

# EL HORMIGÓN DE LA PRESA DE ALMENDRA

## **Preámbulo**

El hormigón utilizado en la construcción de la Presa de Almendra, fue uno de los de mejor calidad entre los de su tipo fabricado en todos los tiempos de la historia de las presas. Solamente hay que ver, para comprobar esta aseveración, la contribución directa que ha tenido en el excelente estado de conservación de la majestuosa Presa, después de más de 45 años de servicio.

## **Propósito**

Analizar las dosificaciones empleadas y las características principales de las mismas, con el fin de sacar enseñanzas que puedan ser aplicadas, en el futuro, en la fabricación de este tipo de hormigones.

También plasmar la admiración a todas las personas que supieron aplicar sus conocimientos y técnica del momento con un criterio tan sensato, para obtener tan óptimos resultados. Esto adquiere especial importancia en estos momentos donde los ingenieros aplicamos la técnica con la gran ayuda del ordenador sin hacer, a veces, un análisis profundo de los resultados obtenidos.

## **La Presa**

El desarrollo en planta de la Presa tiene una longitud superior a 4.500 metros. La cerrada central está resuelta con una **bóveda de 202 metros de altura** desde cimientos. Se completa el cierre con dos estribos; el de la margen derecha está construido con materiales sueltos revestido con una capa bituminosa hecha in situ; el de la margen izquierda es de hormigón del tipo de contrafuertes.

El volumen de hormigón fue de **2.500.000 m<sup>3</sup>** y el plazo de **36 meses**. Resultando producciones medias, por día de calendario, superiores a 2.000 m<sup>3</sup>. Durante la construcción hubo puntas de producción de más de **5.000 m<sup>3</sup>/día**.

## **El hormigón**

### **Procedencia de los materiales**

**Las gravas y la arena gruesa** se obtenían de la explotación de una cantera de granito, situada en la margen izquierda, próxima a la presa. La arena fina se extraía de graveras naturales del río Tormes, cercanas a Ledesma y Salamanca.

**El cemento** lo fabricaba Cementos Hontoria en Venta de Baños.

**Los aditivos** los suministró Sika

**El agua** se tomaba en el mismo río Tormes.

### **Características de los áridos.**

Ya hemos dicho antes, que la matriz de la roca era **granito**. De ella se obtenían los áridos por machaqueo y posterior lavado y clasificación. El lavado y clasificación se hacía por el sistema Reas, con flujo de agua a presión y posterior decantación por tamaños.

### **Tamaño máximo.**

La sólida experiencia del personal de Iberduero responsable de los hormigones, fijó el tamaño máximo en **150 mm**. Hoy, pocas presas se hormigonan con tamaño máximo tan grande, a pesar de saber que los hormigones de presa fabricados con estos tamaños son más baratos y técnicamente más adecuados, porque necesitan menos pasta, menos agua, son más compactos y dan menor calor de hidratación. Son por el contrario más fácilmente segregables y presentan mayor dificultad en la fabricación y colocación, exigiendo una dosificación muy cuidada y controlada, que permita obtener un hormigón dócil, y unos medios de fabricación y colocación potentes y sobre todo muy bien manejados.

### Cortes granulométricos de las gravas

Una vez decidido el tamaño máximo se establecieron los siguientes cortes granulométricos:

Denominación	Tam. nominal	Menos del 10% Ret.	Menos del 7% Pasa	Menos 3% Pasa
Grava gruesa	60/120	120	60	30
Grava fina	30/60	60	30	15
Gravilla fina	15/30	30	15	5
Gravilla fina	5/15	15	5	2,4 (# 8)

### Tamaños de las arenas

Se exigieron dos arenas, ambas lavadas la gruesa procedente del machaqueo y la fina natural. El exceso de mica de la arena de machaqueo se eliminaba durante la clasificación y lavado por el sistema Reas, que es el más adecuado para eliminar la mica.

#### Arena fina.

El tamaño máximo se estableció en el tamiz nº 16 ( 1,19 mm.).

Proporción retenida en el nº 16 : Menos del 10%

Proporción que pasa por el nº 100 (0,149 mm.): Menos del 10%

Equivalente arena : Mayor del 80%.

#### Arena gruesa.

Proporción retenida en el tamiz nº 4 (4,76 mm.): Menos del 8%

Proporción que pasa por el tamiz nº 16 (1,19 mm.): Menos del 18%

### Uniformidad de las arenas

Se exigía que la uniformidad de ambas arenas fuera tal, que el módulo de finura, de al menos 9 de 10 muestras consecutivas, difiera en menos de 0,20 del módulo de finura medio de las muestras.

**Proporción máxima de finos. Polvo:** Material que pasa por el tamiz nº 100 (0,149 mm.).

Se ensayaron hormigones con proporciones de polvo del 6%, 4,5% y 2,8%.

Se observó que, manteniendo la misma cantidad de agua, eran más trabajables los hormigones con menor proporción de finos. Daban menos resistencia. Admitían una reducción de agua de 3 lts/m<sup>3</sup>, con lo que compensaban la pérdida de resistencia.

Se limitó la proporción de polvo( pase por el tamiz nº 100.( 0,149 mm.) **al 10%, en la arena fina**, con lo que se mantenía alrededor del 6% en la arena total, fina más gruesa.

### Proporción de las arenas.

La proporción entre arenas en el conjunto del hormigón se fijó en :

**40% Arena gruesa** (1,2/5 mm.) y **60% Arena fina** (0,1/1,2 mm.).

Estas proporciones corresponden con las deducidas del huso recomendado por La Instrucción de Grandes Presas.

**Granulometría de la arena compuesta.** ( 40% gruesa más 60% fina).

Tamiz	mm.	% Ret. parc.	% Pasa
# 4	4,76	2,4	97,6
# 8	2,38	17,2	80,4
# 16	1,19	18,4	62
# 30	0,59	22,6	39,4
# 50	0,297	22	17,4
# 100	0,149	11,6	5,8
Residuo		5,8	

### Granulometría de las gravas

No tenemos datos concretos de la granulometría de cada tamaño de las gravas, las que hay a continuación se han deducido indirectamente con varios datos. No obstante no dejan de ser supuestas.

Tamiz ASTM	mm.	60/120	30/60	15/30	5/15	ARENA 0/5
6"	152,4	100				
5"	127	92				
4"	101,6	60				
3"	76,2	18	100			
2,5"	63,5	4	91			
1,5"	38,6	2	25	100		
1,25"	31,7	1	10			
1"	25,4			96		
3/4"	19,1		3	55	100	
5/8"	15,9		2	5	98	
3/8"	9,52			3	50	100
# 4	4,76			2	5	100
# 8	2,38				2	77,2
# 10	2					
# 16	1,19					52,5
# 30	0,59					32,6
# 50	0,297					18,2
# 100	0,149					7,4
# 200	0,074					4

### Datos complementarios.

En el Curso Internacional de Presas y Embalses de Madrid del 1984, en la ponencia del ingeniero J. Fora. "Presas de Fábrica" "Hormigones su estudio y seguimiento", en la que colaboraron activamente en su elaboración, los responsables del Laboratorio de Iberduero, D. Luis Sever jefe del laboratorio y D. Calixto Orduña ayudante principal, están relacionados la mayoría de los datos aquí expuestos. Del cuadro nº6, elegimos el hormigón tipo "B", que nos da la siguiente composición por m<sup>3</sup>:

- Aridos s.s.s. .... 2.110 kg
- Cemento ..... 240 kg
- Agua ..... 117 kg
- Aditivo
- Relación cemento/agua ..... 2,05
- Aire ocluido ..... 1.1%
- Consistencia ..... Cono ..... 1,4 cm  
Ve-Be..... 7 segundos

### Composición granulométrica

- 60/120 ..... 35%
- 30/60 ..... 20%
- 15/30 ..... 12%
- 5/15 ..... 13%
- Arena( 0,1/1,25 más 1,25/4,76) ..... 20%

Resistencia ..... 3 días.....250 kg/cm<sup>2</sup>  
 7 ,, ..... 350 ,,  
 28 ,, ..... 475 ,,

### Pesos específicos

- **De los áridos**

De los datos del hormigón tipo “B”, podemos deducir que el peso específico medio de los áridos es del orden de 2,65 kg/dm<sup>3</sup>. ( 2.110 kg de áridos / 794,6 (Vol de áridos).

Dado que la piedra de donde procedían los áridos era granito, la cifra deducida es suficientemente aproximada. Consideramos para los futuros tanteos de dosificación, un peso específico de **2,65 kg/dm<sup>3</sup>**.

- **Del Cemento.**

El cemento tenía un peso específico de **3,1 kg/dm<sup>3</sup>**.

### Aire ocluido.

El contenido de aire era **1,1%** .

### Cálculo de la dosificación

- **Porcentajes de los áridos.**

Según el dato del hormigón tipo “B”, los porcentajes de los áridos son los siguientes:

60/120 .....	35%
30/60 .....	20%
15/30 .....	12%
5/15 .....	13%
Arena( 0,1/1,25 más 1,25/4,76) .....	20%

- **Volúmenes.**

Cemento .....	240 kg/ 3,1=	77,4 lt
Agua .....		117,0 lt
Aire ocluido .....	1,1% * 1000=	11,0 lt
		<hr/>
Suma .....		205,4 lt

Volumen de áridos ..... 1.000-205,4= 794,6 lt

- **Pesos de los áridos**

60/120 .....	0,35*794,6*2,65=	<b>737 kg</b>
30/60 .....	0,20*794,6*2,65=	<b>421 ,,</b>
15/30 .....	0,12*794,6*2,65=	<b>253 ,,</b>
5/15 .....	0,13*794,6*2,65=	<b>274 ,,</b>
0/5 Arena .....	0,20*794,6*2,65=	<b>421 ,,</b>
		<hr/>

**Suma ..... 2.106 kg de áridos**

### Comparación de los porcentajes de áridos de este hormigón con los teóricos de Fuller

Tamiz mm.	% Pasa	Tamaños	% Aridos Fuller	% Arid. hor. "B"
120	100,0	60/120	29,3	35
60	70,7	30/60	20,7	20
30	50,0	15/30	14,6	12
15	35,4	5/15	14,9	13
5	20,4	0/5	20,4	20

Tiene más de un 5% de árido grueso 60/120 y un poco menos de intermedios y arena. Llama la atención la poca arena y el mucho 60/120 que tiene, y que resultara un hormigón, perfectamente manejable y no segregable.

### Comparación con otros hormigones que se utilizaron realmente en la Presa.

**Hormigón 1.1.8.180.** de fecha 5-06-68. (Esta dosificación es para 1,8 m<sup>3</sup> de hormigón, que correspondía al volumen de amasadas de fabricación en la Central de hormigonado de la presa)

Componentes	kg/m <sup>3</sup>	Porcentaje	Humedades	Kg para 1,8 m <sup>3</sup>
60/120	<b>676</b>	<b>32,5%</b>	0,4	1.222
30/60	<b>495</b>	<b>23,8%</b>	0,7	897
15/30	<b>289</b>	<b>13,9%</b>	1,2	526
5/15	<b>216</b>	<b>10,4%</b>	2,4	398
1,2/4,7	<b>135</b>	<b>6,5%</b>	4,6	254
0,1/1,2	<b>269</b>	<b>12,9%</b>	9,6	531
Total áridos	<b>2.080</b>			3.828
Cemento	<b>250</b>			450
Agua	<b>120</b>			216
Barraplast	<b>1,25</b>			2,25
Hormiplús	<b>0,741</b>			1,33
<b>Volúmenes</b>				
Vol Cemto	80,6			
Vol agua	120,0			
Aire 1,1%	11,0			
Aditivos	2,0			
Vol áridos	786,4			
<b>Pes,esp. Arid</b>	<b>2,65</b>			
<b>Prop arenas</b>				
Fina	67%			
Gruesa	33%			
<b>Relac A/C</b>	<b>0,48</b>			

Es muy parecido al hormigón base tipo "B". Tiene 61 kg. menos de árido grueso 60/120. La cantidad de arena total es similar, pero tiene un 7% más de arena fina, de la proporción de 60% fina 40% gruesa que hay en el hormigón "B", ha pasado a 67% fina 33% gruesa. Ha aumentado el cemento 10 kg/m<sup>3</sup> y el agua 3 lt, resultando la relación A/C un poco más baja.

El hormigón resultante debe de ser más dócil, pero también un poco más caro y producirá mayor calor de fraguado.

La cantidad de arena fina tiene mucha influencia en la docilidad del hormigón y como consecuencia, en las características finales del mismo, pues como sabemos, un hormigón dócil se maneja y coloca más fácilmente, y en estos hormigones con tamaño máximo de árido tan grande y tan poca agua y cemento, la docilidad es fundamental para poderlos vibrar y conseguir que sean compactos y sin coqueas.

Si el hormigón, con los medios disponibles en cada caso, se vibra bien y no se segrega, la resistencia, permeabilidad y en general la durabilidad será buena. De nada sirve un hormigón con unos parámetros excelentes y fabricado en el laboratorio, cuando luego no se

puede colocar adecuadamente en la obra, pues las zonas de permeabilidad infinita dentro del hormigón son aquellas que “no tienen hormigón”: Las COQUERAS.

**Colofón.**

Sirva esta nota técnica, como homenaje a los pioneros en la construcción de Grandes Presas en España y para que algún ingeniero joven que tenga la posibilidad de dosificar un hormigón de presas lo haga con tamaño máximo de 150 mm. y un 20 por ciento de arena.

*José-Benito Orduña García*

*2.005*



Panorámica del Embalse

Hidroeléctrica S.A.  
Obras Centes

Dem. de Almuédula  
Toma Principal de Xrouiegnas

Salto de Villarino  
Subestación de Xrouiegnas

Xrouiegnas nº 1.1.8.180

Xija nº 91

	Cantidades para 1m <sup>3</sup> ár. seco	Cantidades para 1'8m <sup>3</sup> ár. seco	Humedades %	Cantidades para 1'8m <sup>3</sup> ár. húmedo	Error básculas	Justicia básculas	Peso cobras cu Tone
Grava 120/60 Kg	676	1217	04	1222	0	-12	1210
" 60/30 "	495	891	07	897	-5	-2	890
Gravilla 30/15 "	289	520	12	526	-0	+4	530
" 15/4'75 "	216	389	24	398	0	-3	395
Areia 4'75/1'2 "	135	203	06	254	-2	+3	255
" 1'2/0'1 "	269	484	96	531	0	+4	535
Total areia "	2080	3744		3828			3815
Cemento "	250	450		450	0	+2	452
Agua "	120	216		173	-1	0	172
Barraplant "	1250	2250		2250	-0'010	0	2240
Xrouiegnas "	0741	1339		1339	0	-0'009	1330

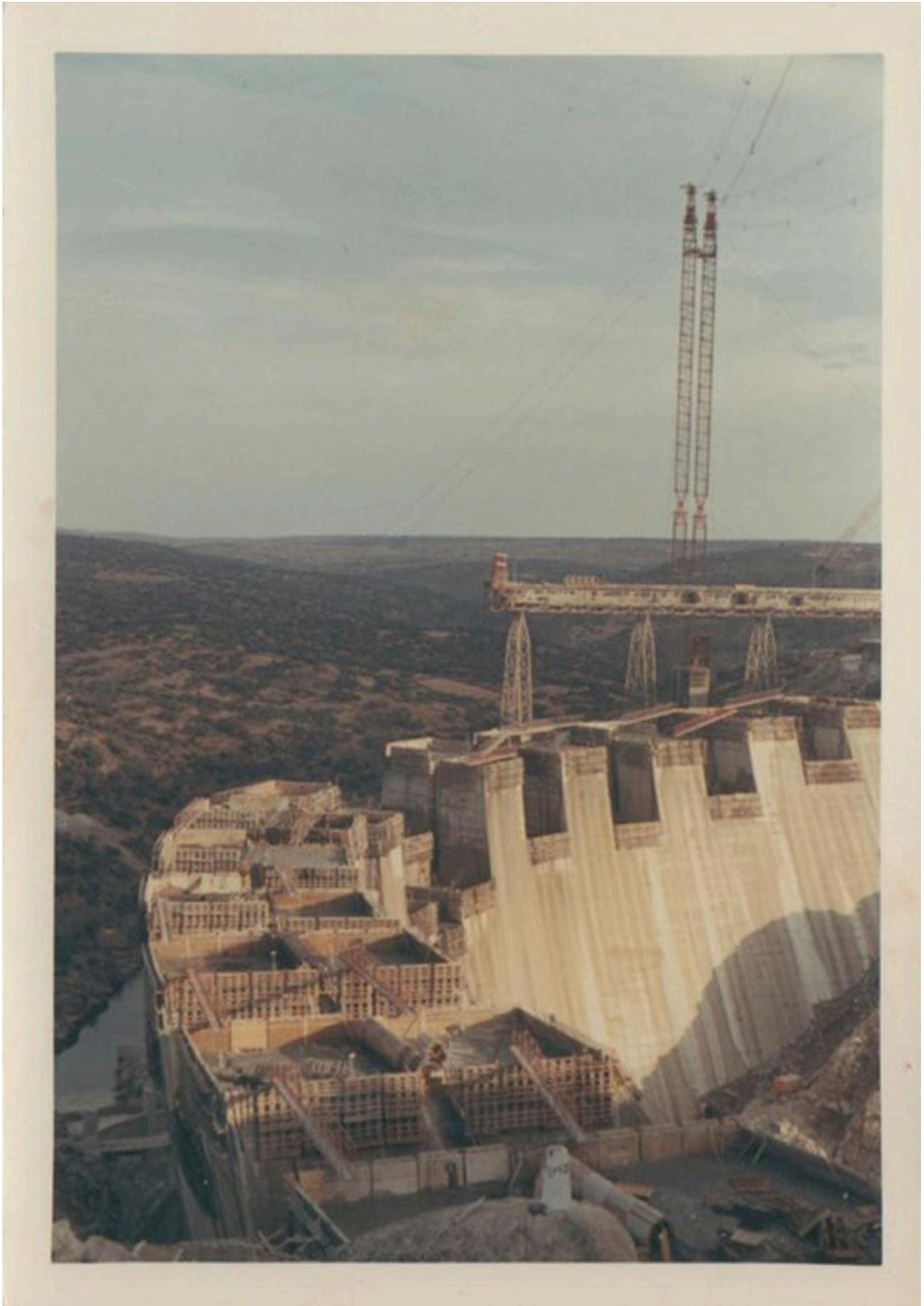
Substituído y anula a la Hoja nº 54

5-6-68

Dosificación manuscrita para 1,8 m3



Panorámica aguas abajo



En Construcción

