

# Actividad en el extranjero. Período entre congresos ICOLD Brasilia 2009 – Kyoto 2012

Foreign activity. Inter congresses period ICOLD Brasilia 2009 – Kyoto 2012

Revista de Obras Públicas  
nº 3.536. Año 159  
Octubre 2012  
ISSN: 0034-8619  
ISSN electrónico: 1695-4408

**Antonio Capote del Villar.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Jefe del Área de Obras Hidráulicas y Marítimas. Dirección Técnica. Ferrovial Agroman, S.A.  
Madrid (España). a.capote@ferrovial.es

**Rafael Ibáñez de Aldecoa.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Technical Director. Dragados USA. Miami (EE.UU). ribanez@Dragados-USA.com

**Francisco Ortega Santos.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Director Especialista en Presas de HCR. Fosce. Bad Oldesloe (Alemania). f.ortega@fosce.com

**Víctor Flórez Casillas.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Director Departamento Obras Hidráulicas y Marítimas. FCC Servicios Ciudadanos. Madrid (España). VFlorez@fcc.es

**Resumen:** El período entre congresos de ICOLD Brasilia 2009 y Kyoto 2012 se ha caracterizado por una baja actividad en la construcción de presas en España, lo que ha impulsado aún más la ya tradicional actividad exportadora de nuestras empresas de construcción e ingeniería de presas. En este período nuestras empresas constructoras han finalizado la ejecución de dos presas y participan actualmente en la construcción de siete presas más en el exterior. Por otra parte, nuestras empresas de ingeniería han experimentado una mayor internacionalización, participando en el mismo período en cuarenta y tres actuaciones relacionadas con las presas en 18 países diferentes. En el artículo se resume la actividad de nuestras empresas de construcción e ingeniería de presas en el exterior y se describen las características principales de algunas actuaciones notables.

**Palabras Clave:** Presa; Construcción; Ingeniería; Historia; Congreso; ICOLD; HCR

**Abstract:** The period between the ICOLD congresses Brasilia 2009 and Kyoto 2012, has experienced a remarkable low activity in the dam construction in Spain, which has boosted the already traditional export activity of our construction and dam engineering companies even further. Within this period, our construction companies have finalized the construction of two dams, and actively participate in the construction of seven more dams abroad. In addition to this, our engineering companies have experienced greater internationalization, taking part within the same period in 43 interventions related to dams in 18 different countries. The activity of our dam construction and engineering companies abroad is summarized in this article, and the main characteristics of some notable activities are also described.

**Keywords:** Dam; Construction; Engineering; History; Congress; ICOLD; RCC

## 1. Introducción (1)(2)(3)

El primer gran impulso en la construcción de presas en España se produjo en la época romana, época de la que se conocen datos correspondientes a 72 presas algunas de ellas todavía en servicio. Desde entonces hasta nuestros días la actividad en construcción

de presas ha sido constante en nuestro país, que actualmente cuenta con más de 1.200 grandes presas en explotación y 24 en construcción.

La experiencia acumulada y las técnicas desarrolladas a lo largo de estos siglos, han dado lugar a una presencia muy significativa de la ingeniería española de presas en el exterior, que se inicia en el siglo XVI





Fig. 1. Izquierda: Plano del embalse de Yuriria y trasvase del río Lerma para abastecimiento a Guanajuato en México (año 1548). Derecha: Vista de la presa de Portugués en Puerto Rico actualmente en construcción (año 2012).

coincidiendo con la colonización de Hispanoamérica y se desarrolla hasta nuestros días (Fig. 1).

Siguiendo esta trayectoria exportadora de tecnología, en época contemporánea, desde mediados del siglo pasado hasta la fecha, las empresas españolas han construido o participan actualmente en la construcción de 72 presas de todas las tipologías en 22 países diferentes de todos los continentes excepto Oceanía, con un mayor número de realizaciones en Hispanoamérica por razones culturales y de idioma, donde se ha participado en la construcción de 46 presas, seguido de África donde se han construido 17 presas (Fig 2).



Fig. 2. Distribución geográfica de presas construidas por empresas españolas en el exterior 1945-2012. En rojo se indican países en los que los españoles no habían construido presas antes del año 2009.

## **2. Actividad exterior en el período entre congresos Brasilia 2009 y Kyoto 2012**

Este período se caracteriza por una menor actividad en la construcción de presas en España, donde actualmente hay 24 en ejecución mientras que en 2006 había 38 en construcción y en la década de 1991 a 2000 se inventariaron 157 nuevas grandes presas. Esta menor actividad constructora, unida a la bajada general de la contratación de obra pública en España como consecuencia de la actual crisis económica, ha impulsado aún más la ya tradicional actividad exportadora de nuestras empresas de construcción e ingeniería de presas, de forma que en este período se ha producido una mayor internacionalización de estas últimas y una búsqueda de nuevos mercados por parte de nuestras empresas.

### **2.1. Actividad de las empresas de construcción**

En el período comprendido entre los dos últimos congresos de ICOLD (Brasilia 2009 y Kyoto 2012) las empresas constructoras españolas han mantenido e incluso incrementado su presencia en el exterior. En efecto, en los pocos años transcurridos de la década actual nuestras empresas han participado o participan en la construcción de 9 presas en el extranjero, cifra apreciable si se compara con los datos de décadas anteriores: 13 presas en la década 2000-2009, 14 presas en la década 1990-1999 y 19 presas



en la década 1980-1989, que fue la de mayor número de presas construidas por los españoles en el exterior (Fig. 3).

La distribución geográfica de las presas en el período de estudio es similar a la de décadas anteriores, pudiéndose destacar, como fruto de la búsqueda de nuevos mercados, la actuación en cuatro países en los que los españoles no habían construido presas anteriormente: Panamá, Puerto Rico, California (USA) y Bulgaria (ver Fig. 1 y Tabla 1).

En el último período entre congresos se ha finalizado la construcción de 2 presas, una en Chile (El Bato) y otra en Bulgaria (Tsankov Kamak) y se trabaja actualmente en la construcción de otras 7 presas más: 2 en Estados Unidos (Puerto Rico y California) 2 en Panamá, 1 en México y 2 en Portugal.

La altura de estas presas varía entre 30 m y 134 m, con un destino mayoritariamente hidroeléctrico (4 presas) seguido de abastecimiento urbano (2 presas) defensa contra avenidas (2 presas) y un caso (PAC-4 en Panamá) cuyo objeto es contener las aguas del nuevo cauce de acceso en el lado Pacífico del Canal, formando parte del Proyecto del Tercer Juego de Esclusas de la ampliación del Canal de Panamá.

En cuanto a tipologías, cabe destacar que nuestras empresas han participado en la construcción de prácticamente todos los tipos de presa: 3 de hormigón vibrado convencional (1 de gravedad, 1 bóveda y 1 arco gravedad) 3 de hormigón compactado (2 de gravedad y 1 arco gravedad, tipología muy poco frecuente fuera de China) y 3 de materiales sueltos (2 con núcleo de arcilla y 1 de gravas con pantalla de hormigón).

En la Tabla 2 se resumen las características principales de las presas en el exterior con participación española durante el último período entre congresos,

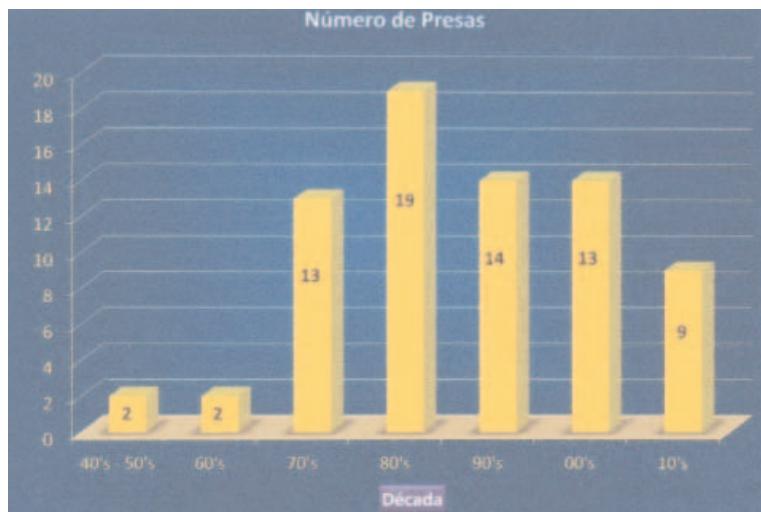


Fig. 3. Distribución temporal del número de presas en el exterior con participación de empresas españolas.

en la que no se han incluido algunas obras singulares en construcción asociadas a las presas, entre las que cabe señalar los túneles de desvío de la presa de Ituango en Colombia (FERROVIAL AGROMAN) presa de materiales sueltos que tendrá una altura de 225 m y embalsará 2.720 Hm<sup>3</sup>.

## 2.2. Actividad de las empresas de ingeniería (2)(3)

Las empresas españolas de ingeniería de presas inician su actividad en el exterior en la década de los años 70 del pasado siglo, generalmente asistiendo técnicamente a las empresas constructoras. Así, en las décadas de los años 70 y 80 se tienen documentadas 11 y 19 actuaciones respectivamente, prácticamente en coincidencia con los períodos de mayor actividad de nuestras empresas constructoras de presas en el exterior.

Tabla 1. Número de presas construidas en el exterior por continentes y décadas

Década	Europa	Asia	África	Centro y Sudamérica	Norteamérica	Nº de presas
1945 - 1963	-	-	4	-	-	4
1970 - 1979	1	1	-	11	-	13
1980 - 1989	-	-	4	15	-	19
1990 - 1999	-	1	7	5	1	14
2000 - 2009	2	-	2	9	-	13
2009 - 2012	3	-	-	4	2	9
Nº de presas	6	2	17	44	3	72

**Tabla 2. Presas en el exterior con participación de empresas constructoras españolas. Periodo entre Congresos ICOLD 2009 / 2012**

Presa	Situación	Río	Destino	Año fin de obra	Tipología	Volumen embalse (10³ m³)	Altura (m)	Longitud coronación (m)	Volumen cuerpo de presa (10³ m³)	Tipo	Capacidad (m³/s)	Aliviadero	Empresa española en la construcción	Propiedad
El Bato	Chile	Illapel	AVEN/ RIEGO	2010	MSPH	26	56	591	2.328	L		FERROVIAL AGROMAN		Ministerio de Obras Públicas
Tsankov Kamak	Bulgaria	Vacha	HELEC	2011	B	111	131	459	600	C	1.500	FCC	NEK - Natsionalna Elektricheska Kompania	
Portugués	Puerto Rico (USA)	Portugués	AVEN	En Constr.	AG/HC	15	67	375	300	L	1.200	DRAGADOS	USACE, US Army Corps Engineers	
Calaveras	California (USA)	Calaveras	ABAS	En Constr.	MSNA	119	67	368	2.676	L	1.130	DRAGADOS	SFPUC, San Francisco Public Utilities Commission	
Riberadio	Portugal	Vouga	HELEC	En Constr.	AG	135	74	262	260	C	1.000	FCC	EDP - Gestao da Producao de Energia, S.A.	
Ermida	Portugal	Vouga	HELEC	En Constr.	G	3	35	175	75	L	1.000	FCC	EDP - Gestao da Producao de Energia, S.A.	
Zapotillo	Méjico	Verde	ABAS	En Constr.	G/HC	910	134	395	1.542	L	5.040	FCC	Comisión Nacional del Agua	
Bajo Frío	Panamá	Chiriquí Viejo	HELEC	En Constr.	G/HC - MSNA	2	56	405	223 /	L/C	2.100	FCC	Fountain Intertrade Corp.	
PAC-4	Panamá	Lago Miraflores	INDUS	En Constr.	MSNA	-	30	2.800	4.960	-	-	FCC	Autoridad del Canal de Panamá	
<b>Tipologías de presa</b>														
AG	Arco Gravedad	ABAS	Abastecimiento											Lámmina libre
B	Bóveda	AVEN	Defensa frente a avenidas											Compuertas
G	Gravedad	HELEC	Hidroeléctrico											
HC	Hormigón Compactado	INDUS	Industrial											
MSPH	Materiales sueltos con pantalla de hormigón	RIEGO	Riego											
MSNA	Materiales sueltos con núcleo de arcilla													
<b>Destinos de la presa</b>														



**Tabla 3. Número de presas sobre las que han actuado las empresas españolas de ingeniería. Distribución por continentes y décadas.**

Década	Europa	Asia	África	Centro y Sudamérica	Norteamérica	Nº de presas
1970 - 1979	-	-	-	11	-	11
1980 - 1989	-	-	4	15	-	19
1990 - 1999	-	-	1	7	-	8
2000 - 2005	1	3	1	7	2	14
2005 - 2012	8	-	11	18	2	39
Nº de presas	9	0	17	57	3	86

En los años 90 se produce una apreciable reducción de esta actividad, documentándose solamente 8 actuaciones en la década. Sin embargo, en el período entre los congresos de ICOLD Brasilia 2009 y Kyoto 2012, la actividad de las ingenierías españolas en el exterior experimenta un nuevo y vigoroso impulso, entre cuyas motivaciones cabe destacar la presente crisis económica, la bajada de actividad

en España y en consecuencia la necesidad de buscar nuevos mercados (Tabla 3).

Cabe destacar efectivamente que entre 1971 y 2005 se registraron 52 actuaciones en el exterior en las que participaron solamente 5 empresas españolas, mientras que en el período entre los dos últimos congresos de ICOLD se han documentado 43 actuaciones en las que han participado 10 empresas

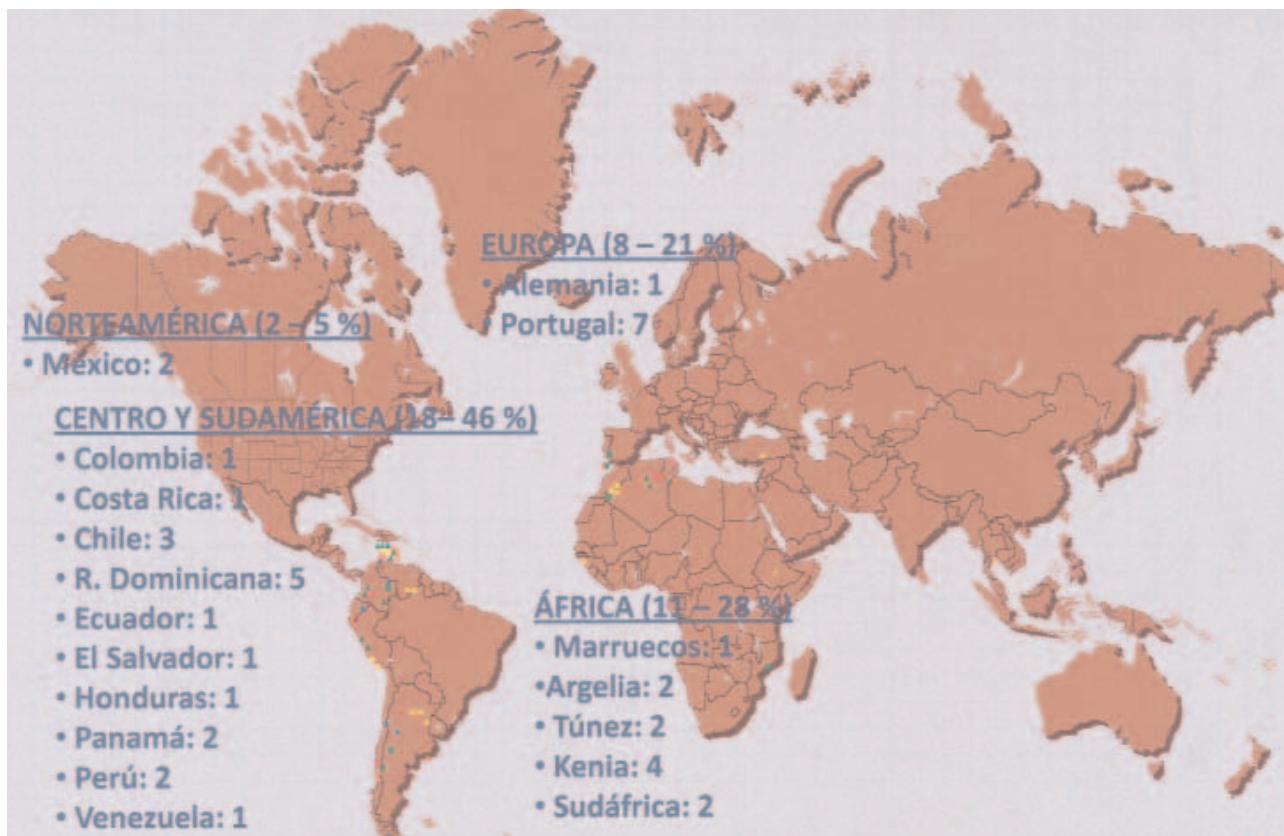
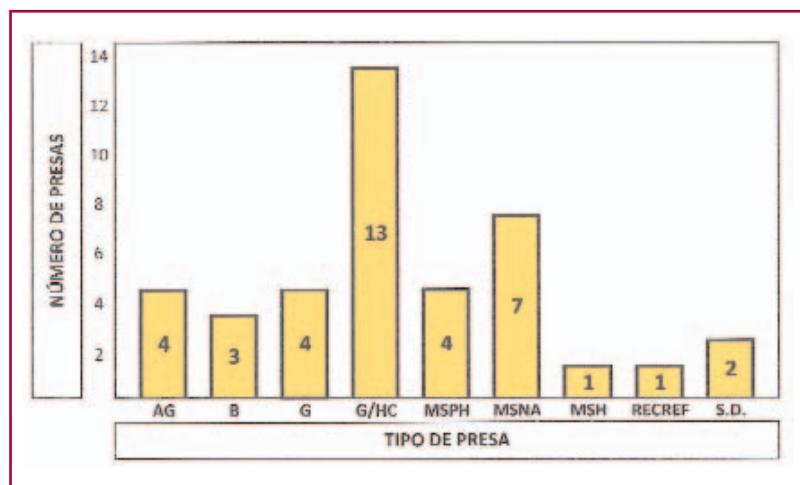


Fig. 4. Ingenierías españolas Distribución geográfica de actuaciones en presas en el exterior. Período entre los dos últimos congresos de ICOLD.



españolas de ingeniería. En la Figura 4 se muestra la distribución geográfica de las actuaciones del período de estudio, en la que se puede observar que la mayor actividad se vuelve a producir en Hispanoamérica (20 actuaciones) seguida de África (11 actuaciones) pudiéndose también apreciar el resultado de la apertura de nuevos mercados por parte de nuestras empresas de ingeniería.

Nuestras empresas de ingeniería han actuado sobre 39 proyectos de presas en el exterior: 24 de hormigón, 12 de materiales sueltos, 1 recrecido y 2 casos sin clasificar; con siete tipologías distintas, destacando entre ellas por número de actuaciones las presas de hormigón compactado (Figura 5).

Fig. 5.  
Distribución por  
tipologías de  
presas en el  
exterior con  
participación de  
ingenierías  
españolas.

Fig.6. Presa de  
HCR de De Hoop  
(13) (Sudáfrica)  
en la que ha  
colaborado la  
ingeniería FOSCE.



España es uno de los países punteros a nivel internacional en el campo de las presas de hormigón compactado con rodillo (HCR, o RCC, por sus siglas en inglés). Desde primeros de los años 80 se ha ido desarrollando en nuestro país una intensa actividad en el proyecto y construcción de presas de HCR. En España existen en total 28 presas de este tipo, una de ellas en construcción.

Esta tecnología se ha exportado con éxito al exterior a través no solo de la actividad de nuestras empresas constructoras, sino también de las ingenierías y empresas de consultoría especializada. Tal como se observa en la Tabla 4, en los últimos 4 años existen 13 presas de HCR en 3 continentes distintos en los que empresas españolas de ingeniería han desarrollado su actividad.

El concepto de hormigón compactado que habitualmente se emplea en estas presas es el denominado "rico en pasta" en el que la composición de hormigón incluye un alto porcentaje de material puzolánico (ceniza volante, puzolana natural o escoria) en sustitución del cemento. Tal como se ha comprobado en nuestro país y en las realizaciones en el exterior, siguiendo este concepto se simplifica mucho el diseño de la presa y se hace posible una construcción continua sin interferencias que es lo que en definitiva da sentido a esta tecnología.

La actividad de nuestras empresas de ingeniería en presas de HCR en el exterior abarca tanto estudios previos, anteproyectos, proyectos definitivos de construcción, estudios específicos de materiales y composiciones de hormigón, supervisión y control de la construcción y asistencia en el monitoreo durante el primer llenado y posteriormente a lo largo de su operación.

En la Tabla 4 siguiente se incluyen los datos principales de los estudios y proyectos conocidos por los autores de este artículo en los que participan las empresas españolas de ingeniería de presas en el exterior durante el período entre congresos de ICOLD Brasilia 2009 – Kyoto 2012.

Los autores de este artículo piden disculpas si en la Tabla 4 se ha omitido alguna actuación o no se menciona a alguna empresa de ingeniería que este trabajando en estas materias en el exterior, pues si esto ha sucedido en algún caso ha sido por desconocer dichos trabajos en la fecha de redacción de este artículo.

**TABLA 4. Estudios y proyectos de presas en el exterior con participación de empresas españolas de ingeniería. Período 2005 - 2012 (I)**

Presas	Situación	Río	Destino	Tipo de actuación	Tipo de presa	Volumen de embalse (Hm <sup>3</sup> )	Altura (m)	Longitud coronación (m)	Dimensions de presa		Aliviadero	Empresa española de ingeniería	Propiedad
									Volumen cuerpo de presa (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Tipo	Capacidad (m <sup>3</sup> /s)		
1. Daivões	Portugal	Támega	HELEC	PROY	AG	56	77,5	190	250	C	2.944	ACCIONA INGENIERÍA	Iberdrola Generación
2. Alto Támega	Portugal	Támega	HELEC	PROY	B	132	106,5	334	232	C	1.800	ACCIONA INGENIERÍA / JESÚS GRANELL I.C.	Iberdrola Generación
3. Tronera Sur	Perú	Huancabamba	RIEGO/ HELEC	PROY	G	1	20,3	45		C	1.152	AYESA	Gobierno Regional Piura
4. Zapotillo	Méjico	Verde	ABAS	PROY	G/HC	910	134	395	1.085	L	5.050	AYESA	Comisión Nacional del Agua
5. Atlíxco	Méjico	Atoyac	RECRE	PROY	MSH	29	38,5	2.044	4.100	L	1.048	AYESA	Estado de Puebla
6. Girabolhos	Portugal	Mondego	HELEC	PROY	B	138	105,5	419	287	C	1.884	EPITSA/ JESÚS GRANELL I.C.	ENDESA Generación
7. Bogueira	Portugal	Mondego	HELEC	PROY	MSPH	57	77	430	1.322	L	1.918	EPITSA/ JESÚS GRANELL I.C.	ENDESA Generación
8. Gouveias	Portugal	Torno	HELEC	PROY	G	14	30	233	37	L	66	EPITSA/ JESÚS GRANELL I.C.	Iberdrola Generación
9. Vilar	Portugal	Távora	HELEC/ ABAS	AUSC	MSPH	95	55	240	300	C	500	EPITSA	E.D.P. Gestão da produção de Energia S.A.
10. Beni Haroum	Argelia	El Kebir	ABAS/ RIEGO	AUSC	G/HC	963	118	714	1.600	C	13.230	EPITSA	DRAGADOS
11. Tamdout	Marruecos	Angsmir/ Moulouya	ABAS/ RIEGO	AUSC	G/HC	50	58	319	420	L		EPITSA	E.M.T. Enterprise Marocaine de Travaux
12. Khangujet Zazia	Túnez	Khanguet Zazia	AVEN	PROY	MSNA	74	49	326	1.100	L	11.000	EUROESTUDIOS	Ministère de l'Agriculture
13. Khaled	Túnez	Khaled	RIEGO	PROY	MSNA	26	60	500	3.000	L	2.210	EUROESTUDIOS	Ministère de l'Agriculture
14. Oued Taft	Argelia	Taft	ABAS	PROY/ SUPVOBRA	B	7	44	155	36	L	1.600	EUROESTUDIOS	ANBT. Agence Nationale des Barrages et Transferts
15. El Choparal	El Salvador	Lempa	HELEC	SUPVOBRA	G/HC	189	87,5	321	375	C	6.700	EUROESTUDIOS	CEL. Compañía Eléctrica del río Lempa
16. Chonta	Perú	Chonta	ABAS	ESTPREV	G/HC				850	L		FOSCE	Municipalidad de Cajamarca

TABLA 4. Estudios y proyectos de presas en el exterior con participación de empresas españolas de ingeniería. Período 2005 - 2012 (II)

Presa	Situación	Río	Destino	Tipo de actuación	Tipo de presa	Volumen de embalse (Hm <sup>3</sup> )	Altura (m)	Longitud coronación (m)	Volumen cuerpo de presa (103 m <sup>3</sup> )	Tipo	Capacidad (m <sup>3</sup> /s)	Aliviadero	Empresa española de ingeniería	Propiedad
17. Pirris (13)	Costa Rica	Pirris	HELEC	PROY// SUPVOBRA	G/HC	36	113	266	730	C	2.350	FOSCE	Instituto Costarricense de Electricidad	
18. De Hoop (12)	Sudáfrica	Olfifants	ABAS	SUPVOBRA	G/HC	347	88	1.017	1.000	L	3.600	FOSCE	Department of Water Affairs & Forestry	
19. Pedrógão (14)	Portugal	Guadiana	HELEC	PROY// SUPVOBRA	G/HC	106	43	450	400	L	12.000	FOSCE	EDIA	
20. Waldbergenburg (16)	Alemania	Rote Weisseritz	AVEN	ANTEPROY	G/HC		39	270	73	L		FOSCE	LTW, Sachsen	
21. Spring Grove (15)	Sudáfrica	Mooi	ABAS	PROY// SUPVOBRA	G/HC	140	37	292	90	L	580	FOSCE	Trans-Caledon Tunnel Authority	
22. Mejita	Rep. Dominicana	INDUS	PROYREHAB	RECREF								GETINSA	ONFED	
23. Iuy IV Cula (17)	Venezuela	Cula	ABAS	PROY	G/HC	700	135	335	1.000	L	1.849	INCLAM / JESÚS GRANELI I.C. / ING° SUELO / FOSCE	Hidrocapital	
24. Manduriacu	Ecuador	Guayllabamba	HELEC	SUPVOBRA	G/HC	10	57	240.000			2780	INCLAM/TYPSA	Corporación Eléctrica del Ecuador	
25. Las Cruces	Panamá	San Pablo	HELEC	PROY	AG	36	57	238	82		582	DHI / JESÚS GRANELI I.C.	Corporación Energía del Istmo	
26. Barroblanco	Panamá	Tabasará	HELEC	PROY	AG	30	55	433	180	C	2.000	JESÚS GRANELI I.C.	GENISA	
27. Alto Tármea	Portugal	Tármea	HELEC	PROYDET	B	131	106.5	333	240	C	1.510	JESÚS GRANELI I.C.	IBERDROLA Generación	
28. Girabolhos	Portugal	Mondego	HELEC	ANTEPROY	B	138	93.5	426	280	C	1.492	IDOM	ENDESA Generación	
29. Boqueira	Portugal	Mondego	HELEC	ANTEPROY	MSPH	69	67	462	1.006	L	1184	IDOM	ENDESA Generación	
30. Nandi Forest	Kenia	Yala	ABAS/ AVEN/ HELEC/ RIEGO	ESTPREV// PROY	G/HC	230	66	1.509	1.200	L	730	TYPSA	Gobierno de Kenia	
31. Oletukot	Kenia	Ewaso Ng'iro South	ABAS/ AVEN/ HELEC/ RIEGO	ESTPREV// PROY	MSNA	720	140	1.800	7.700	L	2.500	TYPSA	Gobierno de Kenia	



**TABLA 4. Estudios y proyectos de presas en el exterior con participación de empresas españolas de ingeniería. Periodo 2005 - 2012 (III)**

Presas	Situación	Río	Destino	Tipo de actuación	Tipo de presa	Volumen de embalse (Hm <sup>3</sup> )	Altura (m)	Longitud coronación (m)	Volumen cuerpo de presa (103 m <sup>3</sup> )	Tipo	Capacidad (m <sup>3</sup> /s)	Dimensiones de presa		Aliviadero	Empresa española de ingeniería	Propiedad	
												Aliviadero	Aliviadero				
32. Leshota	Kenia	Ewaso Ng'iro South	AVEN/ HELEC/ RIEGO	ESTPREV/ PROY	MSPH	33	56	415	200	L	2.100					Gobierno de Kenia	
33. Oldarko	Kenia	Ewaso South	AVEN/ HELEC/ RIEGO	ESTPREV/ PROY	MSNA	18	30	85	90	I	1780					Gobierno de Kenia	
34. Daivoes	Portugal	Tâmega	HELEC	PROYDET	AG	56	77,5	265	240	C	2944					IBERDROLA Generación	
35. Lo Invernada	Chile	La Invernada	HELEC	PROYDET	G	3	10	27.000		C	405					Electroaustral Generación	
36. Río Teno	Chile	Teno															
37. Río Achibueno	Chile	Achibueno															
38. Mezapa	Honduras	Mazapa	HELEC	PROYDET	G	9	9,7	43.000		L	411					SEMSA	
39. El Cercado	Colombia	Ranchería	ABAS/ HELEC/ RIEGO	EXPLOMANT	MSPH	198	110	378.000	2995.000	L	1250					Instituto Colombiano de Desarrollo Rural	
40. Tavera	Rep. Dominicana	'Yaque del Norte	HELEC/ RIEGO	PROYREHAB	MSNA	173	80	320.000		C	6000					INDRHI. Instituto Nacional de Recursos Hídricos	
41. Jigüey	Rep. Dominicana	Nizao	HELEC/ RIEGO	PROYREHAB	AG	167	110	350.000		L	11910					INDRHI. Instituto Nacional de Recursos Hídricos	
42. Maguaca	Rep. Dominicana	Maguaca	RIEGO	PROYREHAB	MSNA	16	26	208.000		L	775					INDRHI. Instituto Nacional de Recursos Hídricos	
43. Chacuey	Rep. Dominicana	Chacuey	RIEGO	PROYREHAB	MSNA	14	34	165.000		L	740					INDRHI. Instituto Nacional de Recursos Hídricos	
<b>Tipologías de presa</b>						<b>Destinos de la presa</b>						<b>Tipos de actuación</b>		<b>Aliviadero</b>			
AG	Arco Gravedad		ABAS		Abastecimiento		ESTPREV		Estudio Previo		Anteproy		Lámina libre				
B	Bóveda		AVEN		Defensa frente a avenidas		ANTEPROY		Anteproyecto		PROY		Compueras				
G	Gravedad		HELEC		Hidroeléctrico		PROYDET		Proyecto de Construcción		PROYDET		Proyecto de detalle				
HC	Hormigón Compactado		INDUS		Industrial		PROYFAB		Proyecto de refuerzo, refuerzo, rehabilitación		PROYFAB		Supervisión de la Construcción				
MSPH	Materiales sueltos con portilla de hormigón		RIEGO		Recreativo		SUPVORRA		Auscultación, proyecto/instalación		SUPVORRA		Auscultación, proyecto/instalación				
MSNA	Materiales sueltos con núcleo de arcilla		REC		Recreativo		AUSC		Exploración / mantenimiento		EXPLOMANT						
RECREF	Recrecio o refuerzo																

## Algunas actuaciones significativas

CHILE

# Presa de el Bato

**E**n el año 2010 la U.T.E. formada por FERROVIAL-AGROMAN y BESALCO finalizó las obras de "Construcción del Embalse El Bato, IV Región de Coquimbo (Chile)" (4)(5)(6), situadas en el valle del río Illapel, cuyo objeto es crear un embalse de 25,5 Hm<sup>3</sup> para laminación de avenidas y regulación de recursos del río para riego.

La presa es de tipo CFRD, formada con bolos y gravas arenosas permeables compactadas y mayoritariamente sin procesar, con pantalla impermeable de hormigón aguas arriba, una altura máxima sobre cimientos de 56 m, 591 m de longitud de coronación y un volumen total de rellenos de 2.328.000 m<sup>3</sup>. La coronación tiene un ancho de 6 m, presentando la presa taludes 1,5(H):1(V) aguas arriba y 1,6(H):1(V) aguas abajo.

En el sitio de la presa el río Illapel tiene forma en U, con laderas de pendientes entre 20° y 25° y un amplio fondo de valle sensiblemente horizontal. Las laderas están formadas por andesitas con



Fig. 7. Presa de El Bato. Vista general desde aguas arriba.

cobertura de suelos en general inferior a 1,5 m, mientras que en el fondo del valle la roca está cubierta por un potente depósito aluvial formado por bloques, bolones y gravas arenosas permeables, que alcanzan un espesor máximo próximo a 100 m.

En las laderas la presa apoya sobre la roca andesita previa excavación de sue-

los, por lo que las secciones presentan el diseño clásico CFRD con plinto en losa hormigonado sobre roca. Sin embargo, en el amplio valle fluvial, donde los materiales aluviales permeables alcanzan espesores próximos a 100 m, se ha adoptado una solución cimentando presa y plinto sobre la superficie del propio aluvial. La sección tipo en esta zona (415,90 m

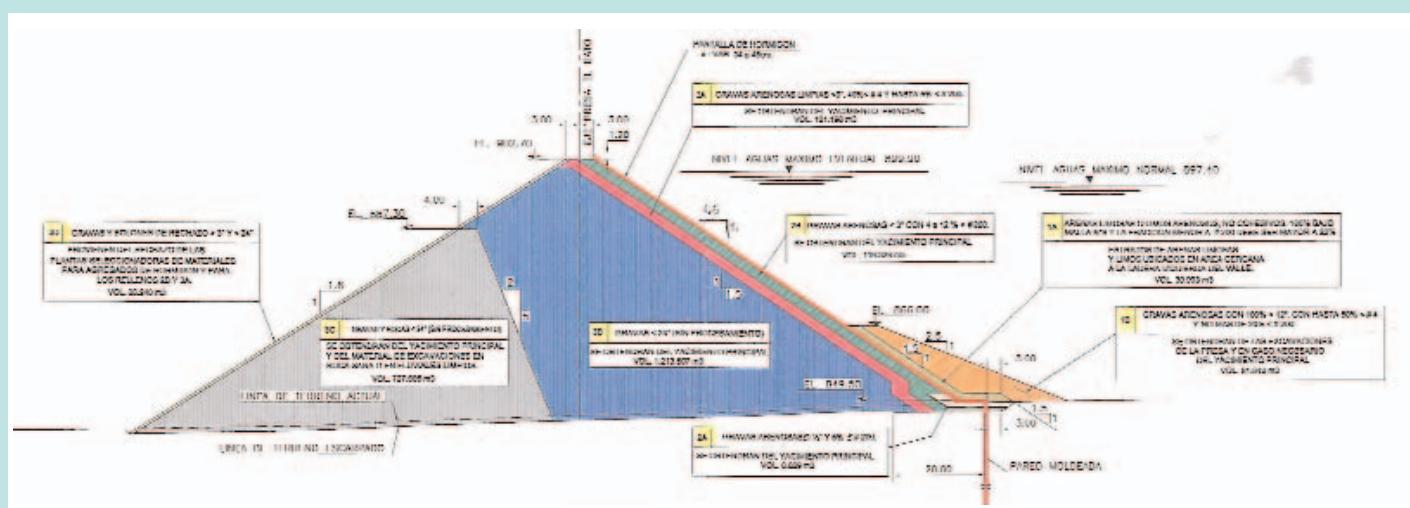


Fig. 8. Presa de El Bato. Sección tipo sobre aluvial.



Fig. 9. Formación del talud aguas arriba con hormigón bordillado para apoyo de la pantalla.

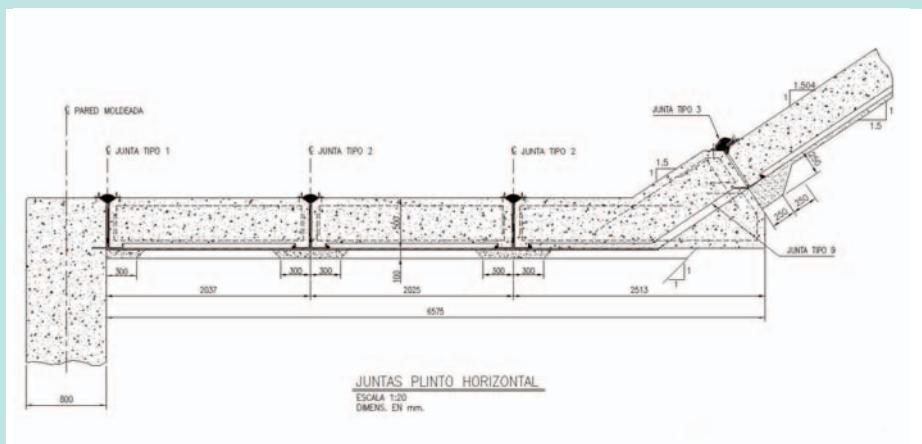


Fig. 10 Plinto articulado sobre aluvial del valle.

de longitud) es la más característica de la presa, mostrándose en la Fig. 8.

Los rellenos del cuerpo de presa proceden del propio aluvial del río, extraídos en zonas próximas a la cerrada, así como de excavaciones realizadas en roca sana para construir las obras de fábrica, túnel y caminos.

La pantalla impermeable de hormigón tiene un espesor variable entre 34 y

45 cm siguiendo la ley  $t=0,34+0,00207H$  con hormigón tipo H25, árido de tamaño máximo 1 1/2" y 4 a 6% de aire ocluido. El talud de aguas arriba de la presa, apoyo de la pantalla impermeable de hormigón, se ha terminado en hormigón vibrado colocado con bordilladora, compactando los rellenos contra el mismo (Fig. 9).

En las laderas se cimenta el plinto sobre la andesita, mientras que en el

fondo del valle, en 415,90 m de longitud, presa y plinto se cimentan horizontalmente sobre el aluvial permeable del río. En este tramo, el plinto se ha proyectado formado por varias losas articuladas entre sí de manera que las diferencias de movimientos entre el pie de pantalla y el plinto se reparten entre las diversas juntas, de forma que el movimiento en la junta perimetral con la pantalla impermeable pueda ser absorbido por el elemento impermeabilizador en ella dispuesto. El aluvial se impermeabiliza mediante una pantalla continua de hormigón de 0,80 m de espesor y 40 m de profundidad en el centro del valle

En la ladera derecha se sitúa el aliviadero lateral de labio fijo, con 50 m de longitud de vertido, disponiéndose el desagüe de fondo y toma de agua para riego en un túnel de 257 m de longitud excavado en la ladera izquierda, utilizado para manejo del río durante la construcción de la presa. ♦

## BULGARIA

### Presa de Tsankov Kamak

El Grupo FCC a través de su filial ALPINE ha completado la ejecución de la presa de Tsankov-Kamak para la empresa nacional de electricidad NEK, Natsionalna Elektricheska Kompania, de Bulgaria, Sofía. La obra está situada al sudoeste de Sofía (250 km), cerca de Smolyan, en el macizo montañoso de las Rodhopes fronterizo con Grecia, en el río Vacha y forma parte del complejo hidroeléctrico denominado Dospat-Vacha Cascade.

La principal obra civil de este proyecto es la presa de Tsankov-Kamak con 130,50 m de altura que almacena un volumen de 111 Hm<sup>3</sup>. Se encuentra ubicada en el propio río Vacha, 400 m aguas abajo de la incorporación del río Gasnhyá (tributario por la margen izquierda) y cubre una extensión de 3,27 Km<sup>2</sup>, recogiendo una cuenca de 1200 km<sup>2</sup>.

La estructura de cierre es una bóveda de doble curvatura con 130,50 m de altura desde cimientos, una longitud de coronación de 459 m y una cuerda de 341 m. Los estribos de la presa son de gravedad mientras que el resto del cuerpo de presa tiene una sección optimizada con una anchura máxima en la base de 27,60 m que se reduce hasta 8,80 m en coronación. La sección horizontal es un arco parabólico de anchura constante.

Para la ejecución de la presa se han dispuesto 22 bloques de desarrollo vertical con huecos de conexión a cortante que eviten desplazamientos relativos entre ellos y con recintos que facilitan la inyección de las juntas, permitiendo el trabajo de la estructura en arco. Como elementos de control se han dispuesto 4 niveles de galerías de inspección a distancias aproximadas de 30 m.

Las cotas máximas y mínimas de operación son +685,00 y +670,00 lo que supo-

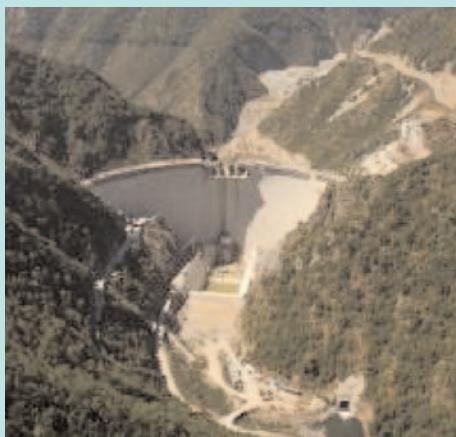


Fig. 11 Presa de Tsankov Kamak vista desde aguas abajo.

ne un volumen de operatividad de 41 Hm<sup>3</sup>. El aliviadero dispone de 4 compuertas tipo Taintor radiales, de 8.00 x 8.00. El vertido es directo sobre la cresta hacia un recinto de disipación de energía, diseñando como pozo de erosión.

El dimensionamiento hidráulico de la presa se ha realizado para un caudal de máximo de 1425 m<sup>3</sup>/s correspondiente a un período de retorno de 10.000 años, de forma que con las compuertas totalmente abiertas, se alcanza una co-

ta de +687,42 m, dejando un resguardo de 1,08 m hasta la coronación de la presa (+688,50). Los desagües de fondo están formados por doble conducto de Ø 1300.

En el dimensionamiento estructural se ha tenido en cuenta la alta sismicidad de la zona con una aceleración de cálculo de 0,41x g, correspondiente a un período de retorno de 10.000 años. Para el dimensionamiento de la sección se ha empleado una simulación mediante elementos finitos con análisis estático, análisis dinámico y estudio de deformaciones por variación de temperatura. En el proceso constructivo se ha estudiado el calor de hidratación de la mezcla y se ha procedido al enfriamiento del hormigón en las épocas estivales mediante serpentines.

En términos generales, los problemas considerados en la cimentación de una presa bóveda son los siguientes: la resistencia de la roca a compresión y esfuerzo cortante, la deformabilidad del macizo, la estabilidad global de los estribos y el drenaje e impermeabilización del terreno.



Fig. 12 Presa de Tsankov Kamak durante la construcción.

Para distribuir el esfuerzo y obtener una resistencia adecuada se ha incrementado la superficie de apoyo en los estribos y se ha ampliado la profundidad de excavación hasta obtener parámetros de suficiente calidad. En cuanto a la deformabilidad del macizo rocoso, aunque una estructura en arco es hiperestática y admite cierta deformación del cimiento, se requiere un tratamiento de consolidación del mismo para aumentar su módulo de deformación.

Para la consolidación se han empleado mezclas densas con presiones iniciales del orden del doble de la carga hidráulica y se han ejecutado siguiendo el método GIN con parámetro 2000 (pxV) para evitar la apertura de fisuras del macizo. Esta consolidación permite el sellado de las juntas y fisuras del macizo y contribuye a la estabilidad global de los estribos.

El encaje de la presa se realiza en roca formada por gneiss y esquistos conectados, excepto en las zonas de falla. Existe un banco de calizas karstificadas en la parte superior del estribo derecho de la presa. El estribo izquierdo es de roca maciza sin alteraciones significativas mientras que en el estribo derecho, la presencia de fallas de cierta anchura y muy meteorizadas hacen necesario un tratamiento especial del apoyo. Todo el material superficial existente, tanto de rellenos en zonas de pendiente como el coluvial o incluso el aluvial del río está formado por meteorización de la roca del entorno, sin apenas transporte, encontrándose bloques de cierto tamaño.

Se establece una pantalla de drenaje y una de impermeabilización. Para ésta última también fue empleado el método GIN con mezcla densa. En la zona del estribo derecho la pantalla se inclina de forma significativa hacia aguas arriba para recoger las discontinuidades trans-

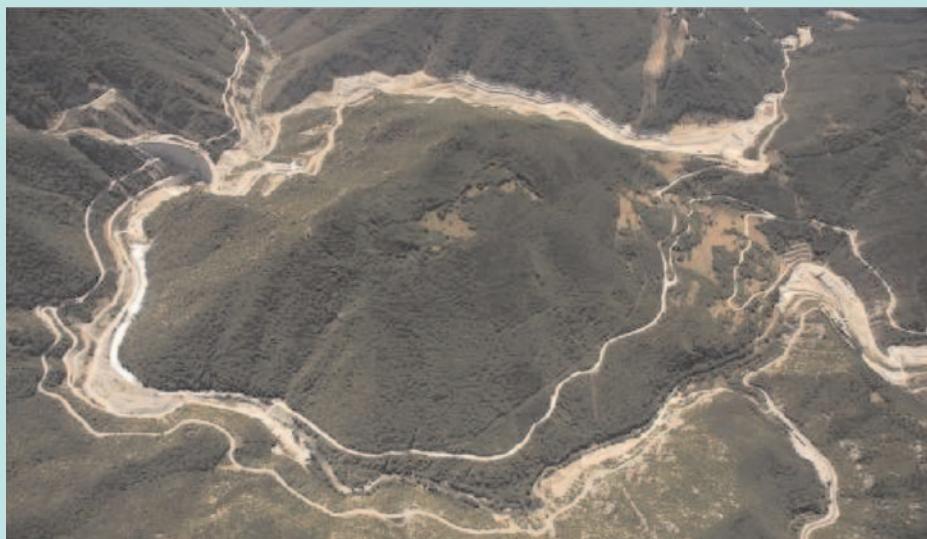


Fig. 13 Presa de Tsankov Kamak y Central hidroeléctrica. El salto se produce en la zona estrecha del meandro.

versales del macizo. El volumen de hormigón de la presa es de 600.000 m<sup>3</sup> de los cuales 420.000 m<sup>3</sup> forman el cuerpo de la presa y el resto se emplea en la construcción del cuenco de disipación de energía. Se han empleado métodos de enfriado en casi la mitad de la producción de hormigón.

Con la construcción de la presa se consigue aumentar la capacidad energética del sistema actual un 48%, 188 GWh/año, hasta conseguir 570 GWh/año. La potencia de la planta hidroeléctrica de Tsakov-Kamak es de 85 MW con un salto útil de alrededor de 137 m. Los equipos electromecánicos de la central están suministrados por VA TECH HYDRO GmbH, Viena y el diseño del complejo es de PÖYRY Energy GmbH (Verbundplan GmbH), Viena, con el asesoramiento de G. Lombardi.

La planta de energía hidroeléctrica está designada como un proyecto de reducción de CO<sub>2</sub> dentro del ámbito de aplicación de los mecanismos del Protocolo de Kyoto, lo que permite que parte de la financiación de la obra se realice mediante emisión y transferencia de créditos ambientales a la República de Austria por reducción de emisiones contami-

nantes en el extranjero, en virtud de los acuerdos conjuntos establecidos entre ambos países. Se estima que la reducción de CO<sub>2</sub> obtenida es del orden de 200.000 T/año.

El proyecto incluye la ejecución de la nueva toma, la estación generadora así como el traslado y desvío de la carretera de Devin-Mihalkovo en 19,5 Km. Otra de las actuaciones llevadas a cabo ha sido el sellado de la zona de conexión con el río Gashnya que se encontraba muy fracturada y karstificada.

También ha sido necesaria la construcción de cuatro túneles de distinta envergadura:

- Túnel de desvío del río Vacha, con 493 m de longitud, para un caudal de 450 m<sup>3</sup>/s, correspondiente a un período de retorno de 20 años
- Túnel del By-pass provisional de la carretera, con 250 m de longitud
- Túnel de la toma en carga de la central, con 537 m de longitud y Ø 4400, blindado en acero, para una capacidad de 69,50 m<sup>3</sup>/s
- Túnel de Lyaskovo en el nuevo trazado de la carretera, con 862 m de longitud y una sección de 62 m<sup>2</sup>. ♦

## PUERTO RICO

### Presas del Portugués

**L**a Presa del Portugués (7) se encuentra situada sobre el río que le da nombre, en la isla de Puerto Rico, 5 km al noroeste del municipio de Ponce, la segunda ciudad en importancia por detrás de la capital San Juan. La obra, que comenzó en Abril de 2008, se encuentra en un avanzado estado de ejecución y está prevista su completa finalización para el año 2013.

La obra es propiedad del US Army Corps of Engineers y del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico, y es el último componente del macroproyecto de protección frente a avenidas de los ríos Bucaná y Portugués. El proyectista es el propio USACE. A su terminación, los residentes en Ponce estarán mucho más protegidos frente a las avenidas que sistemáticamente se producen durante la época de lluvias, eventos que a veces se presentan aparejados a tormentas tropicales o huracanes.

Las obras incluyen la construcción de una presa arco-grueso, con un único centro, de hormigón compactado con rodillo, de 67 m de altura, 375 m de longitud de coronación y 280.000 m<sup>3</sup> de HCR. Como elementos complementarios importantes cabe destacar el aliviadero situado sobre la presa, la torre de toma adosada al paramento de aguas arriba, y la casa de válvulas con sala de control, ubicada junto al pie de aguas abajo de la presa y próxima al cauce del río. Es la primera presa arco de HCR construida por DRAGADOS, a través de su filial americana DRAGADOS USA.

La cimentación de la presa está compuesta predominantemente por areniscas, limolitas y conglomerados volcánicos metamórficos, intersectados por

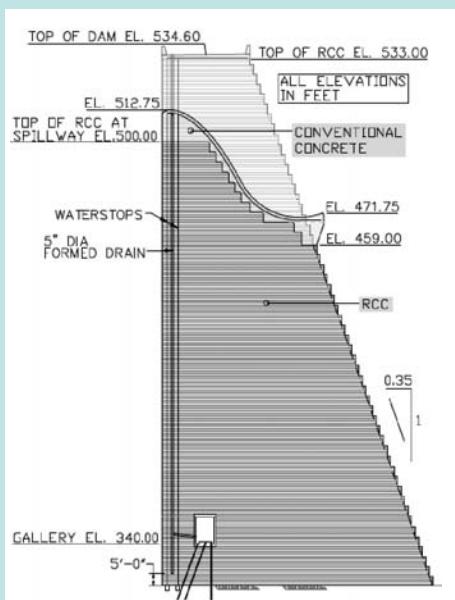


Fig. 14. Sección transversal de la Presa del Portugués.

diacasas y diques de diorita. La cantera de la que se extrajo el material para la producción de áridos, está situada 2 km al norte de la cerrada, siendo la naturaleza de la roca granodiorítica.

La presa tiene talud vertical aguas arriba y un paramento escalonado aguas abajo con un talud equivalente de 0,35 h : 1v. Los escalones tienen una altura de 1,20 m (4 capas de HCR). En ambos paramentos de la presa, para mejorar su estética, se utilizó la técnica denominada GERCC (grout-enriched RCC = HCR enriquecido con lechada), mientras que en el contacto contra la roca en los estribos se utilizó la técnica MERCC, similar a la anterior pero utilizando, para convertir el HCR en un hormigón susceptible de ser vibrado, mortero en vez de lechada. En la zona de la rápida del aliviadero se dispone una losa de hormigón convencional armado de 0,9 m de espesor, ejecutada sobre el paramento escalonado de aguas abajo. Las juntas de contracción que atraviesan la presa están separadas 21,33 m, dividiendo a la estructura en 18 blo-

ques. La presa tiene una galería perimetral desde la que se ejecutan las pantallas de impermeabilización y drenaje del cimiento, de hasta 60 m de profundidad. La pantalla de drenaje del cuerpo de presa se ejecuta desde la coronación, perforando taladros hasta calar en el techo de la galería. La longitud total de perforación, incluyendo las pantallas de impermeabilización y drenaje, y la necesaria para determinados aparatos de auscultación, suma unos 15 km.

El aliviadero es de labio fijo y está diseñado para permitir una descarga de 1200 m<sup>3</sup>/s. El labio tiene una longitud de 42,66 m (dos bloques completos). La descarga es mediante trampolín de lanzamiento. Los conductos de los desagües de fondo se construyeron previamente al HCR, dejándolos embutidos en un bloque de hormigón convencional ubicado al pie de la ladera derecha, para evitar interferencias con aquél y para actuar, en una primera etapa, como parte fundamental del sistema de desvío del río. Ambos conductos de desagüe son de 1,5 m de diámetro y están regulados cada uno por una compuerta deslizante en su extremo aguas arriba, en la torre de toma, y por una rotoválvula cónica más una válvula de chorro hueco con concentrador, en la casa de válvulas. La capacidad conjunta de los desagües, para máximo nivel normal de embalse, es de 48 m<sup>3</sup>/s.

Para el desvío del río se construyó una ataguía de materiales sueltos zonificada, de 14 m de altura y 97 m de longitud de coronación, cuyos paramentos debían estar protegidos para prevenir daños durante los muy probables sobrevertidos. La protección, propuesta por el contratista, consistió en mantas de bloques de hormigón prefabricados unidos mediante cables de poliéster. Este revestimiento confiere a la ataguía la estabilidad necesaria en





Fig. 15. Presa del Portugués en avanzado estado de ejecución.

el caso de un rebalse por su coronación, protegiendo al paramento de aguas arriba frente a la erosión que puede producir el oleaje y turbulencias en situación de avenida y, al de aguas abajo, evitando el arrastre de material del paramento y la socavación del pie del talud. Dos tuberías provisionales de PEAD de 1,5 m de diámetro conectan una estructura de toma en el vaso de la ataguía con los dos conductos permanentes, antes mencionados, que se dejaron atravesando el cuerpo de presa. A la salida aguas abajo de la presa de los conductos permanentes, otras dos tuberías provisionales de PEAD reconducen las aguas hacia el cauce. En la etapa final de las obras el sistema de desvío

será transformado para permitir la configuración final de los desagües de fondo.

El HCR estaba diseñado para alcanzar, a la edad de 365 días, una resistencia a compresión de 31 MPa y una resistencia a tracción directa en juntas entre capas de 2,1 MPa. Previamente a la construcción del cuerpo de presa se ejecutó una losa de ensayo de HCR, de 8 capas y unos 2000 m<sup>3</sup> de volumen colocado.

Las principales instalaciones para producción, enfriamiento y transporte del hormigón que se utilizaron en la obra, fueron las siguientes:

- Planta de fabricación de áridos: 300 t/h

- Planta de lavado de arena: 50 t/h
- Plantas de fabricación de hormigón: 2 x 125 m<sup>3</sup>/h
- Ensilado de áridos: 4500 m<sup>3</sup> (3 x 1100 áridos gruesos + 2 x 600 arenas)
- Ensilado de conglomerantes: 3000 m<sup>3</sup> (2 x 1000 cemento + 1 x 1000 cenizas volantes)
- Cintas enfriamiento áridos gruesos / Plantas enfriamiento: 2 x 120 m / 2 x 1.500.000 kcal/h
- Planta de escamas de hielo: 1 x 200 t/día
- Sistema de cintas de transporte de hormigón de alta velocidad de 24" de ancho de banda (capacidad máx. 250 m<sup>3</sup>/h): 6 cintas, 225 m de longitud total (7 cintas, 265 m para la parte alta del estribo izquierdo). ♦

## CALIFORNIA (EEUU)

### Presa de Calaveras

SFPUC (San Francisco Public Utilities Commission) es la propietaria de esta presa, cuya razón de ser es la sustitución de la actual Presa de Calaveras, de más de 85 años de edad, en la cuenca del Arroyo Calaveras, Condados de Alameda y Santa Clara, California, EEUU. La nueva presa ha sido diseñada para resistir un sismo de magnitud 7,25 en la Falla de Calaveras, que dista escasos 500 m de la presa. Dicho sismo, correspondiente al terremoto máximo esperable, podría generar una aceleración en el terreno de 1,1 g.

La construcción está siendo llevada a cabo por un Joint-Venture del que es líder la empresa DRAGADOS USA, habiendo comenzado en agosto de 2011 y estando prevista la finalización para el año 2015. Una vez en ser-

vicio la presa, quedará restaurada la capacidad original del embalse, dando servicio a 2,5 millones de residentes en el área de la bahía de San Francisco.

En 2001, el Departamento de Seguridad de Presas (DSOD) determinó que la presa podría colapsar durante un fuerte terremoto originado en la Falla de Calaveras, y la consiguiente onda de agua podría poner en peligro a miles de personas en los valles aguas abajo. Desde ese momento, el embalse se ha mantenido a un 40% de su máxima capacidad, lo cual aliviaba el riesgo frente al sismo, pero dejaba a la bahía de San Francisco con un serio déficit de reserva de agua.

La actual Presa de Calaveras fue la mayor presa de materiales sueltos del mundo a su terminación en 1925, creando un embalse de 119 hm<sup>3</sup>. Fue erigida sobre los restos de una primera presa que se construyó con técnicas mineras de la época, y que co-

lapsó en 1917 durante el primer llenado debido a un estado de presiones intersticiales incompatible con la estabilidad del espaldón de aguas arriba. Quedan dudas razonables de que cuando se reconstruyó la presa se retirara completamente el material insuficientemente compactado de la primera tentativa, y por tanto es prudente reconocer que existe un potencial de licuefacción que pudiera producirse en la base de la presa actual durante un fuerte evento sísmico.

En base a lo anterior se decidió construir una nueva presa en las inmediaciones de la "sísmicamente vulnerable" presa actual, y de la misma altura, para permitir restaurar la capacidad histórica del embalse.

La nueva presa tendrá 67 m de altura y una coronación de 369 m de longitud y 24 m de anchura. La anchura en la base será de 360 m y el volumen del cuerpo de presa acumulará 2,7 millones de metros cúbicos de tierras, escolleras y materiales granulares

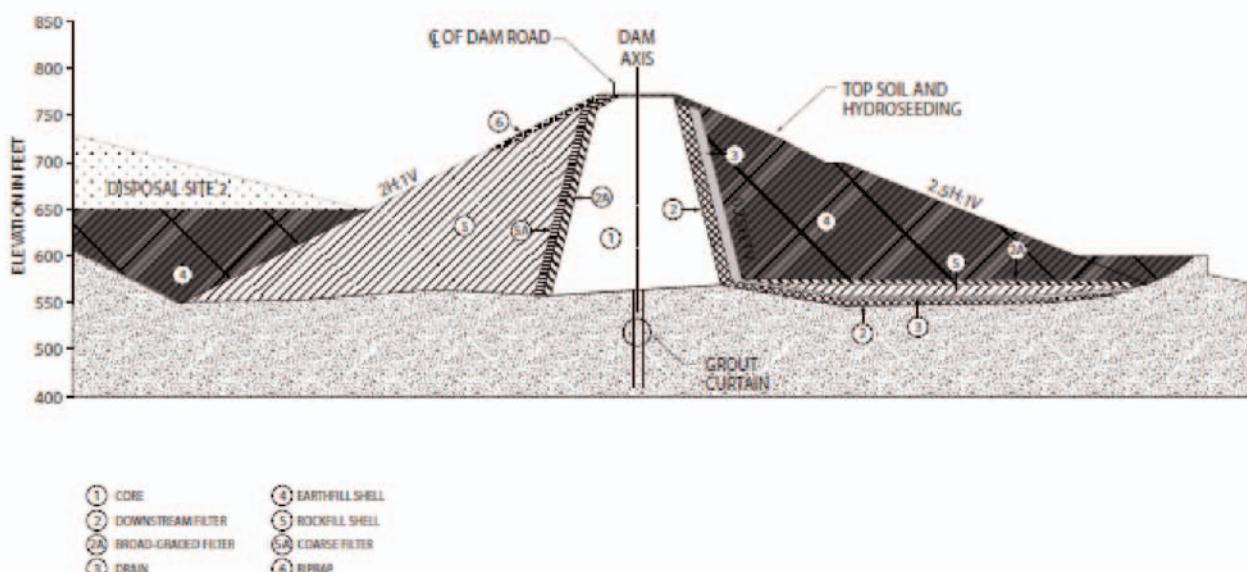


Fig. 16. Sección transversal de la Presa de Calaveras (cortesía de SFPUC).





Fig. 17. Presa de Calaveras.  
Vista aérea de los trabajos.

para filtros y drenes. Se está construyendo inmediatamente aguas abajo de la presa actual, de hecho, tan cerca, que habrá que retirar parte del espaldón de aguas abajo de ésta.

En base a los riesgos sísmicos de la zona, el diseño de la sección tipo de la presa contempla un núcleo impermeable de arcilla arropado por un espaldón de escollera en el lado del embalse (talud exterior 2h:1v) y un espaldón de tierras en el lado aguas abajo (talud 2,5h:1v), interponiendo generosos filtros bicapa entre el núcleo y ambos espaldones, complementados con capas drenantes bajo el espaldón de aguas abajo. El diseño es claramente más conservador que el correspondiente a una zona no sísmica, si se emplearan los mismos materiales.

Para cimentar la presa hay que retirar más de 5 millones de metros cúbicos de materiales, la mitad de los cuales se emplearán en la construcción de la misma. La presa gravitará sobre una compleja formación geológica, predominando en la margen derecha el "Franciscan Mélange"

(conglomerados de grauvacas, pizarras, esquistos y otras rocas volcánicas) y en la izquierda las areniscas del "Tremblor Sandstone". Están previstos importantes trabajos de perforaciones e inyecciones en esta complicada cimentación.

La excavación y transporte de los materiales tiene una complicación adicional en el "Franciscan Mélange", debido a la presencia de serpentina que contiene asbestos naturales, lo que está obligando a implementar medios intensivos de reducción de polvo, monitoreo del aire, dentro y fuera del perímetro de la zona de obras, y técnicas específicas de formación y tratamiento de los vertederos.

El aliviadero, ubicado en la margen izquierda de la cerrada, es de labio fijo con alimentación lateral, canal de descarga con una curva pronunciada en su comienzo, y cuenco amortiguador Tipo II del US Bureau of Reclamation. La longitud total del mismo es de 472 m, y requerirá 30.000 m<sup>3</sup> de hormigón para su materialización.

Otra estructura importante es la nueva torre de toma, de 6 m de diámetro, cuya parte inferior se empotra en pozo en el terreno en una profundidad de 50 m y se anclará al mismo, y que remplazará a la torre de toma existente, que además de obsoleta es sísmicamente insegura.

Una vez esté terminada la nueva presa y sus órganos de toma y desague, está previsto excavar una profunda trinchera en la margen izquierda de la presa actual, con objeto de inundar el espacio entre ambas presas.

El proyecto incluye importantes actuaciones medioambientales, destinadas a restaurar la vegetación y a proteger y fomentar la subsistencia de varias especies de fauna y flora en peligro de extinción.

Una característica fundamental de este contrato, que afecta de manera muy importante a su ejecución, es la de mantener en servicio la presa actual, en labores de abastecimiento, durante todo el periodo de construcción, exceptuando determinados períodos consensuados con el Servicio de Explotación de SFPUC. ♦

## PORUGAL

### Presa de Ribeiradio

**E**l Aprovechamiento hidroeléctrico de Ribeiradio-Ermida es una obra promovida por Greenvouga, S.A., sociedad participada mayoritariamente por EDP-Energías de Portugal. El autor del proyecto es COBA. Este aprovechamiento hidroeléctrico está localizado en el curso del río Vouga, entre los distritos de Aveiro y Viseu. Está compuesto por dos presas, una principal aguas arriba (Ribeiradio) y otra secundaria aguas abajo (Ermida).

La presa de Ribeiradio presenta un perfil gravedad con planta en arco de circunferencia de 240 m de radio y tiene una altura de 83 m sobre el cauce, con taludes 0,7H: 1V aguas abajo. Dispone de 15 bloques con juntas cada 17 metros, excepto en los bloques extremos que son de 17,5 y de 23,5 m.

La coronación, situada a la cota +112,0 m, tiene 262 m de longitud y 9 m de anchura, el Nivel Máximo Normal de embalse (NMN) se encuentra a la +110. Esta presa creará un embalse de 135 hm<sup>3</sup> de capacidad total.

En la parte central se localiza el aliviadero, de labio fijo, a la cota +99,0 m, compuesto por tres vanos de 13 metros de anchura controlados por compuertas tipo sector TAINTOR. Su capacidad es de 1.000 m<sup>3</sup>/s, siendo la cota máxima alcanzada por el agua la +110,0 m. El agua descargada se restituye al río por medio de un trampolín sumergido, tipo rollerbucket, hasta el cuenco amortiguador excavado en el cauce con sus cajeros anclados a la excavación. La solera del cuenco se encuentra a la cota +34,0 m. y la restitución al río a la se realiza a la cota +37,3 m, teniendo por tanto una profundidad de 3,3 metros. La longitud del cuenco es de 27,5 m y su anchura de 48,0 m.



Fig. 18 Presa de Ribeiradio. Planta general.

La presa dispondrá de un desagüe de fondo, constituido por una conducción circular blindada, que atraviesa el cuerpo de la presa, de 2,50 m de diámetro e 50,30 m de longitud.

Inmediatamente aguas abajo de la presa, en el lado izquierdo del cauce, seará construida la central, en pozo, equipada con un único grupo generador, no reversible de 72 MW de capacidad, alimentada por un circuito hidráulico independiente, en galería, que funcionará por gravedad. Esta galería tiene un diámetro de 5,50 m y una longitud de 202 m. El agua entrará en el circuito a través de una torre de toma situada junto a la presa. El pozo de la central tiene 22,50 m de diámetro interior y 26,90 m de altura, en su parte superior se construirá el edificio de control.

El proyecto también incluye la ejecución de los accesos. Para acceder a la presa de Ribeiradio será construida una vía de acceso en cada lado del río: en el lado derecho, con 1,4 Km de longitud y en el lado izquierdo con 1,2 Km. Estos dos accesos presentan pendientes medias de 10%, con una plataforma de 6,50 m de anchura. También será necesario reponer un tramo de 2,5 Km de la carretera municipal EM-569 que quedará

sumergido en el embalse de Ermida, en este tramo será construido un nuevo puente de 104 m de longitud sobre la ribera de Salgueira.

La geología local del embalse de Ribeiradio está compuesta por una serie de unidades ígneas y metamórficas en las que el curso del río Vouga queda encajado, a saber:

Una unidad flyschoide de micaesquitos y migmatitas alteradas (GM 3-5) con foliación subvertical y una orientación perpendicular a la dirección del cauce del río.

Una unidad de granitos biotíticos a moscovíticos de grano medio que intruye a la anterior. Es en esta unidad donde se sitúa la cerrada de la presa. Es una unidad intensamente fracturada, especialmente en la margen derecha de la presa, donde la aparición de grandes fallas subparalelas y oblicuas a la dirección cauce producen que el grado de meteorización sea muy variable, desde suelos residuales (jabre, GM 5) a roca totalmente sana (GM 1).

Una formación de cuarcitas ligeramente alteradas (GM 1-3) que presentan una estructura en capas centímetricas a decímetricas con inclinaciones subverticales a verticales y con una dirección

perpendicular al cauce del río. Aguas debajo de la cerrada la serie aparece intensamente plegada, aunque la dirección de plegamiento no varía respecto a la dirección general de la unidad.

Hay que indicar que, en superficie, tanto los granitos como los micaesquistos y migmatitas parecen muy alterados debido a la existencia de abundantes arroyos y al carácter predominantemente húmedo de la zona, lo que se refleja en la aparición de suelos residuales de gran espesor y grandes masas de depósitos coluviales y niveles de tierra vegetal. Aunque la cerrada se sitúa en la unidad de granitos, el circuito hidráulico atraviesa toda la serie de unidades descritas.

La presa de Ribeiradio es de hormigón vibrado convencional con un volumen total de hormigón de 300.000 m<sup>3</sup>.

Los constituyentes del hormigón son áridos de naturaleza granítica procedentes de una cantera situada en Tondela, a 55 km de la presa, y arenas naturales obtenidas mediante lavado de una grava a 50 km de la obra, en Águeda. El cemento es tipo I 42,5R y las cenizas son de la central térmica de Sines. El hormigón de núcleo de presa en Ribeiradio posee 5 fracciones de áridos gruesos (4/8; 8/16; 16/32; 32/63; 63/125) y 2 arenas (0/2; 0/4) y 190 kg de conglomerante repartidos en un porcentaje del 50% para el cemento y para las cenizas.

Para la ejecución de las obras, tras comprobar las dificultades que ofrecía la orografía existente, tanto de espacio como de laderas escarpadas se decidió ubicar las instalaciones tanto sociales como industriales en la ladera izquierda de Ribeiradio, creando distintos niveles y plataformas desde la cota +240,0 m hasta la coronación de la presa a la +112,0 m.

Para la fabricación del hormigón se ha dispuesto una planta de hormigón marca ALQUEZAR modelo 250, con una producción teórica máxima de 256 m<sup>3</sup>/h de hormigón vibrado. Consta de 2 tolvas



Fig. 19. Presa de Ribeiradio. Aspecto de la excavación e inicio del hormigonado.

para las arenas y 5 tolvas para los áridos gruesos con mecanismos de pesado en cinta colectora, cinta transportadora, 2 tolvas de espera de hormigón y 2 mezcladoras de doble eje horizontal BHS de 4 m<sup>3</sup> de capacidad marca SONTHOFEN, 2 silos reguladores de 100 Tn y 3 silos de 1.000 Tn para el cemento y las cenizas. De ellos uno es utilizado para el cemento y los otros dos para las cenizas debido a que la garantía de suministro de estas últimas es menor.

Se ha dispuesto para garantizar las temperaturas del hormigón, un enfriador de agua marca KTI-Plersch de 408 m<sup>3</sup>/24 horas de capacidad y 390 kW y una central de fabricación de hielo marca SABROE de 61,6 Tn/día con posibilidad de acopio en silo de 60 Tn.



Fig. 20. Presa de Ribeiradio. Disposición general de las instalaciones y accesos.

Para el acopio de áridos se ha dispuesto en una plataforma anexa a la torre de amasado de una zona de acopio de áridos mediante cubrición separando las distintas fracciones de áridos, las 5 gravas (4/8; 8/16; 16/32; 32/63; 63/125) y en otra plataforma 4 silos ALQUEZAR de 750 m<sup>3</sup>, dos para cada una de las arenas (0/2; 0/4). El volumen acopiado garantiza la fabricación de hormigón durante 3 días.

Las necesidades de agua se resuelven mediante una captación en el propio río Vouga y un depósito de 1.000 m<sup>3</sup>.

Para la colocación del hormigón en la presa de Ribeiradio se ha instalado un blondín radial de 13 Tn de capacidad marca IES, con un vano de 393 m. Se decidió colocar este medio de colocación de hormigón debido a que el terreno y la orografía de la cerrada lo permitían, encontrando alguna limitación en la ladera derecha por encontrarse la rodadura del blondín entre dos vaguadas; nos aseguraba una producción de hormigón que cumpliese los tiempos de cubrición de tongadas.

Además, para garantizar el suministro de otros tipos hormigones, fundamentalmente los estructurales en el circuito hidráulico de Ribeiradio, y permitir una cierta independencia con respecto a la fabricación del hormigón de presa, se ha colocado otra planta de hormigón marca CUYPLANHOR modelo PHA-200 de 120 m<sup>3</sup>/hora de producción nominal, dispone de una amasadora de ELBA de eje horizontal de 2 m<sup>3</sup> de capacidad, 2 silos de Cemento de 100 Tn y 2 silos de cenizas de 100 Tn, carro con 5 tolvas.

Para el desvío provisional del río se establece un caudal de diseño de 426 m<sup>3</sup>/s. Se plantea un desvío provisional por la margen izquierda para un caudal durante el verano, mientras se ejecuta el crecimiento de los bloques de la margen derecha para introducir posteriormente el río a través de ellos durante el invierno. ♦

## PORUGAL

### Presa de Ermida

Formando parte del Aprovechamiento hidroeléctrico de Ribeiradio-Ermida en el río Vouga, la presa de Ermida se encuentra 4 km aguas abajo de Ribeiradio.

Presenta un perfil gravedad de eje recto, con 35 m de altura y 175 m de longitud, taludes de 0,7H:1V. La coronación se encuentra a la cota +55,0 m, en cuya parte central se sitúa el aliviadero, de tipo labio fijo, con 55 m de longitud y sin compuertas.

Formará un embalse de 3 hm<sup>3</sup> de capacidad total, que permitirá modular los caudales turbinados en la central de Ribeiradio, minimizando las variaciones de caudal sentidas aguas abajo. Junto al estribo derecho de la presa será instalada una central tipo "pie de presa", equipada con dos grupos de 3,3 MW de capacidad unitaria.

La presa de Ermida se sitúa sobre una unidad monótona de micaesquistos intensamente alterados (GM 3-5) con foliación generalmente subvertical a vertical y paralela al cauce del río y que presentan una importante heterogeneidad de una margen a otra.

En la margen izquierda estos micaesquistos aparecen intersectados por filones cuarcíticos y aplíticos. Ocasionalmente, al nivel del cauce aparecen niveles cuarcíticos que interrumpen parcialmente la serie. La margen derecha representa una zona de contacto entre los micaesquistos y una unidad granítica, lo que da lugar a que, en esta zona, aparezcan filones discontinuos de naturaleza arenosa que representan los términos más alterados de la intrusión granítica a favor de la foliación preexistente.

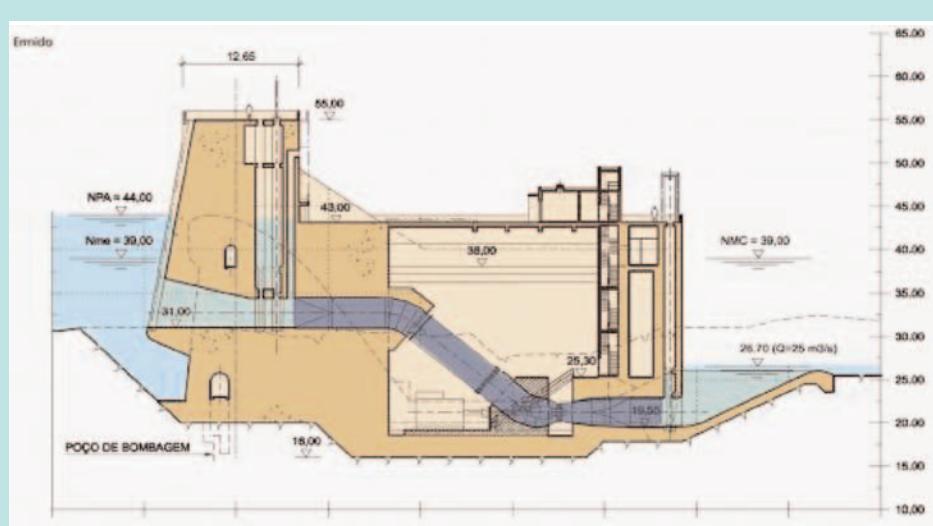


Fig. 21. Presa de Ermida. Sección tipo de la presa y la Central hidroeléctrica a pie de presa.

Estos micaesquistos aparecen muy plegados aguas abajo de la cerrada, aunque, en general, no varían la dirección general de la serie. Existen también una serie de fallas muy continuas al nivel del cauce del río subparalelas a la

dirección de éste que intensifican la alteración de toda la serie.

La presa se construye en hormigón vibrado convencional con un volumen total de hormigón de 75.000 m<sup>3</sup>. Dispone de 11 bloques con juntas transversa-



Fig. 22. Presa de Ermida. Vista general de zona de instalaciones

Fig. 23. Presa de Ermida.  
Vista aérea del desvío,  
plataforma de instalaciones  
y accesos.



les cada 16,4 metros, excepto en los bloques extremos.

Igual que en la presa de Ribeiradio, los constituyentes del hormigón son áridos de naturaleza granítica procedentes de una cantera sita en Tondela, a 55 km de la presa, y arenas naturales obtenidas mediante lavado de una grava a 50 km de la obra, en Águeda.

Igual que en la presa de Ribeiradio el cemento es tipo I 42,5R y las cenizas son de la central térmica de Sines. En la presa de Ermida el hormigón esta compuesto por 2 arenas y 4 fracciones de áridos gruesos, con tamaño máximo 63 mm, 230 kg de conglomerante en proporción 50/50 de cemento y cenizas.

Para la fabricación de hormigón en Ermida se ha dispuesto una planta de hormigón marca LEBLAN modelo PHAD-120/150, con una producción teórica máxima de 150 m<sup>3</sup>/h. Posee una amasadora tipo MAO de 4 m<sup>3</sup> de doble eje horizontal. Se han colocado 4 silos de 100 Tn para el cemento y las cenizas y un silo de 500 Tn para las cenizas, ya

que poseen mayores problemas en el suministro, carro de 4 tolvas para los áridos gruesos y otro carro de 2 tolvas para las arenas.

El acopio de áridos se realiza como en Ribeiradio, en separadores para las 4 fracciones de gravas (4/8; 8/16; 16/32; 32/63) y mediante 4 silos marca ARCEN de 400 m<sup>3</sup> para las 2 arenas (0/2; 0/4). El volumen acopiado garantiza la fabricación de hormigón durante 3 días. En Ermida, el encaje del río, las laderas escarpadas, condicionantes ambientales y la existencia de la variante de la EM-569 obligó a colocar las instalaciones aguas arriba de la presa.

El abastecimiento de agua se resuelve mediante 2 pozos artesianos y 2 depósitos de agua de 200 m<sup>3</sup> de capacidad cada uno.

Para garantizar las temperaturas del hormigón fresco, se ha colocado un enfriador de agua marca KTI-Plersch de 288 m<sup>3</sup>/ 24 hora de capacidad y 260 kW.

Para el transporte del hormigón en la presa, dado que la orografía de la

cerrada no lo permitía, se disponen 3 grúas torres: dos de ellas para ejecutar el cuerpo de presa de la marca LIEBHERR 630 EC-H 20, con 80 metros de pluma y con capacidad máxima en punta de 5,4 Tn; y la otra, marca POTTAIN MD 305-B con 70 metros de pluma y capacidad máxima en punta de 3,2 Tn para ejecutar la central anexa al cuerpo de presa.

Para la derivación provisional del río se establece un caudal de diseño de 426 m<sup>3</sup>/s, caudal que se refiere a un periodo de retorno de 4-5 años, que es mayor que el periodo de duración de las obras. Ambos desvíos, tanto en Ribeiradio como en Ermida, parten del concepto de desvío en canal de hormigón sobre un bloque de presa.

Particularmente en Ermida se ejecuta un canal provisional por la margen izquierda para permitir crecer los bloques del lecho del río y de la margen derecha. Posteriormente se introduce el río a través de una galería por el cuerpo de presa para cerrar la margen izquierda. ♦

## PANAMÁ

### Presa de Bajofrío

**E**l Proyecto Hidroeléctrico Bajo Frío se localiza entre los corregimientos de Breñón y Santa Cruz en el Distrito de Renacimiento, y en el corregimiento de Gómez en el distrito de Bugaba, provincia de Chiriquí. Aprovecha las aguas del río Chiriquí Viejo, que nace en las proximidades del volcán Barú con elevaciones alrededor de los 3.500 msnm, y que sigue en dirección occidental hacia su confluencia con el río Candela para después discurrir hacia el sur en dirección al Océano Pacífico. La cuenca del río Chiriquí Viejo se localiza en el extremo occidental de la República de Panamá, cerca de la frontera con Costa Rica.

El proyecto del Aprovechamiento Hidroeléctrico Bajo Frío ha sido desa-

rrollado por TRACTEBEL ENGINEERING - LEME, para FOUNTAIN Intertrade Corp. Este Proyecto es uno de los últimos proyectos hidroeléctricos de la cascada del río Chiriquí Viejo, que aprovecha los recursos hídricos del río entre las cotas + 240,00 msnm y + 175,00 msnm, resultando en una caída bruta de 65,00 metros.

En la geología a nivel regional, las rocas sedimentarias terciarias están constituidas principalmente por lutitas, conglomerados, calizas tobáceas y calizas arcillosas (TO-SEus), y lutitas, areniscas, calizas y tobas de la formación (TEO-TO); mientras que las rocas cuaternarias volcánicas están constituidas por basaltos, andesitas, cenizas, tobas, conglomerados y lavas (QPS-BA), según información consignada en el Mapa geológico de Panamá.

De forma localizada, en el área del valle del río Chiriquí Viejo afloran rocas ígneas sedimentarias y volcánicas del Terciario y Cuaternario. Estas rocas se-

dimentarias terciarias y sedimentos no consolidados y basaltos/andesitas cuaternarios se pueden apreciar en el cauce del río Chiriquí Viejo y quebradas afluentes. Las rocas sedimentarias son del Terciario-Oligoceno-Mioceno y pertenecen a las formaciones Senosí-Uscari (TO-SEus) y Tonosí (TEO-TO), que se distribuyen a lo largo de las dos laderas del río y principales quebradas afluentes. Las formaciones cuaternarias descritas cubren superficialmente a las rocas sedimentarias del Terciario en un alto porcentaje, permitiendo afloramientos de rocas sedimentarias principalmente en los alrededores del cauce del río Chiriquí Viejo.

A manera de terrazas aluviales cuaternarias, de morfología sensiblemente horizontal, yacen en los alrededores del cauce del río numerosos depósitos aluviales (denominados depósitos fluvio-torrenciales o lahar) a diferentes niveles, a ambos lados del cauce también son frecuentes las terrazas altas que fueron labradas y colgadas por el río y quebradas principales en épocas cuaternarias antiguas.

La obra completa del Aprovechamiento consta de los siguientes elementos: Presa mixta, Central de La Potra, Canal de Aducción y Central de Salsipuedes.

La presa mixta está formada por una presa de fábrica en gravedad, realizada en hormigón convencional y hormigón compactado, y una presa de materiales sueltos. La altura máxima de la presa es de 56,0 m y tiene una longitud aproximada de 405 m de coronación.

En la presa de fábrica se emplea el hormigón compactado en todos los elementos de mayor volumen mientras que el vibrado se utiliza principalmente en las estructuras de bocatoma y vertedero controlado. La longitud de este tramo de presa es de 238 m y es-



Fig. 24. Presa de La Potra (Bajo Frío). Excavaciones en la margen derecha.



Fig. 25. Presa de La Potra (Bajo Frio). Fases de ejecución de la presa mixta.

tá proyectado con un talud aguas arriba 0,20:1 (H:V) y talud aguas abajo 0,85:1 (H:V).

El volumen de hormigón compactado con rodillo es de 86.500 m<sup>3</sup> y el de Hormigón vibrado convencional de 184.600 m<sup>3</sup>.

El vertedero libre con de 90,00 m de longitud se ha proyectado en hormigón compactado y se diseña para una capacidad de 2.100 m<sup>3</sup>/s equivalente a un período de retorno de 1.000 años. El vertedero controlado se ha proyectado en hormigón vibrado, consta de doble conducto cerrado

con sendas compuertas Taintor de dimensiones de 6,00 m de ancho y 5,00 m de alto cada una. Tiene una capacidad para evacuar 700 m<sup>3</sup>/s. En funcionamiento conjunto, los dos vertederos (libre y controlado) son capaces de evacuar 2.800 m<sup>3</sup>/s. La estructura de captación en cuerpo de presa, con dos bocatomas diseñadas para 50 m<sup>3</sup>/s cada una.

La presa de materiales sueltos tiene un volumen aproximado de material de 615.000 m<sup>3</sup> de los cuales 138.000 m<sup>3</sup> serían de escollera. La tipología es de materiales sueltos con núcleo arcilloso.

La longitud de este tramo es de 167 m con taludes 1,4-1,5:1 aguas arriba y 2:1 aguas abajo en espaldones y 0,3:1 en el núcleo arcilloso.

En la Casa de máquinas de La Potra se alojan tres unidades turbogeneradoras. Aprovechando un caudal de 100,00 m<sup>3</sup>/s (2 x 50 m<sup>3</sup>/s) y un salto bruto de 32,50 m, se ha instalado una potencia de 27,99 MW. En la Casa de máquinas Auxiliar se aloja una unidad turbogeneradora que aprovecha un caudal de 5,90 m<sup>3</sup>/s y un salto bruto de 42,50 m, se ha instalado una potencia de 2,10 MW.

El Canal de aducción entre la Central de La Potra y la de Salsipuedes tiene 2,1 km de longitud. Su nivel de operación normal se sitúa en la cota 207,50 para un caudal nominal de 100 m<sup>3</sup>/s. Se ha proyectado como un canal revestido por geomembrana.

Al final del canal se encuentra la cámara de carga y obra de toma para la Central de Salsipuedes. La obra de toma para la casa de máquinas Salsipuedes cuenta con dos bocatomas donde se aloja un doble juego de compuertas planas. En la Casa de máquinas de Salsipuedes se alojan tres unidades turbogeneradoras. Aprovechando un caudal de 100,00 m<sup>3</sup>/s (2 x 50 m<sup>3</sup>/s) y un salto bruto de 32,50 m, se ha instalado una potencia de 27,99 MW. ♦



Fig. 26. Presa de La Potra (Bajo Frio). Vista de la zona de localización del eje de la presa.

PANAMÁ

# Presa de Boringuen

1E - PAC 4

**F**ormando parte de las obras de expansión del Canal de Panamá, la presa de Borinquen se encargará de contener las aguas del lago Miraflores, al tiempo que las separa de lo que será el nuevo cauce de acceso en el lado Pacífico del Canal. Mientras en la esclusa de Miraflores los buques navegarán a una elevación de 16.5 metros, en el nuevo canal de aproximación del Pacífico (PAC) los Postpanamax transitarán a 27.5 metros, la misma cota del lago Gatún.

A la presa 1E, que construye el consorcio ICA-FCC-Meco para la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), se unirán las presas 2E, 1W y la 2W, que forman parte del contrato de es-

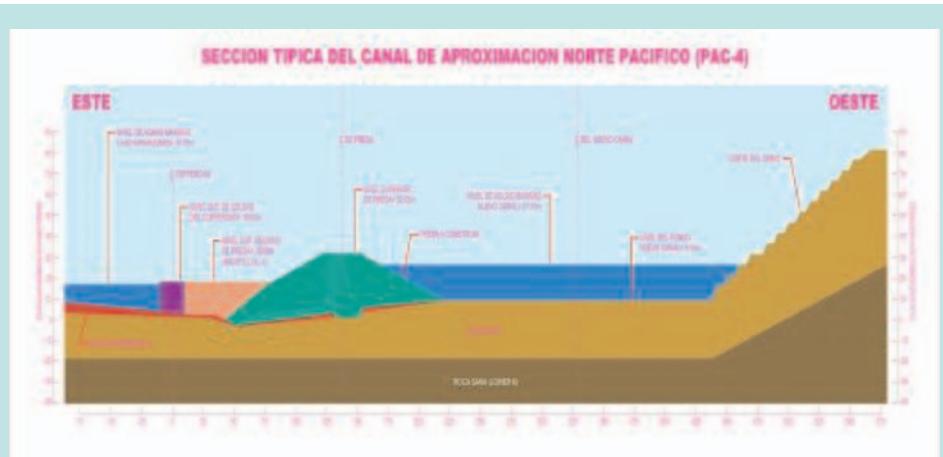


Fig. 27. Presa de Borrinquen 1E (PAC-4). Sección explicativa con el nuevo Canal del Pacífico y la presa que lo conduce y separa del Lago de Miraflores.

clusas. La presa Borinqueñ 1E tendrá 2.8 kilómetros de largo, 180 metros de ancho en su base, 30 metros de ancho en coronación y estará situada a una elevación de unos 32 metros.

Es una presa de escollera con núcleo impermeable centrado con un volumen total aproximado de 5 millones de  $m^3$ . Los taludes exteriores de la

presa son 3H: 1V. En la zona sumergida por el lago Miraflores el talud pasa a ser de 2H:1V.

La constitución del suelo y roca de cimentación es muy heterogénea, compuesta en parte por rocas sedimentarias de la era Mioceno conocidas como formación La Boca, que consiste en una compleja estratificación de conglomerados, "sandstones", "siltstone" y "tuff", y aglomerados volcánicos conocidos como formación Pedro Miguel.

Además, las investigaciones que se realizaron durante la fase de pre-diseño y definición conceptual indicaron la presencia de fallas geológicas activas, capaces de generar sismos grandes, y una de esas es la falla de Pedro Miguel, que atraviesa la cimentación de la presa. Esa falla, según se determinó a través de estudios geológicos detallados, sería capaz de generar un sismo bastante grande, con desplazamientos importantes en la cimentación. Esa es una condición no muy usual en proyectos de presas, que requirió de diseños especiales.

La presa 1E está siendo construida en función del proyecto que desarrolló la empresa URS Corporation, de



Fig. 28. Presa de Boringuen 1E (PAC-4). Vista general de las obras.



Fig. 29. Presa de Borinquen 1E (PAC-4). Ejecución de los cofferdams.

Oakland, California, Estados Unidos que tiene en cuenta la ocurrencia de un sismo de grado 7 en la escala de Ritcher, para evitar el desbordamiento del Lago Gatún, aún en estas circunstancias.

Para poder vigilar cualquier desplazamiento que pueda presentarse, durante el tiempo de construcción de la presa, así como desde el momento en que el tercer juego de esclusas del Pacífico empiece a operar, se instala una potente red de auscultación.

Los principales desafíos del mantenimiento y la construcción de esta presa incluyen primero las condiciones de cimentación, que son relativamente marginales y que requieren unas profundidades de excavación significativas. En segundo lugar, la disponibilidad de pocos materiales impermeables y la dificultad de colocar esos materiales finos en el clima de Panamá, con una pluviometría constante que dificulta mucho la construcción del núcleo de la presa. Y en tercer lugar, las especiales acciones externas, con una amenaza sísmica importante tanto en las cargas diná-

micas como en las cargas de cizallamiento en la fundación de la presa y la necesidad de proteger la presa contra impactos de grandes buques.

En estas condiciones, la cimentación se profundiza entre 10 y 15 metros hasta encontrar las rocas competentes de las formaciones La Boca y Pedro Miguel.

Para establecer la aptitud de los materiales impermeables se hicieron unos ensayos de campo durante los estudios de diseño a fin de comprobar que los suelos disponibles serían satisfactorios como materiales impermeables y que podrían ser colocados dentro de las condiciones climáticas de Panamá de forma razonable, siempre y cuando se tomen ciertas precauciones durante la construcción.

Para paliar los efectos de las cargas sísmicas se realiza un diseño con espaldones amplios de escollera compactada y un sistema de filtros y drenajes especialmente exigentes que eviten la erosión interna y la tubificación a través de la presa. El diseño es tal que la presa va a resistir el sismo máximo que se puede conside-

rar en la falla e incluso en caso de cizallamiento minimizando los daños de forma que sean reparables y no requieran un desembalse del lago Gatún. Si no hay cizallamiento del cimiento la presa está diseñada para enfrentarse a las aceleraciones dinámicas y aguantarlas con deformaciones pequeñas. En ese caso no se prevén casi daños y el Canal puede continuar en operación sin ningún problema.

También se ha estudiado el efecto del impacto de buques postpanamax y su penetración en la presa lo que en parte dimensiona el espaldón.

Las obras comenzaron con el dragado de la cimentación de las ataguías metálicas celulares (cofferdams), la ejecución de la propia ataguía hasta su empotramiento en el fondo del lago y el relleno de los recintos. Con este sistema se contienen las aguas del lago de Miraflores para permitir el abatimiento de las aguas y los niveles freáticos en el área de construcción, permitiendo la excavación en seco de la cimentación de la presa. ♦

## MÉXICO

### Presa de Zapotillo

Con objeto de resolver la problemática y contar con fuentes futuras para el abastecimiento de agua potable para la ciudad de León Guanajuato, la Zona Metropolitana de Guadalajara y las localidades de Los Altos de Jalisco, la Comisión Nacional del Agua, la Comisión Estatal del Agua del Estado de Jalisco (CEAJ) y la Comisión Estatal del Agua del Estado de Guanajuato (CEAG) contemplaron el aprovechamiento de las aguas del río Verde, mediante la construcción de una presa en el sitio denominado "El Zapotillo", en los Municipios de Cañas de Obregón y Yahualica de González Gallo, Estado de Jalisco.

Para la ejecución de las obras se convocó una licitación internacional siendo adjudicatario el Consorcio formado por FCC Construcción, La Peninsular y Hermes.



Fig. 30. Presa de El Zapotillo. Vista general de la presa y ejecución del canal de desvío del río.

La presa es de tipo gravedad y se está construyendo mediante hormigón compactado con rodillo. El eje en planta de la presa describe una curva de 395,0 m de longitud y posee

una altura máxima sobre el cauce de 112,0 m, lo que supone una altura desde cimientos de 134 m. La coronación está situada a la cota +1657,0 y tiene una anchura de 7,4 m.

El volumen total de la presa supera los 1,5 millones de  $m^3$ , de los cuales 1,46 millones de  $m^3$  corresponden al hormigón compactado y 86.000  $m^3$  al hormigón vibrado. El paramento de aguas arriba se materializa en hormigón vibrado con encofrado convencional. El talud de aguas arriba de la presa es vertical mientras que aguas abajo es de 1,25 (H/V).

Cuenta con dos torres de toma que conectarán el embalse a una estación de bombeo situada en la margen izquierda del río Verde, aguas abajo de la presa. La cota del umbral del vertedero de labio fijo que coincide con el máximo nivel normal (NAMO) es la 1648,19 msnm embalsando un volumen de 909,76  $hm^3$ . La cota del nivel de avenida extrema (NAME) es la 1654,95 con una capacidad de embalse de 1082,97  $hm^3$ .

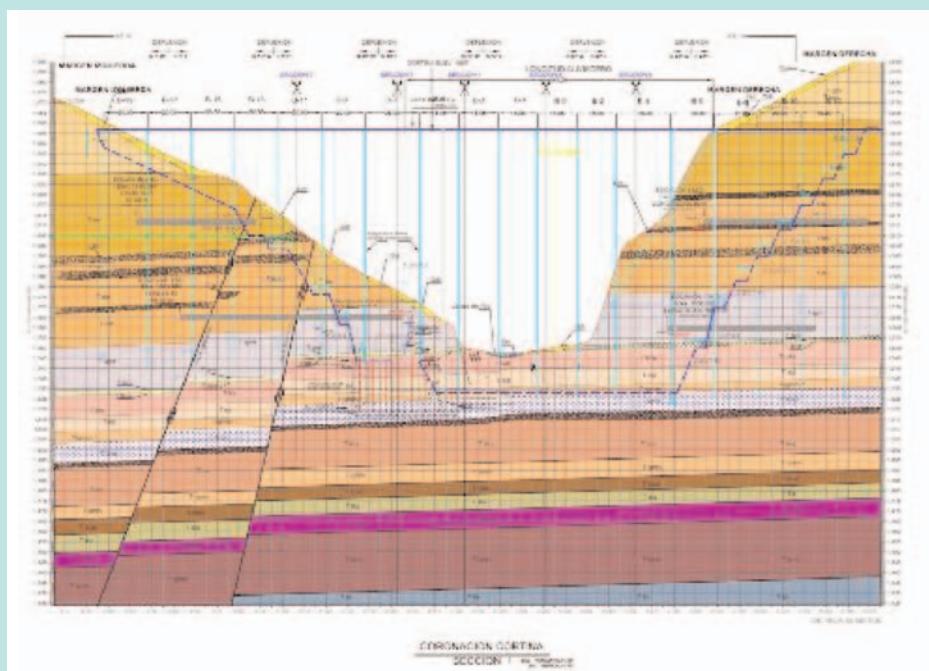


Fig. 31. Presa de El Zapotillo. Perfil geológico y de excavación.



Fig. 32. Presa de El Zapotillo. Ataguía para el desvío del río Verde y losa de prueba.

Con el caudal de entrada de la avenida extrema se diseña la obra de excedencia. Esta avenida coincide con la máxima avenida para un periodo de retorno ( $T$ ) de 10000 años y es de  $5700 \text{ m}^3/\text{s}$ , que laminada se corresponden con un caudal (gasto) de  $5040 \text{ m}^3/\text{s}$  para el aliviadero de proyecto. Al situarse la coronación de la presa a la cota +1657.00, se tiene un resguardo de 2.05 m. Para el diseño de la obra de excedencias se han estudiado distintas alternativas que han sido ensayadas en modelo físico reducido en las instalaciones del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

Geológicamente, la zona está compuesta de sucesivos estratos de materiales volcánicos dispuestos en capas subhorizontales y con rasgos diferentes entre ellas. La totalidad de las rocas caracterizadas en el desplante de la cortina son rocas ígneas de edad terciaria: ignimbritas, tobas, doleritas y aglomerados volcánicos. Tanto en el cauce del río, como en

las laderas de la cerrada, existen materiales cuaternarios, aluviales y topplings de ladera de reducido espesor.

Para el desvío del río se ha considerado que en función del riesgo asumible la avenida de diseño de estas estructuras será la de 10 años de periodo de retorno, con un caudal máximo asociado en torno a  $1.050 \text{ m}^3/\text{s}$ . El cierre del desvío se realiza mediante una ataguía que corona a la cota 1.565 msnm. Parte de la



Fig. 33. Presa de El Zapotillo. Puesta en obra del hormigón compactado.

guía ha servido como losa de ensayo de las mezclas estudiadas para la composición del hormigón compactado (CCR).

El canal de desvío, realizado en hormigón armado, es a cielo abierto con una sección de 15 m de anchura y 8 m de altura en todo el tramo excepto en la zona final donde llega a tener 9 m de altura. A su paso por la sección de la presa funcionará como un doble cajón con huecos de 7 m de anchura por 8 m de altura.

Se han estudiado distintas fórmulas para el hormigón compactado de la presa, llegándose finalmente a unos diseños con árido basáltico de tamaño máximo 50 mm y distintas proporciones de cemento tipo CPEG 30RS/BRA, es decir, cemento con escoria granulada (41% a 43%), resistente a los sulfatos y de baja reacción álcali-árido.

Se ha considerado un factor de maduración de  $500^\circ\text{C}\text{xh}$ , a partir del cual se coloca un mortero de liga entre las capas de CCR. En el contacto con la roca se emplea hormigón vibrado convencional.

La colocación del CCR se realiza mediante cintas Rotec® de alta velocidad y se entrega en cada cota mediante un distribuidor Crawler. La extensión del CCR se realiza mediante bulldozer con nivel automático y la compactación se realiza mediante rodillos vibrantes.

La tongada final una vez compactado el CCR será de 30 cm. Para el remate en la cara de aguas arriba de la presa se emplea hormigón vibrado convencional, con el mismo tipo de cemento y áridos que para en CCR aunque con mayor cantidad de cemento (230 kg o 220 kg según sea bombeable o aplicable directamente) y con un plastificante superfluidificante que permite su vibrado. ♦

## COSTA RICA

### Presa de Pírris

El Proyecto Hidroeléctrico Pírris (12) se encuentra situado en la cuenca del río del mismo nombre, ubicada en la vertiente del Pacífico en el centro de Costa Rica. El proyecto tiene como finalidad la construcción de una planta hidroeléctrica con una potencia instalada de 134 MW. El propietario de la obra es el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

Para la creación del embalse de retención se ha construido una presa de 113 metros de altura y una longitud de coronación de 270 metros. La presa es de tipo gravedad de planta recta y se ha construido con la tecnología de hormigón compactado con rodillo (HCR). El volumen total de este tipo de hormigón es de casi 730.000 m<sup>3</sup>. La cota de coronación es la 1208 m.s.n.m. Mediante esta presa se crea un embalse con un área inundable de 1,14 km<sup>2</sup>, cuyo volumen es de 36 millones de m<sup>3</sup>.

La sección tipo de la presa de HCR es triangular para minimizar los esfuerzos derivados de la carga sísmica que ha sido el criterio crítico de di-



Fig. 34. Localización del Proyecto Hidroeléctrico Pírris.

seño de la presa. El talud aguas arriba es 1H:3V y el de aguas abajo 1H:2V. La sección transversal se ha dividido en dos tipos de hormigones compactados que se colocaban simultáneamente en la misma capa. El colocado en una franja de 15 metros aguas arriba tenía una resistencia a tracción directa de diseño de 1,2 MPa y en el resto esta exigencia era la mitad.

Sobre la presa se ha construido un aliviadero de poco más de 42 metros

de ancho dividido en tres vanos donde se han instalado respectivamente compuertas radiales de 10,5 metros de altura cada una. Para amortiguar la descarga y evitar la socavación del terreno aguas abajo se ha construido una contrapresa de 27 metros de altura a unos 450 metros de distancia de la presa principal. Adosada al paramento de aguas arriba se ha construido la torre de toma que queda conectada con la conducción hacia la central por la margen izquierda.



Fig. 35. Vista general desde aguas arriba de la presa de Pírris.



Fig. 36. Vista de la presa durante su construcción.

Dicha conducción se inicia con un túnel diseñado para un caudal de 18 m<sup>3</sup>/s, el cual tiene una longitud de 10.508 metros y un diámetro de entre 3,4 y 3,2 metros. El túnel presenta una pendiente de hasta 7,7% y tiene la particularidad de alcanzar una cobertura máxima de 1.100 metros. Le sigue una tubería de presión de 791 metros de largo y un diámetro de 2 metros. En la casa de máquinas se han instalado dos turbinas tipo Pelton de eje vertical, de 67 MW cada una. Se trata de una construcción semi-subterránea, situada en un pozo de 27 metros de diámetro y 23 metros de profundidad. Para la restitución de las aguas al río Purrís se ha construido un túnel de 280 metros de longitud y 3,3 metros de diámetro.

La Ingeniería española FOSCE ha realizado la consultoría técnica especializada de la presa de HCR. En una primera fase se ha colaborado en el diseño del hormigón y la redacción de las especificaciones técnicas de la presa, incluyendo la supervisión de ensayos previos de materiales y mezclas de hormigón, así como la construcción y ensayo de pruebas a escala real.

En una segunda etapa se colaboró en la evaluación de las ofertas de construcción que habían sido preparadas por contratistas internacionales, así como en la planificación general de los trabajos. Finalmente FOSCE ha asistido al ICE durante el desarrollo de la construcción de la presa, el diseño final de la mezcla, los procesos constructivos, el control de calidad y la evaluación final del comportamiento de la estructura tras el primer llenado. ♦

#### Referencias:

- (1) J. POLIMON, F. ABADIA, E. BOFILL y A. CAPOTE. Spanish dam engineering worldwide. Hydropower & Dams 2006.
- (2) J. POLIMON, A. CAPOTE, F. ABADIA. Ingeniería de Presas en el Extranjero. Revista de Obras Públicas 2007.
- (3) J. POLIMON, A. CAPOTE, F. ABADIA. Las Presas en España, Capítulo 24: Ingeniería Española de Presas en el Extranjero. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos 2008.
- (4) A. R. MARTINO, M. MEZA, A. CAPOTE, F. LORENZO. Tratamientos del terreno en la Presa de El Bafio (Chile) cimentada sobre aluvial permeable. VII Jornadas Españolas de Presas 2008.
- (5) A. CAPOTE, F. ABADIA, V. FLOREZ. Construcción de presas en el exterior. Período entre Congresos Barcelona 2006 y Brasilia 2009.
- (6) A. CAPOTE, C. A. ENAMORADO, Cimentación de la presa CFRD El Bafio (Chile) sobre aluvial permeable. IX Jornadas Españolas de Presas 2010.
- (7) A. CAPOTE, R. IBAÑEZ DE ALDECOA, V. FLOREZ. RCC dams built by Spanish construction companies abroad. Actas del VI Simposio Internacional de Presas de HCR. Zaragoza, Octubre 2012
- (8) Analysis and Monitoring of Tsankov Kamak Arch Dam. R Kohler & G Zenz
- (9) Large Dams, Design, Construction & Performance. Gerald Zenz. Graz University of Technology. Ljubjana Nov 2008
- (10) Tsankov Kamak Hydro Power Plant. Guideline Design. PÖYRY GmbH
- (11) Tsankov Kamak Dam. Dr G Lombardi Tunnelling at Tsankov Kamak. Water Power July 2006
- (12) ARGUEDAS, I., RIVERA, A., ORTEGA, F. "Construcción de la Presa de Purrís en Costa Rica". Actas del VI Simposio Internacional de Presas de HCR, Zaragoza, Octubre 2012
- (13) NIEKERK J.F., NIEKERK J., ORTEGA, F. "HCR Vibrado por Inmersión (HCRV). Primera Experiencia Internacional en la Presa de De Hoop en Sudáfrica". Actas del VI Simposio Internacional de Presas de HCR, Zaragoza, Octubre 2012
- (14) ORTEGA, F., BASTOS, C., ALVES, P. "Presa de Pedrógão: primer HCR en Portugal". Artículo publicado en la revista International Water Power & Dam Construction, págs.30-34, Junio 2004
- (15) NYAKALE, J., BADENHORST, D.B., ORTEGA, F. "Optimización de la Dosificación de HCR para la Presa de Spring Grove en Sudáfrica". Actas del VI Simposio Internacional de Presas de HCR, Zaragoza, Octubre 2012
- (16) LANGE, B., HERING, F., SCHLEGEL, R., LEYENDECKER, G., ORTEGA, F. "HRB Waldbärenburg: Primera Experiencia de Presa de HCR de Alemania". Actas del VI Simposio Internacional de Presas de HCR, Zaragoza, Octubre 2012
- (17) ORTEGA, F., GRANELL, C., SORIANO, A., ANDRES, A., BELLO, A., Hitcher, A. "Diseño Final de una Presa de HCR de 135 metros de altura en Venezuela". Actas del VI Simposio Internacional de Presas de HCR, Zaragoza, Octubre 2012.

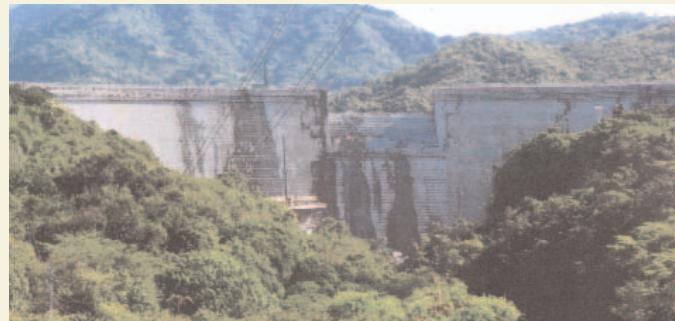
## Foreign activity. Inter congresses period ICOLD Brasilia 2009 – Kyoto 2012

Due to its climatic conditions and the irregular character of its rivers, Spain has developed since antiquity a great activity in hydraulic infrastructures to satisfy urban supply needs, irrigation, flood prevention, hydroelectric and industrial purpose, environmental and other purposes. With regards to dam engineering, the first great boost in construction took place during Roman times. Data from 72 dams from those times are available. Some of these dams are still in service. Since then until today, the dam construction activity has been constant in our country, which currently hosts over 1200 large dams in operation, and 24 more are under construction.

The cumulative experience and the techniques developed during these centuries have resulted in a very significant presence of the Spanish dam engineering abroad, which originates in the XVI century coinciding with the discovery of America, and is developed until our days. Currently, since mid last century until today, Spanish companies have built or participated in the construction of 72 dams of all types in 22 countries from all continents, except Oceania. Among these, the majority belongs to interventions in Latin America, due to cultural and linguistic reasons, where 46 dams have been built, followed by Africa with 17 constructions.

The period between the two latest ICOLD congresses, Brasilia 2009 - Kyoto 2012, has shown a decline in the number of dam constructions in Spain. This lower construction activity, together with a general decline in the public construction demand due to the economic crisis, has boosted ever further the traditional exporting activity of our dam construction and engineering, resulting in a greater internationalization and a search of new markets for Spanish companies.

The construction of two dams has been finalized within this period, one in Chile (El Bato) and the other in Bulgaria (Tsankov Kamak), and work is in progress in the construction of seven more: two in the US (Puerto Rico and California), two more in Panama, one in Mexico and two in Portugal. The geographic distribution of these dams is similar to that of previous decades. As a result of the search for new markets, there are four new countries where Spanish companies had not had any prior activity: Panama, Puerto Rico, California (USA) and Bulgaria.



Portugues Dam (Puerto Rico).

The heights of these dams varies between 30 and 134 metres, with a mostly hydroelectric purpose (4 dams), followed by urban supply (2 dams), flood prevention (2 dams) and one case (PAC-4, Panama) whose purpose is to form the eastern bank of the new Pacific Access Channel (PAC) which is part of the Third Group of Locks Project of the Panama Channel expansion.

With regards to tipology, it is remarkable that within this period our companies have taken part in the construction of almost all kinds of dams: 3 of conventional vibrated concrete (1 gravity, 2 arch) 3 of RCC roller compacted concrete (2 gravity and 1 arch dams, which is a very unusual typology outside China) 2 earthfill with clay core and 1 CFGD concrete faced gravel dam.

In the same period, the activity of Spanish engineering companies abroad has experienced a significant boost. Indeed, between 1971 and 2005 there were 52 registered interventions abroad in which only 5 Spanish companies took part, while in the period spanning the two last ICOLD congresses 43 new activities have been documented, with 10 Spanish participant companies. These companies, opening new markets, have taken part in 39 dam projects outside Spain: 24 concrete dams, 12 earthfill or rockfill dams, 1 dam raise and 2 more cases non categorized, with seven different topologies, among which the number of dams of roller compacted concrete is remarkable.

This article describes the evolution of the activities of our companies with regards to dams outside Spain, offering the main relevant data about completed constructions and projects, some of which are worthy of a thorough description. ♦