



Diseño de un sistema de captación y transporte de agua para su posterior aprovechamiento: sistema de captación con azud de derivación en el río Turia (T.M. Riba-Roja del Turia, Valencia) para abastecer la ETAP de La Presa (T.M. de Manises, Valencia).



ANEJO 1.3.- DISEÑO Y COMPROBACIONES DE LA OBRA DE CAPTACIÓN



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

- 1.1. Introducción
- 1.2. Objeto y alcance del estudio

2. DISEÑO DE LA OBRA DE CAPTACIÓN

- 2.1. Clasificación
- 2.2. Tipología y materiales
- 2.3. Aliviadero
- 2.4. Cimiento del cuerpo de presa
- 2.5. Cuerpo de presa
- 2.6. Cuenco amortiguador
- 2.7. Cajeros y estribos
- 2.8. Desagüe profundo
- 2.9. Juntas
- 2.10. Colchón de escollera

3. COMPROBACIONES DE ESTABILIDAD

- 3.1. Cuerpo de presa
 - 3.1.1. Solicitaciones , comprobaciones y coeficientes de seguridad
 - 3.1.2. Situación Normal de Explotación
 - 3.1.3. Situación Accidental
 - 3.1.4. Situación Extrema
- 3.2. Estribo
 - 3.2.1. Solicitaciones , comprobaciones y coeficientes de seguridad
 - 3.2.2. Situación Normal de Explotación
 - 3.2.3. Situación Accidental
 - 3.2.4. Situación Extrema

- *Tabla 5. Dimensiones de la sección del cuerpo de presa.*
- *Tabla 6. Dimensiones del cuerpo amortiguador.*
- *Tabla 7. Calados en el cuenco amortiguador.*
- *Tabla 8. Dimensiones de la sección del estribo.*
- *Tabla 9. Formulación para las comprobaciones 1. NMN.*
- *Tabla 10. Formulación para las comprobaciones 2.*
- *Tabla 11. Coeficientes de seguridad para las comprobaciones.*
- *Tabla 12. Pesos específicos de los materiales.*
- *Tabla 13. Valor de la resultante, excentricidad y momento generado por las solicitaciones.NMN.*
- *Tabla 14. Cálculo del CSD.NMN.*
- *Tabla 15. Cálculo del CSH.NMN.*
- *Tabla 16. Excentricidad de la resultante y núcleo central.NMN.*
- *Tabla 17. Valor de la resultante, excentricidad y momento generado por las solicitaciones.NAP.*
- *Tabla 18. Cálculo del CSD.NAP.*
- *Tabla 19. Cálculo del CSH.NAP.*
- *Tabla 20. Excentricidad de la resultante y núcleo central.NAP.*
- *Tabla 21. Formulación para las comprobaciones del estribo. NMN.*
- *Tabla 22. Valor de la resultante, excentricidad y momento generado por las solicitaciones en el estribo.NMN.*
- *Tabla 23. Cálculo del CSD en el estribo.NMN.*
- *Tabla 24. Cálculo del CSH del estribo.NMN.*
- *Tabla 25. Excentricidad de la resultante y núcleo central del estribo.NMN.*
- *Tabla 26. Valor de la resultante, excentricidad y momento generado por las solicitaciones en el estribo.NAP.*
- *Tabla 27. Cálculo del CSD en el estribo.NAP.*
- *Tabla 28. Cálculo del CSH en el estribo.NAP.*
- *Tabla 29. Excentricidad de la resultante y núcleo central del estribo.NAP.*

ÍNDICE DE FIGURAS

- *Figura 1. Integración del vertedero en los paramentos del cuerpo de presa.*
- *Figura 2. Excavación para la ubicación de cimientos y cuerpo de presa. Desde aguas arriba.*
- *Figura 3. Cuerpo de presa y cimientos.*
- *Figura 4. Cuerpo de presa y cuenco amortiguador.*
- *Figura 5. Cuerpo de presa, cuenco amortiguador y cajeros.*
- *Figura 6. Cuerpo de presa y estribos. Desde aguas arriba.*
- *Figura 7. Sección transversal de los estribos.*
- *Figura 8. Solicitaciones sobre el cuerpo de presa.NMN.*
- *Figura 9. Solicitaciones sobre el estribo.NAP.*

ÍNDICE DE TABLAS

- *Tabla 1. Tamaño máximo y % de las fracciones de árido grueso recomendadas. ACI Committec 207.*
- *Tabla 2.Granulometría de la arena. ACI Committec 207.*
- *Tabla 3. Coordenadas de los puntos de enlace del vertedero con los paramentos del cuerpo de presa.*
- *Tabla 4. Propiedades geotécnicas del estrato competente.*



3. INTRODUCCIÓN

3.1. Introducción

En el presente anejo se va a llevar a cabo un dimensionamiento de la alternativa escogida. En este trabajo se estudia el diseño de los elementos que conforman el azud de derivación de un modo más riguroso, con la suficiente concreción como para que de él se puedan extraer unas conclusiones que permitan llevar a cabo la obra de captación

3.2. Objeto y alcance del estudio

El objeto de estudio de este anejo es el dimensionamiento de la solución adoptada, el alcance de este anejo abarca:

- Clasificación de la obra de captación
- Diseño de los elementos constituyentes del azud de derivación
- Cálculo de los coeficientes de seguridad que garanticen el cumplimiento de las comprobaciones de estabilidad.

4. DISEÑO DE LA OBRA DE CAPTACIÓN

4.1. Clasificación

Se procede a la clasificación del azud según su grado de riesgo, dicho grado de seguridad exigido se adecua a la importancia de la infraestructura, al servicio que presta y, sobre todo, al riesgo potencial que resultaría de su eventual fallo.

Por ello, tanto las hipótesis de cálculo como los coeficientes de seguridad a aplicar en las distintas circunstancias de la presa (normal, accidental y extrema) no solo deben variar con éstas, sino también con el riesgo potencial.

La azud objeto de estudio se clasifica en la siguiente categoría (*Guía Técnica nº 2: Criterios para Proyectos de Presas y sus Obras Anejas*):

Categoría C: Presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede ocasionar daños materiales de moderada importancia o sólo incidentalmente pérdida de vidas humanas. Se trata de presas de menor altura, aisladas o lejanas.

Se ha adoptado esta categoría debido a que la magnitud de la presa es suficientemente reducida como para que una rotura no suponga daños materiales demasiado graves.

4.2. Tipología y materiales

En este apartado se lleva a cabo la definición de la tipología del azud como presa en función de varios criterios:

- Situación del aliviadero:
 - o Sobre la misma presa: estructura condicionada por el aliviadero
- Respecto a la forma de resistir el empuje hidrostático:

- o Gravedad maciza: el preso de la presa es notable y sirve para que, al componerse con el empuje y otras fuerzas, la resultante incida francamente en el interior de la base de la presa.
- En atención al material empleado
 - o De fábrica (hormigón)

A continuación se procede a definir el material empleado en base a las recomendaciones de la *Guía Técnica nº 2. Criterios para Proyectos de Presas y sus Obras Anejas* y la *Guía Técnica nº6. Construcción de Presas y Control de Calidad*:

Las excavaciones realizadas en la cerrada y su entorno durante la construcción no proporcionan áridos de calidad ni suficientes para poder aprovecharlos en el hormigón, lo cual implica que la procedencia de estos deba ser de una fuente diferente.

El tipo de conglomerante adecuado según las recomendaciones de GT-2 es el cemento tipo V, recomendado para presas de poca entidad por facilidad de control.

El hormigón utilizado para el cuerpo de presa y las obras adjuntas será un Hormigón Vibrado (HV) caracterizada por la impermeabilidad, ya que las dimensiones del azud no permiten la ejecución con Hormigón Compactado con Rodillo (HCR). Para la superficie en contacto con el agua en movimiento se utilizará un hormigón cuya cualidad dominante sea la resistencia mecánica.

El objetivo final de la composición del hormigón es que éste sea lo menos poroso posible, por ello es necesario disponer una curva granulométrica que lleve a un conjunto de áridos mu cerrado. Una aproximación de la composición del árido grueso puede ser la dada por “ACI Committec 207”.

Tamaño máximo	% de las fracciones de árido grueso			
	80-150	40-80	20-40	5-20
20	-	-	-	100
40	-	-	40-55	45-60
80	-	20-40	20-40	25-40
150	20-35	20-32	20-32	20-35

Tabla 1. Tamaño máximo y % de las fracciones de árido grueso recomendadas. ACI Committec 207.

Se recomienda que la curva granulométrica de la arena quede comprendida entre los límites siguientes:

Abertura de malla (mm)	% en peso que pasa por cada tamiz						
	5,00	2,50	1,25	0,60	0,30	0,15	0,08
Límite superior	100	95	85	62	30	15	5
Límite inferior	95	75	55	30	12	4	0

Tabla 2. Granulometría de la arena. ACI Committec 207.

Las curvas granulométricas deben ser continuas y sin cambios bruscos de pendiente.

La cantidad de agua debe ser la necesaria para que el hormigón tenga la trabajabilidad adecuada al lugar de empleo y al sistema de vibrado. La consistencia en la puesta en obra del hormigón deberá estar entre seca y plástica.

Se emplearán un aditivo reductor de agua para reducir la relación agua/cemento y con ello mejorar la resistencia y la durabilidad.

El hormigón utilizado, de características aceptables para la ejecución del cuerpo de presa, cajeros, estribos y cuenco amortiguador y conforme a las condiciones expuestas anteriormente es un HM-15/S/120/Ila. Con una resistencia de 15 N/mm² a los 90 días, consistencia seca, un tamaño máximo de árido de 120 mm y apto para resistir en ambientes tipo Ila.

4.3. Aliviadero

El aliviadero del azud se encuentra sobre el cuerpo de presa a lo largo de toda su coronación (*presa vertedero*), está constituido por una embocadura superficial, una conducción en lámina libre sobre el paramento aguas abajo del azud y un reintegro al cauce constituido por un cuenco amortiguador que se estudia en el apartado 2.5 de este anejo. En cuanto a la posibilidad de control de los caudales, la toma es de un vertedero de labio fijo (vertido natural automático, sin control voluntario).

El perfil del vertedero debe cumplir la condición de conseguir el máximo desagüe posible con los niveles altos del embalse sin dar lugar a depresiones en el umbral que pudieran producir despegues de la lámina vertiente, cavitaciones o regímenes inestables. Un tipo de perfil adecuado para este fin es el debido a Creager, en el *Anejo 1.2. Cálculos Hidráulicos* se especifican la geometría de dicho perfil.

El enlace del vertedero con el resto de la presa se basa en hacer coincidir el borde del vertedero con el paramento de la presa aguas arriba y dadas las dimensiones del perfil obtenido en el *Anejo 1.2. Cálculos hidráulicos*, el paramento de aguas abajo estará constituido por el propio perfil de vertedero hasta enlazar con la solera horizontal del cuenco amortiguador.

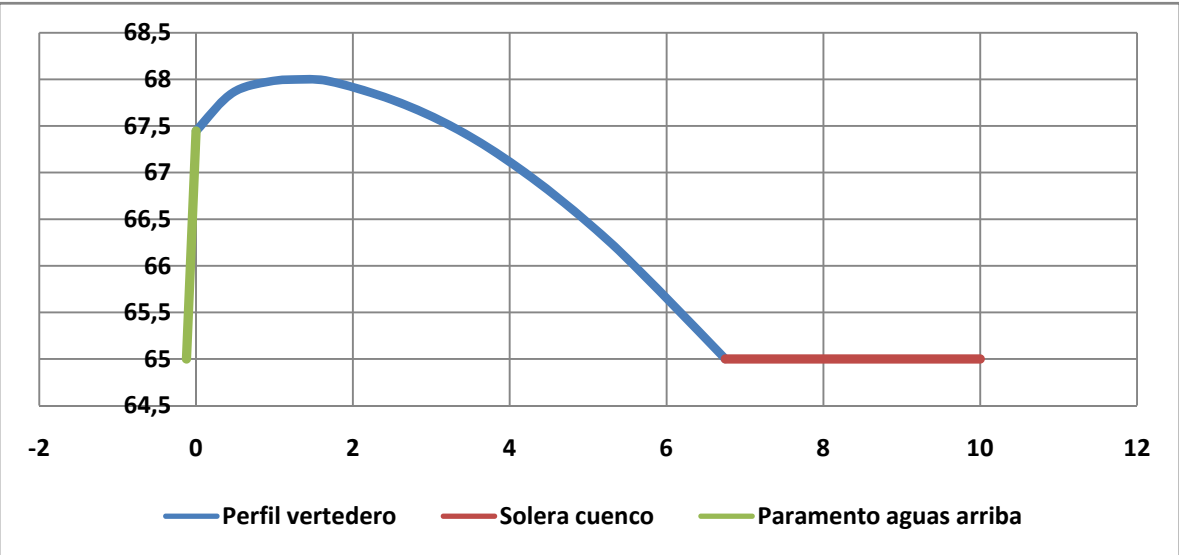


Figura 1. Integración del vertedero en los paramentos del cuerpo de presa.

El punto de enlace entre el perfil Creager y los paramentos de aguas arriba y aguas abajo respectivamente se produce en el punto cuyas coordenadas se muestran a continuación:

PUNTO DE ENLACE		
	X	Y
PARAMENTO AGUAS ARRIBA	0	67,44
PARAMENTO AGUAS ABAJO	6,76	65

Tabla 3. Coordenadas de los puntos de enlace del vertedero con los paramentos del cuerpo de presa.

4.4. Cimiento del cuerpo de presa

El encaje de la azud en la cerrada viene condicionado por la geomorfología de la misma. El lecho del cauce está constituido por tierra vegetal, arenas, limos y cantos, cuyas propiedades geotécnicas no son las más adecuadas para la resistencia del cimiento.

La disposición de un estrato competente a la cota 63,5 msnm constituido por roca caliza constituye un apoyo ideal para el plano inferior del cimiento.

Para alcanzar este estrato es necesario realizar una excavación en las arenas, limos y cantos hasta la cota 63,5 msnm. La disposición homogénea en el entorno de la cerrada del estrato calizo permite una ejecución en planta recta del azud.

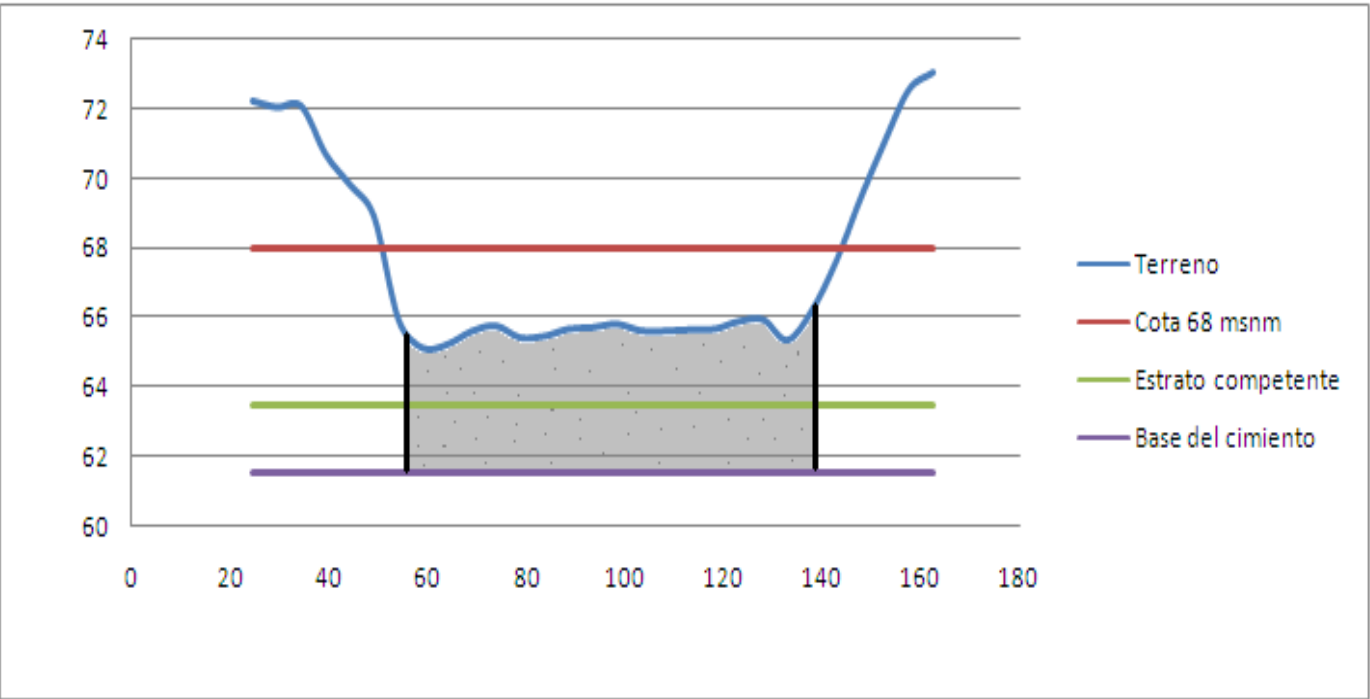


Figura 2. Excavación para la ubicación de cimientos y cuerpo de presa. Desde aguas arriba.

Además, se realizará una excavación en la roca caliza de 2 m para alojar la cimentación del azud a la cota 61,5 msnm, la cual tendrá una profundidad de 2 m y un ancho de 9,5 m distribuida uniformemente a lo largo de los 80 m de azud. El volumen total de hormigón utilizado requerido en la cimentación es de 1520 m³.

Se ha estimado una excavación para la disposición del cuerpo de presa y los cimientos en el cauce del río de tierra vegetal, arenas, limos, cantos y roca con un volumen aproximado de 2660 m³.

Las propiedades geotécnicas de la roca caliza interesantes para este estudio son las siguientes:

Ángulo de rozamiento interno (°)	40
Cohesión (kN/m ²)	50
Capacidad portante (kN/m ²)	4000

Tabla 4. Propiedades geotécnicas del estrato competente.

4.5. Cuerpo de presa

El cuerpo de presa presenta una relativa sencillez constructiva, como ya se ha mencionado en el apartado 2.2 de este anejo se trata de una presa de gravedad cuyo principio resistente fundamental es su peso.

La azud es de planta recta y tiene una longitud de 80 m, junto con los cajeros dispuestos en los extremos y los estribos cubren la totalidad de la cerrada. El objetivo de la infraestructura es garantizar una altura de la lámina de agua embalsada de 68 msnm en Situación Normal de Explotación, lo cual implica que la cota de coronación del cuerpo de presa se sitúe a una altura de 4,5 m sobre el estrato competente en la cerrada.

En las consideraciones geométricas de la sección de la presa se tendrá en cuenta la mejora de la estabilidad. Para dotar a la infraestructura de mayor estabilidad al deslizamiento se da talud al paramento de aguas arriba, de esta forma se consigue un peso adicional de agua que, a través del rozamiento, aumenta la capacidad resistente de la línea de posible deslizamiento.

El talud de aguas arriba se divide en dos tramos con distinta inclinación, quedando definido por un tacón en el pie de aguas arriba con un talud de 0,7H:1V y un paramento con talud 0,05H:1V hasta el enlace con el perfil del vertedero, lo cual permite incorporar una mayor componente estabilizador del empuje del agua igual al peso del agua que se sitúa sobre el paramento.

Las dimensiones y características geométricas de la sección del conjunto cimiento-presa quedan definidos a continuación:

Cota del vértice del triángulo básico (msnm)	70,41
Cota de coronación (msnm)	68
Cota del plano superior del cimiento (msnm)	63,5
Cota del plano inferior del cimiento (msnm)	61,5
Altura total del cuerpo de presa (m)	6,5
Talud paramento aguas arriba superior	0,05H:1V
Talud paramento aguas arriba inferior	0,7H:1V
Ancho de la base del cuerpo de presa(m)	9,5
Ancho de la coronación (m)	2,9

Tabla 5. Dimensiones de la sección del cuerpo de presa.

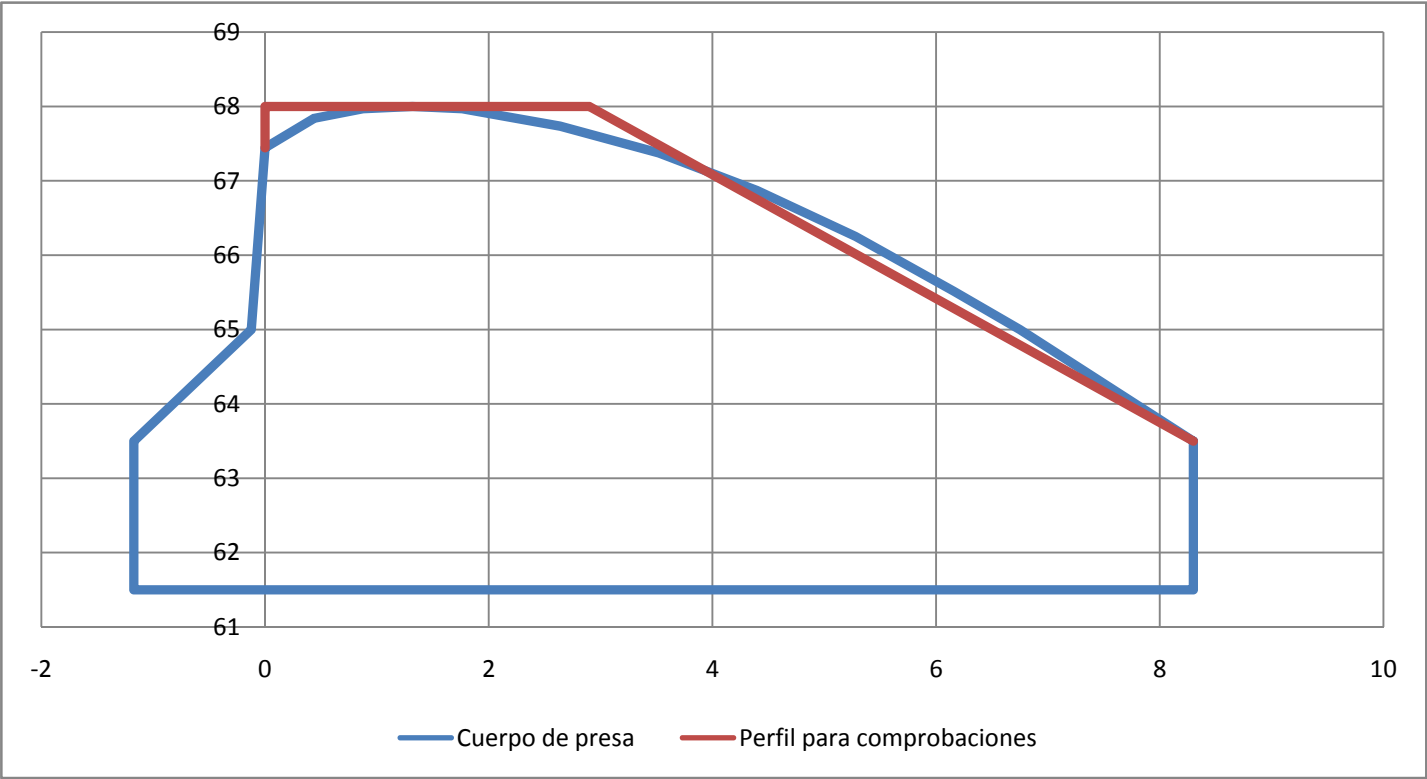


Figura 3. Cuerpo de presa y cimientos.

La geometría del cuerpo de presa queda definida con mayor concreción en el documento nº2. Planos de la Parte 1.

4.6. Cuenco amortiguador

Se diseña un cuenco amortiguador con la finalidad de resolver el problema de la reintegración de los caudales vertidos al cauce del río sin que se produzcan daños que puedan manifestarse en forma de erosiones en el cauce o laderas para la Avenida de Proyecto.

El cuenco amortiguador está constituido para contener dentro de él la mayor parte de los fenómenos de disipación de energía. Los caudales se vierten sobre él y se produce la formación de un resalto hidráulico pasando el agua a régimen lento, y de ese modo salen los caudales con energía específica comparable a la que tendrían en el cauce natural en ausencia del azud.

Los cálculos hidráulicos relativos al resalto hidráulico y su entorno se han realizado en el Anejo 1.2. Cálculos hidráulicos. La tipología de cuenco amortiguador escogida es la más sencilla, se trata de cuenco simple caracterizado por ser rectangular, de solera horizontal y con paredes laterales verticales.



Diseño de un sistema de captación y transporte de agua para su posterior aprovechamiento: sistema de captación con azud de derivación en el río Turia (T.M. Riba-Roja del Turia, Valencia) para abastecer la ETAP de La Presa (T.M. de Manises, Valencia).



El cuenco amortiguador se dispone a lo largo de todo el pie de aguas abajo del cuerpo de presa, con un espesor de 1,5 m y apoyado sobre el estrato competente a la cota 63,5 msnm. La longitud del resalto se estima en 25,43 m, con lo cual se dimensiona un ancho de cuenco amortiguador de 25,5 m.

Longitud cuenco amortiguador (m)	80
Espesor (m)	1,5
Anchura paramento visto (m)	25,5
Anchura paramento no visto (m)	22

Tabla 6. Dimensiones del cuerpo amortiguador.

La transición entre el cuerpo de presa y el cuenco es simple, constituyendo un mismo plano horizontal en el cimiento y formando una arista en la intersección de ambos planos en el paramento de aguas arriba a la cota 65msnm.

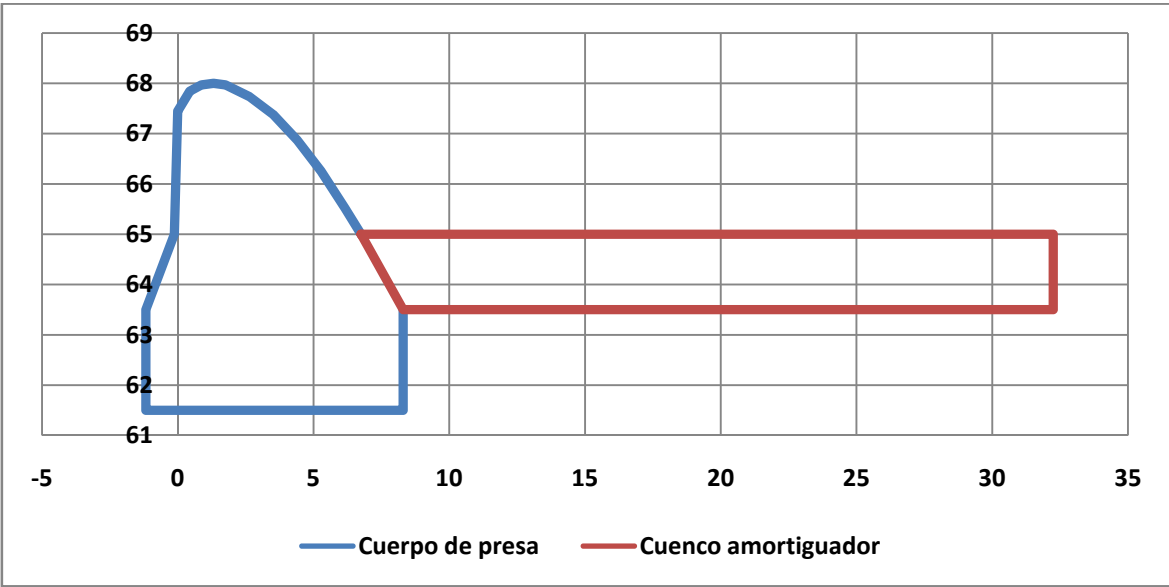


Figura 4. Cuerpo de presa y cuenco amortiguador.

La geometría del cuenco amortiguador queda definida con mayor concreción en el documento nº2. Planos de la Parte 1.

4.7. Cajeros y estribos

Se disponen cajeros en los estribos del cuerpo de presa y el cuenco amortiguador con la finalidad de delimitar y contener el alcance de los fenómenos hidráulicos en el vertedero del azud. Para el diseño de los cajeros se han estudiado las condiciones hidráulicas en la avenida de periodo de retorno T= 100 años en el Anejo 1.1. Cálculos hidrológicos.

El diseño geométrico de los cajeros es función del perfil de la lámina de agua, de modo que se dimensiona enrasando el borde superior del cajero y la lámina de agua correspondiente en los puntos extremos.

Para ello se estudian 3 secciones representativas. Los calados en las secciones de estudio, incluido el calado máximo del cuenco amortiguador con las fluctuaciones que puedan darse en él, se muestran a continuación:

Y0 (m)	4,4
Y1 (m)	1,9
Y2+ΔY2 (m)	6

Tabla 7. Calados en el cuenco amortiguador.

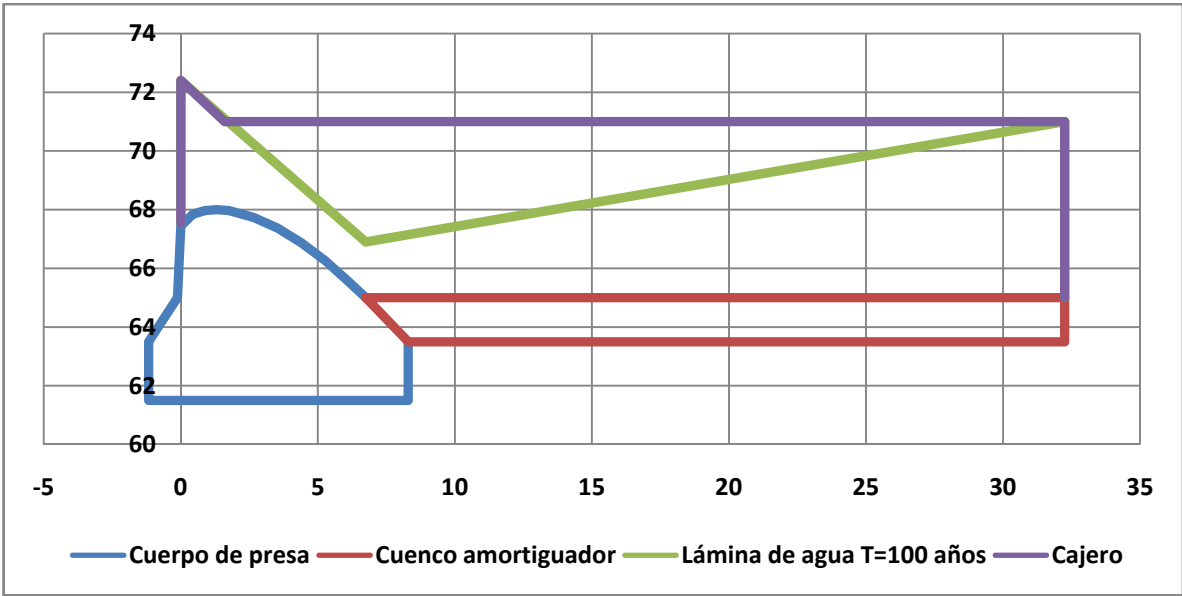


Figura 5. Cuerpo de presa, cuenco amortiguador y cajeros.

El muro del cajero tiene un espesor de 2 m y se extiende desde el talón del paramento aguas arriba del azud hasta el punto final del cuenco amortiguador, esto constituye una longitud total de 30,5 m. La altura del borde superior del cajero sobre el cuerpo de presa es variable, desde 4,9 m aguas arriba hasta 6 m aguas abajo. La altura del borde superior del cajero sobre el cuenco amortiguador es de 5,3 m y se mantiene constante a lo largo de todo su ancho.

Los cajeros delimitan el contorno del vertedero y lo separan de los estribos. Los estribos constituyen un gran bloque de hormigón en masa cuya función es la de encajar por completo el conjunto de cuerpo de presa y cimientos en la cerrada y sus dimensiones dependen de la distribución del estrato competente en cada margen. Se dimensionan para la Avenida de Proyecto y se disponen adosados a los cajeros junto al cuerpo de presa.

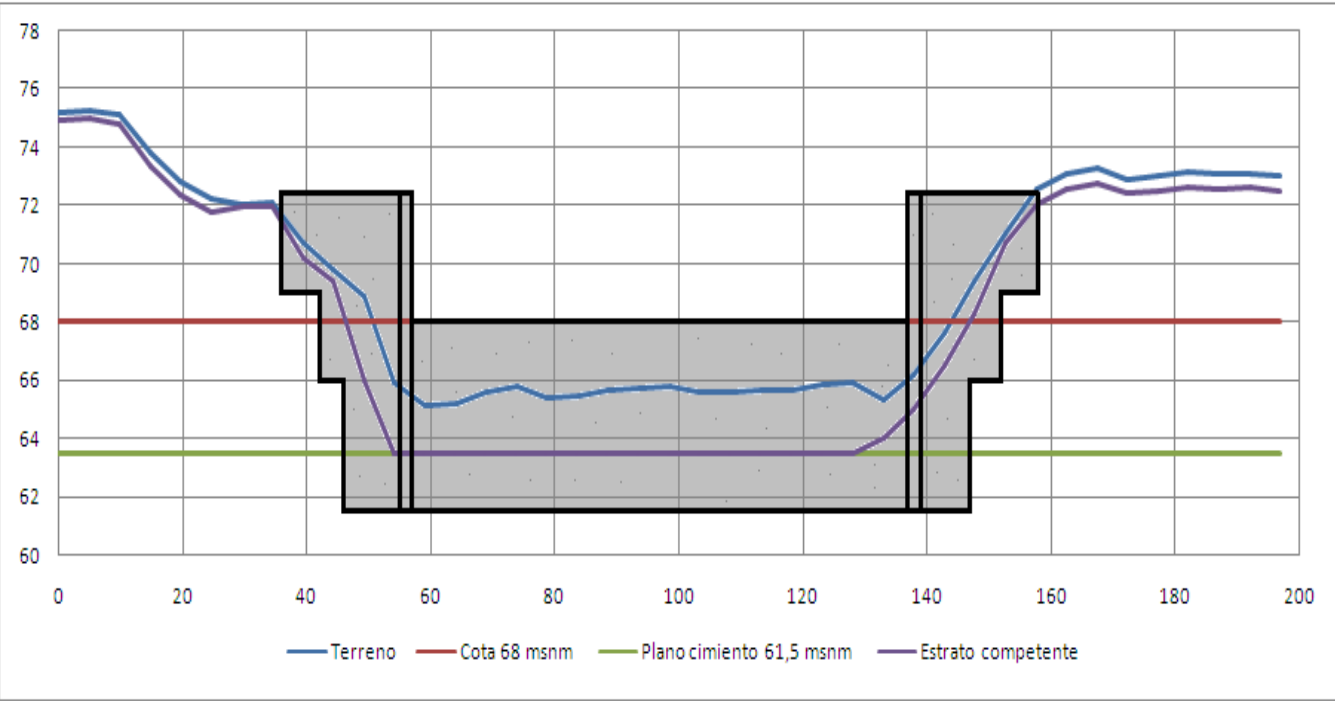


Figura 6. Cuerpo de presa y estribos. Desde aguas arriba.

La sección del estribo está constituida por un paramento por un talud de aguas arriba que se divide en dos tramos con distinta inclinación, quedando definido por un tacón en el pie de aguas arriba con un talud de 0,7H:1V y un paramento con talud 0,05H:1V hasta el enlace con el perfil del vertedero, lo cual permite incorporar una mayor componente estabilizador del empuje del agua igual al peso del agua que se sitúa sobre el paramento. El paramento de aguas abajo está constituido por un talud de inclinación 1,19H:1V.

Las dimensiones y características geométricas de la sección del conjunto cimiento-presa quedan definidos a continuación:

Cota del vértice del triángulo básico (msnm)	72,4
Cota de coronación (msnm)	72,4
Cota del plano superior del cimiento(msnm)	63,5
Cota del plano inferior del cimiento(msnm)	61,5
Altura total del estribo (m)	10,9
Talud paramento aguas arriba superior	0,05H:1V
Talud paramento aguas arriba inferior	0,7H:1V
Talud paramento aguas abajo	1,19H:1V
Ancho de la base del estribo(m)	12

Tabla 8. Dimensiones de la sección del estribo.

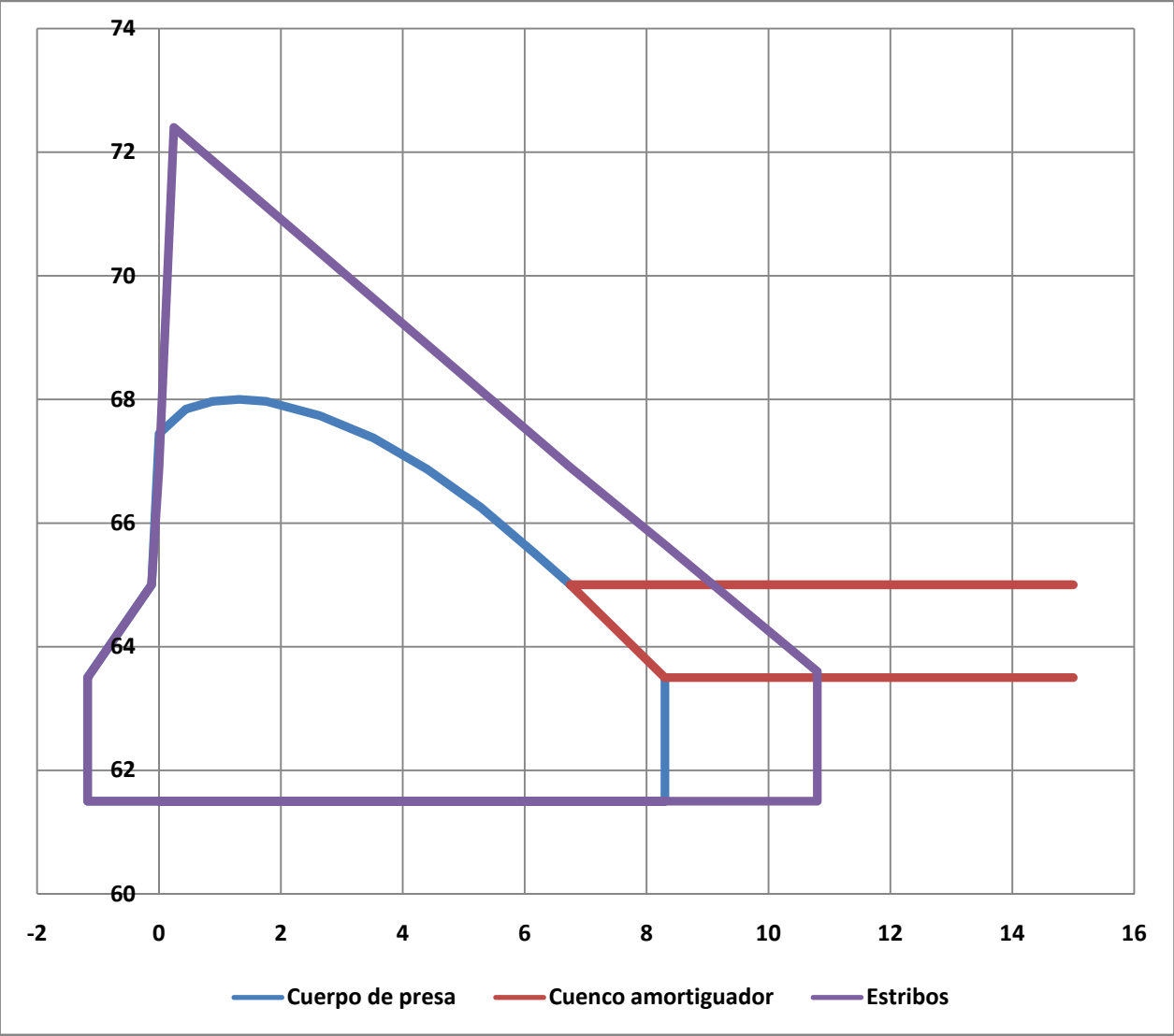


Figura 7. Sección transversal de los estribos.

La geometría de los cajeros y estribos queda definida con mayor concreción en el documento nº2. Planos de la Parte 1.

4.8. Desagüe profundo

En este apartado se dan directrices y recomendaciones adecuadas para el diseño del desagüe profundo según la *Guía Técnica nº5. Aliviaderos y Desagües y Diseño de Pequeñas Presas (Bureau of Reclamation)*.



Diseño de un sistema de captación y transporte de agua para su posterior aprovechamiento: sistema de captación con azud de derivación en el río Turia (T.M. Riba-Roja del Turia, Valencia) para abastecer la ETAP de La Presa (T.M. de Manises, Valencia).



Se dispondrá un desagüe profundo para el vaciado del embalse si es necesario, la limpieza de sedimentos, la evacuación de avenidas y la colaboración en el cierre del desvío del río y primeros llenados del embalse.

La capacidad mínima del desagüe se determina por el caudal de salida y el tiempo necesario para vaciar el embalse, considerando el volumen de agua que entra en el embalse durante el periodo de vaciado, para inspección, mantenimiento, reparación o desembalse de emergencia. La capacidad de descarga debe de ser al menos igual al volumen medio que se prevea pueda llegar al embalse durante el período de conservación o reparación.

En cuanto a su ubicación en planta, el desagüe profundo se sitúa a través de la presa y la descarga se realiza sobre el cuenco amortiguador del aliviadero de superficie. La descarga al cuenco es desaconsejable si el desagüe aporta caudal sólido, por lo tanto se situará la toma del desagüe por encima del nivel que se presupone pueden alcanzar los sedimentos en un margen temporal razonable, entre 5 y 10 años.

El conducto tendrá un órgano de control y otro de seguridad aguas arriba de él, situado en la conducción de forma que se asegure la debida presión y aireación para todos los caudales. El dispositivo de control se sitúa en la proximidad de la salida a la atmósfera.

Las válvulas de control y seguridad utilizada son de compuerta deslizante, concretamente las denominadas tipo Bureau (U.S.B.R.) de vano rectangular. Se proyectará para su apertura y cierre en las condiciones de máxima carga de agua prevista y a pleno caudal.

Las distintas piezas que componen el cuerpo envolvente fijo de la compuerta deberán ser autorresistentes con la máxima carga de agua previsible. Las ranuras deben serán lo más estrechas posibles y de formas que no originen cavitación. Las estanqueidades en el tablero deben ser de bronce en laterales y dintel y, asentarán y deslizarán sobre piezas de estanquidad de acero inoxidable cromo-níquel 18/8, fijadas al cuerpo envolvente.

El mecanismo utilizado en las compuertas deslizantes es un cilindro oleohidráulico de doble efecto.

4.9. Juntas

En la construcción de la presa deberá tenerse en cuenta la disposición de una serie de juntas entre las partes del hormigón que conforma el cuerpo de presa, cajeros, estribos y cuenco amortiguador, se distinguen dos tipos de juntas:

- Juntas de bloque o de retracción
- Juntas de tongada

Las juntas de retracción se disponen entre cada dos bloques de hormigonado. Su función principal es la de evitar el agrietamiento de la presa como consecuencia de la retracción higroscópica y del descenso térmico que sigue a la fuerte elevación de temperatura del hormigón debida al calor de fraguado (las juntas de bloque pueden interpretarse como un agrietamiento controlado). Otra motivo por el cual son necesarias surge de la imposibilidad en la práctica con el procedimiento de puesta en obra del hormigón vibrado colocar todo el hormigón de una tongada que se extendiera de un extremo de la cerrada al otro.

Por consideraciones térmicas, la separación entre juntas de bloque en la azud que se adopta será de 13,3 m, en los estribos de modo que queden divididos en dos bloques separados por un plano o junta vertical que pase por el punto medio de la coronación de estos y en el cuenco amortiguador cada 12,5 m desde aguas abajo hasta la transición con el aliviadero. Dichas juntas responderán a lo largo de la vida de la infraestructura a los descensos o aumentos de temperatura con movimientos de apertura o cierre respectivamente.

Las juntas de tongada se disponen fundamentalmente por sencillez constructiva y mejora de la disipación del calor de fraguado. La altura de tongada adoptada será de 2,16 m en el cuerpo de presa y 2,08 m en estribos. Se dotará a las tongadas de una contrapendiente de 0,05H:1V para mejorar la estabilidad frente al deslizamiento.

La impermeabilización de la junta se llevará a cabo colocando una banda flexible de PVC tipo water-stop de 400 mm de ancho, que cierre la junta en toda su longitud discurriendo paralela al paramento de aguas arriba y próxima al mismo, con cada una de sus dos mitades embebidas en el hormigón de cada una de las dos caras de la junta.

4.10. Colchón de escollera

Se dimensiona un colchón de escollera inmediatamente aguas abajo del cuenco amortiguador para evitar la socavación del pie del cuenco por el efecto de la erosión debido a las turbulencias producidas en el resalto hidráulico y las velocidades de salida del agua del propio cuenco.

Para la determinación del tamaño del colchón y el árido que lo constituye se ha consultado un trabajo publicado en la revista de *Obras Públicas nº 3328. Erosión fluvial y protección en pilas de puente: modelo reducido del puente nuevo de Mora de Ebro de Martín Vide, Juan Pedro y Dolz Ripollés, José. 1994* y las recomendaciones de *United States of Department. 1987*.

La longitud mínima y el espesor del colchón de escollera se determinan a partir de la profundidad de socavación máxima producida por el efecto del agua en función de la altura de la lámina de agua en el embalse sobre el cuenco amortiguador y el caudal trasogado por metro para la situación accidental, la formulación empleada es la siguiente:

$$d_s = 1,9 \times H_t^{0,225} \times q^{0,04}$$

$$L = 2 \times d_s$$

Se obtiene una profundidad de socavación de 2,3 m y una longitud de 4,6 m. Con lo cual se determina unas dimensiones del colchón de escollera de 2,3 m de espesor y 4,6 m de ancho, con una longitud equivalente a la longitud de coronación del azud de derivación de 80 m.

Para la ejecución del colchón de escollera se dispondrán dos capas de escollera con un espesor de 1,15 m, lo cual implica la utilización de áridos cuya granulometría permita cubrir el espesor de la capa de una sola tongada. La determinación de la masa las partículas constituyentes del enrocado de protección se obtiene a continuación:

$$G_s \geq 0,05 \times \gamma_s \times D_m^3$$

Tras la formulación, suponiendo un peso específico de 26,5 kN/m³, se estima una masa para las partículas de escollera de 2 toneladas.

5. COMPROBACIONES DE ESTABILIDAD DE LA OBRA DE CAPTACIÓN

5.1. Cuerpo de presa

5.1.1. Solicitaciones , comprobaciones y coeficientes de seguridad

En cada una de las situaciones que se van a considerar se tendrán en cuenta las siguientes solicitaciones:

- Situación Normal de Explotación
 - o Peso propio
 - o Empuje hidráulico con embalse a su máximo nivel normal
 - o Subpresión con niveles normales de explotación
- Situación Accidental
 - o Peso propio
 - o Empuje hidráulico a nivel de la avenida de Proyecto (T=100años)
 - o Subpresión con niveles normales de explotación
- Situación Extrema
 - o Peso propio
 - o Empuje hidráulico a nivel de la avenida extrema (T=100años)
 - o Subpresión con niveles normales de explotación

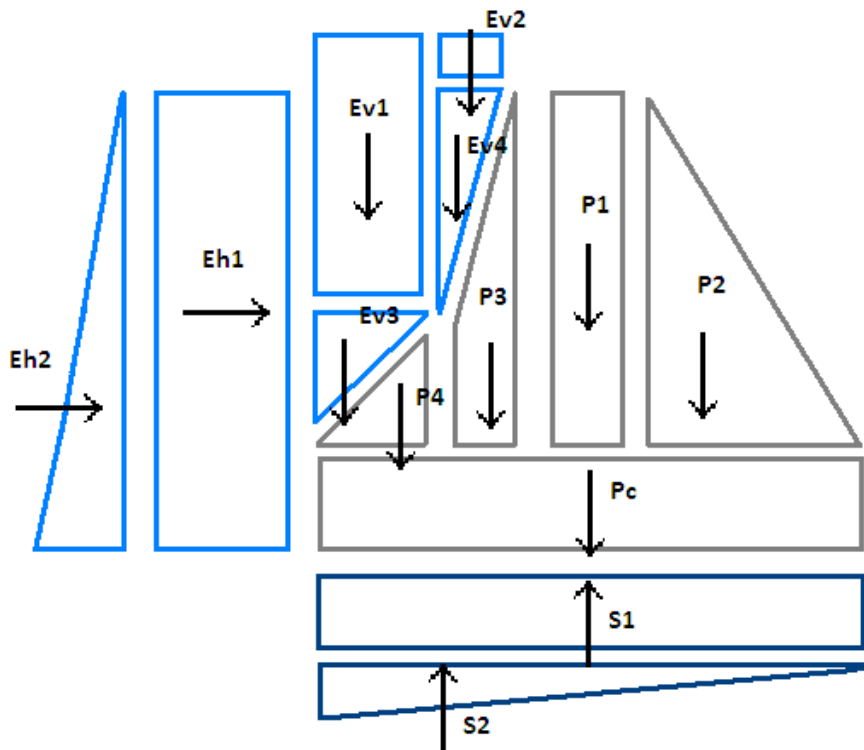


Figura 8. Solicitaciones sobre el cuerpo de presa.NMN.

En el diagrama de cuerpo libre de la sección del cuerpo de presa no se incluye el cuenco amortiguador, se considera desacoplado del resto del elemento a efectos de solicitaciones porque se rompe en el cambio de sección a poco desplazamiento que se produzca.

Se realizaran tres comprobaciones básicas de estabilidad:

- Estabilidad al deslizamiento
- Estabilidad al hundimiento
- Paso de la resultante por el núcleo central de la base del cimient

DESlizamiento	HUNDIMIENTO
$CSD = \frac{MRHM}{Rh} = \frac{(Ev1+Ev2+Ev3+Ev4+P1+P2+P3+P4+Pc-S1-S2) \times \tan\theta + C \times B}{Eh1+Eh2}$	$CSH = \frac{qv}{\sigma_{max}}$
PASO DE LA RESULTANTE POR EL NÚCLEO CENTRAL	
$0 < e < \pm \frac{B}{6}$	

Tabla 9. Formulación para las comprobaciones 1. NMN.

Las expresiones a partir de las cuales se obtiene la excentricidad de la resultante sobre la base del cimient respecto a la esquina inferior izquierda del cuerpo de presa y las tensiones en el plano de contacto entre el cimient y el terreno son las siguientes:

EXCENTRICIDAD	TENSIONES EN EL CIMIENTO
$Xr = \frac{\sum X \times F}{Rv} = \frac{\sum X \times F}{(Ev + P - S)}$ $e = Xr - \frac{B}{2}$	$\pm \sigma = \frac{(Ev + P - S)}{B} + \frac{(Ev + P - S) \times e}{\frac{B^3}{12}} \times (\pm \frac{B}{2})$

Tabla 10. Formulación para las comprobaciones 2.

Los coeficientes de seguridad mínimos asignados para cada situación y tipo de comprobación son los siguientes:

SITUACIÓN	Tipo de comprobación	
	Deslizamiento	Hundimiento
NORMAL	1,4	3
ACCIDENTAL	1,1	3
EXTREMA	>1	3

Tabla 11. Coeficientes de seguridad para las comprobaciones.

Para desarrollar las comprobaciones se han supuesto los pesos específicos siguientes:

Pesos específicos (kN/m ³)	
Agua	10
Hormigón	25

Tabla 12. Pesos específicos de los materiales.

5.1.2. Situación Normal de Explotación

Se procede al cálculo de las resultantes de las solicitaciones para la Situación Normal de Explotación, sus excentricidades respecto a la esquina inferior izquierda de la sección situada en el talón de aguas arriba y los momentos derivados del producto de ambos valores.

SOLICITACIÓN		RESULTANTE (kN)	EXCENTRICIDAD (m)	MOMENTO (kNm)
PESO PROPIO	P1	326,25	2,62	854,775
	P2	303,75	4,42	1342,575
	P3	8,42	1,132	9,53144
	P4	19,7	0,7	13,79
	Pc	475	4,75	2256,25
EMPUJE HORIZONTAL	EH1	10,9	3,25	35,425
	EH2	211,25	2,16	456,3
EMPUJE VERTICAL	EV1	33,2	0,525	17,43
	EV2	0,82	1,11	0,9102
	EV3	7,88	0,35	2,758
	EV4	1,53	1,09	1,6677
SUBPRESIÓN	S1	-278,35	4,75	-1322,1625
	S2	-82,65	3,16	-261,174

Tabla 13. Valor de la resultante, excentricidad y momento generado por las solicitaciones.NMN.

a) Comprobación de estabilidad al deslizamiento

Tras aplicar la formulación correspondiente al cálculo CSD expuesta en el apartado 3.1 se obtienen los siguientes valores:

MRHM (kN)	1159,32997
Rh (kN)	222,15
CSD	5,21868095
CSD mínimo	1,4

Tabla 14. Cálculo del CSD.NMN.

Por lo tanto, se cumple la comprobación de estabilidad al deslizamiento.

b) Comprobación de estabilidad al hundimiento

Tras aplicar la formulación correspondiente al cálculo CSH expuesta en el apartado 3.1 se obtienen los siguientes valores:

Excentricidad (m)	-0,57113195
$\sigma +$	54,8809423
$\sigma -$	116,813795
σ máxima	116,813795
CSH	34,2425312
CSH mínimo	3

Tabla 15. Cálculo del CSH.NMN.

Por lo tanto, se cumple la comprobación de estabilidad al hundimiento.

c) Paso de la resultante por el núcleo central

Tras aplicar la formulación correspondiente al cálculo de la excentricidad y el núcleo central expuesta en el apartado 3.1 se obtienen los siguientes valores:

Excentricidad (m)	-0,57
Núcleo central (m)	±1,58

Tabla 16. Excentricidad de la resultante y núcleo central.NMN.



Por lo tanto, se cumple la comprobación del paso de la resultante por el núcleo central de modo que no exista el riesgo de tracciones en el plano del cimient.

5.1.3. Situación Accidental

Se procede al cálculo de las resultantes de las solicitaciones para la Situación Accidental, sus excentricidades respecto a la esquina inferior izquierda de la sección situada en el talón de aguas arriba y los momentos derivados del producto de ambos valores.

SOLICITACION		RESULTANTE (kN)	EXCENTRICIDAD (m)	MOMENTO (kNm)
PESO PROPIO	P1	326,25	2,62	854,775
	P2	303,75	4,42	1342,575
	P3	8,42	1,132	9,53144
	P4	19,7	0,7	13,79
	Pc	475	4,75	2256,25
EMPUJE HORIZONTAL	EH1	286	3,25	929,5
	EH2	211,25	2,16	456,3
EMPUJE VERTICAL	EV1	77,7	0,525	40,7925
	EV2	5,39	1,137	6,12843
	EV3	7,88	0,35	2,758
	EV4	1,53	1,09	1,6677
SUBPRESIÓN	S1	-278,35	4,75	-1322,1625
	S2	-82,65	3,16	-261,174

Tabla 17. Valor de la resultante, excentricidad y momento generado por las solicitaciones.NAP.

a) Comprobación de estabilidad al deslizamiento

Tras aplicar la formulación correspondiente al cálculo CSD expuesta en el apartado 3.1 se obtienen los siguientes valores:

MRHM (kN)	801,931082
Rh (kN)	497,25
CSD	1,61273219
CSD mínimo	1,1

Tabla 18. Cálculo del CSD.NAP.

Por lo tanto, se cumple la comprobación de estabilidad al deslizamiento.

b) Comprobación de estabilidad al hundimiento

Tras aplicar la formulación correspondiente al cálculo CSH expuesta en el apartado 3.1 se obtienen los siguientes valores:

Excentricidad (m)	0,2588265
σ +	47,7169406
σ -	34,3083226
σ máxima	47,7169406
CSH	83,827671
CSH mínimo	3

Tabla 19. Cálculo del CSH.NAP.

Por lo tanto, se cumple la comprobación de estabilidad al hundimiento.

c) Paso de la resultante por el núcleo central

Tras aplicar la formulación correspondiente al cálculo de la excentricidad y el núcleo central expuesta en el apartado 3.1 se obtienen los siguientes valores:

Excentricidad (m)	0,26
Núcleo central (m)	±1,58

Tabla 20. Excentricidad de la resultante y núcleo central.NAP.

Por lo tanto, se cumple la comprobación del paso de la resultante por el núcleo central de modo que no exista el riesgo de tracciones en el plano del cimient.

5.1.4. Situación Extrema

Las solicitaciones consideradas para la Situación Extrema son las mismas que para la Situación Accidental, dado que se considera la avenida de igual período de retorno para ambas (T= 100 años). Por lo tanto, también se cumplen las comprobaciones para dicha situación y no es necesario volver a realizar los cálculos.

3.2. Estribo

3.2.1. Solicitaciones , comprobaciones y coeficientes de seguridad

Las solicitaciones, comprobaciones y coeficientes de seguridad para el cálculo de la estabilidad de los estribos son iguales que para el cuerpo de presa.

3.2.2. Situación Normal de Explotación

Se procede al cálculo de las resultantes de las solicitaciones para la Situación Normal de Explotación, sus excentricidades respecto a la esquina inferior izquierda de la sección situada en el talón de aguas arriba y los momentos derivados del producto de ambos valores.

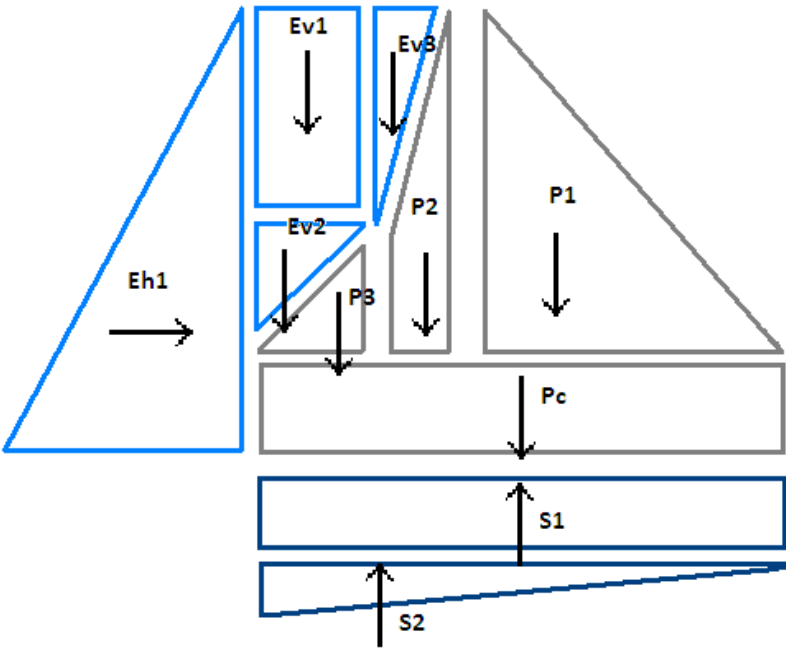


Figura 9. Solicitaciones sobre el estribo.NAP.

SOLICITACIÓN		RESULTANTE (kN)	EXCENTRICIDAD (m)	MOMENTO (kNm)
PESO PROPIO	P1	1173,69	4,93	5786,2917
	P2	47	1,24	58,28
	P3	8,42	0,7	5,894
	Pc	600	6	3600
EMPUJE HORIZONTAL	EH1	221,78	2,22	492,3516
EMPUJE VERTICAL	EV1	33,2	0,525	17,43
	EV2	7,88	0,35	2,758
	EV3	1,53	1,09	1,6677
	EV4	0	0	0
SUBPRESIÓN	S1	-278,35	6	-1670,1
	S2	-82,65	4	-330,6

Tabla 22. Valor de la resultante, excentricidad y momento generado por las solicitaciones en el estribo.NMN.

En el diagrama de cuerpo libre de la sección del estribo no se incluyen los cajeros, se considera desacoplado del resto del elemento a efectos de solicitaciones porque se rompe en el cambio de sección a poco desplazamiento que se produzca.

Se realizaran tres comprobaciones básicas de estabilidad:

- Estabilidad al deslizamiento
- Estabilidad al hundimiento
- Paso de la resultante por el núcleo central de la base del cimiento

DESlizAMIENTO	HUNDIMIENTO
$CSD = \frac{MRHM}{Rh} = \frac{(Ev1+Ev2+Ev3+P1+P2+P3+Pc-S1-S2) \times \tan\theta + C \times B}{Eh1}$	$CSH = \frac{qv}{\sigma_{max}}$
PASO DE LA RESULTANTE POR EL NÚCLEO CENTRAL	
$0 < e < \pm \frac{B}{6}$	

Tabla 21. Formulación para las comprobaciones del estribo. NMN.

a) Comprobación de estabilidad al deslizamiento

Tras aplicar la formulación correspondiente al cálculo CSD expuesta en el apartado 3.1 se obtienen los siguientes valores:

MRHM (kN)	1867,6488
Rh (kN)	221,78
CSD	8,42117773
CSD mínimo	1,4

Tabla 23. Cálculo del CSD en el estribo.NMN.

Por lo tanto, se cumple la comprobación de estabilidad al deslizamiento.

b) Comprobación de estabilidad al hundimiento

Tras aplicar la formulación correspondiente al cálculo CSH expuesta en el apartado 3.1 se obtienen los siguientes valores:



Excentricidad (m)	-0,72835933
$\sigma +$	80,0455417
$\sigma -$	171,741125
σ máxima	171,741125
CSH	23,2908687
CSH mínimo	3

Tabla 24. Cálculo del CSH del estribo.NMN.

EMPUJE VERTICAL	EV1	77,7	0,525	40,7925
	EV2	7,88	0,35	2,758
	EV3	13,59	1,72	23,3748
	EV4	0	0	0
SUBPRESIÓN	S1	-278,35	6	-1670,1
	S2	-82,65	4	-330,6

Tabla 26. Valor de la resultante, excentricidad y momento generado por las solicitaciones en el estribo.NAP.

Por lo tanto, se cumple la comprobación de estabilidad al hundimiento.

c) Paso de la resultante por el núcleo central

Tras aplicar la formulación correspondiente al cálculo de la excentricidad y el núcleo central expuesta en el apartado 3.1 se obtienen los siguientes valores:

Excentricidad (m)	-0,72
Núcleo central (m)	± 2

Tabla 25. Excentricidad de la resultante y núcleo central del estribo.NMN.

Por lo tanto, se cumple la comprobación del paso de la resultante por el núcleo central de modo que no exista el riesgo de tracciones en el plano del cimient.

3.2.3. Situación Accidental

Se procede al cálculo de las resultantes de las solicitaciones para la Situación Accidental, sus excentricidades respecto a la esquina inferior izquierda de la sección situada en el talón de aguas arriba y los momentos derivados del producto de ambos valores.

SOLICITACIÓN		RESULTANTE (kN)	EXCENTRICIDAD (m)	MOMENTO (kNm)
PESO PROPIO	P1	1173,69	4,93	5786,2917
	P2	47	1,24	58,28
	P3	8,42	0,7	5,894
	Pc	600	6	3600
EMPUJE HORIZONTAL	EH1	594,05	3,63	2156,4015

a) Comprobación de estabilidad al deslizamiento

Tras aplicar la formulación correspondiente al cálculo CSD expuesta en el apartado 3.1 se obtienen los siguientes valores:

MRHM (kN)	1411,64698
Rh (kN)	594,05
CSD	2,37631004
CSD mínimo	1,1

Tabla 27. Cálculo del CSD en el estribo.NAP.

Por lo tanto, se cumple la comprobación de estabilidad al deslizamiento.

b) Comprobación de estabilidad al hundimiento

Tras aplicar la formulación correspondiente al cálculo CSH expuesta en el apartado 3.1 se obtienen los siguientes valores:

Excentricidad (m)	0,17189813
$\sigma +$	87,5347343
$\sigma -$	73,6785991
σ máxima	87,5347343
CSH	45,696146
CSH mínimo	3

Tabla 28. Cálculo del CSH en el estribo.NAP.

Por lo tanto, se cumple la comprobación de estabilidad al hundimiento.

c) Paso de la resultante por el núcleo central

Tras aplicar la formulación correspondiente al cálculo de la excentricidad y el núcleo central expuesta en el apartado 3.1 se obtienen los siguientes valores:



Excentricidad (m)	0,17
Núcleo central (m)	±2

Tabla 29. Excentricidad de la resultante y núcleo central del estribo.NAP.

Por lo tanto, se cumple la comprobación del paso de la resultante por el núcleo central de modo que no exista el riesgo de tracciones en el plano del cimient.

3.2.4. Situación Extrema

Las solicitudes consideradas para la Situación Extrema son las mismas que para la Situación Accidental, dado que se considera la avenida de igual período de retorno para ambas (T= 100 años). Por lo tanto, también se cumplen las comprobaciones para dicha situación y no es necesario volver a realizar los cálculos.