donde se encuentran ubicados nueve pequeños pueblos, entre los que destaca Sigüés, cuyo núcleo urbano era el único que resultaría inundado, habiendo estado previsto su traslado a una zona muy próxima.



Fig. 4. Simulación de la nueva presa proyectada.

Las obras comenzaron en 2001, aunque realmente las excavaciones para la cimentación de la presa empezaron en septiembre del 2003, después de finalizar el desvío de la carretera CN-240 que une las ciudades de Pamplona y Huesca, y que antes pasaba junto al estribo derecho de la actual presa. Desde entonces, también se han mejorado diversos aspectos técnicos del diseño de la nueva presa, principalmente, los relacionados con el plinto y la pantalla. El principal objetivo ha sido diseñar y construir una presa moderna, acorde con el estado actual de la técnica de presas de escollera con pantalla de hormigón. Para ello, se ha contado con el asesoramiento de Alberto Marulanda, experto de reconocido prestigio mundial en esta tipología.

Durante este tiempo se ha solucionado también, por acuerdo de todos los actores políticos y sociales involucrados, el conflicto existente por la inundación de la población de Sigüés, bajando en casi 10 m la altura de la nueva presa, para salvar así el núcleo urbano, a costa de perder algo de la regulación inicialmente prevista. En la tabla siguiente se dan algunas cifras significativas del proyecto actualmente en construcción en el año 2006, comparándolas con la presa existente y con el proyecto inicialmente contratado.

Tabla 1. Comparación de las principales características de las presas consideradas

	Presa existente (año 1959)	Proyecto contratado (año 2000)	Proyecto modificado (año 2006)
Cota coronación	490,0	528,7	520,0
Altura de presa (m)	76,5	116,7	108,0
Nivel normal de embalse (m)	488,6	521,0	511,0
Volumen embalse (Hm ³)	447	1.525	1.079
Volumen útil (Hm ³)	411	1.392	1.043
Volumen regulado (Hm ³)	965	1.260	1.215
Tipo aliviadero	4 compuertas de sector	3 morning glory	2 compuertas de sector y labio fijo
Avenida de diseño (m ³ /s)	3.000	3.848	3.354
Caudal aliviadero (m ³ /s)	3.060	2.067	2.268
Desagüe intermedio (m ³ /s)	NO	699	NO
Desagüe fondo (m ³ /s)	167	132	134

Aunque esta modificación no afecta a la sección-tipo prevista para el recrecimiento, si ha supuesto importantes modificaciones de los órganos de desagüe, pasando a un aliviadero mixto con compuertas para disminuir lo menos posible el embalse útil y eliminando el desagüe intermedio previsto inicialmente, al tener que utilizar los cuatro túneles existentes para el aliviadero.

5. Geología de la cerrada

Las margas grises del Eoceno constituyen el macizo rocoso de la totalidad del embalse de Yesa. La potencia de las margas en los alrededores de Yesa es inferior a 100 m.

La cerrada de la presa tiene forma de U abierta, con una zona de cauce llana y de unos 60 m de anchura y laderas con una pendiente del orden de 35°, bastante uniforme. La cerrada se formó por una singularidad geológica dentro de las margas, el denominado flysch de Yesa, conjunto de sedimentos que se intercalan en la parte alta de las margas grises y que se caracterizan por la presencia de una alternancia de capas de areniscas, margas y arcillas. La disposición de capas areniscosas de la facies flysch no es regular, sino que se agrupan en tramos de 5 a 10 m. donde predominan las areniscas, separados por tramos de margas masivas. Las margas presentan espesores entre varios metros y el medio centenar.

Además de los rellenos artificiales originados por la construcción de la presa existente, existe un espesor muy importante de suelos coluviales en la margen de-

recha y en menor grado en la izquierda, constituidos por gravas arcillosas con abundantes bloques de arenisca de gran tamaño. En la margen derecha, los suelos recubren la ladera entre la cota 490 y el fondo del valle, fosilizando un antiguo meandro del río, con gravas rodadas pertenecientes a una antigua terraza, a la cota 430. En la margen izquierda, los suelos coluviales aparecen a partir del Canal de Bardenas hasta el lecho del río, en espesores máximos de 15 m.

Bajo estos suelos aparece el macizo rocoso, formado en la mitad inferior de la ladera derecha por las margas grises y en el resto, por la alternancia de areniscas y margas que constituye el flysch de Yesa. La estructura del macizo rocoso es paralela del río y viene condicionada por la existencia de un suave pliegue sinclinal en la margen derecha. En esta margen los estratos buzan hacia el interior del terreno con inclinaciones del orden de 20°, mientras que en la ladera izquierda lo hacen hacia el río con inclinaciones del orden de los 35°, es decir paralelos a la superficie del terreno.

Las areniscas son una roca dura, con resistencia a compresión superior a los 800 kg/cm²; la resistencia de las margas sanas oscila entre 100 y 125 kg/cm².

El macizo rocoso se presenta alterado de forma muy distinta en la cerrada, en razón a la naturaleza y estructura del mismo. En la zona del cauce, bajo las terrazas y en la zona de margas masivas, el espesor de alteración es menor que 1,0 m. En el resto de la ladera derecha, existe una primera zona de 15 a 20 m. de espesor en que las margas se presentan muy alteradas; a mayor profundidad la alteración va disminuyendo gradualmente, aunque sin llegar a estar

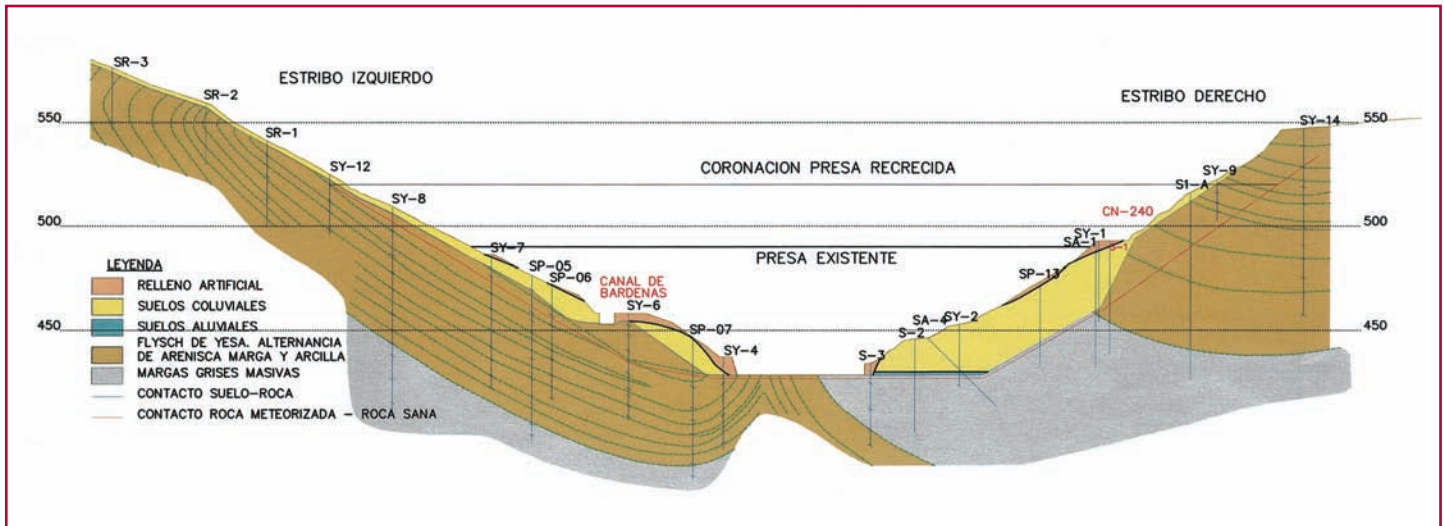


Fig. 5. Perfil geológico por el eje de la nueva presa.



Fig. 6. Desmante antiguo y nuevas excavaciones en el estribo derecho.

completamente sanas. En la ladera izquierda, el espesor de alteración oscila entre 10 m en la parte alta y 15 en la zona baja, pasando a una roca totalmente sana.

Aguas arriba de la cerrada, y muy próximos a la presa actual, existen dos deslizamientos, uno en cada margen. El deslizamiento de la margen izquierda, en la Refaya, es un deslizamiento fósil, que afectó al macizo rocoso y que se encuentra estabilizado. El volumen de la masa caída se estima en unos 6.000.000 m³. Dada la estructura de la ladera, lo más probable es que la rotura se produjera a favor de los planos de estratificación.

El deslizamiento de la margen derecha, por toda la información existente, fue un deslizamiento en los suelos coluviales que recubren la ladera, provocado por el primer llenado del embalse existente. Las primeras deformaciones que provocaron grietas en la masa de suelos por encima de la carretera (que ocupaba en planta una situación 40 metros más próxima al embalse) sucedieron en el año 1959. Siguiendo las recomendaciones del informe elaborado por Jiménez Salas en el año 1961, se procedió a desmontar la parte alta del deslizamiento, variando la situación de la carretera a su estado actual. Tras la excavación de la zona alta, la masa deslizada se estabilizó y desde el año 1963 hasta el presente no ha habido nuevos corrimientos de los restos del deslizamiento, ni del talud de 60 m de altura excavado en el macizo rocoso para la cimentación de la presa existente en esta margen derecha hace más de 70 años, ni en las excavaciones realizadas para la presa en construcción, a excepción de pequeñas inestabilidades locales.

En el estribo derecho, el análisis de las oscilaciones del embalse actual y los niveles piezométricos en los sondeos, permite deducir que existe una pequeña filtración a través del macizo rocoso en la parte alta de la ladera. Estas filtraciones no se observan en superficie, suponiéndose que se canalizan hacia aguas abajo y hacia el interior de la ladera, siguiendo el sinclinal, por el contacto con el paquete inferior impermeable de margas masivas.

6. Alternativas para el recrecimiento

Con el fin de llegar a la ubicación óptima de la cerrada y a la tipología de presa más adecuada, se

compararon entre sí tres posibles situaciones de la nueva presa y varios posibles tipos de presa, que cubren todas las posibilidades razonables. Para todas las soluciones, se exigía como condición indispensable que:

- Se mantuviese o mejorase, tanto durante la construcción como en la explotación, el coeficiente de seguridad de la presa actual que, dada su cimentación sobre margas, se considera estricto.
- La necesidad de mantener la explotación normal del embalse durante la construcción del recrecimiento.

Se considero una cerrada situada aguas abajo de todas las obras actuales, de tal modo que la nueva presa fuese totalmente independiente de la antigua, otra entre la presa actual y la desembocadura del aliviadero, sin apoyarse en la presa actual, pero pudiendo aprovechar parte de los aliviaderos y una tercera apoyada sobre la presa existente.

Respecto a los tipos de presa considerados, fueron también tres: presa de gravedad similar a la actual, con aliviadero sobre el cuerpo de presa, presa de escollera con pantalla impermeable aguas arriba y presa de escollera con núcleo impermeable. Estas últimas, tanto con nuevos aliviaderos laterales como aprovechando los túneles existentes.

Planteadas las soluciones anteriores y realizado un completo análisis multicriterio, se llegó a las siguientes conclusiones:

- 1) Todas las cerradas tiene características geológicas similares. El substrato rocoso está constituido por rocas blandas (margas eocenas con intercalaciones de areniscas), con importantes recubrimientos de suelos coluviales y roca meteorizada en los estribos, de hasta 30 m de espesor.
- 2) Las presas apoyadas contra la presa actual, permiten hacer uso del cierre hidráulico de la presa existente, cuyo comportamiento ha sido bueno en el pasado.
- 3) De acuerdo con la experiencia existente (Avon, New Exchequer, Outardes 2) se ha previsto el apoyo, tanto de la presa de pantalla como de núcleo, en el paramento de aguas abajo de la actual, a una altura de los 2/3 del total de ésta.
- 4) Las margas que constituyen la cimentación, tienen una resistencia a compresión simple de 100

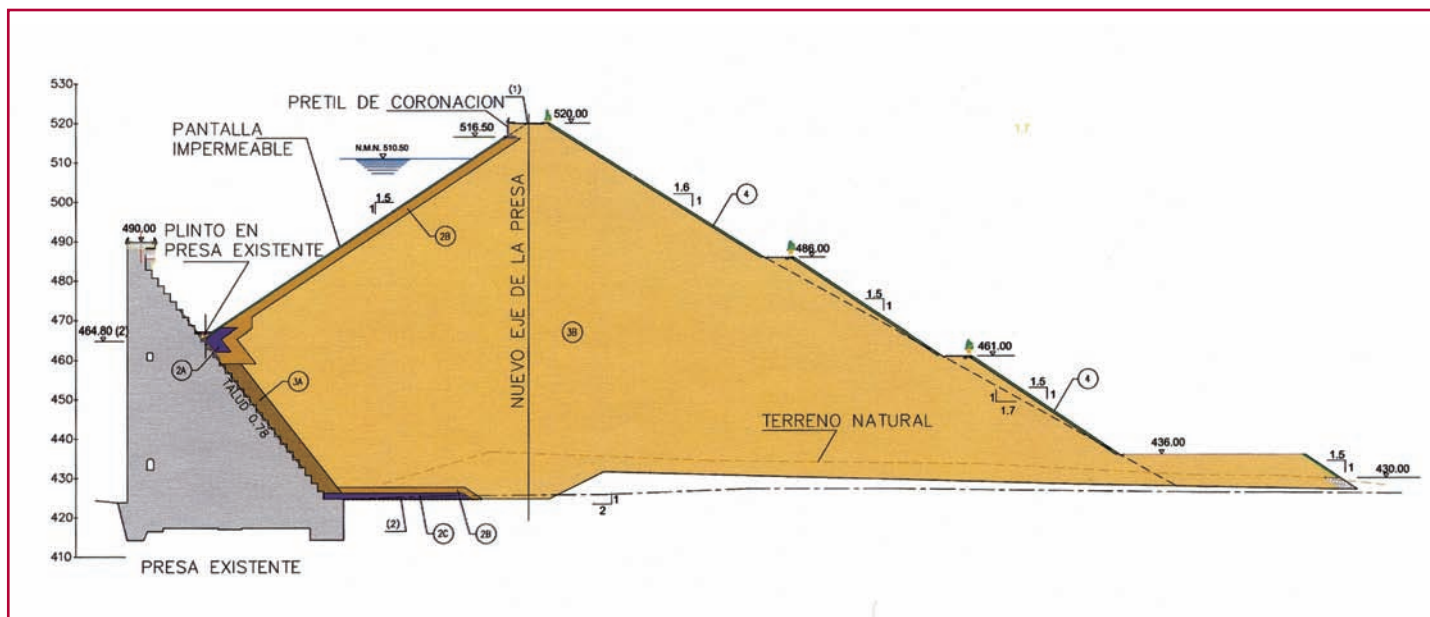


Fig. 7. Sección tipo de la nueva presa de Yesa.

kg/cm² y un modulo de elasticidad de 15.000 kg/cm², no conociéndose muchos precedentes de presas de fabrica de 120 m de altura sobre materiales similares (bloques centrales de la presa de El Grado).

- 5) Las excavaciones que sería necesario realizar junto a la presa actual para recrecerla con hormigón, que podrían comprometer su estabilidad si no se realizan a embalse vacío, hacen técnicamente inviable esta posibilidad, al tener que mantener la explotación normal durante las obras.
- 6) Las presas de materiales sueltos resultaban más económicas que las de hormigón y cualquier solución con materiales sueltos en la cerrada actual es económicamente mejor que aguas abajo, ya que no aprovechan los aliviaderos existentes.

Como consecuencia de ponderar todos estos estudios, se llegó a la conclusión de que la solución óptima era una presa de materiales sueltos apoyada contra la presa actual, con aliviaderos de labio fijo tipo "morning glory" y nuevos pozos verticales hasta conectar con los túneles existentes.

Las características de la cimentación de la presa de gravedad fue determinante durante la elección de la tipología para recrecerla, descartando por esta razón el recrecimiento mediante hormigón y diseñando finalmente una presa de escollera con pantalla impermeable aguas arriba, apoyada sobre la presa existente, a 2/3 de su altura.

7. Descripción del proyecto en construcción

a) Sección-tipo

La nueva presa proyectada consiste en un cuerpo de gravas con pantalla de hormigón armado situada sobre el paramento de aguas arriba. 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.

Tabla 2. Características exigidas a los materiales del cuerpo de presa

Zona	Granulometría Requerida	Compacion		Volumen (m ³)
		Espesor de tongada (cm)	Pasadas del rodillo	
2C	D _{máx} = 2,5 cm	50	4	23.115
2B	D _{máx} = 7,5 cm	50	4	110.159
2A	D _{máx} = 3,75 cm	50	6	5.818
3A	D _{máx} = 30 cm	50	6	27.212
3B	D _{máx} = 50 cm	50	4	3.186.272
	% Grava → 70% - 80%			
	% Arena → 10 - 25%			
	% < #200 → 2 - 8%			

El cuerpo de presa está constituido por gravas consolidadas, 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. Las seis zonas contempladas en el proyecto son las que se recogen en la Figura 7, encontrándose en la Tabla 2 una descripción de los requisitos de granulometría y compactación exigidas a cada una de ellas.

b) Pantalla de hormigón

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.

c) Plinto

La pantalla se apoyará en su zona central en el paramento de la presa existente, a lo largo de 285 m (los 19 bloques centrales de la presa actual, de 15 m de anchura cada uno de ellos), sobre uno de los escalones que configuran su paramento de aguas abajo, a la cota 465,80 m.

Fuera de la presa actual, la pantalla se apoyará sobre un plinto convencional anclado a la roca. Su parte externa tendrá 4,50 m de anchura en dirección normal a su eje. La anchura total dependerá tanto del tipo de terreno como de la carga de agua en cada punto adaptándose al gradiente hidráulico que define la calidad de la cimentación en cada zona. Se ha estimado, en principio, una anchura equivalente a una cuarta parte de la carga de agua en cada punto.

d) Junta perimetral y de pantalla

Por la configuración de esta presa, es importante construir una junta perimetral que asimile grandes movimientos en ambas direcciones. Para el de apertura, el sello de cobre debe ser suficiente. Para el caso de corte, parte del éxito radica en disponer una línea de defensa suplementaria en la parte exterior de la junta perimetral.

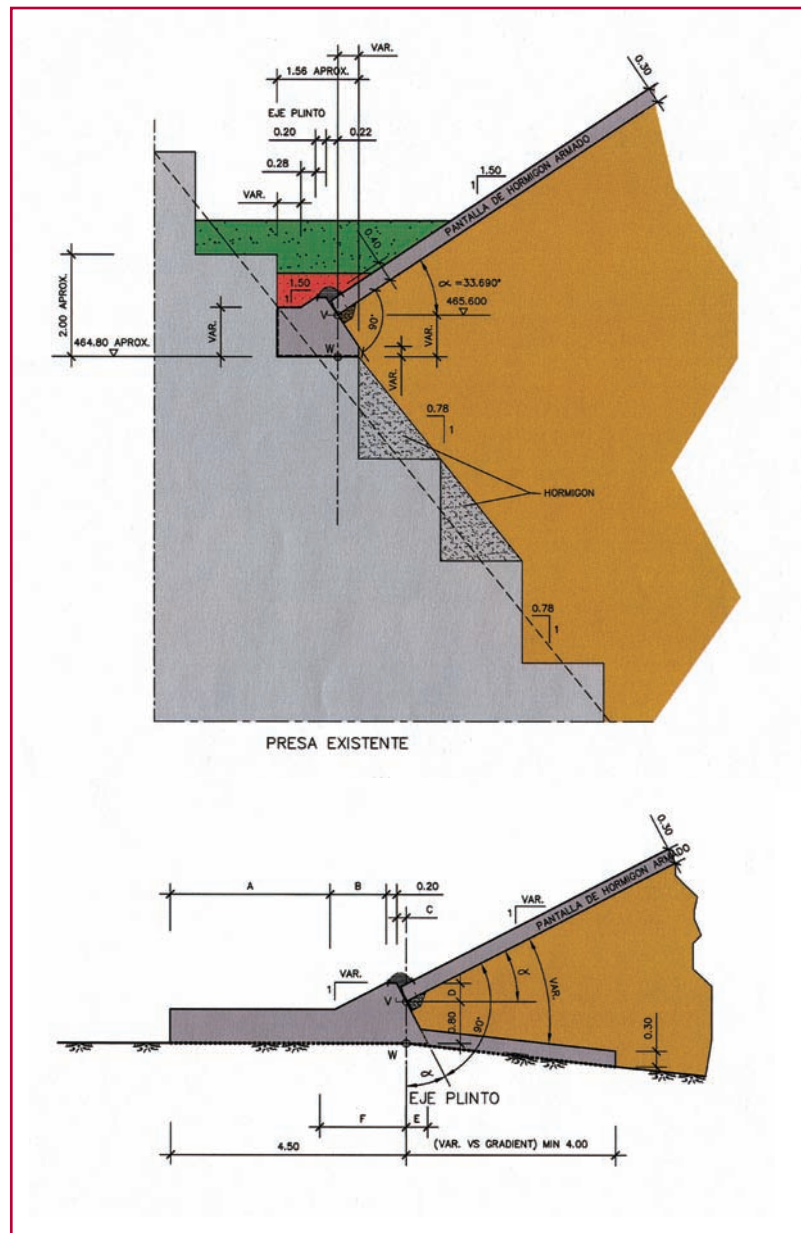


Fig. 8. Detalles del plinto sobre la presa de gravedad y sobre la roca.

Al introducir una zona de arena detrás de la junta perimetral, en varias presas se ha adoptado el uso de un material altamente erosionable encima de la junta, que en caso de rotura del sello, es arrastrado hasta la arena y allí la colmata creando un tapón que resiste gradientes de más de 1.000 como ha sido probado en el laboratorio. Este detalle es el único seguro para una junta donde se puede esperar que los sellos puedan ser cortados por asentamientos exagerados y se adapta a grandes deformaciones. Este diseño se ha usado en Aguamilpa y más recientemente en Antamina.

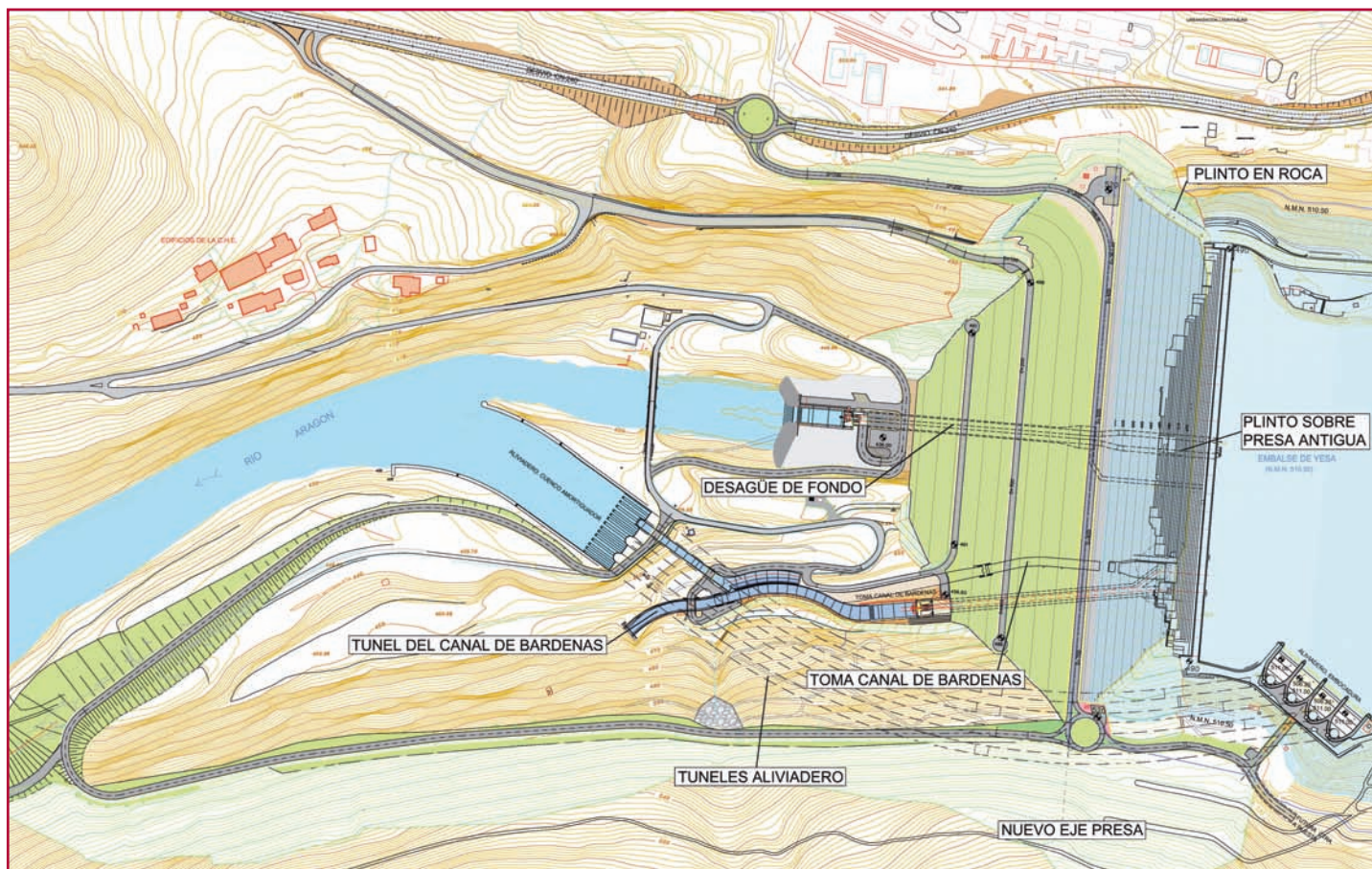


Fig. 9. Planta general de las obras.

La junta perimetral pantalla-plinto, en la zona de apoyo sobre la presa actual constará de:

- *junta de cobre*: en W de 1,5 mm de espesor y 75 cm de anchura
- *material erosionable* inerte en el interior de una lamina de neopreno, y
- *material erosionable* inerte colocado en el espacio dejado entre las dos presas, de 65 cm de espesor, y cubierto de un metro de material limo-arcilloso.

En la junta perimetral de la pantalla fuera de la zona de apoyo sobre la presa existente, se mantiene la junta de cobre, y el material erosionable inerte en el interior de una lamina de neopreno.

Las juntas de tracción de la pantalla dispondrán de junta de cobre y material erosionable inerte, mientras que las de compresión constarán únicamente de junta de cobre y se hacen coincidir con las juntas de los bloques de la presa actual, resultando losas de 15 m de anchura.

Las juntas entre bloques de la presa existente se sellarán en su paramento de aguas abajo, en la parte

que queda por encima de la pantalla, con lamina tipo Carpi, que se unirá con las juntas actuales de aguas arriba a través de la demolición de la zona superior del prisma de interconexión entre bloques y la perforación de un taladro que se rellenará con mástic asfáltico.

e) Coronación

La coronación de la presa, situada a cota 520 tiene 10,55 m de anchura y está soportada por un pretil de 3,5 m de altura. La reducida altura del pretil, es consecuencia de la necesidad de cumplir con la normativa de Seguridad de Presas vigente en España (Instrucción de Grandes Presas y Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses), respecto a la anchura efectiva de coronación, mas conservadora que la practica mundial.

f) Instrumentación

Se ha previsto instalar un sistema de instrumentación y auscultación para examinar el comportamien-

to de la nueva presa, complementar el existente en la presa actual, y controlar la interacción entre ambas presas. Concretamente para el control de las deformaciones y tensiones de la pantalla y la apertura-cierre de sus diferentes juntas, se ha previsto instalar, respectivamente:

- inclinómetros para examinar las flexiones
- extensómetros de cuerda vibrante para medir las deformaciones unitarias de la pantalla, y
- defómetros en la junta perimetral y en las juntas verticales.

g) Aliviadero, desagües y tomas

La cuenca dominada por la presa de Yesa tiene una superficie de 2.170 Km², con una aportación media de 1.322 Hm³/año, registrándose durante la explotación del actual embalse una aportación mínima de 596 Hm³/año en el año 1988/89 y una aportación máxima de 2.137 Hm³/año en el año 1965/66. La avenida de diseño de la presa es de 3.354 m³/s (TR = 1.000 años) y la avenida extrema es de 4.833 m³/s (TR = 10.000 años).

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.

Ya que la presa de Yesa se encuentra situada sobre el río Aragón, cerca de su confluencia con el río Irati, teniendo ambos ríos cuencas muy semejantes, y que el aliviadero de la presa de Itoiz tiene labio fijo, se ha optado por disponer un aliviadero mixto con compuertas y labio fijo en el embalse de Yesa recrecido, para así poder actuar sobre las puntas de las avenidas, reduciéndose las afecciones aguas abajo. Además, las compuertas del aliviadero servirán para maximizar el volumen de embalse sin afectar a la población de Sigüés que, como se ha comentado anteriormente, ha condicionado la nueva cota del recrecimiento.

Para las nuevas compuertas en dos de los cuatro aliviaderos, se ha decidido mantener el diseño de las actuales, que han funcionado correctamente durante el casi medio siglo de explotación del embalse. 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. Esta disposición supone que la situación más desfavorable para la coronación de la presa se produce cuando la compuerta está fija a cota 511,00 y es en esa



Fig. 10. Cimentación del plinto sobre roca alterada en el estribo derecho.

posición en la que se ha realizado el cálculo de los resguardos para la presa de Yesa recrecida, ya que al ser de materiales sueltos no se ha contemplado el efecto de las compuertas. Las nuevas compuertas tienen igual longitud que las actuales (20 m) y menor altura (4,75 m). El número y dimensiones de las compuertas del aliviadero se han diseñado para que una maniobra incorrecta no produzca daños aguas abajo, cumpliendo con la vigente legislación española.

La toma de la presa se realiza a través de dos tuberías metálicas, alojadas dentro de una galería visitable, que atraviesa el cuerpo de presa, conectando con el canal de Bardenas, al que está abasteciendo la actual presa desde el año 1959. La toma de Bardenas atraviesa la presa actual utilizando los conductos existentes, disponiéndose su cámara de válvulas excavada dentro del hormigón de la actual presa, para evitar la formación de una irregularidad en las proximidades de la pantalla de hormigón. El umbral de la toma se sitúa a cota 453,30 dejando un embalse no utilizable de 36 Hm³, igual que la toma actual, y su capacidad máxima es de 141 m³/s.

Como desagüe de fondo, se aprovechan las dos tuberías forzadas existentes dentro de la presa actual para una central de pie de presa que no llegó a construirse nunca. El umbral se encuentra a la cota 448,40, quedando un volumen muerto por debajo de ella de solo 18 Hm³. La capacidad máxima del desagüe de fondo es de 134 m³/s.

h) Tratamiento de la cimentación

Dado que una de las condiciones básicas del recrecimiento es que nunca disminuya la seguridad de

la presa de gravedad, la cimentación, tanto del cuerpo de presa como del plinto, se estudiaron cuidadosamente para mantener la seguridad de la presa existente.

El cuerpo de presa se ha previsto cimentarlo a nivel de roca sana en la mayor parte de la presa, eliminando los suelos y la roca meteorizada; solo en la zona alta de la margen derecha, donde la profundidad de alteración es considerable, se ha previsto apoyar los espaldones de la presa en la parte alterada. Debido al espesor importante de suelos y roca alterada en la cerrada, la cimentación de la nueva presa implica la excavación en un volumen de 1.400.000 m³.

En la margen izquierda, el plinto se apoya siempre sobre roca sana, donde tanto los paquetes de arenisca como de margas se presentan sanos. En la margen derecha esta condición no es posible, ya que las margas se presentan alteradas en toda la profundidad. Por esta razón la anchura del plinto se adapta al gradiente permitido en cada zona, que además se completa con filtros aguas abajo.

El tratamiento previsto para impermeabilizar la cimentación es muy importante en las dos márgenes pero sobre todo en la derecha. Se prevé una pantalla de inyecciones de 6 filas de las que tres centrales se llevan hasta profundidades máximas de 100 m para formar una barrera impermeable contra el nivel de margas grises inferiores, y las tres externas sirven básicamente para lavar e inyectar las zonas erosionables del macizo rocoso bajo el plinto en los primeros 10 m. Se ha previsto también completar los sistemas actuales de la presa de gravedad, inyectando desde la galería existente en una profundidad media de 15 m y posteriormente construyendo una pantalla de drenaje hasta una profundidad de 20 m.

8. Estabilidad del conjunto presa antigua-presa nueva

En este apartado se revisan las condiciones de estabilidad de la presa de gravedad contra la cual se apoyará la nueva presa de pantalla de hormigón, en razón de las nuevas cargas que impondrá el embalse más alto y el empuje de la presa de pantalla de hormigón hacia aguas arriba, y en particular sobre la posibilidad de deslizamiento a lo largo de la cimentación.

La cota de unión entre ambas estructuras se debe elegir la más alta posible, para lograr la máxima con-

tribución del relleno a la estabilidad de la antigua presa ante las nuevas cargas, para minimizar el volumen de relleno y la superficie de la pantalla de hormigón. La única limitación es la estabilidad y estado tensional de la presa antigua y su cimentación a embalse vacío, a pesar de que una posición inferior del plinto no solo debe disminuir las formaciones de la junta perimetral sino que la estabilidad de la presa actual no se ve comprometida.

Para determinar un valor mínimo representativo de la resistencia al corte a lo largo de la superficie de cimentación de la presa de gravedad, se hizo un back-análisis de su estabilidad suponiendo un valor mínimo del factor de seguridad contra el deslizamiento. Nunca se han dado condiciones de rotura inminente o de evidencias de que se habían producido deformaciones inusuales, por tanto, las condiciones representativas de fricción no pueden ser inferiores a aquellas relacionadas con un factor de seguridad por encima de la unidad. Si además se tiene en cuenta, que en condiciones de fricción, un factor de seguridad de 1 debe estar asociado con algún movimiento, pues el método supone una resistencia uniforme a lo largo de la cimentación, se ha considerado que la estabilidad de esta presa durante tantos años no puede estar asociada a un factor de seguridad inferior a 1.2 para las condiciones normales de explotación. Se desprende de este análisis, que el valor representativo de la fricción en la superficie de cimentación debe ser al menos de 41° (suponiendo reducción de la subpresión, a pesar de que en algún tiempo no tuvo reducción alguna).

Para este tipo de análisis el aspecto fundamental es cual es el empuje que produce el relleno sobre la presa de gravedad, para ello, se ha recurrido a la extensa teoría existente acerca de los empujes sobre muros de contención. Lo primero, es entender la condición en que se produciría el empuje, que se traduce en una presión igual a $\sigma_h = k \cdot \sigma_v$. No se puede considerar una condición de empuje activo, dado que para llegar a esta situación se deberían permitir movimientos, que son inaceptables para la presa de gravedad. Por lo tanto se trata de estimar la presión en reposo que existe en el relleno.

Para el cálculo se supuso que el relleno sobre el talud de aguas abajo de la presa de hormigón, está unido a ella y que por lo tanto la presión de reposo existiría sobre una línea vertical imaginaria que coincidiera con el límite de aguas abajo de la presa de hormigón.

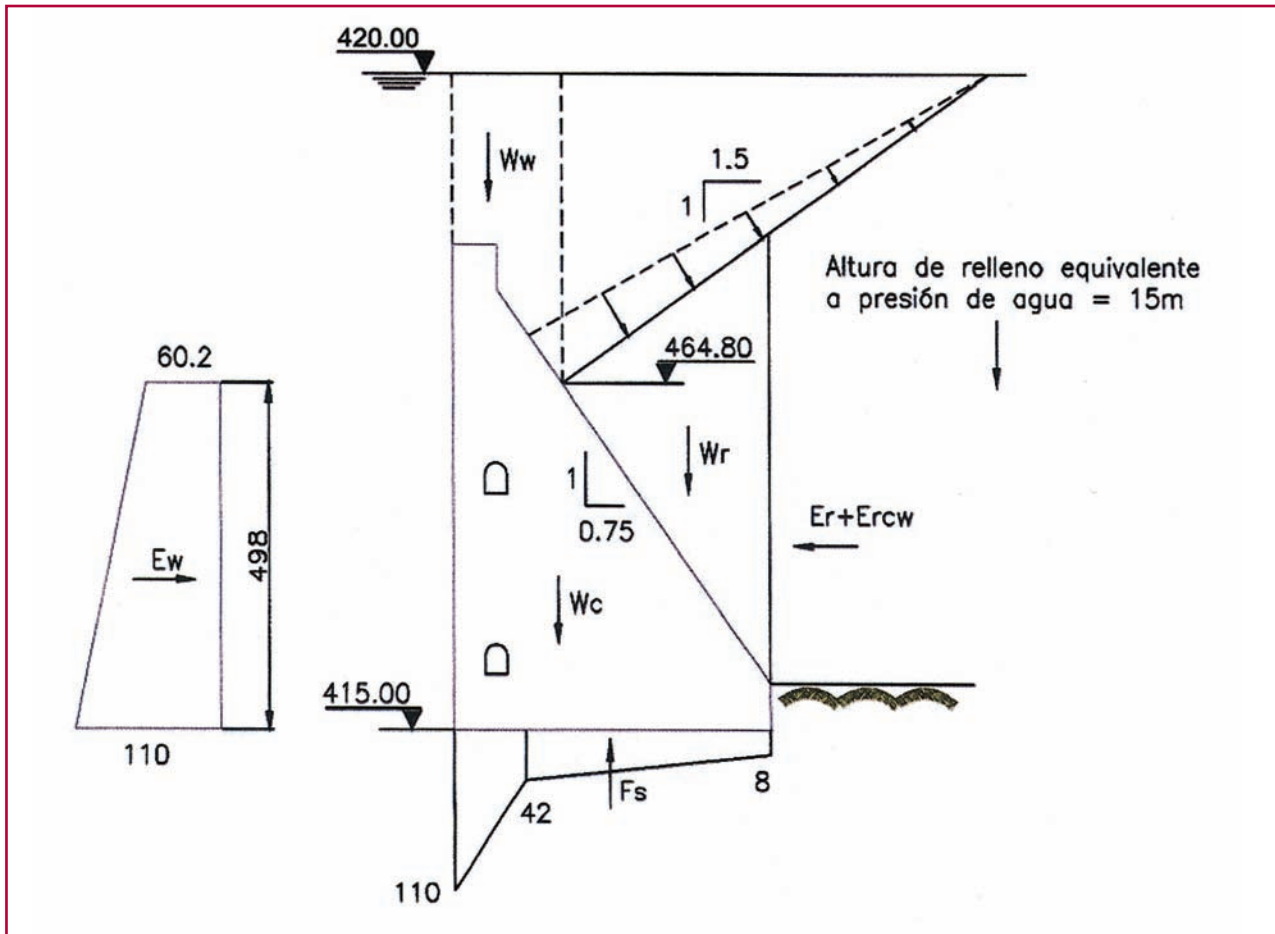


Fig. 11. Esquema de acciones para el cálculo de estabilidad de la presa de gravedad.

Esta presión de reposo debe además incrementarse debido a que el terreno (presa de escollera) incrementa su altura hacia aguas abajo. Para estimar esta presión se ha utilizado la recomendación de Terzaghi and Peck, empírica, pero basada en muchos casos medidos. De acuerdo con este criterio el valor máximo de K_0 para un relleno de las características de las gravas previstas como relleno es de 0.72, teniendo en cuenta un terreno ascendente. El valor de K para la presión activa (demasiado bajo) es de 0.26 para un material con un ángulo de fricción interna de 42 grados. Por ello el análisis se hizo variando el valor de K entre los valores extremos citados.

Para posiciones del plinto a la mitad y a dos tercios de la altura, los valores de los factores de seguridad en los casos extremos considerados son muy superiores a los exigidos (5.50 y 2.26 sin sismo y 2.94 y 1.52 con sismo). Evidentemente en el caso del plinto alto son más bajos, pero más que suficientes. Si se considera que en un desembalse rápido no se disipa la subpresión, los coeficientes obtenidos son de 2.76 y 1.34.

Existen casos en la literatura técnica, como la presa de El Siberio en España, o la presa de Shiroro en Nigeria, donde se presentaron agrietamientos importantes y roturas de la junta perimetral y la losa, debido a que el plinto no era estable por si solo ante el empuje del agua (en determinadas secciones el plinto se convirtió en una pequeña presa de gravedad). En su diseño se partió de que la presión pasiva del relleno contribuiría a la estabilidad del plinto. Sin embargo para que esta presión pasiva se desarrolle, se requiere de movimientos importantes de la estructura del plinto. Ello generó cargas sobre la losa para las cuales no estaba diseñada y se agrietó, produciéndose filtraciones importantes.

Por todo lo anterior, el boletín 70 de ICOLD recomienda que el plinto debe ser estable por si solo, sin tener en cuenta la contribución del relleno. La reciente presa de Mohale, en Sudáfrica, de 145 m de altura, se alejó de esta recomendación pero considerando únicamente la presión de reposo como contribución del relleno (no requiere de movimientos para existir).

Tabla 3. Coeficientes de seguridad al deslizamiento de la presa de gravedad a embalse lleno

Situación del plinto			
1/2 H (cota 450)		2/3 H (cota 464,8)	
Sin Sismo	Con Sismo	Sin Sismo	Con Sismo
1.65	1.09	1.64	1.12
1.81	1.16	1.96	1.26
2.24	1.32	3.25	1.69
2.95	1.54	9.47	2.57

Esta fue también la hipótesis de cálculo de la presa de New Exchequer, de Outardes 2 y del refuerzo de la presa de Avon.

En el caso de la presa de Yesa, donde los factores de seguridad para la presa existente no son altos y que el recrecimiento generara una condición nueva para la presa de gravedad, se ha hecho igualmente un análisis de sensibilidad de su estabilidad hacia aguas abajo, para las dos posiciones del plinto, variando el valor de K.

Los análisis demuestran que esta es una condición más crítica que la de los empujes hacia aguas arriba (los factores de seguridad son apreciablemente menores). Además es evidente que una posición más baja del plinto tiene como consecuencia factores de seguridad menores. Esto indica que reducir demasiado la posición del plinto, como en algún momento se ha sugerido, puede ser altamente perjudicial.

Por supuesto que también se han llevado a cabo detalladísimos estudios por elementos finitos, simulando el comportamiento de la presa de hormigón, de la nueva presa de gravas con su pantalla, de la interacción entre ambas y de su cimentación. De ellos se ha podido obtener el estado de tensiones y deformaciones en todos los puntos de interés. Además se ha reproducido el proceso constructivo por tongadas y el llenado y vaciado del embalse mediante 153 fases, en un análisis planteado en grandes deformaciones, evolutivo y no lineal, considerando el modelo de plastificación de Drucker-Prager, todo ello para diferentes estados de carga por combinación de distintas acciones (empuje hidrostático, subpresión, sismo, etc.). Las tensiones máximas obtenidas no superaron los 25 kg/cm² en situaciones de carga normales y nunca los 30 kg/cm² para las combinaciones de acciones extremas.

De acuerdo con los análisis antes mencionados, se entiende que no existe problema de estabilidad de la presa de gravedad por razón de empujes del relleno hacia aguas arriba, y que la posición adoptada para localizar el plinto (cota 464.5) a 2/3 de la altura de la presa de gravedad existente es la más adecuada.

9. Deformaciones de la junta perimetral

La curva granulométrica de la zona del préstamo de Sigues, escogida como fuente principal del relleno

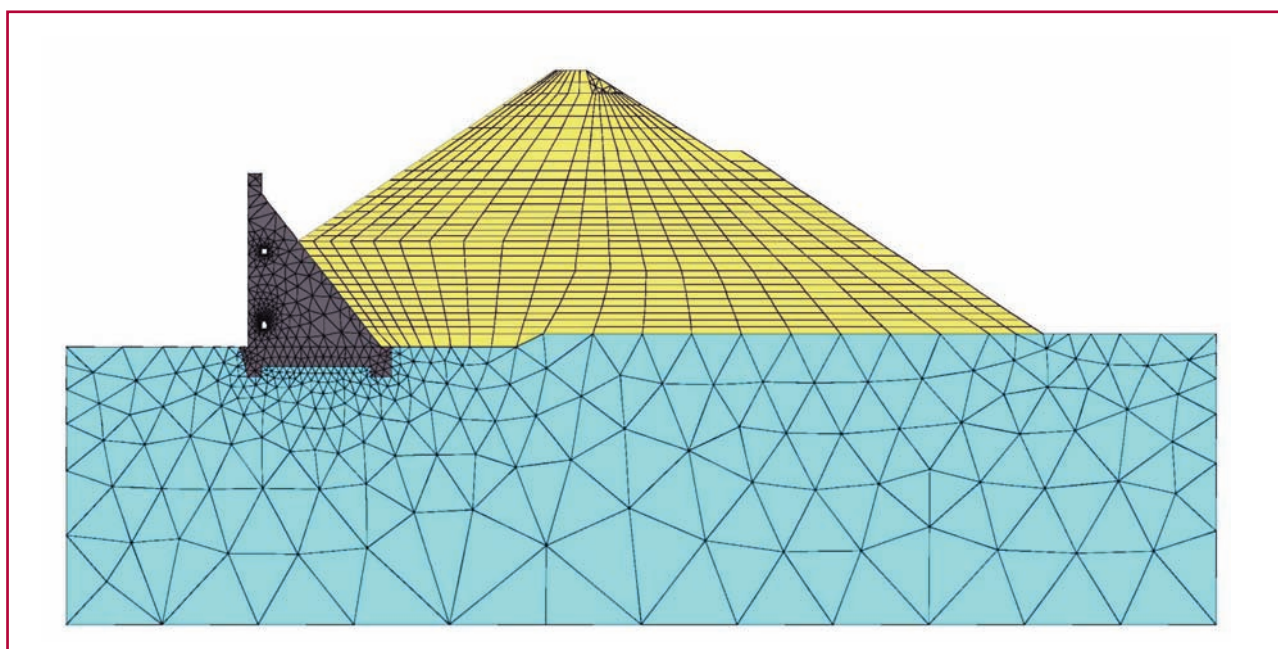


Fig. 12. Malla general de elementos finitos utilizado en los cálculos.

Tabla 4. Módulo de Deformación, Vertical, E_v , y Perpendicular a la pantalla de hormigón, E_t , en presas de relleno de gravas

Presa	País	Año de finalización	Altura (m)	E_v (Mpa)	E_t (Mpa)	E_t/E_v
Aguamilpa	Méjico	1993	187	260	680	2,6
Salvajina	Colombia	1984	148	390	630	1,6
Golillas	Colombia	1984	125	210	310	1,5
Crotty	Australia	1991	83	500	400	0,8
Pichi Picun Leufu	Argentina	1999	40	360	360	1,0
Puclaro	Chile	-	80	-	-	-
Santa Juana	Chile	1995	113	-	-	-
Sogamoso	Colombia	-	190	-	-	-

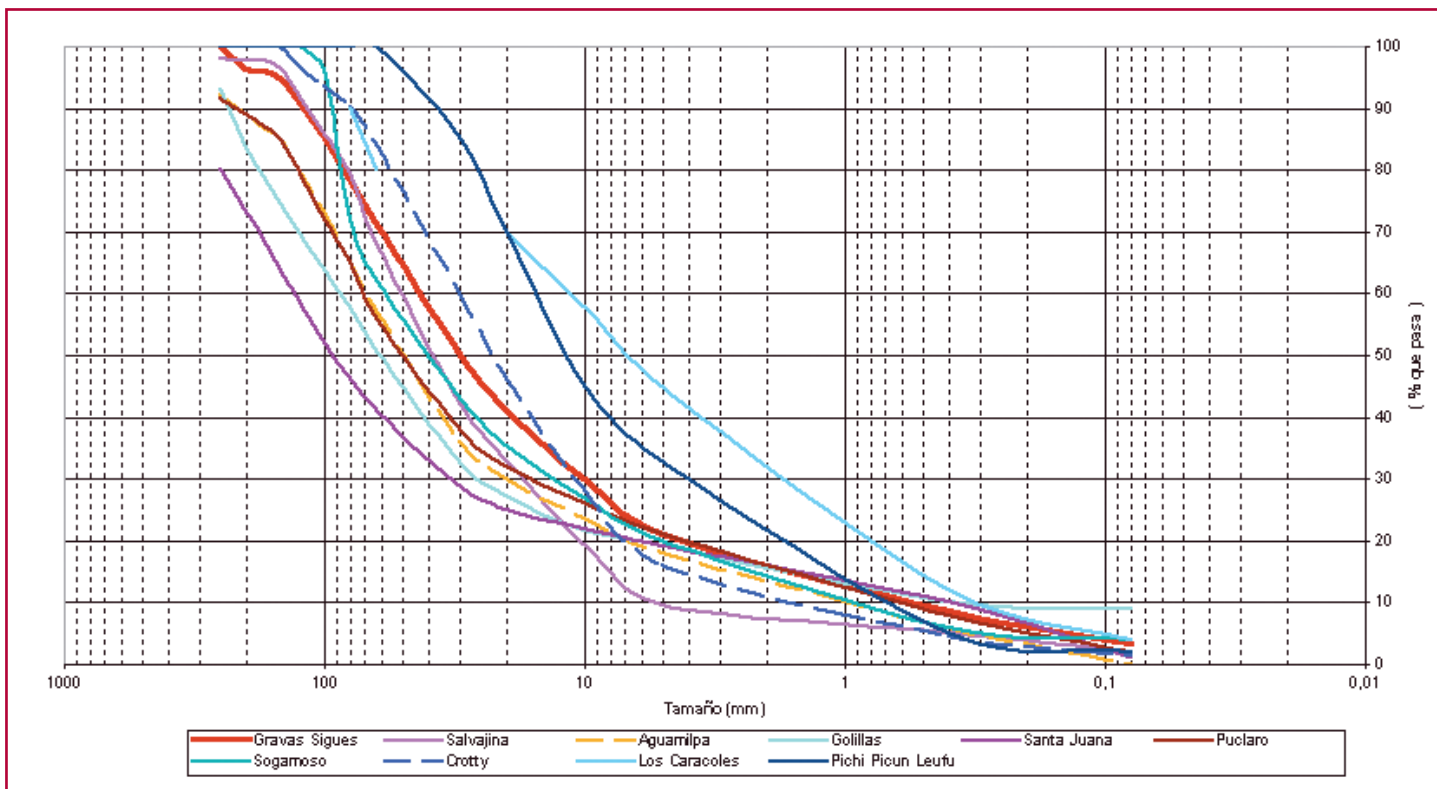
de la presa, obtenida de múltiples ensayos, confirman las excelentes características de este material. Existen un buen número de antecedentes de presas de pantalla de hormigón construidas con relleno de gravas que permiten tener una idea muy cercana de las características del relleno que se construiría con este préstamo. En la Tabla 4 se presenta la información de módulos de deformación obtenida en varias presas de relleno de gravas.

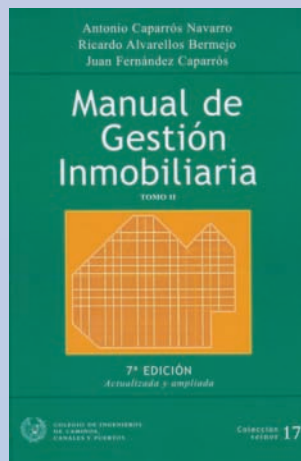
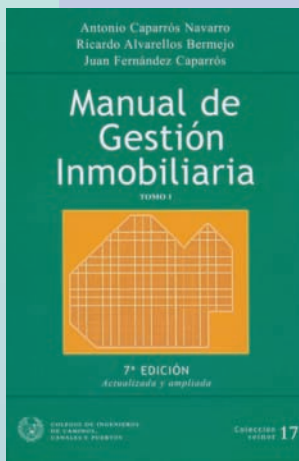
Estos módulos corresponden a aquellos que se obtienen por la instrumentación instalada en el cuerpo de las presas. Hay dos tipos de módulos, ambos calcula-

dos suponiendo comportamiento elástico. El primero E_v (módulo vertical de deformación), corresponde al que se calcula basado en los asentamientos medidos en el relleno durante construcción, usando la ecuación $E_v = \text{esfuerzo/deformación unitaria} = \text{carga de material por encima del medidor de asentamiento dividida por el cociente entre el asentamiento medido y el espesor de relleno por debajo del medidor}$. El otro E_t (módulo de deformación del relleno que soporta la cara), en MPa se calcula usando la ecuación: $E_t = 0.003H^2/D$ donde H es la altura de la presa en metros y D es el desplazamiento en metros medido aproximadamente a la mitad de la altura de la losa durante el llenado total. En la tabla se ha incluido la relación que existe entre los dos en cada presa. Todos los valores corresponden a presas construidas y en operación. Se incluyen los valores de la presa de Sogamoso, porque se dispone de los resultados de ensayos de edómetros. Es una presa que aún no ha iniciado su construcción pero es adecuada como referencia para medir la influencia que tienen los finos en el módulo representativo del material, como se discute más adelante.

Como se aprecia en estos resultados, existen dos rangos muy distintos en los valores de E_v obtenidos. Los más bajos corresponden a Golillas (210), mientras

Fig. 13. Curvas granulométricas del espaldón de gravas de varias presas.





SEI-17. MANUAL DE GESTIÓN INMOBILIARIA

(7ª edición, actualizada y ampliada). 2 tomos.

Antonio Caparrós Navarro, Ricardo Alvarellos Bermejo, Juan Fernández Caparrós. 2006.

17,5 x 25. (1.360 págs., obra completa)

Esta nueva edición aparece en un momento en el que el sector parece envuelto en una especie de aterrizaje suave, tras la controvertida "burbuja", y con algunos nubarrones a nivel macroeconómico. Pero el sector sigue "latiendo", y las grandes empresas cambian su concepción de negocio aplicando nuevos objetivos (aparte de la diversificación de productos: *resort*, campos de golf, etc.) como la salida al exterior, sobre todo a países del Este y Centroeuropa. Además, es el momento de la consolidación de las Leyes de suelo autonómicas, de las que destaca la de la Comunidad Valenciana. También desde 2006 el gobierno implica a las CCAA y al propio sector inmobiliario privado en la promoción de Viviendas de Protección Pública. Todo ello sin olvidar el objetivo de calidad en la edificación, con la publicación del esperado Código Técnico de la Edificación. Los pilares de esta séptima edición son el desarrollo de estas materias recogiendo las novedades legislativas jurídicas, fiscales y económicas que afectan al sector desde octubre de 2003, fecha de cierre de la sexta edición.



SEI-37. LA ENERGÍA DEL SOL. CIENCIA, TECNOLOGÍA, CULTURA Y MEDIO AMBIENTE.

XIII Curso de verano de Ingeniería Civil.

Varios autores. 24x17 cm. (254 págs.)

El aprovechamiento de la energía solar, tanto en sus vertientes térmica y fotovoltaica, como en forma de viento y biomasa, ha emergido en el panorama energético mundial tras siglos de abandono. Como el resto de las

fuentes de origen renovable, es una energía limpia, inagotable y desconcentrada, garantiza el abastecimiento y favorece el desarrollo rural y crea empleo en zonas desfavorecidas. En nuestro país, la factura energética sigue golpeando el frágil equilibrio de nuestra balanza de pagos. ¿Por qué no energía solar? Disponemos de excelentes condiciones meteorológicas, fisiográficas y tecnológicas para un aprovechamiento intensivo de una fuente autóctona que ha pasado casi inadvertida hasta ahora. El desafío intelectual de nuestras sociedades en pos de racionalizar la generación, transporte y uso de energía ha sido una constante universal. Las claves de esta aventura están recogidas en las páginas que siguen.

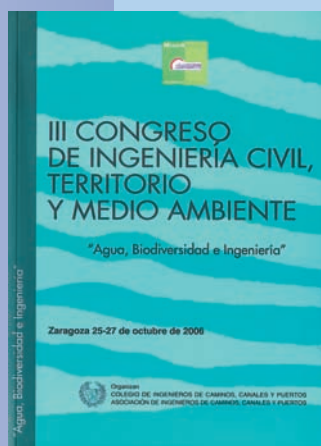
SEI-38. MANUAL DE ECOLOGÍA DEL PAISAJE. APLICADA A LA PLANIFICACIÓN URBANA Y DE INFRAESTRUCTURAS.

Ignacio Español Echániz. 2006.

24 x 17 cm. (235 páginas).



Hasta hace poco la ordenación territorial no había considerado la necesidad de hacer viable la convivencia de los procesos que mantienen la biodiversidad con los usos y aprovechamientos del ser humano. Este manual presenta los principios básicos de la ecología del paisaje como instrumentos para el diagnóstico de los sistemas territoriales desde ese punto de vista. La idea es poder ordenar el territorio considerando no sólo las funciones territoriales básicas de la sociedad humana sino también incardinando en el espacio las redes de relación ecológica que mantienen la biodiversidad en los territorios mixtos donde los valores ecológicos conviven con los culturales. Incluye la revisión de cuatro casos recientes de planificación.



EDE-15. III CONGRESO DE INGENIERÍA CIVIL, TERRITORIO Y MEDIO AMBIENTE. AGUA, BIODIVERSIDAD E INGENIERÍA (ZARAGOZA, 25-29 NOVIEMBRE 2006).

Ponencias y Comunicaciones. Libro (resúmenes) +Cd-Rom (ponencias y comunicaciones completas).

Varios autores. 2006. Comisión de Medio Ambiente del CICCPC. (278 págs.)

Las diversas ponencias y comunicaciones se presentan de acuerdo con los grupos establecidos en el Congreso: Grupo I. Medio fluvial y costero. Grupo II. Transversalidad de las redes de transporte y medio natural. Grupo III. Bordes de ciudades. Grupo IV. Respuesta de la ingeniería a las demandas de la sociedad. El libro contiene el índice general y los resúmenes, mientras que el Cd-Rom incluye todas las ponencias y comunicaciones a texto completo.

A LA VENTA EN LA LIBRERÍA DEL
COLEGIO DE INGENIEROS DE
CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
Teléfono: 91.308.19.88 (Ext. 272-298).
Fax: 91.319.95.56.
libreria@ciccp.es

DISPONIBLES EN PRÉSTAMO
EN LA BIBLIOTECA DEL COLEGIO
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS
Teléfono: 91.308.34.09.
Fax: 91.319.95.56.
biblioteca@ciccp.es

Tabla 5. Movimiento de la junta perimetral

Presa	País	Año de finalización	Altura (m)	Movimiento junta perimetral (mm)		
				O	S	T
Aguamilpa	Méjico	1993	187	19	16	5
Salvajina	Colombia	1984	148	9	19	15
Golillas	Colombia	1984	125	-	160	-
Crotty	Australia	1991	83	2	27	-
Pichi Picun Leufu	Argentina	1999	40	2	12	1

O = abertura normal a la junta, S = Asentamiento normal a la cara de concreto, T = Cortante, paralelo a la junta

que los más altos son Crotty (500), Salvajina (390) y Pichón-Picun-Leufu (360). Obviamente, parte de las diferencias están asociadas a las características propias de las partículas, pero las mayores diferencias están asociadas a los porcentajes de finos que contienen. En el caso de Salvajina, las gravas correspondían a los residuos de una mina de oro por dragado donde los finos habían sido prácticamente eliminados. En el caso de Crotty, la explotación misma estableció que el 20% del material debía ser lavado con el río antes de colocarlo en el terraplén. Además, el préstamo correspondía también a un material con un contenido de finos no mayor al 7% con un promedio de 3%. El caso de Picun es similar, procedente de un aluvial que carece prácticamente de finos en forma natural. De hecho, eso explica porqué se han podido construir las presas de Santa Juana, Puclaro y esta de Picun con pantallas de hormigón que rematan en pantallas preexcavadas en el aluvial y donde los asentamientos han sido mínimos. El caso de Golillas, por el contrario, corresponde a una presa construida con gravas sucias en un porcentaje importante de finos, del 10%. Para el diseño de la presa de Sogamoso se han realizado ensayos edométricos que para porcentajes de finos del mismo orden indicaron valores de 120 a 150 MPa para esfuerzos de 1 MPa. Los ensayos de edómetros realizados para Aguamilpa indicaron para un mismo material que una diferencia del orden de 10% de finos producían una diferencia del 50% en el módulo de las gravas para esfuerzos alrededor de 1 Mpa. Para esfuerzos mayores y menores la diferencia era menor. Para valores de 5 MPa prácticamente no había diferencias. En la Fig. 13 se incluyen las curvas granulométricas representativas de las presas mencionadas.

Con base en lo anterior, y teniendo en cuenta que el material del préstamo de Sigüés esta muy bien graduado y con un contenido de finos menor al 4%. El

módulo representativo de este material E_v debe ser al menos 390 MPa. Para calcular las deformaciones de la losa, el módulo E_t puede tomarse como mínimo 450 MPa como valor conservador.

En la junta perimetral de apoyo en la presa pueden ocurrir movimientos de apertura y de asentamiento. El primero es menos grave pues induce comportamientos menos severos en los sellos y de hecho es el comportamiento deseable. Siempre ocurre con la carga de agua, después de que durante construcción la junta se cierra y por ello se coloca madera para evitar el desconchamiento. El de corte o asentamiento puede romper el sello. El caso extremo es el de la presa de Golillas que fue construida sobre estribos prácticamente verticales, donde la columna de material compresible debajo del sello indujo asentamientos que cortaron el sello. En Yesa el caso es diferente, pues se apoya en una presa cuyo talud de aguas abajo tiene una inclinación más tendida y que se asimilar a las de un estribo en cañones estrechos como Salvajina, o a los adoptados en la cara de aguas abajo de plintos que han tenido que ser construidos como bloques por problemas de cimentación. Además, los escalones de ese talud inducen a una mayor interacción entre el relleno y el apoyo reduciendo la posibilidad de un movimiento franco en dirección normal a la losa. Ese tipo de interacción es muy difícil de modelar. En la Tabla 5 se incluye información sobre los movimientos registrados en distintas presas.

Se conocen además aperturas de la junta perimetral de otras presas, como la de Santa Juana, en Chile, de 113 m de altura y cimentada sobre 30 m de aluvial de grava, de 17,3 cm o la de Puclaro, también en Chile, de 83 m de altura y cimentada sobre 110 m de aluvial de gravas, con 25 cm de apertura de junta.

Con base en la información de presas anteriores, la mayoría de las cuales fueron construidas con materiales de inferior calidad, y los aspectos antes mencionados, se estima que los movimientos esperados están dentro del rango conservador, básicamente por razón de los valores de los módulos considerados. La energía de compactación equivalente a los compactadores vibratorios que se utilizan en el relleno, no puede ser modelada normalmente en el laboratorio. Esto explica los mayores valores que se miden en las presas construidas.

Además de esta aproximación empírica, se han realizado diferentes cálculos del posible movimiento esperado para la junta perimetral, entre ellos una ex-

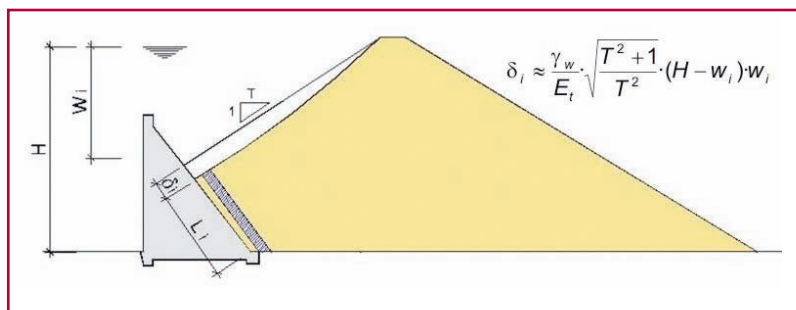


Fig. 14. Esquema y ecuación para el cálculo de la máxima deformación de la pantalla.

trapolación del método desarrollado por Hunter y Fell para el cálculo de la máxima deformación de la pantalla de una presa de escollera, que prevé, con todas las limitaciones del método, un movimiento máximo en sentido paralelo al paramento de aguas abajo de la presa de gravedad de 5.6 cm.

Los cálculos en elementos finitos, que permiten una simulación mas cercana a la realidad, donde la pantalla se ha simulado con elementos viga y elementos de contacto nudo-superficie para modelizar la interacción de la pantalla con las gravas, permitiéndose la separación pantalla-gravas, con rozamiento entre ambas, los movimientos obtenidos fueron 1.6 cm. Cuando se suponía que la adherencia gravas-presa de hormigón era nula, se obtenían movimientos de 5.8 cm, casi idéntico a los calculados por el método simplificado de Hunter.

10. Ejecución de las obras

Las obras fueron adjudicadas a Ferrovial-Agroman, ACS y FCC en UTE, y comenzaron en enero de 2003, con la construcción del desvío de la CN-240 que discurría por el estribo derecho de la antigua presa. El desvío de la carretera finalizó en septiembre y fue entonces cuando pudieron comenzar las excavaciones necesarias para la cimentación de la presa y sus órganos de desagüe. La Asistencia Técnica para el Control y Vigilancia de las obras fue adjudicada a Euroestudios, Iberinsa e Inocsa en UTE.

Las excavaciones que se están realizando para el cuerpo de presa confirman las previsiones contempladas en el proyecto sobre la geología de la cerrada de la presa. Hasta la fecha se han retirado los rellenos y suelos de la parte superior de ambos estribos, habiéndose alcanzado el denominado Flysch de Yesa, que esta formado por areniscas y argillitas en distintas proporciones, así como los desmontes en roca necesarios

para la cimentación del cuerpo de presa y plinto hasta la coronación de la presa existente, aproximadamente unos 1.100.000 m³ de material de los casi 1.500.000 previstos.

Las características del Flysch de Yesa, cuya estratificación tiene numerosos cambios, provoca que al ser cortado por las excavaciones, puedan presentarse disposiciones locales desfavorables de los estratos en ambos estribos, que hacen necesario proceder a su estabilización, incluso de los taludes que van a quedar dentro del vaso del futuro embalse recrecido, para evitar su meteorización diferencial.

En la parte inferior del talud excavado sobre el plinto de la margen derecha, se produjo una pequeña caída de algunos metros cúbicos, en una capa de arenisca, debido a una ligera inflexión en el buzamiento de su estratificación, pasando de buzarse ligeramente hacia el interior de la ladera a hacerlo hacia el exterior. Este hecho, junto con la presencia de juntas abiertas subparalelas al talud, ha favorecido el descalce y posterior derrumbe de la cuña. La solución de estabilización consistió en la ejecución de un revestimiento de hormigón proyectado armado con una malla y anclado mediante bulones, completado con un sistema de drenaje. En la parte inferior se han continuado las excavaciones con anclajes de cable. Esta solución obliga a excavar en fases de tres metros de altura y sostener antes de proseguir con el siguiente batache, con la consiguiente reducción del ritmo de obra que ello supone.

Fig. 15. Estabilización de las excavaciones del estribo derecho con bulones y anclajes.





Fig. 16. Rotura por toppling en las excavaciones del estribo izquierdo.

En la actualidad las excavaciones del plinto de la margen derecha de la presa se sitúan a cota 492, habiendo sido necesario sobreexcavar para su cimentación, con objeto de retirar el terreno que no resultaba adecuado, por lo que dada la rigidez geométrica de la pantalla y ante la imposibilidad de avanzar el plinto hacia aguas arriba ya que afectaría a los taludes ya ejecutados, se va a proceder a rellenar con hormigón anclado, para recuperar la geometría prevista.

En las excavaciones del estribo izquierdo, se produjo un rotura por toppling que afectó desde la coronación del talud hasta la plataforma de excavación, que en ese momento se encontraba a la cota 540. El deslizamiento se produjo por toppling o vuelco de estratos, debido a una disposición de la estratificación con dirección subparalela al talud y con buzamientos pronunciados hacia el interior del mismo. 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 y drenes y creándose dos bermas.

Las excavaciones del plinto de la margen izquierda de la presa se encuentran ahora próximas a al-

canzar la presa actual. El resto de las excavaciones de esta ladera están a cota de iniciar los muros anclados previstos para la nueva toma del canal de Bardenas, unos 20 m por debajo de la coronación de la presa de hormigón, habiéndose requerido también la colocación de bulones sobre hormigón proyectado con mallazo en algunas zonas, debido a la disposición subparalela de la estratificación, con buzamientos hacia el exterior, con el fin de evitar el deslizamiento por descalce de los estratos.

La ejecución del nuevo desagüe de fondo se encuentra en la actualidad con las conexiones con los conductos de la presa actual realizados, las válvulas de seguridad instaladas, la cámara de estas válvulas terminada a falta del cierre de su clave, la galería finalizada y las tuberías metálicas instaladas dentro de ella. Para su finalización falta por realizar la cámara de válvulas de salida y el cuenco amortiguador.

Hay que recordar que mientras no este operativo el nuevo desagüe de fondo, no podrá anularse el actual y no puede comenzarse el relleno del cuerpo de presa, ya que la presa sigue en servicio, siendo el mantenimiento de su explotación, sin afectar a los



Fig. 17.
Construcción
del desagüe de
fondo.

usuarios, un requisito esencial de las obras de recrecimiento.

Por otra parte se siguen realizando actuaciones en patrimonio histórico y cultural, principalmente excavaciones arqueológicas en el vaso de embalse y ejecución de obras del Plan de Restitución Territorial. Dentro de ellas, se encuentran ya finalizadas o próximas a su terminación, las siguientes:

- Restauración de la iglesia de San Esteban en Yesa (Navarra).
- Acondicionamiento de polideportivo y edificio socio-cultural en Yesa (Navarra).
- Mejora de las redes locales de abastecimiento en Yesa (Navarra).
- Abastecimiento a Asso-Veral, Sigüés (Zaragoza).
- Nave ganadera en Sigüés (Zaragoza). ♦

Referencias:

-A. YZIQUEL, J. LAUNAY, P. LONDE. *A new cofferdam concept for constructing a large concrete faced rockfill dam*. Dam Engineering, Vol X, Issue I. -Numerical analysis to the design of CFRD. Hydro-power&Dams. 2002.
-J.B. COOKE. *Progress in rockfill dams*. Terzaghi Lecture, 1982.
-J.B. COOKE. *Memo nº 90. CFRD plinth excavations and form layout*. 1999.
-S.I. LY, S.J. PATERSON, F.L. KINSTLER. *CFRD constructed on a deeply weathered foundations*. Q-66, R-85, ICOLD Viena. 1991.
-J. HACELAS, J. CASTRO-ABONCE. *Design of Aguamilpa Dam*.
-G. MACEDO. *Concrete face behaviour of Aguamilpa dam*.

-F. AMAYA, A. MARULANDA. *Colombian Experience in the Design and Construction of Concrete Face Rockfill Dams*. Cooke Volume. Beijing 2000.
-A. MARULANDA, F. AMAYA, A. CASTRO. *Sogamoso Hydroelectrical Project*. II Simposio sobre Barragens de Enrocamento com face de Concreto. Florianópolis. 14-15 /Out/1999.
-A. MARULANDA ET AL. *El Quimbo Dam, Proceedings of the International Symposium on Concrete Face Dams*. Sept 2000 Beijing, China.
-A. MARULANDA, N. PINTO. *Recent experience on design, construction, and performance of CFRD*. Cooke Volume. 2000.
-N. PINTO, *Questions to Ponder on designing very high CFRDs*, Hydropower & DAMS, Volume eight, Issue five, 2001

-TERZAGHI, K., R. PECK, and G. MESRI. *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 3rd ed., New York, John Wiley and Sons. 1996
- ICOLD. "Rockfill Dams With Concrete Facing -State of the Art-," Bulletin No 70. 1989.
-O. DASCAL. *The Outardes 2 concrete-faced rockfill dam*.
-A. R. REITTER. *New Exchequer dam. A presentation to the Western Water and Power Symposium*. 1968.
-H.M. BROWN, P.R. KNEITZ. *Repair of New Exchequer dam*. *Water power & Dam Construction*. September 1987.
-G. HUNTER, R. FELL. "Rockfill modulus and settlement of concrete face rockfill dams". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. ASCE. 2003.