

		CLAVE:
		<b>02.803.229</b>
TIPO:	<b>ANTEPROYECTO</b>	REF. CRONOLOGICA:
		<b>11/2012</b>

CLASE
TITULO BASICO: <b>REGULACIÓN ADICIONAL DE LA CUENCA DEL CARRIÓN</b> <b>ANTEPROYECTO EMBALSES DE LAS CUEZAS</b>

PROVINCIA:	PALENCIA	CLAVE:	34
TÉRMINO MUNICIPAL:	VARIOS	CLAVE:	-
RÍO:	CARRIÓN	CLAVE:	2012814

DIRECTOR DEL PROYECTO:	D. JOSÉ IGNACIO DÍAZ-CANEJA RODRÍGUEZ		
CONSULTOR			FECHA:
			<b>NOVIEMBRE 2012</b>

## ANEJO Nº 10. ALTERNATIVA Balsa de Fuentes de Nava

## REGULACIÓN ADICIONAL DE LA CUENCA DEL CARRIÓN ANTEPROYECTO EMBALSES DE LAS CUEZAS

### ANEJO Nº 10 ALTERNATIVA BALSA DE FUENTES DE NAVA

#### ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. EMBALSE .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. DIQUE.....</b>	<b>4</b>
2.2.1. Materiales para cuerpo de presa.....	4
2.2.1.1. Movimiento de tierras .....	5
2.2.2. Cimentación del Dique.....	5
2.2.3. Anchura de coronación .....	6
2.2.4. Resguardo.....	6
2.2.4.1.Cálculo según fórmula de Iribarren .....	6
2.2.4.2.Cálculo según el Reglamento Técnico de Seguridad en Presas y Embalses	7
2.2.4.3.Conclusiones .....	12
2.2.5. Dren Chimenea.....	13
2.2.6. Escollera de protección .....	14
<b>2.3. ÓRGANOS DE ALIMENTACIÓN Y DESAGÜE .....</b>	<b>16</b>
2.3.1. Obra de toma .....	16
2.3.2. Desagüe y aliviadero .....	17
2.3.2.1.Cálculo del vaciado de la balsa .....	18
<b>3. PLANOS .....</b>	<b>20</b>
<b>4. PRESUPUESTO .....</b>	<b>20</b>
<b>5. APÉNDICE Nº 1. PLANOS BALSA FUENTES DE NAVA.....</b>	<b>21</b>

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO

Las aportaciones medias de la cuenca del río Carrión están reguladas por los embalses de Camporredondo y Compuerto, con el apoyo del trasvase desde el embalse de Besande a Compuerto.

Las aportaciones en la zona alta de la cuenca exceden ampliamente al volumen regulado anualmente por estos embalses, lo que ha llevado desde tiempo atrás a plantear la necesidad de buscar nuevas soluciones para incrementar la capacidad de regulación de los propios recursos excedentes en la cuenca para atender las demandas.

Una de las soluciones que se han planteado para incrementar el volumen de regulación consiste de una balsa en las inmediaciones de la zona regable del ramal de campos del Canal de Castilla.

En el estudio de regulación (Anejo nº 3) y en el anejo del estudio de soluciones (Anejo nº 4) de este trabajo se ha realizado una modelización hidráulica en la que se indica que la alternativa del embalse de Vidrieros no es suficiente por sí mismo para satisfacer las demandas. Esto es debido a que los volúmenes que regula son exclusivamente los de cabecera, no siendo regulados algunos cauces con aportaciones importantes al río Carrión, como pueden ser el río Cueva y sus afluentes.

La alternativa de los embalses de la Cueva es mejor en cuanto a capacidad de regulación ya que aprovecha tanto los excedentes del río Carrión a su paso por Poza de la Vega como el caudal aportado por los arroyos de la Cueva.

La solución de construir una balsa en la zona regable del Canal de Castilla es la mejor solución de todas en cuanto a la capacidad de regulación, ya que al estar en la zona baja de la cuenca aprovecharía el río Carrión tras recibir algunos aportes de arroyos importantes, como por ejemplo los de la Cueva, pero presenta la desventaja que las zonas medias y altas de la cuenca se quedarían sin regular ya que se encuentran aguas arriba de esta balsa.

La alternativa de la balsa en la zona regable del Canal de Castilla, presenta la ventaja con respecto a la solución de los embalses de la Cueva, de que es capaz de regular todas las aportaciones que recibe el río Carrión desde Poza de la Vega hasta Ribas de Campos, ya que es el punto en el que se cruzan el Canal de Castilla y el río Carrión.

Con respecto a la ubicación de la balsa se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Mínima afección a municipios, viviendas e infraestructuras.
- Mínima afección ambiental.

- Fácil alimentación y desagüe al río Carrión.
- Relieve preferentemente llano para minimizar el movimiento de tierras.

Con estas premisas, se realizaron varias visitas a los emplazamientos posibles, determinando que la ubicación óptima que cumple con todos los condicionantes es una superficie que pertenece a los términos municipales de Autillo de Campos, Fuentes de Nava y Frechilla. El emplazamiento se ha elegido porque cumple perfectamente con todos los requisitos que se requieren.

Se ha proyectado una balsa para regulación de caudales de gran capacidad ( $90 \text{ hm}^3$ ) y elevado desarrollo (10.540 m.). La balsa almacenará los caudales excedentes invernales del río Carrión suministrados a través del Canal de Castilla, para lo cual se proyecta una toma en las inmediaciones del punto en el que confluyen actualmente el canal de trasvase Cea-Carrión con el Canal de Castilla.

La balsa se ha proyectado ubicada en las inmediaciones del punto donde el trasvase Cea-Carrión confluye con el Canal de Castilla, en las inmediaciones del municipio de Fuentes de Nava. En el modo de funcionamiento normal, la balsa se alimentará en invierno con excedentes de agua del río Carrión a través del Canal de Castilla en el punto de cruce del río Carrión con el Canal de Castilla, que se encuentra ubicado en las esclusas de Calahorra de Ribas (Ribas de Campos). En los meses de verano, el agua del Carrión almacenado en la balsa se reintegrará de nuevo al río Carrión a través del Canal de Castilla.

El Canal de Castilla en esa zona permite actualmente un funcionamiento reversible, por lo que las aguas se podrán tomar del Carrión y/o desaguar en el Carrión indistintamente en función de las necesidades. La zona en la que es reversible parte desde el punto donde confluyen el Canal de Castilla con el canal de trasvase Cea-Carrión hasta El Serrón.

Se ha proyectado una toma doble que permite tomar el agua tanto desde el Canal de Castilla, como desde el canal de trasvase Cea-Carrión. Actualmente, el río Carrión está recibiendo caudales desde el río Esla que algunos años han alcanzado un volumen trasvasado de  $90 \text{ hm}^3$ . En los años horizonte 2.015 y 2.027 estos caudales se van a reducir a un máximo de  $35 \text{ hm}^3/\text{año}$  y el caudal trasvasado lo establecerá el Plan Especial de Sequías del Duero, por lo que solo no se podrá contar con estas aportaciones de forma habitual. En el modo de funcionamiento normal, la balsa se llenará íntegramente con caudales excedentes del río Carrión, pero se deja abierta la posibilidad de tomar el agua desde el canal de trasvase Cea-Carrión para situaciones excepcionales.

El sistema de bombeo que se ha diseñado es reversible de forma que en caso de que la explotación lo permita, poder turbinar los excedentes almacenados por la balsa.

Este anejo se ha redactado con el objetivo de recopilar toda la información relativa a la solución de la balsa en las inmediaciones del Canal de Castilla e introducirlo en el análisis de alternativas. En el estudio de alternativas se han valorado todas las alternativas para cuantificar la capacidad de regulación y el coste de cada una con el fin de identificar la mejor alternativa desde el punto de vista técnico-económico.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

### 2.1. EMBALSE

La balsa es de planta aproximadamente cuadrada con un lado de unos 3.000 metros, ocupando una superficie de 650 ha.

Se dimensiona con una capacidad de almacenamiento de 90,0 hm<sup>3</sup> a su nivel máximo normal, situado a cota 782,50 msnm, estando la coronación del dique que la conforma situada a cota 784,50 msnm, disponiendo de un resguardo de 2,0 m para absorber sobre-elevación de avenidas y oleaje.

La cota de fondo de la balsa se sitúa a cota 768,0 msnm, disponiendo de una carrera de oscilación de 14,5 m.

En el siguiente cuadro de resumen las principales características geométricas de la balsa:

- Cota coronación ..... 784,50 msnm
- Cota fondo ..... 768,00 msnm
- Nivel máximo normal ..... 782,50 msnm
- Capacidad de la balsa MEN..... 89.775.322,1 m<sup>3</sup>
- Resguardo..... 2,0 m
- Superficie embalsada N.M.N ..... 641,51 ha
- Superficie ocupada balsa ..... 693,77 ha
- Longitud coronación dique ..... 10.539,70 m
- Ancho coronación dique ..... 8,00 m
- Volumen desbroce..... 3.468.956,87 m<sup>3</sup>
- Volumen desmonte ..... 17.983.255,68 m<sup>3</sup>
- Volumen terraplén ..... 20.817.039,93 m<sup>3</sup>

## **2.2. DIQUE**

El dique, se corresponde con una tipología de presa de materiales sueltos de tierras y zonificada, disponiendo el material más arcilloso en su zona de aguas arriba, reservando los materiales más permeables, con mayor predominio de arenas, para la formación del espaldón aguas abajo, quedando ambas zonas separadas por un dren chimenea formada por material granular de cantera, que se extiende en la base del espaldón aguas abajo del dique.

La sección tipo del conjunto del dique, es trapecial, con ancho en coronación de 8,0 metros, diseñándose el paramento interior con talud 3H:1V. El paramento exterior se diseña con talud 2H:1V. El paramento interior se encuentra revestido con una capa de escollera.

En el talud de aguas abajo, se proyecta un dren chimenea con 1,0 m de espesor en su tramo horizontal y 2,5 metros en su tramo vertical. El material para la formación del dren, son gravas arenosas de tamaño máximo 30 mm y alto contenido en arenas, sin que se especifiquen condiciones de filtro.

### **2.2.1. Materiales para cuerpo de presa**

Se han realizado visitas al emplazamiento de las obras y se han realizado dos sondeos y seis calicatas en la ubicación de la balsa. Adicionalmente, se ha visitado la balsa que actualmente se está construyendo en Villalón de Campos, ya que está muy cercana a la balsa propuesta y sus características son similares. Ambas balsas se encuentran ubicadas en la zona de la tierra de campos, distan solamente 20 km entre ellas y el relieve de sus ubicaciones es muy similar, por lo que los datos de la balsa de Villalón de Campos aportan una información valiosa para la elaboración de este anejo. La información geotécnica completa, se encuentra desarrollada en el anejo nº 6 del presente anteproyecto.

De la campaña de campo realizada se ha determinado que los materiales para el dique de cierre de la balsa, se podrán extraer del propio interior de la balsa. En todos los ensayos de campo, los materiales extraídos han sido limos arenosos, arcillas limosas y limos arcillosos que por lo general presentan suficiente impermeabilidad. No obstante, en la fase de la redacción del proyecto constructivo, se deberá hacer un estudio geotécnico pormenorizado de los materiales.

### 2.2.1.1. Movimiento de tierras

La balsa proyectada requiere un importante movimiento de tierras. Para el diseño de la balsa se ha realizado un proceso iterativo, con objeto de determinar las cotas de coronación y de fondo óptimas para minimizar el movimiento de tierras y buscar que el volumen de tierras se encuentre autocompensado. Para el cálculo de este movimiento de tierras se ha realizado una triangulación del terreno con la cartografía disponible (a escala 1:5.000), posteriormente se ha proyectado el terraplén necesario y se han tanteado diferentes cotas de coronación y solera hasta que se ha logrado un movimiento de tierras autocompensado. El espesor de desbroce considerado es de 0,5 m.

El volumen del movimiento de tierras resultante de la triangulación realizada es el siguiente:

- Volumen desbroce..... 3.468.956,87 m<sup>3</sup>
- Volumen desmonte .....17.983.255,68 m<sup>3</sup>
- Volumen terraplén ..... 20.817.039,93 m<sup>3</sup>

Según estas mediciones, la suma de desmonte y desbroce es algo superior al volumen necesario de terraplén, pero este valor diferirá ligeramente en función del grado de compactación y esponjamiento que se obtengan en obra. No obstante, cuando se realice una topografía de detalle en el proyecto constructivo, los valores de desbroce, desmonte y terraplén variarán ligeramente, y en caso de que sobrasen tierras, estas se utilizarán en el talud exterior para reducir su pendiente con objeto de que el movimiento de tierras resulte completamente autocompensado.

Las tierras que formarán el dique de la balsa se extraen del propio interior de la balsa, con lo cual no se requieren préstamos ni vertederos. Aquellos materiales que presenten mayor impermeabilidad se utilizarán para el talud interior de la balsa, dejando los más permeables para los taludes exteriores. El desbroce se utilizará por completo en el talud exterior, ya que con ello se minimiza la necesidad de revegetar dicho talud.

### 2.2.2. Cimentación del Dique

Con la información de la campaña geotécnica se ha estimado la resistencia, deformabilidad e impermeabilidad del cimientto.

A la vista de las observaciones realizadas se considera que los materiales del cimientto presentarán probablemente la suficiente resistencia y deformabilidad como para servir de cimientto a la presa.

Respecto a la permeabilidad, se prevé la existencia de algún nivel arenoso con una distribución y una potencia probablemente aleatoria, pero por lo general, la mayor parte del material será del tipo arcilloso y lo suficientemente impermeable. En caso de presentarse algún nivel arenoso se deberá identificar con objeto de garantizar la impermeabilidad y de evitar los fenómenos de arrastre y tubificación que erosionarían el cimiento. En cualquier caso, de la información recopilada se concluye que no son esperables grandes espesores arenosos.

En lo que se refiere a las arcillas, se estima que la impermeabilidad de las mismas será suficiente para garantizar la impermeabilidad de la presa.

### 2.2.3. Anchura de coronación

El ancho de coronación se ha calculado mediante la aplicación de la fórmula:

$$C = 3 + 1,5 * \sqrt[3]{H - 15}$$

Siendo:

- H: Altura de la presa en metros
- C: Anchura de coronación en metros

Para una altura de balsa de 16,5 metros, resulta un ancho de 4,7 m. Se ha adoptado una anchura de coronación de 8 metros con objeto de facilitar las labores de mantenimiento ya que se ha proyectado un camino perimetral a lo largo de toda la coronación.

### 2.2.4. Resguardo

#### 2.2.4.1. Cálculo según fórmula de Iribarren

Para el cálculo del resguardo se comprueba que la altura alcanzada por las olas en la balsa es inferior al resguardo con la balsa al nivel máximo normal. Para determinar el resguardo se usa la fórmula de Iribarren para una zona de baja sismicidad:

$$a = 0,6 * \sqrt[4]{L}$$

Dónde:

- a: amplitud de la ola
- L: Longitud máxima de la balsa en km (en este caso será la longitud de la diagonal, es decir 3,762 km).

Resultando un valor de  $a = 0,8356$  m.

En base a este cálculo, sería suficiente una cota de coronación de 783,336 metros, si bien finalmente se han dispuesto 784,50.

La formulación de Iribarren puede resultar demasiado conservadora en algunos casos pero es válida como primera aproximación. Se ha calculado también en base al criterio establecido en el Reglamento Técnico de Seguridad en Presas y Embalses.

#### **2.2.4.2. Cálculo según el Reglamento Técnico de Seguridad en Presas y Embalses**

##### **➤ ALTURA DE OLA DEBIDA AL VIENTO**

El resguardo se fija en función del régimen de oleaje que sea previsible en el embalse. Se proyecta con el resguardo suficiente para que las olas, una vez rotas en el paramento de aguas arriba no sobrepasen la coronación.

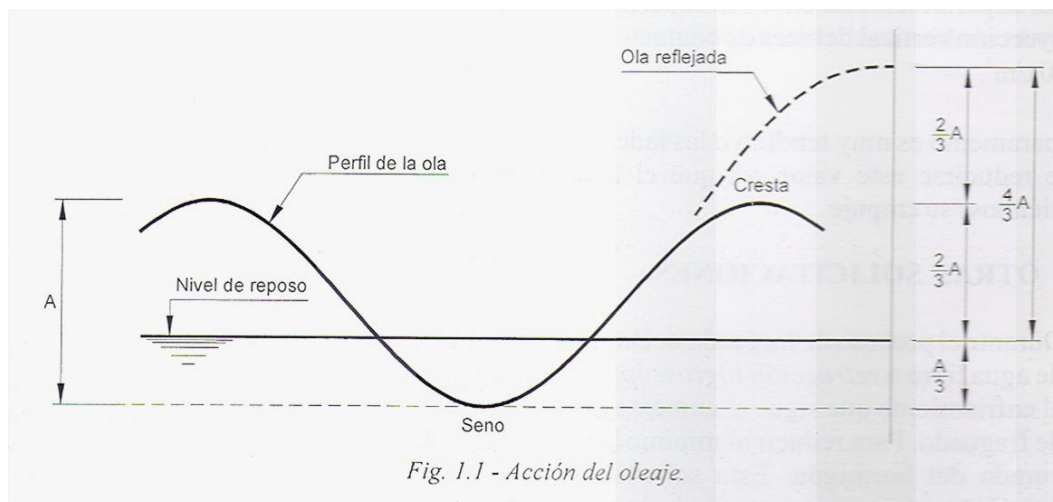
El valor de la máxima ola debida al viento, varía en función de la formulación que se utilice, por lo que lo calcularemos con las expresiones más comunes, todas ellas en función del “Fetch”. Denominamos como “A” la amplitud de la onda del oleaje en metros.

Para esta balsa la cota de inundación con N.M.N. es de 782,5 y el fetch de la diagonal más grande es de 3,762 km.

En nuestro caso para  $F = 3,762$  Km, de manera que empleando la fórmula de Stevenson:

$$A = 0,76 + 0,34 \cdot \sqrt{F} - 0,26 \cdot \sqrt[4]{F} = 1,06m$$

Donde “A” es la amplitud de la onda del oleaje (m) y “F” es fetch (km). La sobreelevación respecto al nivel del embalse es  $h = 4/3 A$ , y esto es debido por una parte a que la onda es asimétrica, estando la línea de nodos (correspondiente a la situación de reposos) a  $2/3$  de la cresta (nivel más alto) y  $1/3$  del vientre (nivel más bajo), y por otra producirse el choque contra el paramento, la onda sufre una reflexión que duplica la sobreelevación.



De acuerdo con la Guía Técnica nº 2 se puede considerar tanto en situación de “avenida de proyecto” como “avenida extrema”, una altura de  $h' = 0.7 * h$ , debida a la muy reducida probabilidad de concurrencia de la punta de avenida y del viento máximo.

Según esto la altura de ola será en nuestro caso:

$$h' = 0.7 * (4/3 * A) = 0.7 * 4/3 * 1.06 = 0.987 \text{ m.}$$

Para el cálculo de las sobreelevaciones debidas a la ola máxima (SOM) y a la ola de avenida (SOA) sobre el nivel medio del embalse, la Guía Técnica nº 2 recomienda considerar:

$$\text{SOM} = 1.5 * A = 1.5 * 1.06 = \mathbf{1,586 \text{ m.}}$$

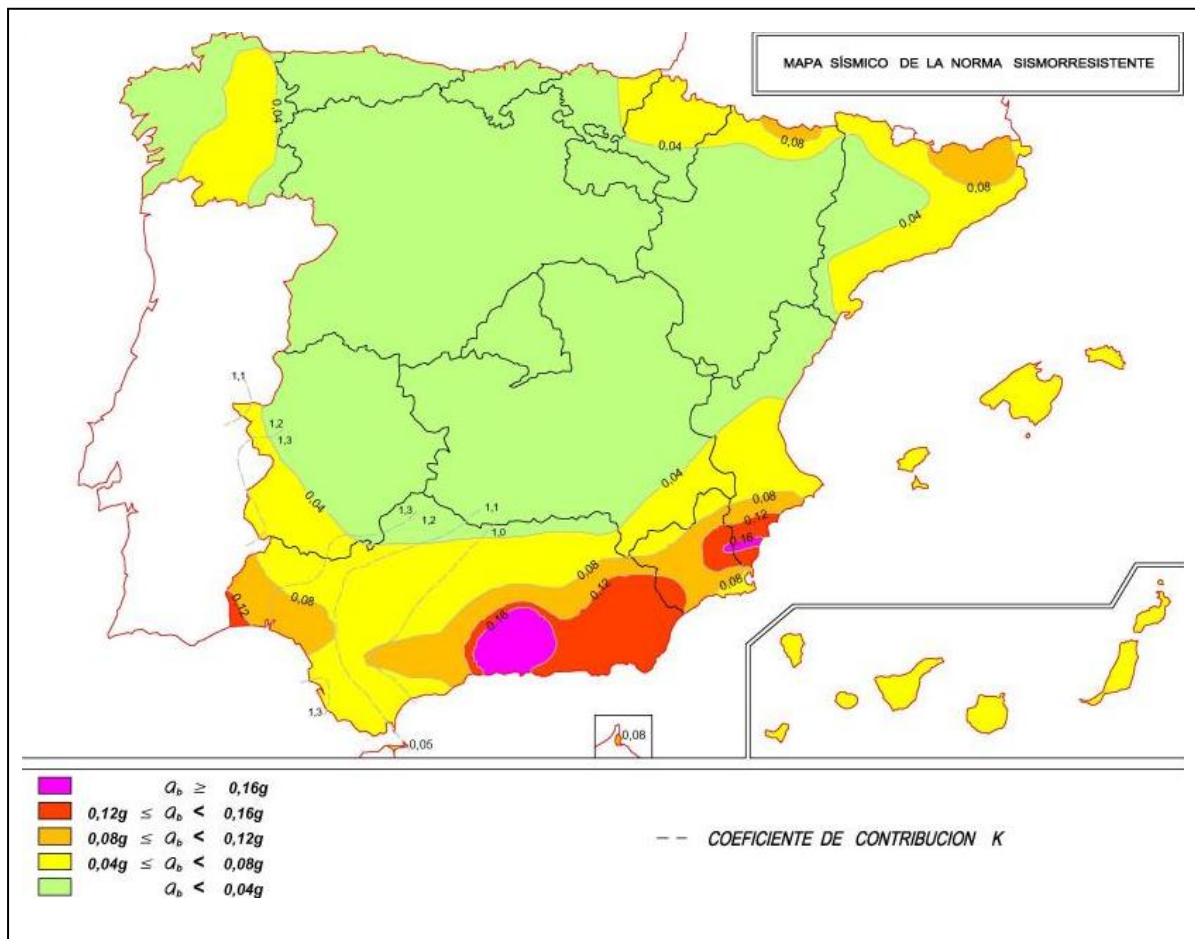
$$\text{SOA} = 0.7 * \text{SOM} = 0.7 * 1,586 = \mathbf{1,110 \text{ m.}}$$

### ➤ ALTURA DE OLA DEBIDA A SISMO

#### CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA SÍSMICA

La peligrosidad sísmica del territorio nacional se define según la NCS-02, en función del mapa de peligrosidad de la figura siguiente.

Este mapa suministra para cada punto del territorio nacional la aceleración sísmica,  $a_b$ , valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno, correspondiente a un periodo de retorno de quinientos años. En el mapa se toma también el valor del coeficiente de contribución  $k$ , que tiene en cuenta la influencia en la peligrosidad sísmica de cada punto de los distintos terremotos considerados en el cálculo de la misma.



## MAPA DE PELIGROSIDAD SÍSMICA

### DETERMINACIÓN DE LA ACELERACIÓN SÍSMICA DE CÁLCULO

Por lo tanto, en la zona de ubicación de la presa se tiene:

$$K = 1,0$$

$$a_b/g \leq 0,04$$

donde  $a_b$ - Aceleración sísmica básica.

Dentro de la Norma Sismorresistente, y para la provincia de Palencia, en el que se sitúa la balsa de estudio tenemos que:

$$a_b/g = 0.04$$

La aceleración sísmica de cálculo tiene por expresión:  $a_c = \rho \cdot a_b$

Donde “ $\rho$ ” = Coeficiente adimensional de riesgo cuyo valor, en función del periodo de vida en años  $t$ , para el que se proyectó la construcción viene dado por:

$$\rho = \left( \frac{t}{50} \right)^{0,37} = \left( \frac{100}{50} \right)^{0,37} = 1,3$$

“t”, toma el valor de 100 años para construcciones de especial importancia como es nuestro caso, por lo que llegamos a que la aceleración sísmica básica resulta:

$$a_c = 1.3 * a_b = 1.3 * (0.04 * g) = 0.510$$

En el caso de estar estudiando un terremoto extremo se utilizaría un periodo de retorno de 500 años y por lo tanto “ $\rho = 2$ ”. La aceleración sísmica extrema se calcula:

$$a_c = 2 * a_b = 2 * (0.04 * g) = 0.785$$

Tabla 3.2  
Resumen de los periodos de retorno  
de los sismos de cálculo

Clasificación de la presa	Sismicidad		
	Baja	Media	Elevada
C	N.A.	TP = 1.000 años	
B			
A		TP = 1.000 años TE = 3.000 a 5.000 años	TP = 1.000 años TE = 10.000 años

**Tabla 3.3**  
**Resumen de las aceleraciones de cálculo**  
**(componente horizontal)**

Clasificación de la presa	Sismicidad		
	Baja	Media	Elevada
C	N.A.	TP, $a_c = 1.3 a_b$	
B			
A		TP, $a_c = 1.3 a_b$ TE, $a_c = 2 a_b$	E.E.

NA = No es necesaria la consideración explícita de la acción sísmica

TP = Terremoto de proyecto

TE = Terremoto extremo

$a_b$  = Aceleración sísmica básica. NCSE-94

$a_c$  = Aceleración de cálculo

EE = Estudio sismotectónico especial. Ver apartado 3.7.

**Nota:** Las comprobaciones a realizar y los daños admisibles en condiciones sísmicas  
 pueden verse en la Guía nº 2 "Criterios de proyecto".

## CÁLCULO DE LA ALTURA DE OLA DEBIDA A SISMO

La altura de la ola sísmica en metros puede obtenerse mediante la siguiente fórmula:

$$A_s = K * T * \sqrt{g * H} / (2 * \pi)$$

donde:

- K.- aceleración sísmica horizontal máxima multiplicada por el coeficiente del terreno.
- T.- Periodo natural del terremoto en segundos.
- g.- Aceleración de la gravedad.
- H.- Altura máxima del embalse.

Para determinar el coeficiente del terreno “k”, suponemos que la velocidad de propagación sísmica  $v = 1.100$  m/s por lo que queda:

$$k = \frac{1000}{v} = \frac{1000}{1100} = 0,91$$

Y nuestro coeficiente K de cálculo es

$K = a_c * k / g = 0.047$  para terremoto de proyecto

$K = a_c * k / g = 0.073$  para terremoto extremo

Según las instrucciones del Bureau of Reclamation se adopta  $T = 1$ .

La altura máxima del embalse es  $H = 782,5 - 768 = 14,5$  m.

Sustituyendo estos valores en la expresión anterior, tenemos que:

- Para terremoto de proyecto

$$A_s = 0.047 * 1 * \sqrt{g * 14,5} / (2 * \pi) = 0,089 \text{ metros}$$

- Para terremoto extremo

$$A_s = 0.073 * 1 * \sqrt{g * 14,5} / (2 * \pi) = 0.139 \text{ metros}$$

**SOS =  $A_s + 1 = 1,139$  metros**

#### ➤ COMPROBACIÓN DE RESGUARDOS

A la vista de los resultados obtenidos ( $SOM = 1,586$  m y  $SOS = 1,139$ ), se pueden plantear las siguientes hipótesis que definen los resguardos normal y mínimo de acuerdo con el Reglamento.

De acuerdo con las comprobaciones de resguardo normal y mínimo que se establecen en el Artículo 13 del Reglamento:

#### 2.2.4.3. Conclusiones

- Nivel Máximo Normal + Oleaje máxima debido a viento (Fórmula de Iribarren)  
 $= 782,5 + 0,836 = 783,336$
- Nivel Máximo Normal + Oleaje máxima debido a viento (SOM) =  
 $782,5 + 1,586 = 784,086$  m.s.m.
- Nivel Máximo Normal + Oleaje máximo debido a sismo (SOS) =  $782,5 + 1,139$   
 $= 783,639$  m.s.m.

Según el criterio más restrictivo, la coronación debería diseñarse a una cota de 784,086, pero en base al resto de criterios, la cota es inferior. A este valor hay que añadirle la sobreelevación generada por el aumento del agua debido al aliviadero. Se ha adoptado una cota de coronación de 784,50 metros que se considera suficientemente conservadora, ya que permitiría que el aliviadero generase un incremento de altura de  $784,5 - 784,086 = 0,414$  metros.

La presa no va a presentar avenidas, ya que se alimenta exclusivamente a través de una toma en el Canal de Castilla, por lo que las únicas sobreelevaciones esperables son las debidas a episodios de fuertes lluvias. Se considera que el resguardo adoptado de 0,414 es suficiente para estos episodios de lluvia.

### **2.2.5. Dren Chimenea**

Como ya se ha comentado anteriormente, el proyecto prevé la ejecución de un dren chimenea de ancho en horizontal 2,5 metros en el tramo vertical y un espesor de 1 metro en el tramo horizontal. Este dren, se prolonga en horizontal a cota de cimentación del espaldón aguas abajo a lo largo de todo el paramento de balsa.

#### **Diseño funcional**

El dren chimenea debe garantizar la evacuación del agua y retener las partículas finas del dique. Para cumplir este objetivo, se indican a continuación las características granulométricas que debe cumplir como filtro, siguiendo el criterio de Sherard. Este criterio es el que se aplica habitualmente a la hora de diseñar los filtros y drenes de las presas de materiales sueltos.

Para suelos con contenido en finos superiores al 85 % (Grupo 1 según denominación de Sherard), el filtro debe cumplir la condición:

$$D_{15} \leq 9.d85 \text{ mm}$$

Se trataría de un material compuesto de arenas o gravas arenosas, con predominio de la porción de arenas para evitar la segregación de las gravas durante la fase de puesta en obra, para lo que el contenido de arenas debe ser superior al 40% (menor que el tamiz nº 4), con un tamaño máximo de grava de 20 mm.

Además, para asegurar la estabilidad interna del filtro, el contenido en finos (elementos más finos que 0,074 mm) no debe superar el 5%, debiendo cumplirse que para cualquier división del material en dos partes arbitrarias, el coeficiente de uniformidad será igual o menor que 5.

Además, el D15 del filtro debe ser igual o inferior a 0,5 mm. Adoptando este valor de D15 se ha comprobado en muchas presas que los filtros funcionan muy bien en todas las bases cohesivas, por finas que sean.

### **Geometría**

El espesor del filtro viene determinado por las siguientes condiciones:

- El necesario para cumplir su función, de forma que la interfase de penetración inicial ocupe una porción reducida del espesor.
- Un margen añadido que tenga en cuenta la pérdida de espesor eficaz por mezcla con los materiales adyacentes al ejecutarlo.
- El ancho horizontal mínimo, que posibilite el trabajo óptimo de la maquinaria de compactación.

En filtros verticales o subverticales la última condición predomina ampliamente sobre las otras dos, mientras que en el tramo horizontal, serían las dos primeras las que condicionarán el espesor a adoptar, que en condiciones estrictas se podrá admitir un espesor mínimo de aproximadamente 20-25 cm.

Teniendo en cuenta lo anterior, se adopta un espesor de filtro en el tramo vertical con una anchura en horizontal de 2,50 m, ya que anchuras menores van a dificultar la correcta compactación del filtro, que requerirían maquinaria específica distinta a la del núcleo (rodillo vibrante). Una compactación insuficiente puede dar lugar a la pérdida de su función básica de retención de partículas erosionadas en el núcleo.

En el tramo horizontal, se considera que 1 metro de espesor de filtro resulta suficiente.

#### **2.2.6. Escollera de protección**

Se ha proyectado una escollera de protección ubicada en el paramento aguas arriba, es de un espesor de 50 cm, con tamaño máximo de 45 cm y diámetro mínimo de 15 cm, colocada directamente sobre el espaldón de aguas arriba.

En el paramento aguas arriba, el efecto más importante es el del oleaje, que en el caso de la balsa proyectada es de cierta importancia dado el Fetch disponible (3,762 Km).

Como se ha comprobado en este mismo anejo que la altura de ola puede ser del orden de los 0,8 m, aunque en formulaciones empleadas por el futuro “Manual para diseño de balsas”, este valor podría llegar en el caso de proyecto, hasta los 1,6 m.

Esta altura de ola o el Fetch disponible es el que determina el tamaño máximo de la piedra a colocar; para una escollera de tamaño máximo obtenido según este criterio, las

piedras se podrán mover con el oleaje, pero sin desplazamientos ni arrastres del conjunto.

La formulación propuesta para el cálculo de la escollera es la de Hudson.

$$P = \frac{1}{K_D * \cotg \alpha} * \frac{H^3 * f}{\left(\frac{\rho_e}{\rho_w} - 1\right)^3}$$

$K_D$  = Coeficiente

$K_D = 3,2$  si se consideran 0 – 1% averías.

$K_D = 15,9$  si se consideran averías del 30 – 60%

$H$  = Altura de ola

$\alpha$  = ángulo de inclinación del talud

$f$  = coeficiente de rozamiento.

$\rho_s$  = densidad de la escollera

$\rho_w$  = densidad del agua

La altura de ola se ha tomado 1,586, que es la mayor de las alturas de ola calculadas anteriormente. La densidad de la escollera adoptada es de 2,5 t/m<sup>3</sup> y el coeficiente de rozamiento se ha tomado 2,38 que es el habitualmente empleado para diques de escollera.

Considerando  $K_D = 3,2$  (0 – 1%) averías resulta:

$$P = \frac{1}{3,2 * \cotg 18,435^\circ} * \frac{1,586^3 * 2,38}{\left(\frac{2,5}{1} - 1\right)^3} = 0,293 \text{ t} = 293,04 \text{ kg}$$

Considerando  $K_D = 15,9$  (30 – 60%) averías resulta:

$$P = \frac{1}{15,9 * \cotg 18,435^\circ} * \frac{1,586^3 * 2,38}{\left(\frac{2,5}{1} - 1\right)^3} = 0,058 \text{ t} = 58,96 \text{ kg}$$

Para simplificar los cálculos se adopta una escollera de forma esférica

$$\frac{4}{3} * \pi * R^3 * 2500 = \text{Peso escollera}$$

Para un peso de la escollera de 58,96 kg resulta Radio = 0,1779 cm

Para un peso de la escollera de 293,04 kg resulta Radio = 0,3036 cm

Para estar del lado de la seguridad, se adopta una escollera de tamaño mínimo 0,3 m, un tamaño medio D50 variable entre 0,5 y 0,7 m. y una tamaño máximo de 1,0 m.

Esta piedra debe ser colocada por simple vertido con volquete, debiendo quedar con un espesor mínimo que en función de la experiencia debe ser igual al tamaño de la piedra de diámetro máximo; esto supone un espesor de escollera de 1,0 m.

Bajo el manto de escollera, se propone dispondrá un geotextil que hará las funciones de filtro "no crítico" y protegerá en doble sentido el material arcilloso del núcleo impermeable.

## 2.3. ÓRGANOS DE ALIMENTACIÓN Y DESAGÜE

### 2.3.1. Obra de toma

La balsa se llenará íntegramente con los caudales excedentes del río Carrión durante los meses de Octubre a Marzo a través del Canal de Castilla. No obstante ubicación de la balsa permitiría aprovechar los excedentes que pudiera tener el trasvase del canal Cea-Carrión, si bien estos caudales no está previsto que se utilicen, tal y como se indica en el plan hidrológico de cuenca.

La obra de toma se ha diseñado de forma que se permita el llenado de la misma durante los 6 meses de mayor caudal del río Carrión. A continuación se adjuntan los cálculos del bombeo necesario para llenar la balsa.

$$\text{Caudal a bombear} = \frac{\text{Volumen de la balsa}}{\text{Tiempo de llenado}}$$

Volumen de la balsa hasta el Máximo Nivel Normal: 89.775.322,1 m<sup>3</sup>

Tiempo = 6 meses = 15.552.000 segundos

$$Q = \frac{89.775.322,1 \text{ m}^3}{15552000 \text{ segundos}} = 5,7725 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

En base a estos cálculos, se adopta un caudal de bombeo de 6 m<sup>3</sup>/s.

La cota de la solera de la balsa es de 768,0 m. y la de la coronación es de 784,5 m. Esto hace que la altura geométrica necesaria sea de 16,5 metros. Se considera una altura manométrica de 20 metros para tener en cuenta las pérdidas de carga.

La potencia necesaria para el bombeo es:

$$P = \frac{\rho * g * Q * h}{1000 * \mu}$$

Siendo:

P = Potencia del bombeo en kW.

$\rho$  = Densidad del agua = 1000 kg/m<sup>3</sup>.

g = Aceleración de la gravedad = 9,81 m/s<sup>2</sup>

Q = Caudal = 10 m<sup>3</sup>/s.

h = altura manométrica de bombeo = 20 m.

$\mu$  = rendimiento. Se adopta un rendimiento conjunto del sistema de bombas del 60 %.

$$P = \frac{1000 * 9.81 * 6 * 20}{1000 * 0,6} = 1962 \text{ kW}$$

Se adopta finalmente un grupo de bombeo de 2000 kW.

La obra de toma se compone de dos tuberías diámetro 2.000 mm para la toma desde el Canal de Castilla y otras dos de las mismas características para la toma desde el trasvase Cea-Carrión. Estas cuatro tuberías se conectan a la estación de bombeo-turbinado y desde esta estación salen dos tuberías de diámetro 1.400 mm y longitud 200 metros que conectan la estación con la balsa.

### 2.3.2. Desagüe y aliviadero

Para el adecuado control del nivel de la balsa se han diseñado un desagüe de fondo que se diseña alojado en una galería visitable que pasa a través del dique. La galería visitable se diseña de hormigón armado con sección semicircular de 15 metros de anchura y 7,5 metros de altura. En su interior se alojan dos tuberías de entrada a la balsa de 1.400 mm de diámetro cada una, dos tuberías de desagüe de 2.000 mm de diámetro cada una y una tubería de diámetro 1.500 mm del aliviadero. La galería de hormigón desemboca aguas abajo en la estación de bombeo-turbinado. Todas las tuberías dispondrán de sus correspondientes compuertas de cierre. La embocadura de las tuberías en la balsa se diseña mediante un abocinamiento, con el fin de disminuir al máximo las pérdidas de carga, dispuesto en el interior de un depósito sumergido para evitar que el agua produzca erosión en el fondo de la balsa.

Se ha diseñado una arqueta aliviadero dispuesta en el interior de la balsa para permitir su vaciado en situaciones de emergencia. La balsa no tiene avenidas por lo que la función del aliviadero es exclusivamente desaguar la sobreelevación de agua que se pueda producir en episodios de tormentas fuertes. La arqueta del aliviadero tiene un vertedero de labio fijo y está conectada a una tubería de diámetro 1.500 mm que atraviesa el cuerpo de presa y desemboca en el Canal de Castilla.

### 2.3.2.1. Cálculo del vaciado de la balsa

El objeto principal del desagüe de fondo de la balsa es garantizar el nivel en la misma ante alguna eventualidad que pudiera poner en riesgo la estructura. A tal fin en el presente apartado se calcula la capacidad de desagüe de los conductos diseñados. Para el desagüe de fondo se adoptan dos tuberías de acero de diámetro 2.000 mm con lo que el vaciado (según se justifica en los cálculos del Proyecto) de la primera tercera parte de la altura se calcula en 10 días y el vaciado completo de la balsa en 20 días. Estos valores son calculados mediante la siguiente ecuación:

Los cálculos se han realizado según la “**Guía Técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión**” publicada por el CEDEX. El cálculo de las pérdidas de carga continuas se realiza mediante la fórmula universal de Darcy-Weisbach:

$$J = \frac{\Delta H_c}{L} = \frac{f}{ID} \times \frac{v^2}{2g}$$

Siendo:

- J: pérdida de carga continua, por unidad de longitud, en m/m
- $\Delta H_c$  : pérdida de carga continua, en m
- L: longitud del tramo, en m
- ID: diámetro interior del tubo, en m
- v: velocidad del agua en m/s
- g: aceleración de la gravedad
- f: coeficiente de pérdida de carga por unidad de longitud, adimensional.

Para el cálculo del coeficiente de pérdida de carga por unidad de longitud, es recomendable usar la expresión de Colebrook-White (1939):

$$f = \frac{0,25}{\left[ \log \left( \frac{K}{3,71ID} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right) \right]^2}$$

Para desaguar la balsa, se han adoptado dos tuberías paralelas de 2000 mm de diámetro nominal y 200 metros de longitud.

Para calcular el tiempo de vaciado de la balsa, se ha utilizado el teorema de Torricelli.

$$v = \sqrt{2 * g * h}$$

Siendo:

- v = velocidad en m/s.
- h = altura de la lámina de agua en m.
- g = aceleración de la gravedad en m/s<sup>2</sup>

El caudal desaguado será por tanto

$$Q = v * \Omega = \sqrt{2 * g * h} * \Omega$$

La balsa tiene una propuesta de clasificación tipo A, y teniendo en cuenta el Reglamento de presas y embalses, se deberá disponer doble desagüe. Por ello se ha proyectado el desagüe con dos tuberías de 2000 mm de diámetro cada una.

Como el caudal desaguado depende de la altura, se ha realizado una discretización de la balsa cada 0,5 metros de altura para obtener los volúmenes desaguados y el tiempo de desagüe de dichos volúmenes.

COTA (msnm)	TIEMPO (días)	COTA (msnm)	TIEMPO (días)
768	0	776,5	13,62721018
768,5	2,48798622	777	14,06563413
769	3,92788702	777,5	14,49312497
769,5	5,04549745	778	14,91052688
770	5,99212506	778,5	15,31862933
770,5	6,82907471	779	15,71811948
771	7,58800452	779,5	16,10958792
771,5	8,28790385	780	16,49358487
772	8,94109406	780,5	16,870594
772,5	9,55622149	781	17,24104788
<b>773</b>	<b>10,1395258</b>	781,5	17,60534151
773,5	10,6957702	782	17,96381439
774	11,228585	<b>782,5 (MNN)</b>	<b>18,31681152</b>
774,5	11,7409339	783	18,66463117
775	12,2351583	783,5	19,00753314
775,5	12,7132386	784	19,34580493
776	13,1767911	<b>784,5 (COTA CORONACIÓN)</b>	<b>19,6783779</b>

Se concluye que el vaciado completo de la balsa a través de las dos tuberías de 2.000 mm de diámetro se realizará en aproximadamente 18 días, logrando el vaciado de la primera tercera parte de la altura de la balsa en 10 días. Esta capacidad de desagüe se ha calculado para situaciones de fallo de la obra de toma, es decir, sin contar con el desagüe que produciría el aliviadero.

Se ha diseñado un resguardo elevado de 2 metros que garantiza la seguridad frente a oleaje, pero también frente a cualquier episodio de lluvia incluso en periodos de retorno elevados.

El “Manual de diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas” (redactado por el CEDEX), donde se indica que el tiempo de vaciado se deberá reducir en la medida de lo posible, estimando tiempos de vaciado de entre 1 y 2 días para el conjunto de la balsa.

Dado el elevado volumen de la balsa, fijar su vaciado en sólo 2 días como máximo exigiría la construcción de unos desagües de fondo desproporcionados, por lo que estimamos que el vaciado calculado es suficiente. Además, se debe tener en cuenta que debido a las características de la balsa, en caso de necesidad, se pueden interrumpir las aportaciones a la misma.

### 3. PLANOS

En el presente anejo se ha incluido un apéndice de los planos de la balsa incluyendo:

- Plano nº 1. Planta general
- Plano nº 2. Detalles.

### 4. PRESUPUESTO

Para la estimación de su coste se ha tomado como referencia el presupuesto de la balsa que el ITACyL está construyendo en Villalón de Campos, ya que esta balsa tiene similares características a la estudiada y su presupuesto está plenamente vigente. La balsa de Villalón de Campos tiene una capacidad de 9,6 hm<sup>3</sup> y un Presupuesto Base de Licitación de 26.373.853,14 €, con lo que se estima un Presupuesto Base de Licitación para la balsa de este estudio, con una capacidad de 89,77 hm<sup>3</sup> es de 246.637.620,90 €, con lo que resulta un precio por incremento de volumen almacenado de 2,7473 €/m<sup>3</sup>.

## **5. APÉNDICE N° 1. PLANOS Balsa Fuentes de Nava**

- Plano n° 1. Planta general
- Plano n° 2. Detalles.