

		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>

TOMO 5 DE 9

## ANEJO Nº 7. ALTERNATIVA CUEZAS. MEMORIA

### ANEJO Nº 7.1. ALTERNATIVA CUEZAS. ESTUDIO HIDROLÓGICO

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

### **ÍNDICE ANTEPROYECTO**

#### **MEMORIA**

##### **TOMO 1**

**ANEJO Nº 1 RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS**

**ANEJO Nº 2 ANTECEDENTES Y SITUACIÓN ACTUAL**

**ANEJO Nº 3 ESTUDIO DE REGULACIÓN**

**ANEJO Nº 4 ESTUDIO DE SOLUCIONES**

**ANEJO Nº 5 TOPOGRAFÍA**

##### **TOMO 2**

**ANEJO Nº 6 ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO**

Apéndice 1. Plantas y perfiles geológicos

##### **TOMO 3**

Apéndice 2. Informe de investigaciones

Apéndice 2.1. Campaña de campo sept 2010

Apéndice 2.2. Campaña de campo sept 2011

Apéndice 3. Estudio geofísico

##### **TOMO 4**

Apéndice 4. Actas de ensayos de laboratorio

Apéndice 5. Informe mineralógico

Apéndice 6. Fichas de explotaciones para préstamo

##### **TOMO 5**

**ANEJO Nº 7 ALTERNATIVA CUEZAS. MEMORIA**

Anejo nº 7.1. Alternativa Cuezas. Estudio Hidrológico

Apéndice 1. Datos térmicos

Apéndice 2. Datos pluviométricos

Apéndice 3. Cálculos pluviométricos dobles acumulaciones entre estaciones  
ajuste por Gumbel y SQRT máx

Apéndice 4. Índices y clasificaciones climáticas

Apéndice 5. Salida de resultados modelo Hec-Ras

Planos

## **TOMO 6**

- Anejo nº 7.2. Alternativa Cuezas. Estudio de laminación
- Anejo nº 7.3. Alternativa Cuezas. Cálculos hidráulicos
- Anejo nº 7.4. Alternativa Cuezas. Estudio de expropiaciones
- Anejo nº 7.5. Alternativa Cuezas. Servicios afectados

## **TOMO 7**

### **ANEJO Nº 8 ALTERNATIVA RECRECIMIENTO DE CAMPORREDONDO Y COMPUERTO**

- Anejo nº 8.1. Alternativa recrecimiento de Camporredondo y Compuerto.  
Trabajos topográficos
- Anejo nº 8.2. Alternativa recrecimiento de Camporredondo y Compuerto.  
Geología y geotecnia
- Anejo nº 8.3. Alternativa recrecimiento de Camporredondo y Compuerto.  
Estudio hidrológico
- Anejo nº 8.4. Alternativa recrecimiento de Camporredondo y Compuerto.  
Cálculos de estabilidad
- Anejo nº 8.5. Alternativa recrecimiento de Camporredondo y Compuerto.  
Cálculos estructurales
  - Apéndice 1. Cálculo de la presa actual de Camporredondo
  - Apéndice 2. Cálculo de la presa recrecida de Camporredondo
  - Apéndice 3. Estudio tensional de la presa actual de Compuerto
  - Apéndice 4. Estudio tensional de la presa recrecida de Compuerto. Bloques centrales. Embalse lleno. Estudio tensional de la presa actual de Compuerto
  - Apéndice 5. Estudio tensional de la presa recrecida de Compuerto. Bloques centrales. Embalse vacío
  - Apéndice 6. Estudio tensional de la presa recrecida de Compuerto. Bloques laterales. Embalse lleno
  - Apéndice 7. Estudio tensional de la presa recrecida de Compuerto. Bloques laterales. Embalse vacío
- Anejo nº 8.6. Alternativa recrecimiento de Camporredondo y Compuerto. Cálculos hidráulicos

Planos

### **ANEJO Nº 9 ALTERNATIVA EMBALSE DE VIDRIEROS**

- Apéndice 1. Afecciones producidas por el embalse de vidrieros
- Planos

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

- Apéndice 1. Planos

## **TOMO 8**

PLANOS

## **TOMO 9**

PRESUPUESTO

		<b>GOBIERNO DE ESPAÑA</b>	<b>MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE</b>	
				<b>CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL DUERO</b>

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

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

<b>PROVINCIA:</b>	<b>PALENCIA</b>	<b>CLAVE:</b>	<b>34</b>
<b>TÉRMINO MUNICIPAL:</b>	<b>VARIOS</b>	<b>CLAVE:</b>	<b>-</b>
<b>RÍO:</b>	<b>CARRIÓN</b>	<b>CLAVE:</b>	<b>2012814</b>

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

## **ANEJO Nº 7. ALTERNATIVA CUEZAS. MEMORIA**

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

## ANEJO Nº 7

### ALTERNATIVA CUEZAS. MEMORIA

#### ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES.....</b>	<b>1</b>
<b>3. ESTUDIO DE REGULACIÓN.....</b>	<b>1</b>
3.1.    DATOS DE PARTIDA .....	1
3.2.    METODOLOGÍA Y CONCLUSIONES .....	2
3.2.1.    Metodología .....	2
3.2.2.    Conclusiones .....	6
3.2.3.    Solución Adoptada.....	10
<b>4. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA.....</b>	<b>12</b>
4.1.    CANAL DE DERIVACIÓN .....	12
4.2.    PRESAS.....	13
<b>5. TOPOGRAFÍA .....</b>	<b>14</b>
<b>6. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA .....</b>	<b>15</b>
6.1.    CANAL DE ALIMENTACIÓN DE LOS EMBALSES DE LA CUEZA	16
6.2.    PRESAS DE LA CUEZA 1, CUEZA 2 Y FUENTEARRIBA .....	17
<b>7. ESTUDIO HIDROLÓGICO.....</b>	<b>18</b>
<b>8. CÁLCULOS HIDRÁULICOS Y LAMINACIÓN DE AVENIDAS .</b>	<b>19</b>
8.1.    ALIVIADEROS.....	20
8.2.    DESAGÜES DE FONDO .....	20
8.3.    LAMINACIÓN DE AVENIDAS.....	21
<b>9. DOCUMENTOS QUE INTEGRAN EL ANEJO 7. ALTERNATIVA</b>	
<b>    CUEZAS .....</b>	<b>22</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

El objeto del presente documento es definir las obras, a nivel de anteproyecto, de la solución adoptada para satisfacer las necesidades derivadas de la regulación adicional de la Cuenca del río Carrión. La solución adoptada consiste básicamente, en la construcción de tres embalses en los cauces de “Las Cuezas” (Palencia) alimentados por un canal que derivará caudales excedentarios del propio río Carrión.

## 2. ANTECEDENTES

Las aportaciones de la cuenca del río Carrión están reguladas por los embalses de cabecera Camporredondo y Compuerto, con el apoyo del trasvase desde Besande a Compuerto. Las aportaciones en la zona alta de la cuenca exceden ampliamente la capacidad de regulación de estos embalses, lo que ha llevado a buscar nuevas soluciones para incrementar la regulación de los recursos excedentes en la cuenca.

Para contribuir a resolver este problema, en el presente documento se desarrolla una de las soluciones planteadas en el *Estudio de Regulación* y que consiste en la derivación de caudales excedentes desde el río Carrión hacia sus afluentes por la margen derecha, donde serían regulados mediante nuevos embalses y posteriormente devueltos al río Carrión.

## 3. ESTUDIO DE REGULACIÓN

La información completa del estudio de regulación se encuentra en el anejo nº 3 del presente anteproyecto. En ese apartado se recogen brevemente las conclusiones del estudio de regulación referentes a la solución de los embalses de la Cueva. La solución adoptada se ha denominado en todas las tablas “Hipótesis 4.1.C”, Con Cuezas, sin balsas y con ampliación del Castilla Campos. Esta solución es la alternativa más económica que permite satisfacer las demandas satisfactoriamente.

### 3.1. DATOS DE PARTIDA

El objeto del estudio de regulación es el análisis de la capacidad de servicio del sistema Carrión – Pisuegra, estudiando el incremento de la regulación actual mediante nuevas infraestructuras o modificando las existentes.

Los análisis se han realizado mediante un modelo de simulación de la explotación mensual del sistema basado en el programa SIM-V, utilizado ampliamente en distintos sistemas españoles y en particular en el Plan Hidrológico del Duero de 1.998. El modelo reproduce en detalle el modelo utilizado por la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Duero (en adelante OPH) para simular la cuenca del

Pisuerga en los trabajos relacionados con el nuevo Plan Hidrológico actualmente en fase de información pública, que se basa en el modelo Aquatool.

Todos los análisis se han realizado para los llamados escenarios 1 y 3 (año 2015 y 2027 respectivamente) que se definen en el Plan Hidrológico que difieren en las demandas supuestas, mayores en el 1 que en el 3, y en las aportaciones, puesto que la OPH admite que en el escenario 3 las aportaciones serán un 6% inferiores a las actuales debido a la influencia del cambio climático (siguiendo las recomendaciones de la Oficina de Seguimiento del Cambio Climático).

## **3.2. METODOLOGÍA Y CONCLUSIONES**

### **3.2.1. Metodología**

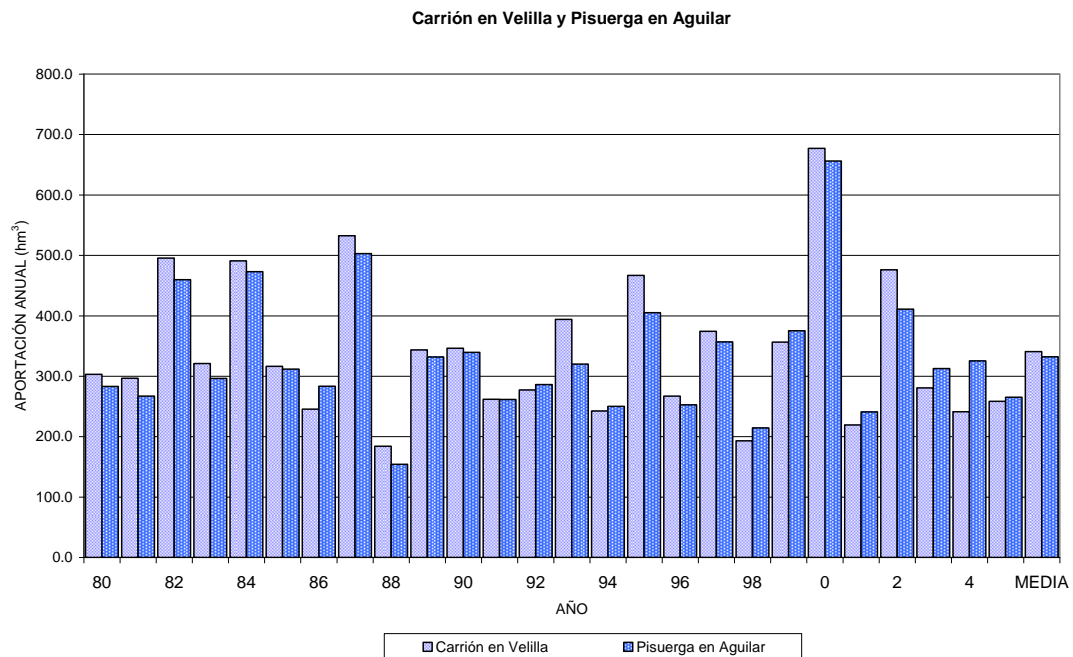
El modelo, basado en el SIM-V, reproduce el utilizado en el Pisuerga por la OPH - realizado con Aquatool - para los trabajos del nuevo Plan Hidrológico; incluye los ríos Carrión, Pisuerga, Arlanza, Esgueva, Valderaduey y un tramo del Duero y permite analizar la mejora del funcionamiento del sistema con distintas alternativas de regulación adicional del Carrión: la construcción de la presa de Vidrieros, la ejecución de los recrecimientos de las presas de Camporredondo y Compuerto, el diseño de nuevos embalses en las Cuezas y balsas de regulación construidas en la zona regable.

El desarrollo del modelo ha exigido recopilar y analizar los datos del modelo original de la OPH de los cuatro tipos siguientes:

- Recursos hidráulicos: aportaciones en los puntos necesarios para simular correctamente la capacidad de regulación del sistema
- Demandas futuras a atender por el sistema, desagregadas hasta el punto de distinguir las que se pueden servir desde las distintas presas o canales
- Infraestructura actual y futura: se parte de las obras actuales de regulación y transporte y se añaden las distintas alternativas consideradas viables en los trabajos realizados en el marco de este estudio
- Régimen de explotación: refleja las prioridades de servicio entre demandas y las de uso de agua de embalses alternativos. Las primeras están fijadas por el régimen concesional, mientras que las segundas son resultado de los análisis realizados con el modelo para maximizar el rendimiento del sistema. Se ha partido del régimen de explotación supuesto por la OPH introduciendo ligeras modificaciones para incorporar las nuevas obras de regulación

En cuanto a los recursos, se ha trabajado con la llamada “serie corta” de aportaciones que comprende los 26 años del periodo 1.980-2.005. Esta “serie corta”, que es la utilizada por la OPH, se corresponde al periodo más seco de la llamada “serie larga”, que

comprende los 65 años del periodo 1.940-2.005. Como en el Plan Hidrológico, se trabaja en dos hipótesis; una con las de la serie histórica para el escenario 1 (actual), y otra para el escenario 3 (25 años) que reduce en un 6% los valores mensuales de la anterior debido a la afección del cambio climático. La figura adjunta presenta las aportaciones anuales del Carrión en Velilla y del Pisuerga en Aguilar:



**Aportaciones naturales en el Carrión – Pisuerga (escenario 1) (año 2015): valores anuales en Velilla y Aguilar**

Es interesante observar la variación de las aportaciones medias a lo largo del Carrión, porque tiene gran influencia sobre la eficacia de las obras de regulación adicional propuestas, como se puede observar en la tabla adjunta:

**Aportaciones naturales medias en el Carrión**

	Vidrieros	Campo- redondo	Compuerto	Velilla	Carrión h/Cuezas	Carrión bajo Cue- zas	Carrión completo	Cuezas regulable	Cuezas
Media	81,9	220,0	274,3	340,7	370,9	438,3	542,3	20,1	33,8
Mínima	48,4	129,9	156,9	183,9	199,4	225,0	267,8	4,0	7,6
Máxima	154,2	414,1	540,9	677,1	777,2	1015,6	1329,8	79,1	128,2

**Datos en hm³/año**

Se han manejado dos hipótesis de demanda que se suponen representativas de los escenarios 1 (año 2.015) y 3 (año 2.027) del nuevo Plan Hidrológico. Las del escenario 3 son inferiores a las del 1 porque se supone que muchos de los regadíos se modernizan y disminuyen su demanda y, consecuentemente, disminuyen también sus retornos.

Los análisis de regulación adicional se han realizado para tres alternativas de demanda en los escenarios 1 y 3: la alternativa original de los modelos de la OPH y del Plan Hidrológico y otras dos en las que se han corregido todas las demandas de riego del sistema. Esta corrección se decidió al observar las discrepancias entre la distribución de superficies por cultivos según el Plan y las medias de 2.001 a 2.009 registradas por el Servicio de Explotación en distintas zonas regables.

La revisión de la distribución de superficies regadas y, como consecuencia, del volumen de demanda, se hizo tomando como referencia una zona regable que regara confortablemente atribuyendo la misma distribución de riegos de esta zona a toda la cuenca; se escogió como representativa la zona regable de Carrión Saldaña.

La dotación supuesta por el Plan Hidrológico para esta zona es de 3.629 m<sup>3</sup>/ha/a, mientras que la resultante de aplicar a la distribución de cultivos de 2.001 a 2.009 con datos del Servicio de Explotación las dotaciones de cada tipo de cultivo establecidas por el Plan Hidrológico es de 4.595 m<sup>3</sup>/ha/a, un 26.6% mayor, debido a la diferente distribución de la superficie: aquél supone el 36% de maíz y el 3% de alfalfa, mientras que la media de 2.001 a 2.009 ha sido del 47 y 14%, respectivamente. Aplicando esta distribución de superficie a todas las zonas regables se obtiene el factor a aplicar a las demandas del escenario 1 del Plan, mientras que las del 3 se obtienen aplicando a éstas los factores de eficiencia por modernización supuestos en el Plan.

A partir de esta primera hipótesis, se desarrolló otra nueva hipótesis más suave en la que sólo se aplica la mitad del factor de corrección anterior, y ha sido la hipótesis sobre la que se han obtenido las conclusiones respecto a las necesidades de regulación adicional en el Carrión.

Esta última hipótesis se ha considerado por entender que aplicar este incremento de demandas a todas las zonas regables del sistema era excesivo, y conduciría a unas necesidades de regulación demasiado altas. Se ha optado por una solución intermedia, entre la propuesta por el Plan Hidrológico y la resultante de la nueva distribución de cultivos.

La tabla adjunta resume los volúmenes brutos y netos de demanda en el Carrión en las tres hipótesis:

**Volumen anual de demanda bruta y neta en el Carrión en las tres hipótesis**

DEMANDA BRUTA	ORIGINAL OPH		DOTACIÓN CORREGIDA		DOT. CORREGIDA Incr. 50%	
	Esc. 1	Esc. 3	Esc. 1	Esc. 3	Esc. 1	Esc. 3
Regadío	367,6	280,2	458,6	348,5	413,1	314,3
Abastecimiento	76,5	55,3	76,5	55,3	76,5	55,3
Industria	145,2	145,2	145,2	145,2	145,2	145,2
Ecológico/Desembalse	328,6	328,6	328,6	328,6	328,6	328,6
Producción Hidroeléctrica	1967,3	2091,7	1967,3	1953,9	1967,3	1953,9
Piscifactorías	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
<b>TOTAL</b>	<b>2886,4</b>	<b>2902,1</b>	<b>2977,4</b>	<b>2832,7</b>	<b>2931,9</b>	<b>2798,5</b>
DEMANDA NETA	ORIGINAL OPH		DOTACIÓN CORREGIDA		DOT. CORREGIDA Incr. 50%	
	Esc. 1	Esc. 3	Esc. 1	Esc. 3	Esc. 1	Esc. 3
Regadío	249,2	231,5	310,3	288,1	279,8	259,8
Abastecimiento	15,3	11,1	15,3	11,1	15,3	11,1
Industria	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8
Ecológico/Desembalse	63,2	63,2	63,2	63,2	63,2	63,2
Producción Hidroeléctrica	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Piscifactorías	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
<b>TOTAL</b>	<b>342,6</b>	<b>320,7</b>	<b>403,7</b>	<b>377,2</b>	<b>373,1</b>	<b>348,9</b>

**Datos en hm<sup>3</sup>/año**

Las demandas de abastecimiento e industria usadas en las tres hipótesis son las del Plan. Sin embargo, se han sustituido los caudales ecológicos por los desembalses manejados actualmente (hipótesis que se acerca más a la realidad, siendo facilitada la información por los Técnicos Explotación encargados de esos tramos de río), y que son parecidos e incluso más desfavorables en los tramos bajos del Carrión y del Pisuerga.

Los datos de infraestructura existente – embalses y canales – son los del modelo del Plan, mientras que para las obras de regulación propuestas se han usado los estimados o revisados en este estudio. La tabla adjunta resume los embalses considerados en el Carrión:

Capacidad de los embalses simulados en el modelo

Nudo	Embalse	Cap. Máx. hm <sup>3</sup>	Emb. Muerto hm <sup>3</sup>
<b>Carrión</b>			
1	Camporredondo actual	69,79	8,00
1	Camporredondo recrecido	85,19	8,00
2	Compuerto actual	94,92	10,00
2	Compuerto recrecido	110,62	10,00
3	Besande	2,70	0,48
4	Velilla de Guardo	1,80	0,85
20	Vidrieros	98,50	10,00
21	Cueza 1	27,06	0,00
22	Cueza 2	28,44	0,00
23	Fuente arriba	8,06	0,00
24	Balsa Madre del Val	12,92	0,00
25	Balsa Canal (Fuentes de Nava)	11,25	0,00
25	Balsa Canal (Fuentes de Nava)	90	0,00
25	Balsa Canal (Fuentes de Nava)	120	0,00

Por lo tanto, las obras de regulación adicional consideradas son: el embalse de Vidrieros, los recrecimientos de Camporredondo y Compuerto, los embalses de las Cuezas (Cueza 1, 2 y Fuente arriba) y balsas en la zona regable (Madre del Val y del Canal). Además, se ha contemplado la posibilidad de ampliar la capacidad del Canal Castilla Campos en su primer tramo, que actualmente es insuficiente para transportar la demanda punta de julio si, como está previsto, se interrumpe el trasvase Cea – Carrión por falta de sobrantes en el Esla.

El modelo construido consta de 186 nudos, 28 de ellos de embalse, y 203 arcos, que cumple los objetivos de extensión y detalle previstos.

Una vez montado y comprobado el modelo se ha utilizado para analizar numerosas hipótesis de funcionamiento del sistema, en distintas alternativas de embalses y canales combinadas con las demandas y aportaciones de los escenarios 1 y 3. Los análisis se han realizado para las tres hipótesis de demanda comentadas en párrafos anteriores.

### 3.2.2. Conclusiones

Se resumen las conclusiones del estudio divididas según la hipótesis de demanda, con mayor detalle en la última que se considera la más representativa las necesidades riegos del Carrión. Para cada una se presenta la tabla que indica si las distintas soluciones son aceptables o no.

#### *Con las demandas del Plan Hidrológico*

El resumen de resultados para el escenario 1 (año 2.015), con demanda de los riegos del Carrión de 367 hm<sup>3</sup>/a, es:

1. Se requieren unos 100 hm<sup>3</sup> de regulación adicional, pero no pueden concentrarse en cabecera, puesto que las aportaciones regulables en Compuerto en el escenario 1 son claramente inferiores a la demanda neta total a servir desde el Carrión. Por esta razón, la solución de Vidrieros de 98,5 hm<sup>3</sup> no es suficiente para atender las demandas.
2. Si se combina un aumento en cabecera con embalses aguas abajo, en las Cuezas o balsas, con más aportaciones regulables, se puede obtener una solución satisfactoria. Por ejemplo, la combinación de Vidrieros y embalses de las Cuezas cumple el criterio de garantía.
3. Por lo tanto, habría que refinar soluciones de combinación de los recrecimientos o Vidrieros más pequeño con balsas y/o embalses en las Cuezas
4. Sin embargo, la fuerte reducción de demanda supuesta por el Plan para el escenario 3 – total de 280 hm<sup>3</sup>/a - se podría tener una solución con bastante menos de 100 hm<sup>3</sup>/a. En gran parte de las soluciones analizadas no se producen déficits.

*Con las demandas corregidas en base a la distribución de superficie en Carrión Saldaña*

Con las demandas del escenario 1 - 459 hm<sup>3</sup>/a - no hay ninguna solución que cumpla el criterio de garantía de la IPH. El resumen de resultados para el escenario 3, en que la demanda baja a 349 hm<sup>3</sup>/a, es:

DEMANDA ESCENARIO 1 - APORTACIONES HISTÓRICAS, SIN CAMBIO CLIMATICO														
HIPÓTESIS									GARANTIA IPH ABAST.		GARANTIA IPH RIEGOS Y	DEMANDA RIEGOS CARRIÓN		
Código	Trasvase	Vidrieros	Recrecimientos	Cuezas	Balsas	Castilla Campos ampliado	Capacidad total embalses	Aumento capacidad	Valladolid	Palencia	Riegos Carrión (todos)	Servida	Déficit medio	Déficit máximo
1	SI	NO	NO	NO	NO	NO	169.2	-	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	331.9	35.6	154.9
1.1	NO	NO	NO	NO	NO	NO	169.2	0.0	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	303.4	64.1	190.8
1.1C	NO	NO	NO	NO	NO	SI	169.2	0.0	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	307.5	60.0	197.1
2.1	NO	SI	NO	NO	NO	NO	267.7	98.5	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	326.4	41.2	110.5
2.1C	NO	SI	NO	NO	NO	SI	267.7	98.5	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	333.9	33.7	154.5
2.2	NO	SI	SI	NO	NO	NO	294.5	125.3	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	328.9	38.7	103.5
2.2C	NO	SI	SI	NO	NO	SI	294.5	125.3	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	339.0	28.6	128.5
2.3	NO	SI	NO	SI	NO	NO	330.7	161.5	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	334.4	33.2	33.2
2.3C	NO	SI	NO	SI	NO	SI	330.7	161.5	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	365.7	1.9	29.3
2.4	NO	SI	NO	NO	NO	SI	287.7	118.5	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	350.3	17.2	91.1
2.4C	NO	SI	NO	NO	SI	SI	287.7	118.5	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	350.3	17.2	94.7
3.1	NO	NO	SI	NO	NO	NO	196.0	26.8	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	311.0	56.6	169.8
3.1C	NO	NO	SI	NO	NO	SI	196.0	26.8	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	317.9	49.7	196.6
3.2	NO	NO	SI	SI	NO	NO	259.0	89.8	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	334.1	33.4	39.0
3.2C	NO	NO	SI	SI	NO	SI	259.0	89.8	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	360.6	7.0	73.8
3.3	NO	NO	SI	NO	NO	SI	314.5	145.3	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	353.9	13.6	91.1
3.3C	NO	NO	SI	NO	SI	SI	314.5	145.3	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	353.9	13.6	91.1
3.4	NO	NO	SI	SI	SI	NO	377.5	208.3	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	367.6	0.0	0.0
3.4C	NO	NO	SI	SI	SI	SI	377.5	208.3	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	367.6	0.0	0.0

- a) Se requieren unos 100 hm<sup>3</sup> de regulación adicional, pero no pueden concentrarse en cabecera, puesto que las aportaciones regulables en Compuerto en el escenario 1 son claramente inferiores a la demanda neta total a servir desde el Carrión. Por esta razón, la solución de Vidrieros de 98,5 hm<sup>3</sup> no es suficiente para atender las demandas.
- b) Si se combina un aumento en cabecera con embalses aguas abajo, en las Cuezas o balsas, con más aportaciones regulables, se puede obtener una solución satisfactoria.

Por ejemplo, la combinación de Vidrieros y embalses de las Cuezas cumple el criterio de garantía.

- c) Por lo tanto, habría que refinar soluciones de combinación de los recrecimientos o Vidrieros más pequeño con balsas y/o embalses en las Cuezas
- d) Sin embargo, la fuerte reducción de demanda supuesta por el Plan para el escenario 3 – total de 280 hm<sup>3</sup>/a - se podría tener una solución con bastante menos de 100 hm<sup>3</sup>/a. En gran parte de las soluciones analizadas no se producen déficits.

*Con las demandas corregidas en base a la distribución de superficie en Carrión Saldaña*

Con las demandas del escenario 1 - 459 hm<sup>3</sup>/a - no hay ninguna solución que cumpla el criterio de garantía de la IPH. El resumen de resultados para el escenario 3, en que la demanda baja a 349 hm<sup>3</sup>/a, es:

DEMANDA ESCENARIO 3 - APORTACIONES CON CAMBIO CLIMÁTICO (REDUCCIÓN 6%)																	
HIPÓTESIS									GARANTÍA IPH ABAST.		GARANTÍA IPH RIEGOS Y % FALLO MÁXIMO			DEMANDA RIEGOS CARRIÓN			
Código	Trasvase	Vidrieros	Recrecimientos	Cuezas	Balsas	Castilla Campos ampliado	Capacidad total embalses	Aumento capacidad	Valladolid	Palencia	Riegos Carrión (todos)	1 AÑO	2 AÑOS	10 AÑOS	Servida	Déficit medio	Déficit máximo
1	SI	NO	NO	NO	NO	NO	169.2	-	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	48%	75%	293%	257.4	91.1	168.1
1.1	NO	NO	NO	NO	NO	NO	169.2	0	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	48%	75%	293%	257.4	91.1	168.1
1.1C	NO	NO	NO	NO	NO	SI	169.2	0.0	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	48%	76%	283%	263.9	84.6	169.0
2.1	NO	SI	NO	NO	NO	NO	267.7	98.5	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	48%	83%	263%	266.4	82.1	168.9
2.1C	NO	SI	NO	NO	NO	SI	267.7	98.5	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	45%	73%	203%	287.6	60.9	155.5
2.2	NO	SI	SI	NO	NO	NO	298.8	129.6	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	45%	76%	213%	283.8	64.7	155.5
2.2C	NO	SI	SI	NO	NO	SI	298.8	129.6	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	51%	71%	160%	305.1	43.4	176.9
2.3	NO	SI	NO	SI	NO	NO	331.3	162.1	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	28%	46%	142%	303.7	44.8	98.2
2.3C	NO	SI	NO	SI	NO	SI	331.3	162.1	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	38%	49%	106%	318.3	30.2	131.0
2.4	NO	SI	NO	NO	SI	NO	291.9	122.7	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	50%	62%	140%	310.5	38.0	173.1
2.4C	NO	SI	NO	NO	SI	SI	291.9	122.7	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	42%	64%	169%	299.0	49.5	147.2
2.5	NO	SI	NO	SI	SI	NO	345.6	176.4	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	33%	52%	98%	321.0	27.5	114.5
2.5C	NO	SI	NO	SI	SI	SI	345.6	176.4	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	33%	52%	98%	321.0	27.5	114.5
2.5I	NO	SI (50 hm3)	NO	SI	SI	NO	297.1	127.9	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	42%	57%	121%	312.8	35.7	144.7
3.1	NO	NO	SI	NO	NO	NO	200.3	31.1	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	50%	75%	263%	265.8	82.7	173.3
3.1C	NO	NO	SI	NO	NO	SI	200.3	31.1	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	48%	79%	276%	266.2	82.3	168.7
3.2	NO	NO	SI	SI	NO	NO	263.9	94.7	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	42%	52%	175%	294.6	53.9	144.9
3.2C	NO	NO	SI	SI	NO	SI	263.9	94.7	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	39%	50%	143%	308.1	40.4	136.9
3.3	NO	NO	SI	NO	SI	NO	224.5	55.3	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	42%	63%	198%	288.6	59.9	147.1
3.3C	NO	NO	SI	NO	SI	SI	224.5	55.3	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	42%	63%	198%	288.6	59.9	147.1
3.4	NO	NO	SI	SI	SI	NO	386.5	217.3	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	28%	39%	81%	328.6	19.9	99.1
3.4C	NO	NO	SI	SI	SI	SI	386.5	217.3	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	28%	39%	81%	328.6	19.8	99.1
4.1	NO	NO	NO	SI	NO	NO	232.8	63.6	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	41%	52%	184%	292.2	56.3	141.4
4.1C	NO	NO	NO	SI	NO	SI	232.8	63.6	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	38%	50%	150%	304.2	44.3	131.7
4.2	NO	NO	NO	SI	SI	NO	256.9	87.7	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	37%	50%	135%	311.4	37.1	129.0
4.2C	NO	NO	NO	SI	SI	SI	256.9	87.7	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	37%	50%	135%	311.4	37.1	129.0
4.3	NO	NO	NO	NO	SI	NO	193.4	24.2	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	43%	63%	230%	280.5	68.0	151.0
4.3C	NO	NO	NO	NO	SI	SI	193.4	24.2	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	43%	63%	230%	280.5	68.0	151.0
4.3.1	NO	NO	NO	NO	SI (90 hm3 a Canal)	NO	259.2	90.0	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	46%	55%	187%	294.1	54.4	159.1
4.3.2	NO	NO	NO	NO	SI (90 hm3 a río)	NO	259.2	90.0	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	36%	45%	97%	321.7	26.8	126.1
4.3.3	NO	NO	NO	NO	SI (120 hm3 a río)	NO	289.2	120.0	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	28%	39%	77%	330.0	18.5	98.9

Y las conclusiones que se deducen,

1. El servicio correcto de la demanda de riegos del Carrión requiere un incremento notable de la capacidad de regulación: con los embalses de las Cuezas y Balsas acompañados de Vidrieros – total de 176 hm<sup>3</sup> adicionales - o de los recrecimientos - 217 hm<sup>3</sup> -. No sería necesario ampliar el Canal Castilla Campos porque las balsas alimentan directamente al canal aguas abajo del Castilla Sur
2. El incremento de volumen necesario se acerca a los 200 hm<sup>3</sup>, porque incluye Vidrieros o los recrecimientos, que son opciones de regulación en cabecera poco

eficaces porque las aportaciones regulables en ella son menores que la demanda neta a servir

- Se ha comprobado que si se pudieran construir balsas de 90 hm<sup>3</sup> de capacidad, siempre que estuvieran conectadas con el río para poder atender las demandas del canal Castilla Sur, se cumpliría el criterio de garantía. Por lo tanto, desde el punto de vista de la regulación es mucho más eficaz añadir capacidad aguas abajo que en cabecera

*Con las demandas corregidas un 50% en base a la distribución de superficie en Carrión Saldaña*

En el escenario 3, con demanda de 314 hm<sup>3</sup>/a, el resumen de resultados y las conclusiones alcanzadas son:

DEMANDA ESCENARIO 3 - APORTACIONES CON CAMBIO CLIMÁTICO (REDUCCIÓN 6%)																	
HIPÓTESIS									GARANTÍA IPH ABAST.		GARANTÍA IPH RIEGOS Y%FALLO MÁXIMO			DEMANDA RIEGOS CARRIÓN			
Código	Trasvase	Vidrieros	Recrecimientos	Cuezas	Balsas	Castilla Cam pos ampliado	Capacidad total embalses	Aumento capacidad	Valladolid	Palencia	Riegos Carrión (todos)	1 AÑO	2 AÑOS	10 AÑOS	Servida	Déficit medio	Déficit máximo
1.1	NO	NO	NO	NO	NO	NO	169.2	0.0	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	45%	63%	233%	251.1	63.3	142.0
1.1C	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	169.2	0.0	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	47%	64%	231%	253.4	60.9	147.2
2.1	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	267.7	98.5	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	48%	70%	208%	259.3	55.0	151.5
2.1C	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	267.7	98.5	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	41%	66%	134%	278.2	36.1	129.4
2.2	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	298.8	129.6	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	39%	53%	151%	275.7	38.6	123.7
2.2C	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	SÍ	298.8	129.6	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	35%	48%	104%	293.0	21.3	111.1
2.3	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	331.3	162.1	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	18%	26%	86%	290.4	24.0	56.5
2.3C	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	331.3	162.1	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	21%	28%	56%	301.6	12.7	66.2
2.4	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	291.9	122.7	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	27%	43%	77%	298.1	16.3	85.0
2.4C	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	SÍ	291.9	122.7	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	38%	50%	105%	288.6	25.7	118.2
2.5	NO	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO	345.6	176.4	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	19%	27%	38%	305.7	8.7	60.9
2.5C	NO	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	345.6	176.4	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	19%	27%	38%	305.7	8.7	60.9
2.51	NO	SÍ (50 hm3)	NO	SÍ	SÍ	NO	297.1	127.9	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	24%	36%	65%	299.3	15.0	74.1
3.1	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	200.3	31.1	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	47%	63%	212%	257.3	57.0	147.3
3.1C	NO	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	198.5	31.1	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	46%	73%	222%	253.9	60.4	143.4
3.2	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	263.9	94.7	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	28%	39%	118%	283.5	30.8	88.9
3.2C	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	SÍ	263.9	94.7	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	37%	37%	93%	292.4	21.9	116.9
3.3	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	224.5	55.3	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	41%	50%	147%	278.2	36.1	129.2
3.3C	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	SÍ	224.5	55.3	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	41%	50%	147%	278.2	36.1	129.2
3.4	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	NO	386.5	217.3	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	13%	13%	23%	308.7	5.6	41.0
3.4C	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	386.5	217.3	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	13%	13%	23%	308.7	5.6	41.0
4.1	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	232.8	63.6	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	37%	43%	133%	279.1	35.2	115.9
4.1C	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	232.8	63.6	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	37%	37%	99%	287.8	23.1	116.5
4.2	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	256.9	87.7	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	31%	34%	78%	295.6	18.8	96.3
4.2C	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	256.9	87.7	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	31%	34%	78%	295.6	18.8	96.3
4.3	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	193.4	24.2	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	38%	50%	162%	271.6	42.7	120.6
4.3C	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	193.4	24.2	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	38%	50%	162%	271.6	42.7	120.6
4.3.1	NO	NO	NO	NO	SÍ (90 hm3 a Canal)	NO	259.2	90.0	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	45%	45%	133%	283.0	31.3	140.2
4.3.2	NO	NO	NO	NO	SÍ (90 hm3 a río)	NO	259.2	90.0	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	21%	25%	51%	306.0	8.3	66.1
4.3.3	NO	NO	NO	NO	SÍ (120 hm3 a río)	NO	289.2	120.0	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	14%	14%	26%	311.1	3.2	44.1

- La demanda de riegos del Carrión cumple la garantía de la IPH en siete soluciones: con las Cuezas y las balsas (88 hm<sup>3</sup> de capacidad adicional) con los recrecimientos más las Cuezas (95 hm<sup>3</sup> de incremento), Vidrieros más las balsas o las Cuezas y Cuezas y balsas juntas (122 o 162 o 176 hm<sup>3</sup>), recrecimientos más Cuezas y balsas (217 hm<sup>3</sup>) y solamente Cuezas (64 hm<sup>3</sup>).
- En las hipótesis que incluyen Vidrieros este embalse se llena muy pocos años obteniéndose los mismos resultados si Vidrieros se limita a 50 hm<sup>3</sup>, por falta de aportaciones regulables. Por ello, la regulación máxima en cabecera – Vidrieros

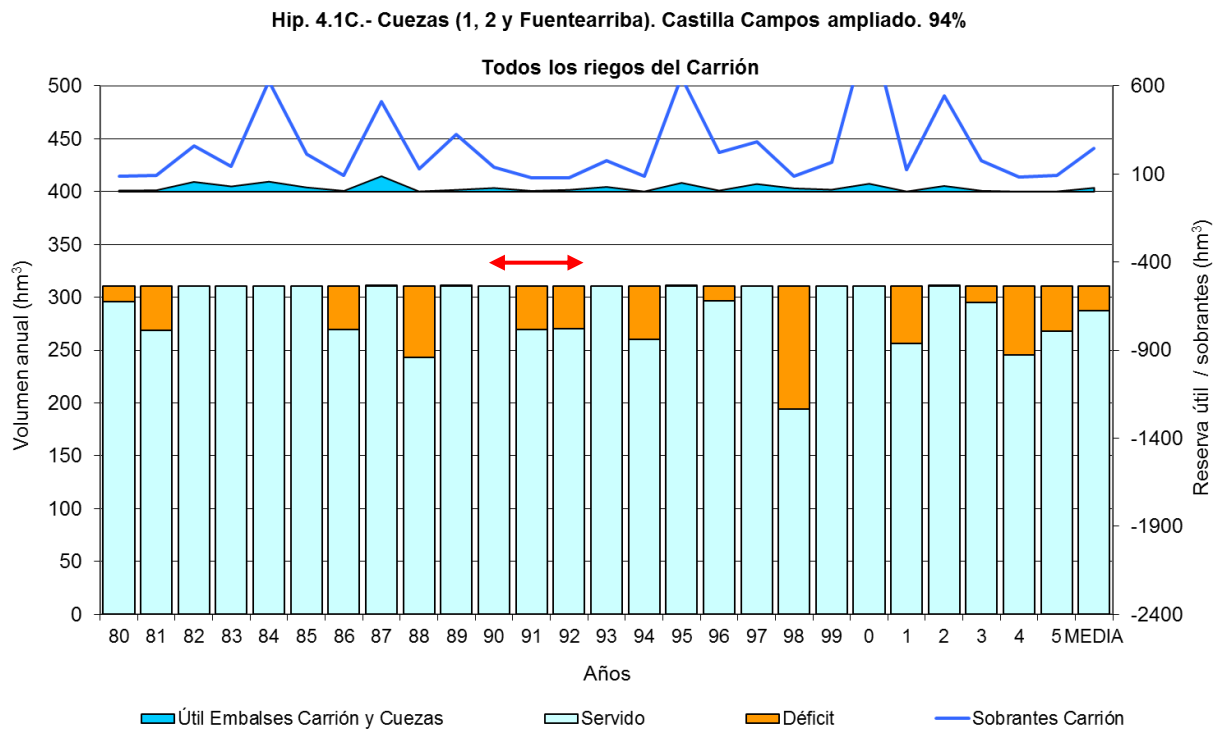
- más recrecimientos ( $125 \text{ hm}^3$  adicionales) – no es suficiente para atender las demandas
3. La ampliación de la capacidad del Canal Castilla Campos es necesaria para evitar los déficits estructurales producidos al suspender el trasvase del Cea. Las soluciones que incluyen  $24 \text{ hm}^3$  de capacidad de balsas, que alimentan directamente al canal aguas abajo del Castilla Sur, no exigirían el aumento de capacidad, aunque hay que estudiar la mínima necesaria en los canales de llenado
  4. Como conclusión, el incremento mínimo de volumen necesario para cumplir el criterio de garantía es menor de  $90 \text{ hm}^3$ , pero no puede concentrarse en cabecera, puesto que las aportaciones regulables en Compuerto siguen siendo menores que la demanda neta total de  $349 \text{ hm}^3/\text{a}$  a servir desde el Carrión.
  5. Si se considerasen obras de regulación adicional en cabecera haría falta un incremento mínimo de unos  $95 \text{ hm}^3$  (recrecimientos y embalses de las Cuezas)
  6. Las hipótesis más eficaces para la regulación son las que suponen infraestructuras cercanas a las zonas regables. Así se ha comprobado que las hipótesis que mejor garantizan la regulación con un menor incremento de regulación adicional son las de embalses en las Cuezas, requiriendo necesariamente el recrecimiento del Canal de Castilla en su ramal de Campos.

### 3.2.3. Solución Adoptada

Se ha adoptada como solución la denominada en las tablas “Hipótesis 4.1.C”, Con Cuezas, sin balsas y con ampliación del Castilla Campos. Esta solución supone aumentar la capacidad de regulación en sólo  $63,6 \text{ hm}^3$  ( $64,7 \text{ hm}^3$  sin descontar el embalse muerto). Los déficit máximos de 1 y 2 años son del 38 %, que son valores muy inferiores a los 50% y 75% que establece el criterio de garantía.

El criterio de garantía de los 10 años es el más restrictivo de todos, pero esta alternativa cumple también con dicho criterio, ya que resulta un déficit del 99% que es inferior al 100% requerido.

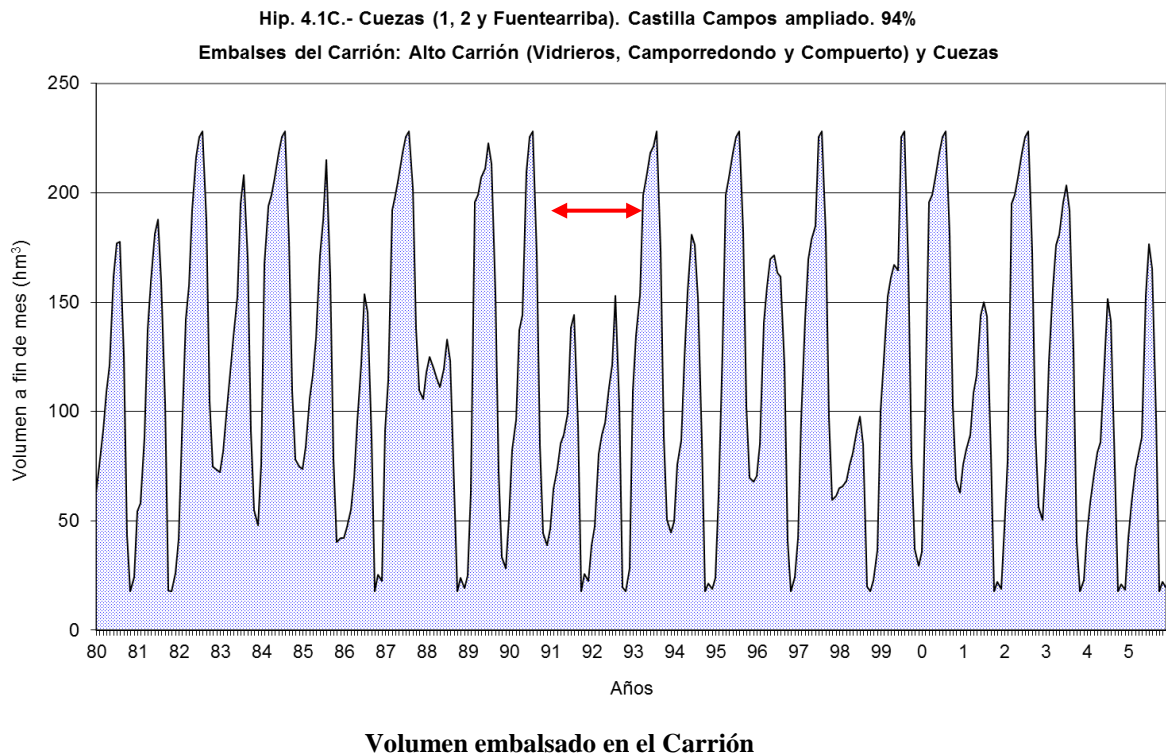
En el gráfico adjunto se recoge la demanda servida y los déficits de los riegos del Carrión, con demanda total bruta de  $314 \text{ hm}^3/\text{a}$ , así como el volumen útil embalsado a fines de septiembre y el caudal circulante por el Carrión en la confluencia con el Pisuerga.



El gráfico de la figura adjunta representa el volumen mensual total embalsado en el Carrión en la hipótesis 4.1.C. En el estudio se ha comprobado que en el caso de distribuir el almacenamiento con mayor capacidad en cabecera - donde las aportaciones regulables son menores - los embalses no acumulan tantas reservas, se vacían antes en el periodo seco y los déficits son mayores.

La alternativa 4.1C, solo embalses de la Cueva y recrecimiento del canal de Castilla en el ramal de Campos, a pesar de ser la solución de menor capacidad de embalse, las reservas útiles al final del año 90 y 91 son incluso algo mayores a los años anteriores con respecto a otras soluciones.

En el anejo nº 4 del anteproyecto se ha realizado un estudio de alternativas. Tal y como se describe en ese documento, la alternativa 4.1C es la que logra cumplir los criterios de garantía con un menor coste.



## 4. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

### 4.1. CANAL DE DERIVACIÓN

Las presas se alimentarán mediante excedentes del río Carrión en los meses de invierno. El agua almacenada por las presas se devolverá al propio río Carrión mediante el cauce del arroyo de la Cueva. El canal de derivación adoptado como mejor solución consiste en un canal de algo más de 21 km de longitud, que toma las aguas del río Carrión y las entrega en un arroyo vertiente al embalse de Fuentearriba por su margen izquierda. La capacidad adoptada para el canal es de 10 m<sup>3</sup>/s. La toma se localiza en la margen derecha del río Carrión, a la altura de la población de *Poza de la Vega*.

El canal de derivación de los caudales excedentarios del río Carrión, se realiza a través de un canal revestido de hormigón en masa. Tiene una sección trapezoidal de 2 m de base, con taludes 3H:2V y altura 2,20 m. El espesor dado a la sección de hormigón HM-20 es de 0.15 m.

El canal tiene una longitud total de 21.153,5 m con una pendiente del 0,3%.

Existen un tramo en sifón debido a que el trazado cruza una vaguada. El sifón se encuentra entre los PK 17+700 y el 18+930, con una longitud total de 1.230 m.

## 4.2. PRESAS

### La Cueva-1 y Fuentearriba

Los vasos de La Cueva-1 y Fuentearriba se encuentran comunicados a través de un collado lateral entre sus respectivos valles, siendo el segundo de mayor altura. La cota mínima en el vaso de La Cueva-1 es de 877,50 mm y 882,75 msnm en Fuentearriba.

Las dos presas constituyen por tanto un solo embalse, cuyo nivel máximo normal se ha establecido a la cota 898,00 msnm. Los dos vasos son de tamaño discreto, obteniendo un volumen total de embalse de 64,7 hm<sup>3</sup>.

Para la realización del estudio de regulación, se ha considerado en todas las tablas un volumen para estos embalses de 63,6 hm<sup>3</sup>, ya que se ha considerado un volumen de embalse muerto de 1,1 hm<sup>3</sup> para el conjunto de todos los embalses de la Cueva. Cuando se realice el proyecto constructivo de los embalses, se dispondrá de cartografía con mayor nivel de detalle, lo cual permitirá determinar el volumen de embalse muerto con mayor precisión.

Las presas son de poca altura (23,5 metros hasta coronación en el caso de Cueva-1 y 31 metros en Fuentearriba). La altura topográfica del collado está a la cota 920,00 msnm (37,25 m más alto que el fondo de Fuentearriba). Las presas de La Cueva-1 y Fuentearriba tienen la coronación a la cota 901,00 msnm. El aliviadero de cada presa, se sitúa en el lateral de cada embalse a la cota 898,00 msnm (NMN).

Durante el desagüe de la avenida de diseño (T=1.000 años) el máximo caudal vertido es 14,95 m<sup>3</sup>/s, alcanzando un nivel máximo de embalse de 898,52 msnm. En la avenida extrema (T=10.000 años) el máximo caudal desaguado es 52,80 m<sup>3</sup>/s, con máximo nivel de embalse a la cota 899,21 msnm.

Ambas presas están dotadas de desagües de fondo, prácticamente iguales, cuyas cotas en la toma son 87,50 msnm en La Cueva-1 y 882,75 msnm en Fuentearriba. Para el nivel de máximo embalse normal, la capacidad es de 18,28 m<sup>3</sup>/s en Cueva-1 y 12,6 m<sup>3</sup>/s en Fuentearriba. El tiempo de vaciado del embalse, abriendo los desagües de fondo de Cueva-1 o los de Fuentearriba, es de 10 días.

### La Cueva-2

El embalse de La Cueva-2 se sitúa en el mismo cauce del arroyo de la Cueva, aguas abajo de la presa de La Cueva-1, con una capacidad de 29,6 hm<sup>3</sup>. El nivel máximo normal

(NMN) se ha establecido a la cota 868 msnm, siendo la cota mínima del vaso 846,65 msnm.

La coronación de La Cueva-2 está a la cota 871,0, msnm. El aliviadero es igual que el de las presas de Cueva-1 y Fuentearriba. El labio del vertedero se encuentra a la cota 868 msnm (NMN).

Durante el desagüe de la avenida de diseño ( $T=1.000$  años) el máximo caudal vertido por el aliviadero es  $4,2 \text{ m}^3/\text{s}$ , alcanzando un nivel máximo de embalse de 868,48 msnm. En la avenida extrema ( $T=10.000$  años) el máximo caudal desaguado es  $14,8 \text{ m}^3/\text{s}$ , con máximo nivel de embalse a la cota 869,12 msnm.

El desagüe de fondo de La Cueva-2 es semejante a los de las otras presas. La cota mínima de la toma es 844,975 msnm y su capacidad es de  $18,34 \text{ m}^3/\text{s}$  con el nivel de máximo embalse normal (cota 868 msnm). El tiempo de vaciado a través de sus desagües de fondo es de 10,5 días.

## 5. TOPOGRAFÍA

Se ha realizado una recopilación de toda la cartografía disponible en la zona. La Junta de Castilla y León dispone de cartografía a escala 1:10.000 en toda la Comunidad Autónoma y a 1:5.000 en gran parte de la misma. En la zona objeto de este proyecto, solo había cartografía disponible a escala 1:5.000 en la zona de los embalses de la Cueva, en parte del trazado del canal de alimentación de los embalses de la Cueva y en la zona de la balsa en las inmediaciones del Canal de Castilla. El resto estaba disponible solamente a escala 1:10.000.

De la solución de los embalses de la Cueva, se disponía de cartografía a escala 1:5.000 para los embalses, pero solo se disponía de parte del trazado del canal a esa escala, por lo que se ha realizado una restitución fotogramétrica a escala 1:5.000 de todo del trazado del canal que faltaba, y un levantamiento a escala 1:500 en la zona de la obra de toma. Esto ha permitido diseñar la obra de toma y el trazado del canal con la suficiente precisión. En el anejo nº 6 del presente anteproyecto se define con mayor grado de detalle los trabajos topográficos realizados.

## 6. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

Para la realización del estudio geológico geotécnico de los embalses de la Cueva, se ha partido de la información existente en el proyecto de CGS del año 1.999. Se han analizado los datos geotécnicos de ese proyecto y en base a eso se ha realizado un reconocimiento visual y se han analizado los mapas geológicos de toda la zona de estudio.

En el estudio de CGS del año 1.999 se estudiaron realizar tres presas aproximadamente en las mismas ubicaciones que los embalses de la Cueva 1, Fuentearriba y Cueva 2 definidos en el presente anteproyecto. En ese estudio, las soluciones que contemplaba fueron estudiadas mediante sondeos mecánicos en sus respectivas cerradas, un total de 9 sondeos a razón de 3 sondeos por cerrada (dos en los estribos y uno en el cauce), en los cuales se realizaron la testificación y numerosas pruebas de permeabilidad mediante ensayos Lugeon.

No se realizaron ensayos SPT ni toma de muestras inalteradas o testigos parafinados para su posterior ensayo en laboratorio. Sí se realizó en cambio la cartografía geológica general de la zona ocupada por los tres almacenes de agua y la cartografía geológica de detalle de cada una de las cerradas. No se realizó un estudio de materiales.

En la misma época de realización del mencionado estudio dio comienzo la construcción de la autovía del camino de Santiago, a consecuencia de lo cual dejaron de ser viables Cueva 3 y Fuentearriba 4 (llamadas Cueva 1 y Fuentearriba en el presente anteproyecto) puesto que, si se construyeran, la rasante de la autovía quedaría inundada por sus respectivos embalses. Esta circunstancia ha obligado a explorar nuevas cerradas aguas arriba del paso de la autovía por los respectivos valles. Las nuevas cerradas definidas en este anteproyecto tienen una ubicación cercana a la ubicación propuesta por CGS en el año 1.999. Las presas de la Cueva 1 y Fuentearriba diseñadas en este anteproyecto se han retranqueado unos metros para no afectar a la autovía del camino de Santiago.

Así pues, se ha realizado una campaña geotécnica en los emplazamientos de las presas de la Cueva 1, Fuentearriba y la Cueva 2. Se han hecho reconocimientos mediante sondeos geotécnicos a testigo continuo, calicatas mecánicas y se ha realizado en todos ellos una campaña de investigación geofísica mediante sísmica de refracción.

La investigación geotécnica de anteproyecto en cada uno de los emplazamientos ha consistido en:

- Tres sondeos por el eje de cerrada, en ambos estribos y en el cauce, para determinar la naturaleza, espesores y características de los materiales.
- Perfiles de sísmica de refracción por el eje de la cerrada, para determinar la profundidad del apoyo y la excavabilidad del cimiento.

- Eventuales calicatas mecánicas, como complemento a la información aportada por los sondeos y para el estudio de materiales.
- Cartografía geológico-geotécnica.

Adicionalmente, se ha realizado un estudio de procedencia de los materiales con objeto de determinar si estos resultarían aptos para la construcción de presas de materiales sueltos. Este estudio se ha realizado mediante calicatas en los vasos de los embalses. En base a los datos obtenidos, se ha definido la sección óptima para cada presa.

Por último, se ha realizado una campaña geotécnica para estudiar las diferentes alternativas de conexión entre los embalses de la Cueva 1 y de Fuentearriba. Se han analizado cuatro alternativas diferentes (trinchera, túnel en mina, túnel entre pantallas y tubería hincada) y se ha determinado que la solución más indicada es la de la tubería hincada. La información geotécnica completa se encuentra desarrollada en el anejo nº 6 del presente anteproyecto.

#### **6.1. CANAL DE ALIMENTACIÓN DE LOS EMBALSES DE LA CUEZA**

El canal discurre por la comarca denominada Tierra de Campos. Se trata de una depresión terciaria con relieve general suave, en el cual se encaja una red fluvial, dando valles amplios con replanos escalonados que vienen definidos por los diferentes niveles de terrazas de los ríos más importantes y valles de fondo plano con laderas más verticalizadas de la red secundaria.

En la zona de estudio el relieve viene fundamentalmente marcado por las amplias llanuras pertenecientes al sistema de terrazas del río Carrión. Estas terrazas se desarrollan en la margen derecha del río, fosilizando el sustrato mioceno. Los materiales miocenos afloran parcialmente en el borde de los escarpes más importantes de las terrazas.

La erosión de las terrazas, de escaso espesor, por parte de la red secundaria de drenaje, da lugar a un paisaje de transición entre un relieve invertido, en donde los retazos de terrazas ocupan altiplanicies flanqueadas por desniveles escarpados en las vertientes erosivas, y un territorio suavemente alomado, constituido sobre los sedimentos fácilmente erosionables del relleno neógeno.

El principal escarpe que atraviesa el trazado se encuentra entre los municipios de Villarrobledo y Villapún, y discurre con dirección N-S, con afloramientos de materiales limo-arcillosos miocenos. Los materiales de estos escarpes sufren una degradación, quedando las vertientes tapizadas con detritus retomados de las terrazas superiores, enmascarando los depósitos del sustrato mioceno.

La red fluvial de menor orden se corresponde con barrancos y arroyos de fondo plano, que son valles de solifluxión alimentados por vertientes regularizadas

## **6.2. PRESAS DE LA CUEZA 1, CUEZA 2 Y FUENTEARRIBA**

La solución adoptada para todas las presas es una presa heterogénea de materiales sueltos con núcleo central y taludes 2,5H:1V aguas arriba y 2H:1V aguas abajo. Los espaldones se realizarán con las gravas procedentes del aluvial del cauce (Qc), mientras que para el núcleo central serán adecuados los materiales limosos y arcillosos del sustrato terciario, que podrán provenir, bien del raspado de las laderas del embalse o bien del fondo de valle, una vez que se hayan retirado las gravas cuaternarias.

La sección se completará con la disposición de un dren y un filtro aguas abajo de la presa. Aunque los materiales existentes en el entorno (gravas del cauce (Qc) y gravas de las terrazas altas (Qt)) pudieran servir para su empleo en estas zonas, el proceso de lavado y cribado de estos materiales para obtener una adecuada granulometría puede encarecer su empleo frente a materiales procedentes de explotaciones en activo, por lo que, teniendo en cuenta la existencia de graveras con material suficiente en el entorno se ha considerado su procedencia de fuera de la obra.

El rip-rap de protección aguas arriba de las presas deberá ser de escollera procedente de cantera. No existen en la zona explotaciones de roca, por lo que este material deberá provenir de las canteras más cercanas situadas en las inmediaciones de Guardo a unos 60 km de distancia.

La sección tipo es similar para las tres presas estudiadas, variando únicamente en función de su altura. En Cueva 1, la altura de coronación de la presa es de unos 27.7 m con respecto a la cota de cimentación del núcleo mientras que en Cueva 2 es de alrededor de 26 m. La presa de Fuente arriba es la de menor altura de las tres, siendo de aproximadamente 21 m con respecto a la cota de cimentación del núcleo.

La cota de apoyo de los espaldones se situará en el sustrato terciario (M), a una profundidad mínima de 1 m en caso de que este aflore a la superficie. Para la cota de apoyo del núcleo se deberá garantizar que se profundiza como mínimo 1 m en el interior de las arcillas del sustrato mioceno.

## 7. ESTUDIO HIDROLÓGICO

Tras analizar la información existente (ver anejo nº7.1) se han establecido las aportaciones medias a las cuencas vertientes y los caudales máximos de avenida correspondientes a diferentes periodos de retorno.

Para el cálculo de las precipitaciones máximas en diversos períodos de retorno, se utilizan las tablas de máximas precipitaciones en 24 h., a partir de las cuales se obtienen los máximos anuales y, con ellos, las series que se ajustan por medio del método de Gumbel y por el método SQRT-max. Se ha empleado la estación de VILLADIEGO DE CEA, que se encuentra dentro de la zona de estudio y que cuenta con un número suficiente de datos de precipitaciones. Los valores de precipitación máxima diaria para cada periodo de retorno que se van a utilizar se muestran en la tabla siguiente:

Precipitación de cálculo (mm)										
T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100	T=300	T=500	T=1000	T=5000	T=10000
37.78	49.98	59.91	71.13	80.88	105.47	108.44	116.95	128.98	159.01	172.86

En cuanto al estudio del umbral de escorrentía “p0”, para el cálculo de este parámetro específico de cada cuenca se ha utilizado la Capa SIG del umbral de escorrentía (mm) en condiciones de humedad media del suelo para el método racional modificado, obtenido a partir de los usos del suelo del CORINE LAND COVER 2000 y de acuerdo con la metodología expuesta en la Publicación “Análisis de nuevas fuentes de datos para la estimación del parámetro número de curva: perfiles de suelos y teledetección” Editado por el CEDEX 2003, 346 p. , ISBN: 84-7790-389-1 , NIPO: 163-03-013-6, adaptada a la clasificación de usos del suelo del CLC – 2000.

Finalmente se ha calculado el hidrograma de avenida para los períodos de retorno de 1.000 y 10.000 años (simulación mediante el programa HEC-HMS) para el estudio de laminación.

Las cuencas vertientes a los tres embalses considerados suman una extensión total de 198,6 km<sup>2</sup>. Los caudales punta obtenidos son:

Avenida de 1.000 años de período de retorno

- La Cueva-1 + Fuentearriba: 103,82 m<sup>3</sup>/s
- La Cueva-2: 113,23 m<sup>3</sup>/s

Avenida de 10.000 años de período de retorno

- La Cueva-1 + Fuentearriba: 262,81 m<sup>3</sup>/s
- La Cueva-2: 281,94 m<sup>3</sup>/s

Los resultados completos de los cálculos realizados se incluyen en el anejo nº7, incluyendo la representación gráfica de los hidrogramas obtenidos.

## 8. CÁLCULOS HIDRÁULICOS Y LAMINACIÓN DE AVENIDAS

En el anejo nº 7.3 se justifica el dimensionamiento hidráulico de los órganos de desagüe en las presas (aliviaderos y desagües de fondo), y en el anejo nº 7.2 se estudia la laminación de las avenidas. Como avenida de diseño se ha considerado la correspondiente a un período de retorno de 1.000 años, y como precaución se ha comprobado también la laminación de la avenida extrema de 10.000 años de período de retorno, teniendo en cuenta la existencia de poblaciones muy próximas a los cauces. Los listados detallados de los cálculos se muestran en cada anejo.

Los vasos creados por las presas de La Cueva-1 y Fuentearriba se encuentran comunicados a través del collado lateral existente entre sus respectivos valles, configurando por tanto un mismo embalse. El embalse creado por la presa de La Cueva-2 queda situado aguas abajo de la presa de La Cueva-1. Se han previsto aliviaderos y desagües de fondo en todas las presas, con dimensiones prácticamente iguales.

Se ha realizado un estudio conjunto por ambos vasos de La Cueva-1 y Fuentearriba, ya que constituyen un mismo embalse, pero se supondrá que el caudal de avenida que se desagua por cada uno de los aliviaderos es el total que da la avenida conjunta de ambos cauces, suponiendo así como elemento de seguridad en el diseño, que se pueda producir un fallo en uno de los aliviaderos y sólo funcione uno de los dos diseñados en el conjunto Cueva-1 y Fuentearriba. Por tanto el aliviadero diseñado será el mismo en ambas presas.

En la presa de La Cueva-2 se ha proyectado un aliviadero de tipología igual al diseñado para La Cueva-1 y Fuente arriba, ya que aunque el hidrograma entrante está ya laminado por La Cueva-1 o por Fuente arriba, y el caudal punta es mucho menor, por temas de seguridad o posible fallo en el funcionamiento de los órganos de desagüe de alguna de las presas y se produzca la avenida máxima, que el aliviadero de la presa de Fuentearriba sea capaz de laminar dicha avenida máxima cumpliendo con el resguardo necesario de diseño.

### 8.1. ALIVIADEROS

Se proyecta un aliviadero-rebosadero de salida de las balsas para evacuar el caudal excedentario en caso de que no se produzca el cierre de la alimentación a balsas desde captación con la balsa llena (N.M.N.). Se dispone un vertedero de labio fijo, de 20 m de anchura con el umbral a la cota 898,00, en el caso de La Cueva-1 y de Fuentearriba, y en la cota 868,00 en La Cueva-2.

Desde este punto se continúa por un canal rectangular de sección variable, que reduce su sección hasta otro vertedero de labio fijo de 4 m de anchura con el umbral a la cota 887,8 en el caso de Fuentearriba, 890,00 en La Cueva-1 y 854,70 en La Cueva-2.

El vertedero continúa con un canal rectangular de 4 m de base y 2,5 m de alto, que desemboca en un cuenco amortiguador, el cual ha sido dimensionado siguiendo las recomendaciones del *Bureau of Reclamation* contenidas en la publicación "*Hydraulic Design Criteria*", y desde éste, se restituye el agua al cauce natural.

### 8.2. DESAGÜES DE FONDO

Los desagües de fondo de las tres presas tienen la misma tipología. Consisten en una toma cilíndrica vertical conectada mediante un codo de 90° a una galería de descarga, de sección abovedada, que conduce hasta la cámara de válvulas, situada en el interior del cuerpo de presa. En esta cámara, se encuentran las embocaduras de dos tuberías gemelas y las correspondientes ataguías (dos compuerta deslizante del tipo *Bureau* en cada tubería).

El acceso a la cámara se realiza a través de una galería visitable (de igual sección que la galería de descarga) que también aloja las tuberías hasta la salida a un cuenco amortiguador. En el extremo final de cada tubería se han instalado las válvulas de mariposa, protegidas por una caseta.

En la presa de La Cueva-1, el desagüe de fondo tiene la cota mínima 870,60 msnm. El conducto de descarga tiene unos 40 m de longitud, y las tuberías metálicas son de 1 m de diámetro y 90,5 m de longitud. Para el nivel máximo normal del embalse (cota 898 msnm), la capacidad de estos desagües es de 18,21 m<sup>3</sup>/s.

En la presa de Fuentearriba el desagüe de fondo consta de los mismos elementos, y tiene dimensiones muy similares. La cota mínima de la toma es 876,50 msnm.

El desagüe de fondo de La Cueva-2 es semejante a los anteriores. La cota mínima de la toma es 844,97 msnm. El conducto de descarga tiene unos 45 m de longitud y las dos tuberías son de 1 m de diámetro y 85 m de longitud. Para el nivel máximo normal del embalse (cota 868 msnm), la capacidad de estos desagües resulta de 18,34 m<sup>3</sup>/s.

El vaciado del embalse formado por las presas de La Cueva-1 y de Fuentearriba se puede realizar mediante los desagües de fondo en ambas presas, que son prácticamente iguales, en cuyo caso el tiempo necesario calculado es de 10 días. El tiempo de vaciado del embalse de La Cueva-2, a través de sus desagües de fondo, es de 10,5 días.

### 8.3. LAMINACIÓN DE AVENIDAS

Para el estudio de laminación, la evacuación de las avenidas se hará utilizando únicamente el aliviadero, sin contar con la colaboración de los desagües de fondo, y manteniendo unos resguardos conservadores durante la avenida de diseño ( $T=1.000$  años) y unos resguardos suficientes en la avenida extrema ( $T=10.000$  años).

Las avenidas generadas en ambos valles (La Cueva y Fuentearriba) se han considerado coincidentes en el origen de tiempos, y por tanto, el hidrograma de avenidas de un determinado período de retorno es el resultante de la suma de los hidrogramas en ambos cauces (arroyos de la Cueva y de Fuentearriba) para ese mismo período de retorno.

El efecto de laminación es el proporcionado conjuntamente por ambos vasos, que constituyen un mismo embalse, pero se supondrá que el caudal de avenida que se desagua por cada uno de los aliviaderos es el total que da la avenida conjunta de ambos cauces, suponiendo así como elemento de seguridad en el diseño, que se pueda producir un fallo en uno de los aliviaderos y sólo funcione uno de los dos diseñados en el conjunto Cuaza-1 y Fuentearriba.

Con las curvas características de los aliviaderos definidas en el anejo, se han hecho los cálculos de laminación. Los máximos caudales desaguados por el aliviadero de La Cueva-1 son  $14,95 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $T=1.000$  años) y  $52,78 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $T=10.000$  años), con máximos niveles de embalse extraordinario de 898,52 msnm y 899,21 msnm, respectivamente.

Los máximos caudales desaguados por el aliviadero de La Cueva-2 son de  $4,19 \text{ m}^3/\text{s}$  en la avenida de 1.000 años de período de retorno y de  $14,77 \text{ m}^3/\text{s}$  en la avenida de 10.000 años de período de retorno, con cotas máximas en el embalse de 868,48 msnm y 869,12 msnm, respectivamente.

## **9. DOCUMENTOS QUE INTEGRAN EL ANEJO 7. ALTERNATIVA CUEZAS**

- MEMORIA
- ANEJOS A LA MEMORIA
  - ANEJO 7.1. HIDROLOGÍA
  - ANEJO 7.2. ESTUDIO DE LAMINACIÓN
  - ANEJO 7.3. CÁLCULOS HIDRÁULICOS
  - ANEJO 7.4. ESTUDIO DE EXPROPIACIONES
  - ANEJO 7.5. SERVICIOS AFECTADOS