

Ingeniería española de presas en el extranjero

Spanish dam engineering worldwide

José Polimón López. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Director Técnico, Dragados S.A. JPOLIMONL@dragados.com

Antonio Capote del Villar. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Jefe Departamento Proyectos Presas, Ferrovial-Agromán. a.capote@ferrovial.es

Fernando Abadía Anadón. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Jefe Departamento Técnico Obras Hidráulicas. Dragados S.A. FABADIAA@dragados.com

Resumen: A lo largo de su historia España siempre ha sufrido duras condiciones climáticas e hidrológicas. Como resultado de ello el desarrollo de infraestructuras dedicadas a la conservación y a la regulación de los recursos hídricos ha sido un elemento primordial en la política económica promoviendo, desde la época romana, la construcción de grandes infraestructuras hidráulicas. En consecuencia, la moderna ingeniería de presas se desarrolló más rápidamente y por delante del resto de países europeos. Cuando los españoles llegaron a América su ingeniería de presas fue también transferida dando lugar a numerosas construcciones hidráulicas algunas de las cuales todavía permanecen en operación. En este artículo los autores dan un somero vistazo a la contribución española a la ingeniería y construcción de presas, describiendo sucintamente algunas de las más notables realizaciones modernas.

Palabras Clave: Historia, Presa, Contribución, Infraestructura Hidráulica

Abstract: Along its history Spain has always undergone harsh climatic and hydrological conditions. In the wake of it, developing infrastructures aimed at keeping and regulating the water resources have been a primary element in economic policy boosting, from the roman age, the large hydraulic infrastructures construction. As a result, modern dam engineering developed faster and in advance of the rest of Europe countries. When the Spanish arrived in America their dam technology was also transferred, setting off to many hydraulic constructions being some of them still in operation.

In this article the authors take a cursory look at the Spanish dam construction and engineering contribution, describing concisely some of the most outstanding modern contributions.

Keywords: History, Dam, Contribution, Hydraulic Infrastructure.

1. Introducción

Debido a sus condiciones climáticas y al carácter irregular de sus ríos, España ha desarrollado desde la antigüedad una gran actividad en infraestructuras hidráulicas para satisfacer necesidades diversas, tales como abastecimiento urbano, riego, defensa contra crecidas, aprovechamientos energéticos e industriales, usos ambientales y otros.

En materia de ingeniería de presas, esta actividad se desarrolla desde hace al menos dos milenios, como pone de manifiesto la existencia en España de numerosas presas romanas, algunas de ellas actualmente en operación, y evoluciona hasta nuestros días de forma que España cuenta con unas 1.300 grandes presas en operación y 28 en construcción, ocupando el

cuarto lugar del mundo y primero de Europa en número de grandes presas.

El devenir histórico, y la experiencia acumulada a lo largo de siglos, han dado lugar a una presencia muy significativa de la ingeniería española de presas en el mundo, que se inicia en el siglo XVI en América y algunos territorios asiáticos (Filipinas) y se prolonga hasta nuestros días. Así, en los últimos 35 años, las empresas españolas han construido más de 50 presas en el exterior, con realizaciones en todos los continentes a excepción de Oceanía, siendo incontables las presas construidas por los españoles fuera de su país desde el siglo XVI hasta el siglo XX.

El desarrollo alcanzado por su ingeniería de presas, permite a España participar en todas las fases del proyecto, desde los estudios previos de planificación has-

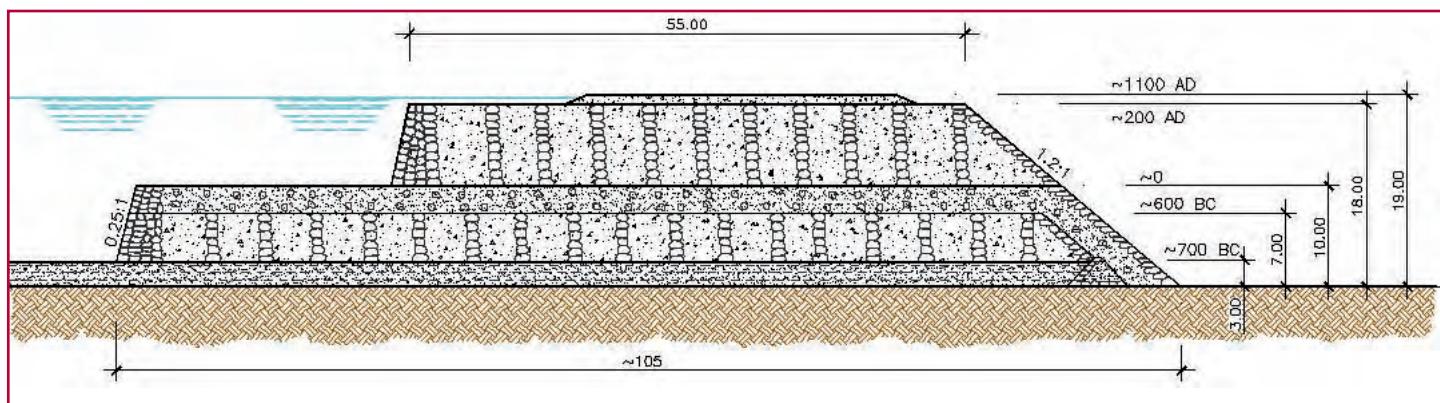


Fig. 1. Sección transversal de la presa de Purron recercida en cinco diferentes ocasiones.

ta realización del diseño final, construcción y operación de embalses, de forma que actualmente la ingeniería española de presas tiene presencia en el ámbito internacional a través de diversas entidades oficiales y privadas: asociaciones, universidades, laboratorios, empresas consultoras, empresas constructoras e hidroeléctricas.

El Comité Nacional Español de Grandes Presas CNEGP colabora activamente en los trabajos propios de la Comisión Internacional de Grandes Presas ICOLD, participando en los trabajos de los Comités Técnicos, cooperando con los demás Comités Nacionales que integran ICOLD y presidiendo actualmente el Club Europeo de ICOLD. Dentro de esta actividad internacional, CNEGP ha organizado el XI Congreso Internacional de Grandes Presas celebrado en Madrid en 1973 y el XXII Congreso Internacional celebrado en Barcelona en 2006, así como numerosas reuniones y simposios internacionales. Otras entidades españolas relacionadas con las presas y embalses desarrollan así mismo su actividad en el ámbito internacional, como la Sociedad Española de Presas y Embalses SEPREM y un gran número de empresas públicas y privadas.

En los apartados siguientes se presenta una breve síntesis de la actividad internacional de España en ingeniería de presas.

2. Antecedentes históricos. Siglos XVI a XIX

Siglos antes de la llegada de los españoles, algunas culturas precolombinas habían alcanzado una técnica notable y un alto desarrollo en infraestructuras hidráulicas, con sistemas de aprovechamiento a veces muy complejos, algunos de los cuales incluían presas para derivación o almacenamiento de agua.

Como ejemplo, entre otras realizaciones americanas anteriores a la llegada de los europeos, causa admiración por su antigüedad y diseño la presa de Purron (Fig 1) en el valle de Tehuacan (1), unos 250 Km al Sureste de la ciudad de México. Esta presa, construida en el siglo VII a.C. con una altura de 3 m, fue recercida posteriormente en diversas etapas hasta alcanzar una altura total de 19 m hacia el año 1100 d.C., con una longitud de coronación superior a 400 m y un volumen de embalse de más de 5 millones de metros cúbicos. El cuerpo de la presa se formó mediante una cuadrícula de muros de mampostería en seco con relleno interior de tierras arenosas, confinadas en el paramento de aguas arriba mediante muros de mampostería y acabado en talud aproximado 1,2H:1V aguas abajo.

A finales del siglo XV España había alcanzado un alto nivel científico y tecnológico. Los avances en las técnicas de navegación hicieron posible el descubrimiento de América, la extensión de los viajes transoceánicos y el inicio de una nueva época en la que, a lo largo de varios siglos, se produjo un encuentro y fusión de culturas que transformó el mundo conocido.

Las técnicas relativas al manejo del agua no fueron una excepción a la corriente general de transferencia de tecnología hacia el Nuevo Mundo que se inicia en el siglo XVI, pues España, por sus condiciones climáticas y su larga historia, había acumulado una dilatada experiencia en sistemas hidráulicos para abastecimiento a poblaciones, riego, y usos de tipo industrial, experiencia que en materia de presas data al menos de la época romana, y de la que son claro exponente las presas de Proserpina y Cornalvo, construidas en el siglo II d.C. y actualmente todavía en servicio.

Así pues, a lo largo de varios siglos, España exportó al Nuevo Mundo sus técnicas de diseño y construc-

ción de presas, de manera que las tipologías y formas constructivas aplicadas en América presentan una gran semejanza con las que en cada momento se estaban utilizando en España, pues era frecuente que los ingenieros y arquitectos españoles viajaran al nuevo mundo para aplicar allí las experiencias adquiridas en su país de origen. De esta forma, entre los siglos XVI y XIX, los españoles construyeron numerosas presas en territorio americano para abastecimiento a poblaciones, riego, usos industriales y minería, así como diques para encauzamiento y defensa contra crecidas.

Este tipo de construcciones podría clasificarse en dos grandes grupos: presas de derivación, las más frecuentes, y presas para almacenamiento y regulación de aportaciones, muchas de las cuales tuvieron por objeto la creación de saltos destinados al aprovechamiento de la energía de las aguas para mover máquinas de diversos tipos introducidas por los españoles en América y utilizadas en la industria y la minería (azúcaras, norias, molinos, etc.).

No es posible en el breve espacio disponible dar una visión completa o suficientemente aproximada de la actividad de España en la construcción de presas en el mundo entre los siglos XVI y XIX, por lo que nos limitaremos a dar unas breves pinceladas, mostrando algunos ejemplos y describiendo algunos de sus rasgos más característicos.

La actividad española en construcción de presas en el Nuevo Mundo se inicia casi inmediatamente después del descubrimiento, en los primeros momentos de la época colonial. Puede citarse como ejemplo de ello la construcción del embalse de Yuriria, iniciada en 1548 al sur del actual estado de Guanajuato en México (5). Este complejo hidráulico, llevado a cabo por el fraile agustino Diego de Chávez Alvarado, tenía como objeto el saneamiento de la llamada "laguna de la sangre" y el abastecimiento al pueblo de Yuririapíndaro, creando un embalse de 221 millones de metros cúbicos que rellenaba una serie de depresiones volcánicas, e incluyendo una presa de gravedad de 12 m de altura que cerraba uno de los bordes del vaso (Fig 2). Para alimentar el embalse, se construyó una presa de derivación en el cercano río Lerma y un canal de unos 4 Km de longitud para trasvase de las aportaciones de dicho río hasta el embalse de Yuriria, al que llegaron los caudales del Lerma en 1550.

La mayoría de las presas españolas construidas en América entre los siglos XVI y XIX, actualmente en ser-

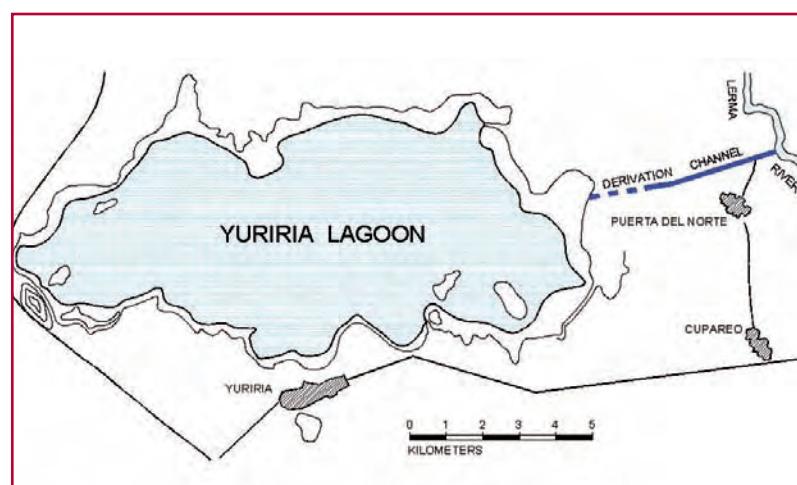


Fig. 2. Planta de la laguna de Yuriria y canal de trasvase desde el río Lerma.

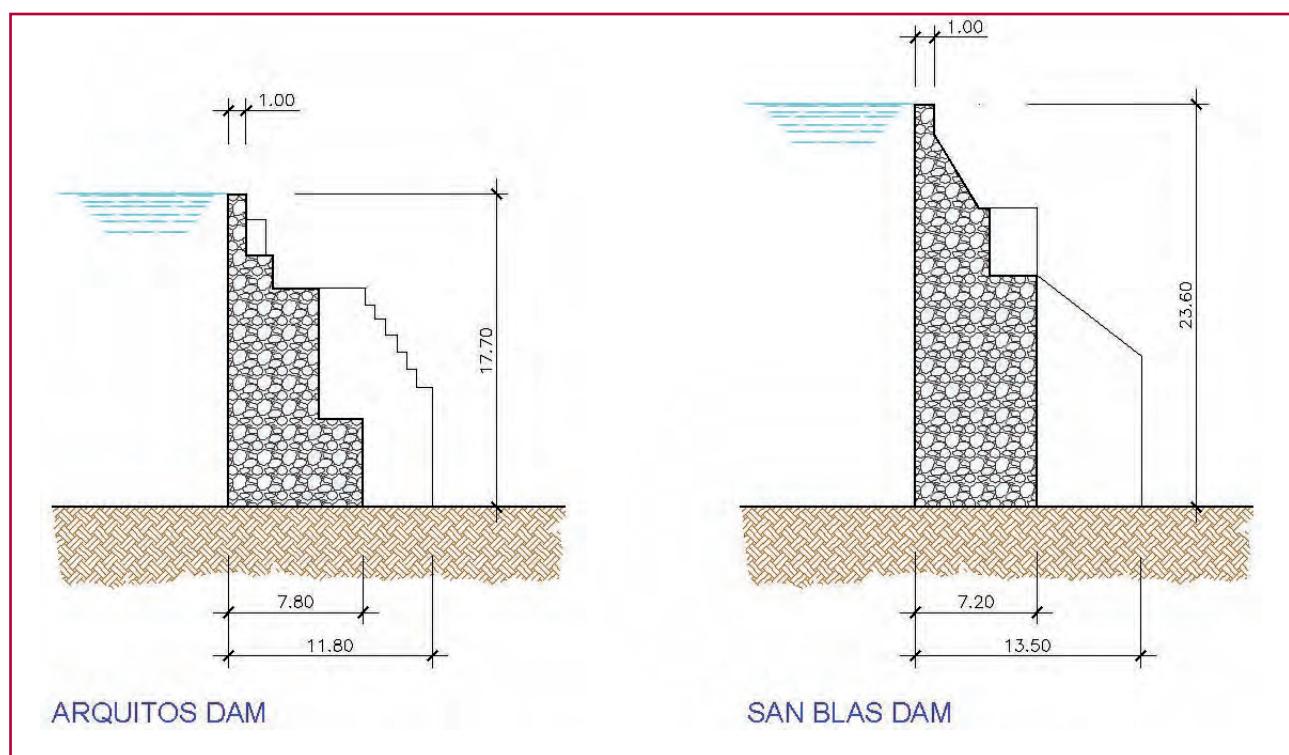
vicio o de las que se conservan restos arqueológicos o bibliográficos, son de tipología gravedad o contrafuertes, pues los españoles aplicaron en el exterior la experiencia adquirida en su país de origen, como pone de manifiesto la gran cantidad de presas de contrafuertes construidas en México y su semejanza con las construidas en la región española de Extremadura, tanto por su diseño como por las técnicas constructivas empleadas y el modo de utilizar los materiales (1).

Más escasas son las presas arco construidas en América en estos siglos, debido principalmente a que su construcción exigía una técnica más depurada, mano de obra más diestra y dirección más cualificada, y ello a pesar de que España tenía ya gran experiencia en su diseño y construcción en la región levantina, con realizaciones tan notables como la presa de Tibi, que con 42,7 m de altura fue la más alta del mundo durante varios siglos.

Son numerosos los ejemplos que pueden citarse de presas de contrafuertes construidas por los españoles en América (Fig 3), entre otras Saucillo (11 m de altura y 175 m de longitud) San Blas (24 m de altura y 177 m de longitud) Arquitos (18 m de altura) San José (11 m de altura) y Natillas (12 m de altura y 100 m de longitud) situadas en las cercanías de Aguas Calientes (Méjico).

Siguiendo la técnica española desarrollada en Extremadura (España) este tipo de presa estaba formada por un muro de sección transversal prácticamente rectangular o escalonado, construido con mampuestos aglomerados con mortero y reforzado con una serie más o menos regular de contrafuertes también de mampostería, incluyendo uno o varios aliviaderos de

Fig. 3. Sección transversal de dos presas de contrafuertes del siglo XVIII.



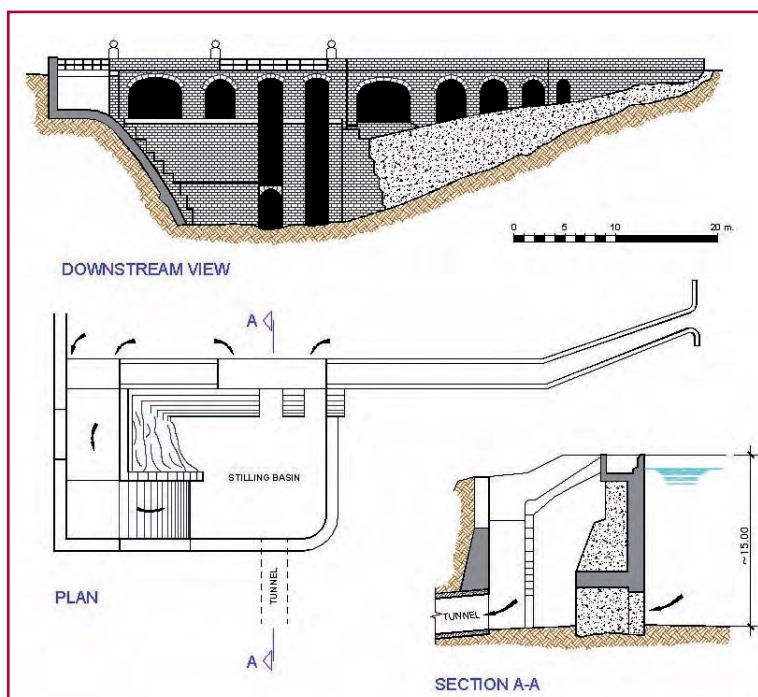
superficie y las necesarias obras de toma con sus correspondientes mecanismos (2).

En esta tipología de contrafuertes, merece destacarse el conjunto de presas construidas por los espa-

ñoles en Guanajuato (Méjico) ciudad fundada en 1547, que constituyó desde el principio de la época colonial un importante enclave minero, polo de atracción de población y lugar con relevante desarrollo industrial. Situada en un angosto valle rodeado de altas y abruptas montañas, sus condiciones naturales han dado lugar históricamente a prolongados períodos de sequía alternando con inundaciones provocadas por las importantes crecidas de los arroyos y ríos a su paso por el valle. Con objeto de proteger de las crecidas la zona habitada, así como almacenar agua para suministro urbano e industrial durante los períodos secos, se realizaron obras que incluían el encauzamiento del río y la construcción de varias presas, entre las que destacan La Olla y Los Santos (6).

La presa de contrafuertes de La Olla (Fig 4) tiene una altura de unos 20 m, contando con un aliviadero de superficie en la margen derecha que vierte sobre un cuenco limitado por muros de mampostería y fondo rocoso que desagua a un túnel que sigue la trayectoria del antiguo cauce del río. La presa, puesta en servicio en 1749, tenía por objeto almacenar agua para abastecer a la ciudad y a sus numerosos molinos, y retener los arrastres sólidos del río, evitando su entrada en el tramo encauzado que cruzaba la ciudad de Guanajuato.

Fig. 4. Presa de La Olla.



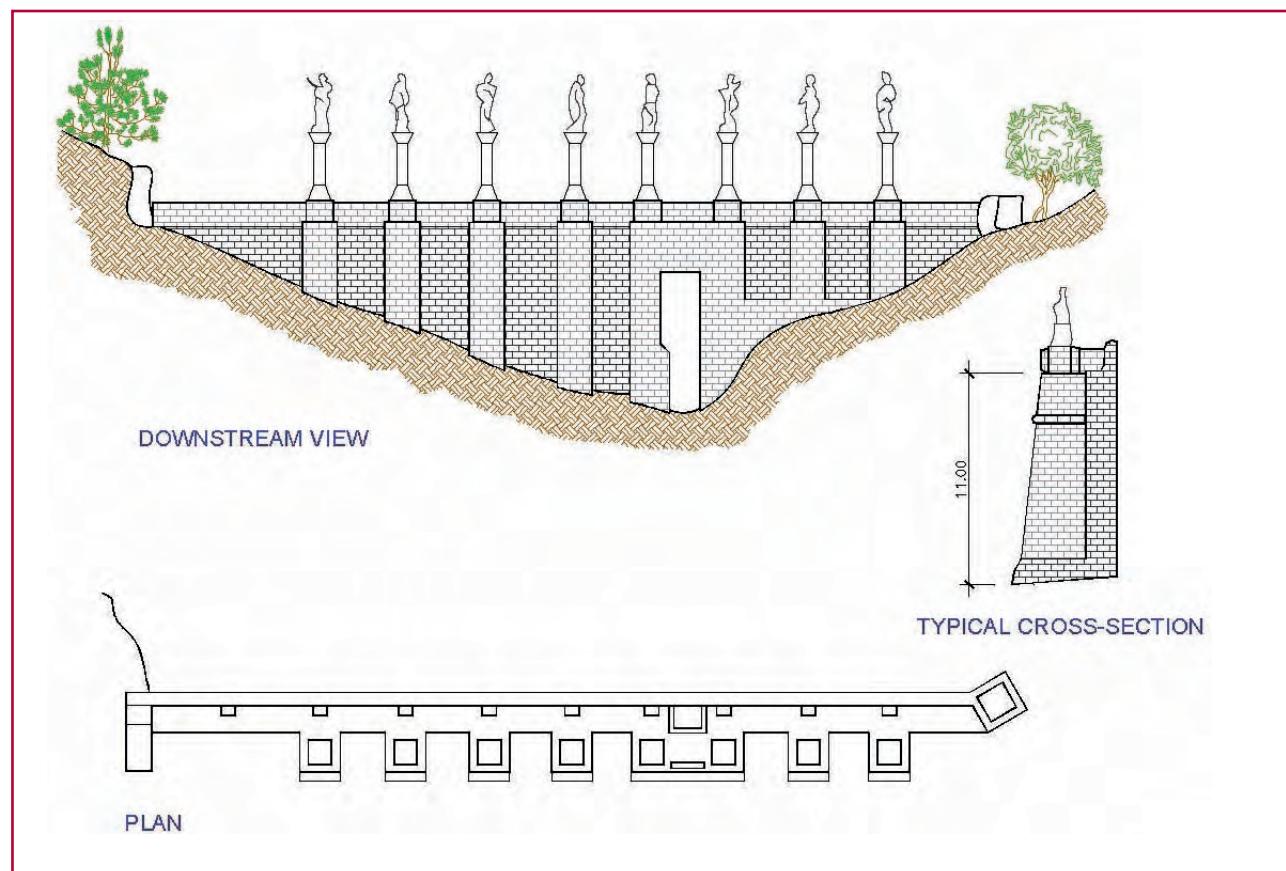


Fig. 5.- Presa de Los Santos en Guanajuato (Méjico)

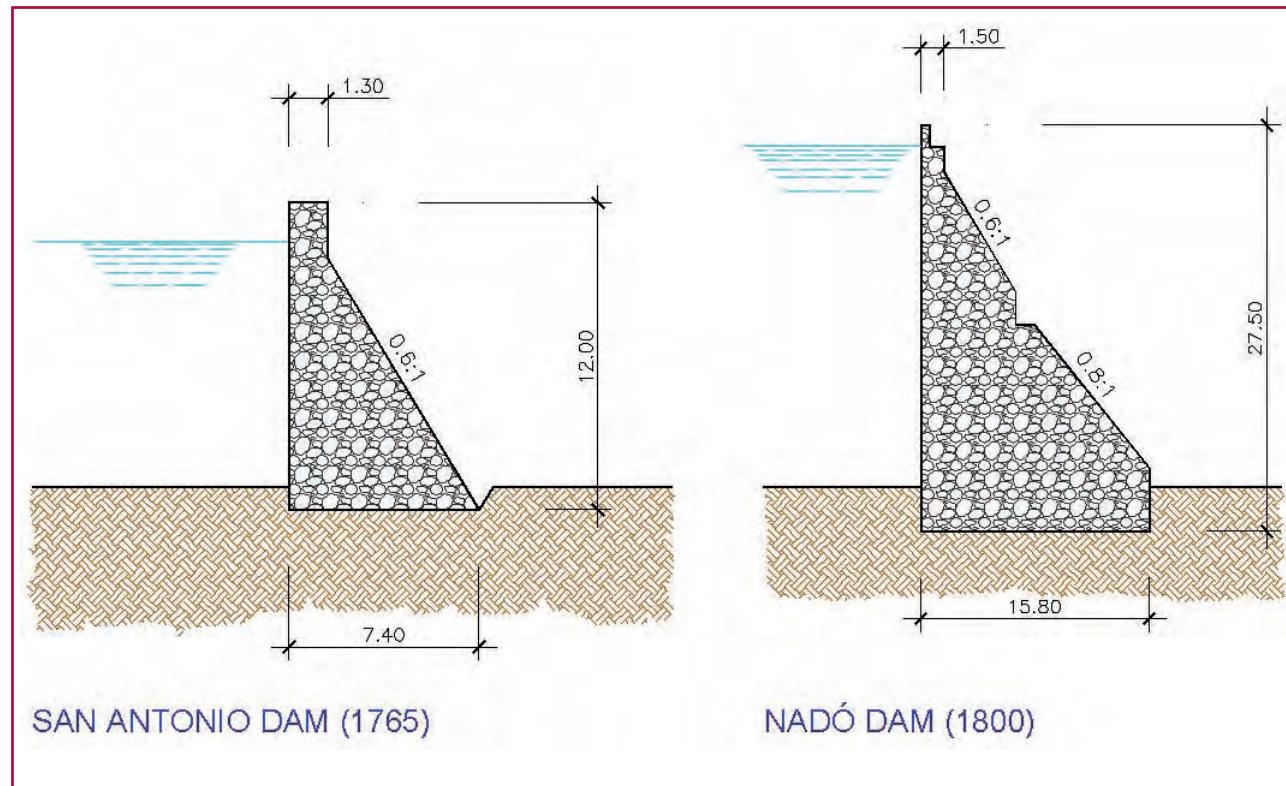


Fig. 6. Sección tipo de dos presas de gravedad con perfil triangular anteriores a 1800.

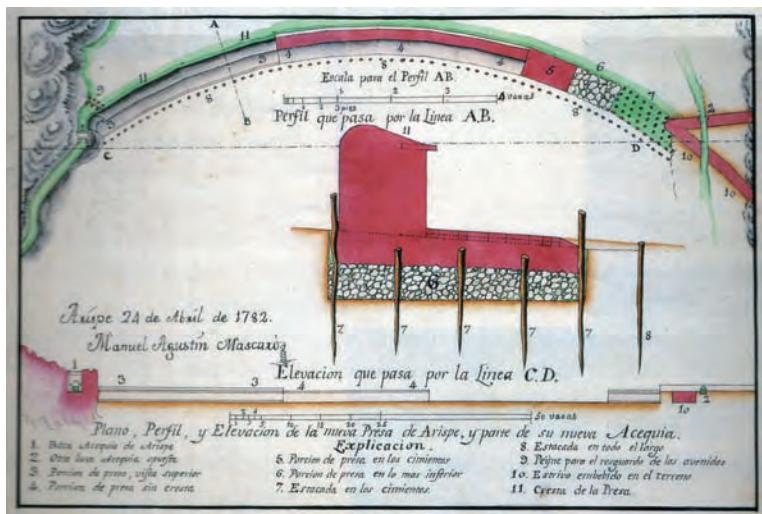
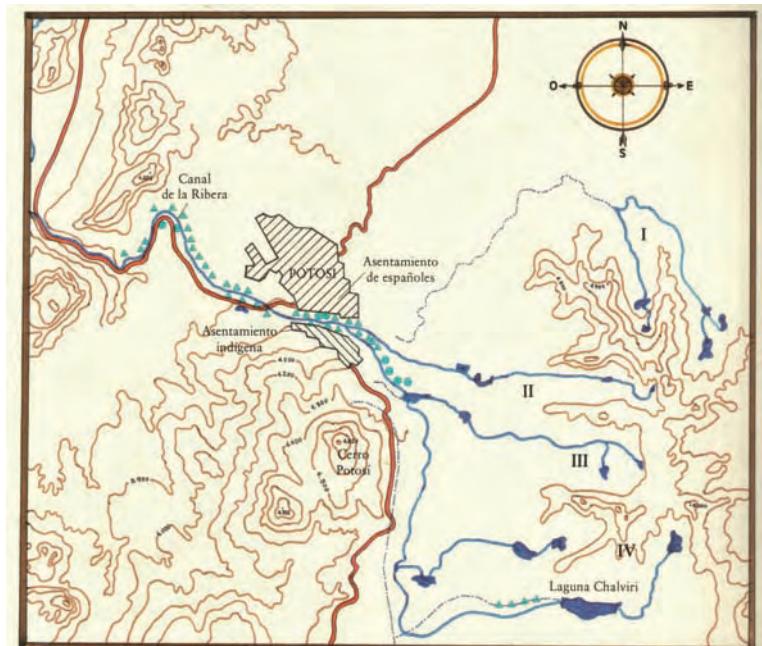


Fig. 7. Plano de la presa de Arispe en México.

Periódicamente se vaciaba el embalse y se extraían los sedimentos, y con objeto de no perder capacidad de almacenamiento debido a estas operaciones, se construyó, cerca ya de Guanajuato, la Presa de Los Santos, puesta en servicio en 1788. Esta presa, de unos 12 de m de altura es también de contrafuertes, y fue llamada así por las esculturas ornamentales que se dispusieron en los mismos (Fig 5).

En lo que se refiere a presas de gravedad, son también numerosas las construidas por los españoles en América (1), debiéndose destacar, por su carácter innovador, el diseño y construcción de presas con perfil triangular en fechas anteriores al desarrollo de

Fig. 8. Sistema de embalses y canales de Potosí.



las bases teóricas de Sazilly relativas a este tipo de perfil. Como ejemplo cabe citar las presas de San Antonio y Nadó (Fig 6), construidas en 1765 y 1800 respectivamente, y situadas ambas unos 150 Km al noreste de ciudad de México. La presa de San Antonio, de 12 m de altura, tiene un perfil tipo con paramento vertical aguas arriba y en talud aproximado 0,6H:1V el de aguas abajo, mientras que la presa de Nadó tiene 27,50 m de altura, también vertical el paramento de aguas arriba y con pendientes 0,6 y 0,8H:1V el paramento de aguas abajo.

En el proyecto y construcción de presas de derivación o azudes, la técnica aplicada por los españoles en América fue fiel a tradiciones ya consolidadas en el Viejo Mundo: planta generalmente oblicua al curso de agua, perfil transversal relativamente suave y estructura flexible capaz de adaptarse a las deformaciones del terreno, sobre el que frecuentemente se cimentaba la estructura mediante pilotes.

Entre los numerosos ejemplos que podrían citarse, se muestra en la figura siguiente la planta y sección tipo de la presa de derivación proyectada en 1782 por el ingeniero militar Manuel Agustín Mascaró para abastecimiento a la ciudad de Arispe (2). La presa se proyectó con planta curva, con la toma del canal de abastecimiento en la margen derecha y diseñada en su sección transversal de fábrica, con un perfil de vertido que presenta una geometría curva con labio terminado en trampolín, que trata evitar que la lámina se pegue al paramento aguas abajo de la presa. El apoyo de la presa se realiza sobre piedra limpia, cimentándose sobre una serie de filas de pilotes de madera, que pretenden además proteger la estructura frente a socavación (Fig 7).

Para construir este tipo de presa, habitualmente se manejaba el río en dos o más fases sucesivas, dejando en seco cada tramo del cauce donde se construía la presa mediante recintos de ataguías formadas por una doble fila de pilotes de madera con relleno interior de arcilla y achicando el recinto mediante ruedas de pisar, bombas o tornillos de Arquímedes.

Como aprovechamiento hidráulico para usos industriales, merece destacarse el conjunto de presas y canales construidos en los alrededores de Potosí (Bolivia) (Fig 8) para satisfacer la demanda de energía hidráulica necesaria para mover las máquinas utilizadas en la molienda de menas para la obtención de plata por amalgamación (3).

Para satisfacer estas necesidades, se decidió aprovechar los recursos del cercano macizo montañoso de Cari-Cari. Para ello, en 1574 se recreció la laguna natural de Chalviri y se construyó un acueducto de 25 Km de longitud hasta la ciudad de Potosí, llamado Canal de la Ribera.

Posteriormente se recrecieron más lagunas y se construyeron nuevas presas, generalmente de contrafuertes, de las que en el siglo XVIII había 21 en explotación. Se creó así un conjunto de embalses conectados entre sí mediante canales que se agrupaban en cuatro sistemas principales de transporte que abastecían de forma continua los molinos de mineral. Este conjunto de obras constituyó durante siglos el mayor complejo hidráulico de América para usos industriales.

3. Siglos XX y XXI

La construcción moderna de presas. Por así decirlo, comenzó al principio del siglo veinte y despegó al finalizar la década de los años 20. Como consecuencia de ello los ingenieros, diseñadores, y las empresas de construcción e ingeniería han alcanzado una notable experiencia en el diseño y construcción de presas, en ocasiones asumiendo el riesgo de novedosos diseños. Dos han sido principalmente los motores de la actividad española en el extranjero, la experiencia duramente ganada en los siglos anteriores junto con un cierto espíritu pionero.

3.1. Actividades de las empresas de construcción

Desde 1945 las empresas de construcción españolas han tenido una actividad constructiva continua en el extranjero, principalmente en países próximos como Portugal, países norteafricanos como Marruecos, Argelia y Túnez y, por supuesto, en Latinoamérica que constituye el mayor mercado extranjero para las empresas españolas de construcción e ingeniería de presas debido al idioma y a los lazos culturales. En el lejano oriente y en países subsaharianos las contribuciones españolas son escasas (Fig 14).

Los comienzos se pueden calificar de titubeantes en las décadas de los años 40, 50 y 60, sin embargo en la década de los 70 arrancó una actividad ininterrumpida en la construcción de presas en el extranjero. De hecho solo dos presas en las que las empresas españolas tuvieran un papel de liderazgo se acabaron

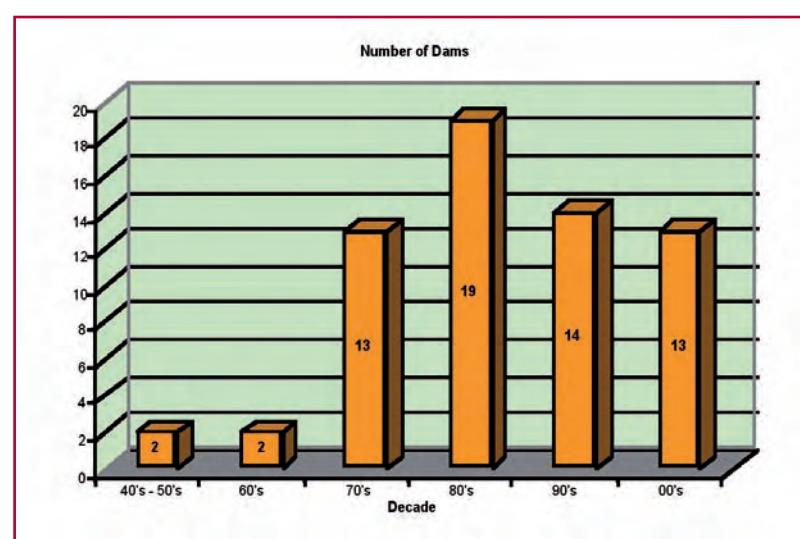
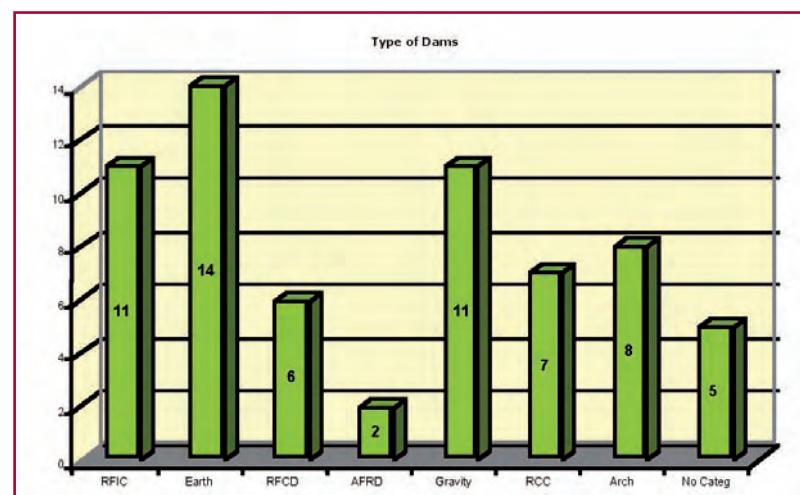


Fig. 9. Distribución temporal.

en el extranjero entre los años 1945 y 1960, y otras dos en la década de los 60; sin embargo en la década de los 70 se construyeron trece presas, diecinueve en los 80 y catorce en los 90 (Fig 9). En lo que llevamos del siglo actual, hasta junio de 2005, se han acabado trece presas y dos mas están en construcción. En total, hasta la fecha mencionada, 64 presas en el mundo han contado con la colaboración de empresas constructoras españolas (Tabla 1).

La actividad internacional de las empresas de construcción españolas creció con el desarrollo de las grandes obras hidráulicas en España, el cual despegó en la década de los años 20 (La presa de Camarasa, de gravedad y de mas de 100 m de altura, se remonta a 1928). Es un proceso natural que la experiencia ganada duramente a lo largo de los años hiciera que

Fig. 10. Distribución por tipologías.



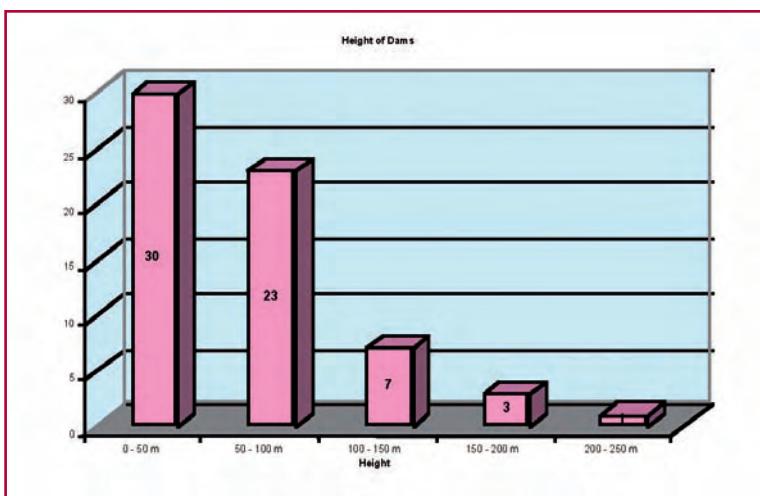


Fig. 11.
Distribución
por alturas.

las empresas constructoras españolas se sintieran suficientemente maduras para emprender nuevos retos y para probar su capacidad de competir en otros mercados.

En cuanto a la tipología, las empresas españolas han estado involucrada en la construcción de todo tipo de presas siendo esto una imagen del panorama mundial en cuanto a tipología. El papel principal lo han jugado las presas de materiales sueltos, que son las de mayor difusión en el mundo, 33 de ellas han sido construidas por firmas españolas, de las cuales once han sido de escollera con núcleo impermeable (RFCI), catorce han sido presas de tierra (Earth), seis han sido presas de escollera con pantalla de hormigón (CFRD) y dos de escollera con pantalla asfáltica (AFRD) (Fig 10).

Debemos resaltar el papel pionero e innovador jugado por las firmas españolas habiendo construido presas de esta tipología de mas de 150 m de altu-

ra (una de 240 m) y la presa de pantalla hormigón de mayor altura en su época (años 80).

El segundo lugar lo ocupan las presas de gravedad que han alcanzado las 18 unidades, seis de las cuales son presas de hormigón compactado con rodillo (RRC) y una de Hard fill. Nuevamente debe ser resaltado el liderazgo de las empresas de construcción españolas en este tipo de presas, principalmente en las de RCC de las cuales se ostentaron, hasta muy recientemente, diversos record de altura y volumen de presa.

Finalmente otras 8 presas han sido del tipo arco y otras cinco no están clasificadas.

Sorprendentemente esta distribución no coincide con la tradición en España donde las presas de gravedad y de arco son mayoría.

Las contribuciones de las empresas de construcción españolas también son un reflejo del panorama internacional en lo relativo a la altura de las mismas, prevaleciendo las presas de menos de 50 m de altura (Fig 11). También es mayoritaria la aplicación a la producción de energía Hidroeléctrica, a la cual se dedican directamente veinticuatro presas y doce mas indirectamente; seis presas están directamente aplicadas a tareas de regadío y cuatro a abastecimiento mientras que dieciocho son proyectos multipropósito (regadío, control de avenidas, abastecimiento y generación).

3.1. Actividades de las empresas de ingeniería

Las empresas de ingeniería de presas españolas han estado involucradas en actividades de diseño y consultoría desde 1971. Al comienzo su mayor activi-

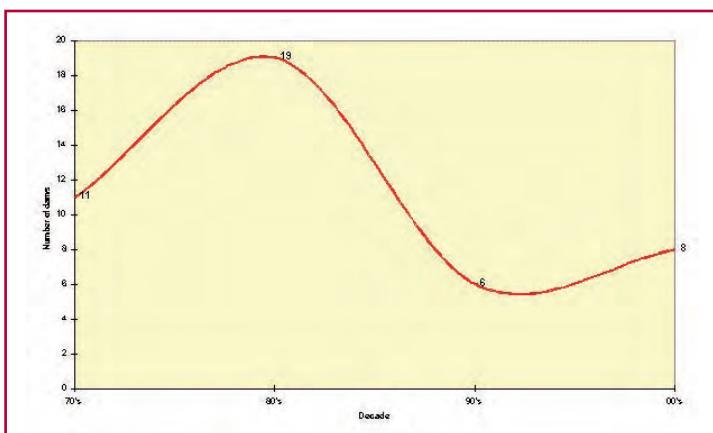


Fig. 12. Distribución temporal.

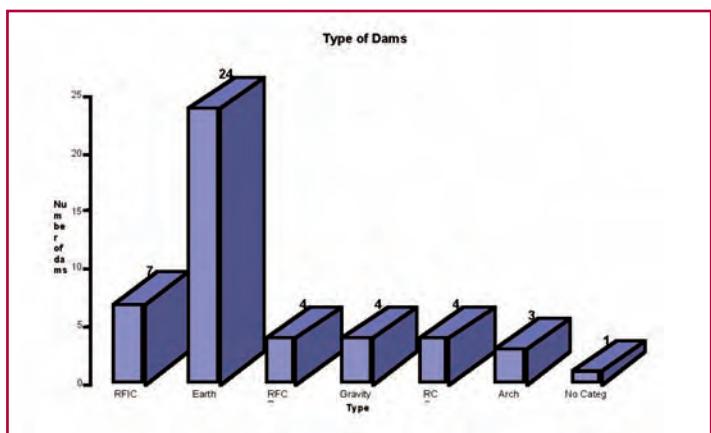


Fig. 13. Distribución por tipologías.

Tabla 1. Realizaciones de las empresas de construcción

PRESAS	SITUACIÓN	AÑO FINANZIACIÓN (1)	TIPO (2)	ALTURA m	VOLUMEN DE PRESAS 10 ³ m ³	PROPSITO (3)	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS		PROPIETARIO
							COMPANÍAS ESPAÑOLAS EN LA CONSTRUCCIÓN		
1 Mecha Hormadi	Mariuecos	1945				H	NESCO	NESCO	Dirección General de Mariuecos y Colonias
2 Nalja	Mariuecos	1948	Ach			H	NESCO	NESCO	Sociedad Hidroeléctrica de Rive
3 Oliveira Salazar	Chicamanga (Mozambique)	1950	Ach			H	DRAGADOS	DRAGADOS	Dirección General de Mariuecos y Colonias
4 Merchna Killa	Mariuecos	1953	G	28	30	H	DRAGADOS	DRAGADOS	Coturova
5 Kaolinick	Tarsos (Turquía)	1970	G	20	30	H	DRAGADOS	DRAGADOS	Hidronor
6 Derivadero Portezuelo	Neuquén (Argentina)	1973	G	34	160	H	DRAGADOS	DRAGADOS	Hidronor
7 Portezuelo	Neuquén (Argentina)	1973	Earth	14	500	H	DRAGADOS	DRAGADOS	Hidronor
8 Portezuelo Grande	Portugal	1973	Ach	745	763	H	NECSO	NECSO	Hidroeléctrica Española
9 Cedillo	República Dominicana	1973	CFRD	15	370	H	FERROVAL-AGROMAN	DRAGADOS	INDRILL
10 Los Bolívar	Jujuy (Argentina)	1975	Earth	98	4500	I/H	DRAGADOS	DRAGADOS	Provincia de Jujuy
11 Maderas (Las)	República Dominicana	1975	G	80	600	I/H	FERROVAL-AGROMAN	DRAGADOS	INDRILL
12 Vadeles	Chubut (Argentina)	1976	CFRD	130	6000	I/H	DRAGADOS	DRAGADOS	Aguia y Energía Eléctrica
13 Furolefú	Medellín (Colombia)	1976	RFC	50	5500	H	NECSO	NECSO	Empresas Públicas de Medellín
14 Santa Rita	Bahía Blanca (Argentina)	1977	Earth	32	5600	S	NECSO	NECSO	Dep. Obras Sanitarias de Buenos Aires
15 Dique Bahía Blanca	Bolívar (Venezuela)	1978	G	170	3600	H	DRAGADOS	DRAGADOS	Edelca
16 Guri Etapa Final (excavación)	República Dominicana	1978	G	54	170	I/S/H	FERROVAL-AGROMAN	DRAGADOS	INDRILL
17 Rinconcón	Prov. Santa (Argentina)	1981	G	126	305	H	NECSO	NECSO	Aguia y Energía Eléct.
18 Dique de las Peñas Blancas	República Dominicana	1982	G	20	95	N	NECSO	O.M.V.S.	INDRILL
19 Díjama	Lata (Venezuela)	1983	RFC	51	16000	I/H	FERROVAL-AGROMAN	OH	MMAR.N
20 Hatillo	Bourita (Argelia)	1983	CFRD	160	6956	I/S	DRAGADOS	DRAGADOS	Ministère Hydrolique
21 Yacambú	Call (Colombia)	1985	RFC	160	3500	H	NECSO	NECSO	CVC Colombia
22 Leckná	Majes (Perú)	1987	RFC	92	4800	I/H	NECSO	NECSO	Autoridad Autónoma de Majes
23 Salvajina	Ecuador	1987	RFC	90	8000	I/H/S	FERROVAL-AGROMAN	CEDESE	INDRILL
24 Condorma	República Dominicana	1987	RFC	215	200	I/S/H	FERROVAL-AGROMAN	NECSO	Ministère Hydrolique
25 Daule Perfora	Angela	1987	Ach						
26 López Angostura	Mendoza (Argentina)	1988	RFC	116	320				
27 Mexenra	Agua del Toro	1988	RFC	38	1600	S			
28 Dzibua	Argeila	1988	G	18	6	H			
29 Gera	Tarapoto (Perú)	1988	G	49	253				
30 Iuro	Iruo (Perú)	1988	CFRD	55	3280				
31 Piso de Los Pedros	Buenos Aires (Argentina)	1988	RFC	70	6300	I/H	DRAGADOS	DRAGADOS	MMAR.N
32 Sabaneta	San Juan (República Dominicana)	1988	RFC	61	119				
33 Santo Domingo	Mérida (Venezuela)	1988	G	10					
34 Sisa	San Martín (Perú)	1988	RFC	247	16674	H	NECSO	NECSO	Empreses de E. E. de Bogotá
35 Guaviro	Boycacá (Colombia)	1989	Earth	18	1436	S	DRAGADOS	DRAGADOS	Ministère Hydrolique
36 Guaviro	Orán (Argelia)	1990	Earth	35	6600	S	DRAGADOS	DRAGADOS	Concepción Dominicana
37 Abcasí, o Orán (Despost El Volcán)	Karouan (Tunisia)	1990							Empresas Públicas de Medellín
38 Haouareb	República Dominicana	1990							Comisión Federal de Electricidad
39 Rio Blanco	Medellín (Colombia)	1992	RFC	45	2524	H	NECSO	NECSO	C.R.M. (Ecuador)
40 Rio Grande II	Nayant (México)	1992	G (RC/C)	45	97	H	NECSO	NECSO	Dirección de Riego Min. de Obras Públicas
41 San Ráudez	Manabí (Ecuador)	1995	Earth	58	4500	I/S	DRAGADOS	DRAGADOS	Pangu S.A.
42 La Esperanza	Chile	1995	CFRD	106	2700	I	FERROVAL-AGROMAN	DRAGADOS	OMVS. y SGEM
43 Santa Juana	Chile	1996	G (RC/C)	115	790	H	NECSO	NECSO	Ministère de Travaux Publics
44 Pangue	Reparación presa de Manatall	1996	Earth	88	26400	I/H/N	FERROVAL-AGROMAN	DRAGADOS	
45 Al Wanda	Mojara (Mariuecos)	1997	RFC	48	882				
46 Al Wanda	Tunex	1997	Ach	50	5280	H	DRAGADOS	DRAGADOS	E.G.A.T.
47 Sidi Ach	Thalindí	1999	Ach	90	80	I	NECSO	NECSO	Ministère de Travaux Publics
48 Lam Tá Kong	Mariuecos	1999	Ach	85			DRAGADOS	DRAGADOS	Ministère de Travaux Publics
49 Asebou	Mariuecos	1999	G (RC/C)	118	1900	I/S/H	FERROVAL-AGROMAN	DRAGADOS	INDRILL
50 Ghass	Mila (Argelia)	2000	FSHD-RFC	28	175-450	I/S/H	FERROVAL-AGROMAN	DRAGADOS	EDIA
51 Beni Haroun	República Dominicana	2001	G (RC/C)	123	1450	H	NECSO	NECSO	EE PP de Medellín
52 Contachembase de Monóton	Antioquia (Colombia)	2001	Earth	15	350	H	NECSO	NECSO	Sociedad Iberoamericana de Energía S.A.
53 Porcell	Los Angeles (Chile)	2001	RFC	15	35	H	NECSO	NECSO	Etiopan Electric Light & power Authority
54 Los Juntas	Los Angeles (Chile)	2001	Ach	96	3000	H	DRAGADOS	DRAGADOS	INDRILL
55 Rucacura	Gigel Gibe	2002	RFC	122	2890	I/S/H	FERROVAL-AGROMAN	DRAGADOS	EDIA
56 Monción	República Dominicana	2003	Earth	96	1100	H	DRAGADOS	DRAGADOS	Iberoamericana de Energía
57 Alquieva	Moura (Portugal)	2003		15	60	I	FERROVAL-AGROMAN	DRAGADOS	INDRILL
58 Dukeko	República Dominicana	2003	RFC	305	487	H	NECSO	NECSO	EDELCA
59 Maguaca	Caruachi (Venezuela)	2004	G	72	1705	H	NECSO	NECSO	INAG
60 Caruachi	Algarve (Portugal)	2005	Earth	75	2000	I	DRAGADOS	DRAGADOS	C. Bonifica Sardegna M.
61 Odéloca	Certehá (Italia)	2005	G (RC/C)	87	518	I/S	DRAGADOS	DRAGADOS	INDRILL
62 Monti Nédu	República Dominicana	C	G (CCR)	6,5	24				
63 Villarrando									

(1) C: En construcción

(2) BD: Contratierra; Gr: Gravedad; Earth: Tierra; Ach: Arco/Bóveda; RFC: Escollera con núcleo impermeable; CFRD: escollera con pantalla de hormigón; AFRD: Escollera con pantalla de astafo;

(3) I: Regadio; S: Abastecimiento; Ul: Usos industriales; N: Control de avenidas; H: Producción de energía; C: control de inundaciones

Tabla 2. Realizaciones de las empresas de ingeniería

PRESAS	SITUACIÓN	AÑO DE DISEÑO (1)	TIPO (2)	ALTURA m	VOLUMEN DE PRESA 10 ³ m ³	PROPOSITO (3)	MAIN FEATURES		TIPO DE COLABORACIÓN	PROPIETARIO
							COMPANÍA ESPAÑOLA INVOLUCRADA	INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN		
1. Passo de Mendoca	Río Grande do Sul (Brasil)	1971	Earth	35	1400	I	INTECSA-INARSA	Antiproyecto	D.N.O.S.	
2. Bom-Séra	Río Grande do Sul (Brasil)	1971	Earth	58	5600	H	INTECSA-INARSA	Antiproyecto	D.N.O.S.	
3. Santa Rita	Antioquia (Colombia)	1972	RFIC	50		H	BERRNSA	Sopporte técnico al constructor	EE PP de Medellín	
4. Charalito	Ecuador	1973	Earth	70	356	H/I	INTECSA-INARSA	Antiproyecto	Instituto Ecuadoriano de Electrificación	
5. Tobuñil	Oro (Ecuador)	1975	Earth	45	1200	I	INTECSA-INARSA	Antiproyecto	Subcomisión Ecuatoriana del Buriango-Túrnbe	
6. Tahún II	Oro (Ecuador)	1976	CFRD	45	300	I	INTECSA-INARSA	Antiproyecto	Prodesur, Comisión Ecuatoriana	
7. Punceres	Moraga (Venezuela)	1977	Earth	87	2800	S	INTECSA-INARSA	Antiproyecto	Instituto Nacional de Obras Sanitarias	
8. Chongón	Guyas (Ecuador)	1978	Earth	26	960	C	INTECSA-INARSA	Antiproyecto	Comisión Desarrollo Cuenca del Guayas	
9. Abastecimiento Caracas	Venezuela	1978	Arch	100	120	S	INTECSA-INARSA	Proyecto de construcción	Instituto Nacional de Obras Sanitarias	
10. Chanud	Azoyú (Ecuador)	1978	Arch	40	20	H	INTECSA-INARSA	Proyecto de construcción	Empresa Eléctrica de Cuencas	
11. Subeyabola	Guyas (Ecuador)	1979	Earth	32	1337	C	INTECSA-INARSA	Antiproyecto	Comisión Desarrollo Cuenca del Guayas	
12. Convento Viejo	Colchagua (Chile)	1980	Earth	38	1700	I/S	INTECSA-INARSA	Proyecto de construcción	Dirección de Ríos de Chile	
13. Tacuari	Treinta y Tres (Uruguay)	1981	Earth	23	1300	I	INTECSA-INARSA	Antiproyecto	Comisión Uruguayo de la Laguna Merín	
14. Pirque	Valle del Maipo (Chile)	1981	Earth	70	12800	I/S	INTECSA-INARSA	Antiproyecto	Ministerio de Obras Públicas de Chile	
15. Manabacó	La Vega (República Dominicana)	1982	G	28		H	INTECSA-INARSA	Corporación Dominicana de Electricidad		
16. Río Mosquito	Manabi (Ecuador)	1982	Earth	61	1500	I	INTECSA-INARSA	Antiproyecto	C.R.M. Ecuador	
17. Tambo	Ica (Perú)	1982	RFIC	30	1800	I	INTECSA-INARSA	Antiproyecto	Corporación Desarrollo del Dep. de Ica	
18. Bejucal II	La Vega (República Dominicana)	1982	CFRD	90	900	H	INTECSA-INARSA	Antiproyecto	Corporación Dominicana de Electricidad	
19. Inuro	Nazco (Perú)	1982	CFRD	40	250	I/S	INTECSA-INARSA	Antiproyecto	Ministerio de Agricultura de Perú	
20. Dikha	Agua (Mantiquecas)	1983	G	29	19	I/S	INTECSA-INARSA	Proyecto de construcción	Dirección General de Hidráulica	
21. Gera	Tarapoto (Ecuador)	1984	G	18	6	H	INTECSA-INARSA	Antiproyecto	Dirección Ejecutiva Hidrológica Central	
22. Lekhal	Bouar (Argelia)	1984	RFIC	45	1504	I/S	INTECSA-INARSA	Sopporte técnico al constructor	Ministère de l'Hydraulique	
23. Colindres de Torquist	Tarquist (Túnez)	1984	Earth	38		S	INTECSA-INARSA	Antiproyecto	Ministère de l'Équipement et de le Promotion	
24. Bejucal II	Jarabacoa (República Dominicana)	1984	RFIC	90	2000	H	INTECSA-INARSA	Proyecto de construcción	Corporación Dominicana de Electricidad	
25. San Pablo	Belle Vista San Martín (Ecuador)	1984	G	9	5	I/S	INTECSA-INARSA	Proyecto de construcción	Dirección Ejecutiva Hidrológica Central	
26. Caren	Rancagua (Chile)	1986	Earth	54	7000	U (Minera)	CGESA	Ingeniería de construcción	CODELCO	
27. Rio Grande	Manduri (Ecuador)	1986	RFIC	58	1710	I/S	INTECSA-INARSA	Antiproyecto	C.R.M. (Ecuador)	
28. Condorma	Majes (Perú)	1987	RFIC	92	4800	I/H	BERRNSA	Sopporte técnico al constructor	Autoridad Autónoma de Majes	
29. Haciurabé	Karukar (Túnez)	1988	Earth	35	6600	S	INTECSA-INARSA	Sopporte técnico al constructor	Ministère Hidráulique	
30. Guavio	Boyacá (Colombia)	1989	RFIC	247	16574	H	INTECSA-INARSA	Sopporte técnico al constructor	Empresa de E. E. de Bogotá	
31. Esperanza	Manduri (Ecuador)	1990	Earth	58	4500	I/S	INTECSA-INARSA	Proyecto de construcción	C.R.M. (Ecuador)	
32. Beni-Haroum	Mila (Argelia)	1993	G (RCC)	118	1900	I/S	INTECSA-INARSA	Antiproyecto	Ministère Hidráulique	
33. Rongue	Chile	1995	G (RCC)	115	790	H	INTECSA-INARSA	Sopporte técnico al constructor	Rangué S.A.	
34. Moya	Vargas (Venezuela)	1995				S	TPSA	Antiproyecto	M.M.A.R.I.N.	
35. Vicho	Mazue (Bolivia)	1997	Earth	38		I	TPSA	Supervisión de la programación	Comisión Europea, Convenio Bolivia	
36. Simbocai	Manduri (Ecuador)	1998	Earth	2		C	INTECSA-INARSA	Antiproyecto	C.R.M. (Ecuador)	
37. Ovejería	Región Metropolitana (Chile)	1999	Earth	58	11 (Minera)	C/GSA	Ingeniería de construcción	CODELCO		
38. Baba	Guyas (Ecuador)	1999	Earth	55		H	INTECSA-INARSA	Ingeniería de construcción	GrupodelNER	
39. Duqueco II	Duqueco (Chile)	2000	Arch	30		C	BERRNSA	Ingeniería de construcción		
40. Duqueco I	Duqueco (Chile)	2000	Earth	26		H	INTECSA-INARSA	Ingeniería de construcción		
41. Murumutoni	Mazue (Bolivia)	2000	Earth			I	TPSA	Supervisión de la programación	Comisión Europea, Convenio Bolivia	
42. Khaspicancha	Mazue (Bolivia)	2001	Earth			I	TPSA	Supervisión de la programación	Comisión Europea, Convenio Bolivia	
43. Los Ucanitos	Valle del Sula (Honduras)	2001	G (RCC)	115		H	TPSA	Estudio de factibilidad	Comisión Ejecutiva del Valle del Sula	
44. Jlichtativo	Valle del Sula (Honduras)	2002	CFRD	100		H	TPSA	Estudio de factibilidad	Comisión Ejecutiva del Valle del Sula	
45. Gilgel Gibe I	Etiopia	2003	Earth	41		H	BERRNSA	Ingeniería Geotécnica y supervisión de la construcción	Ethiopian Electric Power Corporation	
46. San Rafael	Nayant State (México)	2003	G (RCC)	45		H	BERRNSA	Proyecto de licitación	Comisión Federal de Electricidad	
47. Kamiencze Zabkowicki	Polonia	2005	Earth	20		C/H	BERRNSA	Ingeniería de construcción	Environmental and Natural Resources Ministry	

(1) C: En construcción

(2) BD: Contratistas; G: Gravedad; Earth: Tierra; Arch: Arco/Bóveda; RFIC: Escollera con núcleo impermeable; CFRD: escollera con pantalla de hormigón; AFRD: Escolera con pantalla de asta;

(3) I: Regadio; S: Abastecimiento; U: Usos industriales; N: Control de aguas;

(4) PFCD: ESCOLLERA CON PANTALLA PLÁSTICA; G (RCC): Gravedad de hormigón compactado;



● PRESA DE RCC ● PRESA DE GRAVEDAD ▲ PRESA DE TIERRAS ▲ PRESA DE ESCOLLERA ▲ PANTALLA DE HORMIGÓN ▲ PANTALLA ASFÁLTICA ■ PRESA ARCO/BÓVEDA

dad ha consistido en dar soporte a las empresas constructoras españolas, por lo que la misma ha estado centrada, principalmente, en Sudamérica y en los países Norteafricanos mencionados anteriormente (Tabla 2).

Sorprendentemente la máxima actividad de las empresas de ingeniería ha sido realizada en las décadas de los años 70 y 80, habiendo sufrido una reducción drástica en los 90 y en la primera mitad del siglo XXI. De hecho están documentadas 11 colaboraciones en los años 70 y diecinueve en los 80 mientras que en la década de los 90 solo hay seis colaboraciones registradas y ocho desde el año 2000 hasta el 2005 (Fig 12).

Las empresas de ingeniería, al igual que las empresas de construcción, han desarrollado proyectos y han facilitado su asesoría en toda la gama de tipologías pero principalmente en presas de tierra y escollera, que ascienden a 35; siete de ellas han si-

Fig. 14.
Localización de las
presas.

do presas de escollera con núcleo impermeable (RFIC), veinticuatro han sido presas de tierra y cuatro presas de escollera con pantalla de hormigón (CFRD). Aparecen también en la lista dos presas arco cuatro presas de gravedad y cuatro presas de hormigón compactado (RCC) (Fig 13).

4. Algunas realizaciones notables

4.1. Presa de Alqueva

La presa de Alqueva se encuentra en el sureste de Portugal, sobre el río Guadiana, a unos 11 km al noreste la ciudad de Moura (23). Su capacidad de embalse alcanza los 4.150 Hm³, lo cual representa el mayor volumen de embalse de Europa Occidental. Es un proyecto multipropósito dedicado a constituir una reserva estratégica de agua, se prevé que atienda el

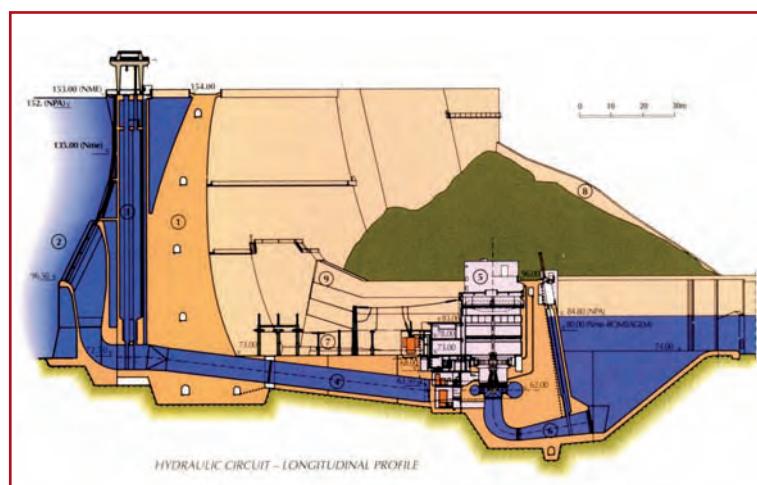
Fig 15. Presa de Alqueva.



riego de 110.000 Ha, y a generar energía hidroeléctrica, para lo cual tiene una central de 240 Mw construida a pie de presa (Fig 15).

El propietario es EDIA (Empresa para el desarrollo de las infraestructuras de Alqueva), compañía del sector público establecida en el año 1995 para gestionar el proyecto multipropósito de Alqueva.

Fig 16. Sección transversal de la presa de Alqueva.



La compañía encargada de su construcción fue A.C.E. un Joint-Venture formado por las empresas españolas DRAGADOS y NECSO, y las portuguesas SOMAGUE y BENTO PEDROSO.

Su tipología es de doble curvatura apoyada en estribos de gravedad. Tiene una altura máxima sobre cimientos de 96 m y una longitud de cresta de 458 m (348+60+50). La relación cuerda/altura es 3,3. El arco tiene un espesor máximo de 33 m y un mínimo de 7m. Los espesores de los estribos varían entre 52 y 32 m en el derecho y entre 42 y 24 m en el izquierdo.

Tiene dos aliviaderos de superficie que totalizan tres vanos (1+2) de 19 m de anchura y 14 m de altura cada uno. Estos vanos se encuentran cerrados por compuertas tipo Tainter y alcanzan una capacidad máxima de descarga de $3 \times 2.100 \text{ m}^3/\text{s}$.

La presa está también provista de dos desagües intermedios regulados por compuertas Tainter, alcanzando una capacidad máxima de descarga de $2 \times 1.500 \text{ m}^3/\text{s}$. El desagüe de fondo es de 3 m de diámetro y su capacidad alcanza los $160 \text{ m}^3/\text{s}$.

El volumen de hormigón empleado en la presa y estructuras de la central superó $1.100.000 \text{ m}^3$.



Fig 17. Presa de Beni Haroun.

4.2. Presa de Beni Haroun

La presa de Beni Haroun se encuentra sobre el río El-Kebir (río grande en árabe) cerca de la ciudad de Mila en la provincia del mismo nombre a unos setenta kilómetros de Constantina en el noreste de Argelia. Embalsa 963 Hm³ destinados a regadío, abastecimiento de poblaciones y control de avenidas (Fig 17).

El propietario es la Agence Nationale des Barrages (Agencia Nacional de Presas) dependiente del Ministerio de Travaux Publics.

Esta presa fue construida por la empresa española DRAGADOS y su tipología es de planta de gravedad recta en hormigón compactado (RCC) (17). Está cimentada en calizas y su altura sobre cimientos es de 118m con un talud de 0,8H/1V aguas abajo y vertical aguas arriba. La longitud de coronación es de 714 m y aloja tres niveles de galerías para inyección, inspección y drenaje (Fig 18).

El volumen de hormigón compactado fue de 1.600.000 m³ que constituyó récord mundial en aquel momento. El volumen de hormigón convencional alcanzó los 300.000 m³ totalizando un volumen de presa de 1.900.000 m³.

El cuerpo de presa se dividió en bloques de 20 m por medio de juntas transversales que fueron inducidas en cada capa de 30 cm. En ambos paramentos, aguas arriba y aguas abajo, se colocó 1 metro de

hormigón convencional para conseguir un acabado liso y estético.

Los desagües de fondo, situados en la ladera derecha, están constituidos por dos conductos rectangulares de 3,00x4,10 m controlados por compuertas tipo Wagón y Tainter que alcanzan una capacidad de desagüe de 700 m³/s. El aliviadero de superficie tiene una anchura de 114 m, es de labio fijo y fue diseñado

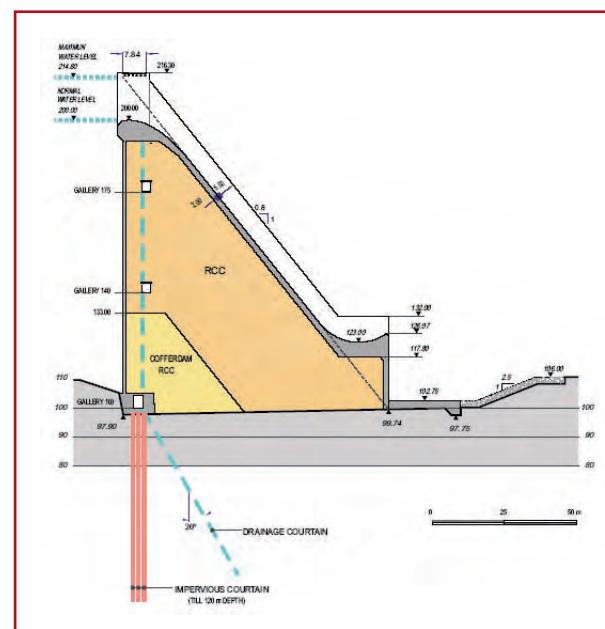


Fig 18. Sección transversal.

Fig 19. Presa de Caruachi.

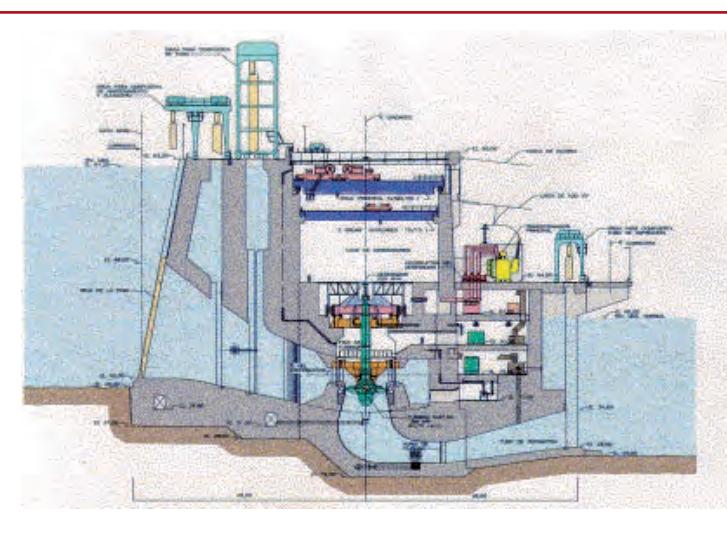


para alcanzar una capacidad de 13.230 m³/s para el máximo nivel del embalse.

El desvío de río se realizó a través de dos túneles de 8 m de diámetro libre capaces de evacuar un caudal de 2.000 m³/s durante la ejecución de la presa.

Debido a la escasez de cemento en el país se dispuso de una capacidad de 18.000 tn, repartidas en silos de 1.000 tn en el puerto de Jijel y en la obra, para almacenar cemento y cenizas volantes que se transportaron desde España.

Fig 20. Sección transversal por la central.



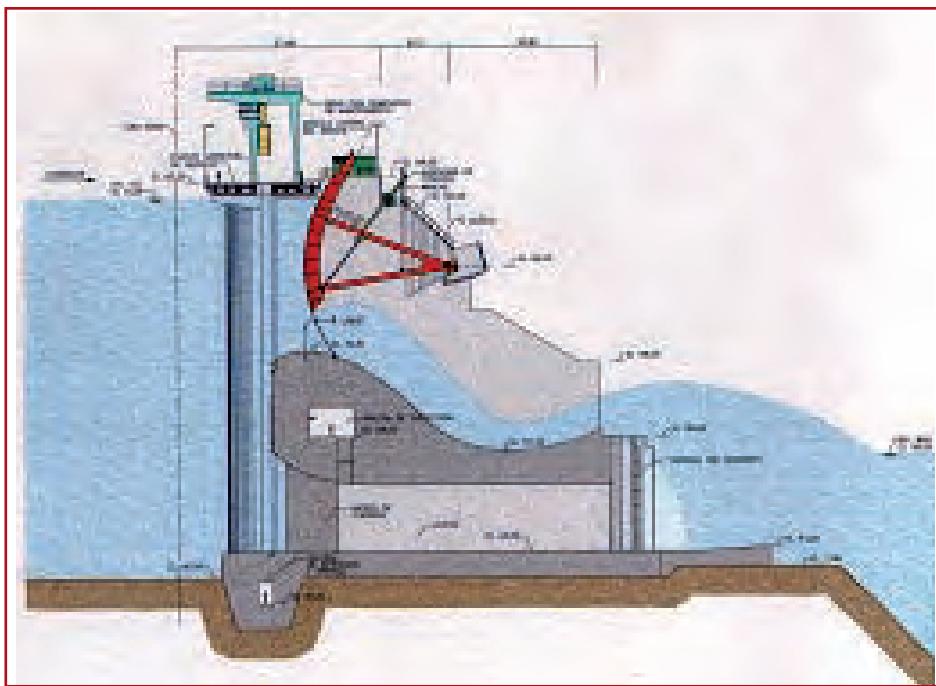
4.3. Presa y central de cauachi

La presa y central de Caruachi es el tercero de cuatro proyectos que desarrolla el potencial hidroeléctrico del curso bajo del río Caroní (13). Está situada a unos 35 km de la ciudad de Puerto Ordaz en la Guayana Venezolana y a 30 km de la confluencia de dicho río con el Orinoco (19). La potencia instalada es de 2.160 MW (Fig 19).

EDELCA (Electrificación del Caroní) es la compañía encargada del desarrollo y operación de los recursos hidroeléctricos de esta cuenca. EDELCA forma parte de la corporación CVG (Corporación Venezolana de Guayana) la cual está constituida por catorce empresas públicas. El Joint-Venture DRAVICA fue el encargado de la construcción de la obra civil y de los elementos hidromecánicos. Este Joint-Venture estuvo liderado por la empresa española DRAGADOS.

Caruachi es una presa mixta cimentada en duras granodioritas. De la ladera derecha a la izquierda los principales elementos constitutivos del proyecto son:

- *Presa margen derecha:* presa de escollera con pantalla de hormigón aguas arriba. Altura sobre cimientos 50 mts. Longitud de coronación 900 m. Volumen aproximado del cuerpo de presa 3,5 millones de m³.



- Presa transición margen derecha: presa de gravedad de 57 mts de altura máxima sobre cimientos.

- Presa de hormigón y central integrada: presa de hormigón de 74,25 mts de altura sobre cimientos en cuyo cuerpo se encuentran insertadas las tomas de agua de la central, la cual está ubicada inmediatamente aguas abajo e integrada en la misma (Fig 20).

Esta central alberga doce turbinas Kaplan de 180 MW cada una que mueven sendos generadores de igual potencia, en este momento son los mayores grupos Kaplan en el mundo. Las tomas están diseñadas para un caudal de 6.000 m³/sg.

- Aliviadero: situado a continuación de la presa y central, consta de nueve vanos de 15,20 mt de anchura cerrados por compuertas motorizadas tipo Taintor de la misma anchura y 21,66 mts de altura, en este momento las mayores compuertas Tainter del mundo.

Este aliviadero fue diseñado para un caudal de 30.000 m³/sg. El perfil es un Creager y acaba en un trampolín que lanza el agua a un cuenco de amortiguación excavado directamente en la roca (Fig 21).

En su parte inferior este aliviadero aloja 18 conductos de 6 x 9 mts destinados a constituir el desvío del río en la segunda fase de ejecución de la obra. Es-

tos conductos se previeron para un caudal de 13.600 m³/s.

Era extremadamente importante asegurar el correcto funcionamiento de los conductos (14) y las compuertas de cierre durante las operaciones de desvío, por ello se encargó al Departamento de Ingeniería Hidráulica de la Universidad Politécnica de Cataluña un detallado modelo hidráulico (15). Los resultados de este modelo fueron, hasta cierto punto, sorprendentes y significativos, especialmente la vibración inducida sobre las compuertas de cierre (Fig 22) y el down-pull sobre la compuerta de emergencia bajo las condiciones de cierre últimas (máximo caudal y máxima presión), que indujo importantes modificaciones en su diseño inicial y en los procedimientos de cierre del desvío.

- Presa de transición margen izquierda: tipo gravedad de 57 m de altura sobre cimientos.

- Presa margen izquierdo: presa de escollera con núcleo de arcilla de 57 m de altura sobre cimientos y 4,2 Km de longitud de coronación. El volumen del cuerpo de presa alcanzó los nueve millones de m³.

- Canal de descarga: excavado directamente en la roca base de 400 m de anchura, el volumen de excavación fue de 3,5 millones de m³. La roca excavada se usó como materia prima para la fabricación de áridos para el hormigón.

Fig 21. Sección transversal por el aliviadero y fig 22. Compuerta de cierre.

Fig 23. Presa de Salvajina.



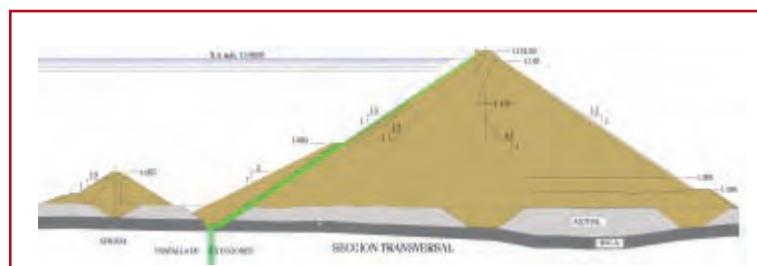
Las mediciones de obra civil más significativas fueron: Hormigón refrigerado (por debajo de 12°C) 1.830.000 m³. Acero de armar 90.165.000 kg. Encofrados 680.000 m². Acero para conductos y embebidos 5.400.000 kg.

El proceso de construcción se dividió en tres fases.

4.4. Presa de Salvajina

La presa de Salvajina se encuentra sobre el río Cauca a 90 km de la ciudad de Cali en la zona suroeste de Colombia. Genera un embalse de 904 Hm³ destinado al riego y a la generación de energía hidroeléctrica (Fig 23).

Fig 24. Sección transversal de la presa de Salvajina.



El propietario es la C.V.C. (Confederación del Valle del Cauca) y fue construida por la empresa española DRAGADOS.

La presa está cimentada en conglomerados cuarcosos, esquistos carbonatados y areniscas cuarcíticas con intercalaciones de limonita.

Salvajina es una presa de escollera con pantalla de hormigón de 160 m de altura sobre cimientos y de 360 m de longitud de cresta. Sus taludes son 1,5V/1V aguas arriba y 1,3 – 1,5H/1V aguas abajo. El volumen de presa es de 3.500.000 m³. En su momento fue la presa de escollera con pantalla de hormigón más alta del mundo (Fig 24). El material para la construcción de la presa provino de graveras silíceas.

La impermeabilización de la presa fue confiada a una pantalla de hormigón situada sobre el paramento aguas arriba de la presa. Su espesor varía de 0,7 a 0,3 m y la cuantía de la armadura es del 0,4% de la sección transversal de hormigón.

La pantalla fue dividida en losas de 15 m de anchura. Debido a los plazos de ejecución la construcción de la pantalla se solapó con la de los rellenos de presa y se realizó en tres fases:

- Desde el fondo (cota 1.0114) a la cota 1.076.
- Desde la cota 1.076 hasta la cota 1.111.
- Desde la cota 1.111 hasta coronación (cota 1.154).

El aliviadero cuenta con tres vanos controlados por compuertas tipo Tainter y fue diseñado para un caudal de 3.550 m³/s.

El desvío de río tuvo lugar a través de dos túneles excavados en la ladera derecha de unos dos km de longitud cada uno.

Los principales volúmenes de la construcción han sido: 1.500.000 m³ de excavaciones, 3.500.000 m³ de rellenos de cuerpo de presa, 59.000 m² de superficie de pantalla de hormigón y 26.700 m³ de hormigón en la pantalla de impermeabilización.

4.5. Presa de Guavio

La presa de Guavio se encuentra sobre el río del mismo nombre a unos 125 km al este de la ciudad de Bogotá. Forma un embalse de 1.140 Hm³ destinado a la generación de energía hidroeléctrica (Fig 25).

Este embalse alimenta una central subterránea de 1.600 MW (1.000 MW en una primera etapa y 600 MW adicionales en la segunda) a través de un túnel de 15 km de longitud. La caverna de central aloja ocho unidades de turbinas Pelton devolviendo las aguas al río Guavio.

El propietario es la "Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá" y su construcción fue realizada por un Joint-Venture en el que participó la empresa española de construcción NECSO.

Guavio es un de las presas de escollera más importantes del mundo. Tiene 247 m de altura y 390 m de



Fig 25. Presa de Guavio.

longitud de coronación. El talud aguas arriba es 2H/1V y el de aguas abajo 1,8H/1V. Las cotas de cimentación y de coronación son respectivamente la 1.390 y la 1.640. La impermeabilidad se confía a un núcleo de arcilla y el volumen del cuerpo de presa es de 16.673.766 m³ (Fig 26). El desvío de río requirió la construcción de una ataguía de 60 m de altura y 150 m de

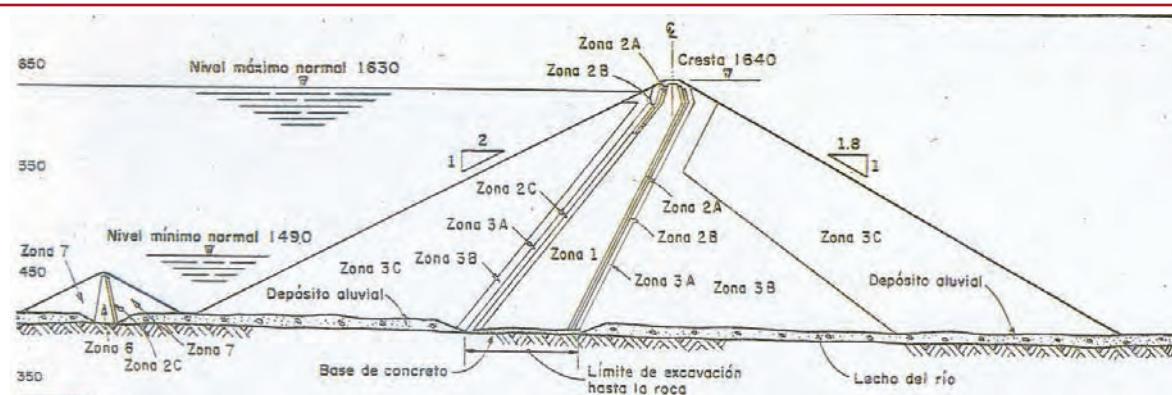


Fig 26. Sección transversal de la presa de Guavio.

longitud de coronación también de escollera con núcleo de arcilla. La impermeabilización de la cimentación requirió la ejecución de una cortina de inyecciones de 114.500 m².

La presa se cimentó sobre calizas compactas con finas estratificaciones de argilitas y cuarcitas. La escollera provino de una cantera caliza.

El proyecto también requirió la construcción de 85 km de carreteras y unos 19 km de túneles. La excavación en túneles alcanzó 600.796 m³, y la de cavernas 129.504 m³.

Las principales cifras del proyecto fueron: Excavación en cimentación de presa 6.872.428 m³. Excavación para apertura de cantera 5.020.205 m³. Escollera en presa 13.585.036 m³. Núcleo impermeable 1.809.333 m³. Filtros 1.279.397 m³. Excavación subterránea 730.300 m³ y Cortina de inyecciones 114.500 m².

4.6. Presa de Al Wahda

La presa de Al Wahda se encuentra sobre el río Ouergha a 35 km de la ciudad de Quezzane y a 5 km del pueblo de M'Jaara de la provincia de Sidi Kacem en Marruecos. La zona de la presa se encuentra inmediatamente aguas debajo de la confluencia de los ríos Ouergha y Aoudyar formando un embalse de 3.800 Hm³ (Fig 27).

Geológicamente la presa se encuentra en el borde de un vasto sinclinal del mioceno compuesto, principalmente, por arcillas y gres margosos.

Es la mayor presa de Marruecos y la segunda en África por detrás de la de Aswan en Egipto. Su ejecución contó con prioridad total en el país y sus objetivos principales fueron:

- Protección de la planicie de Gharb contra las inundaciones.
- Regadío de unas 100.000 Ha en la planicie de Gharb y en la vega baja del valle del Ouergha.

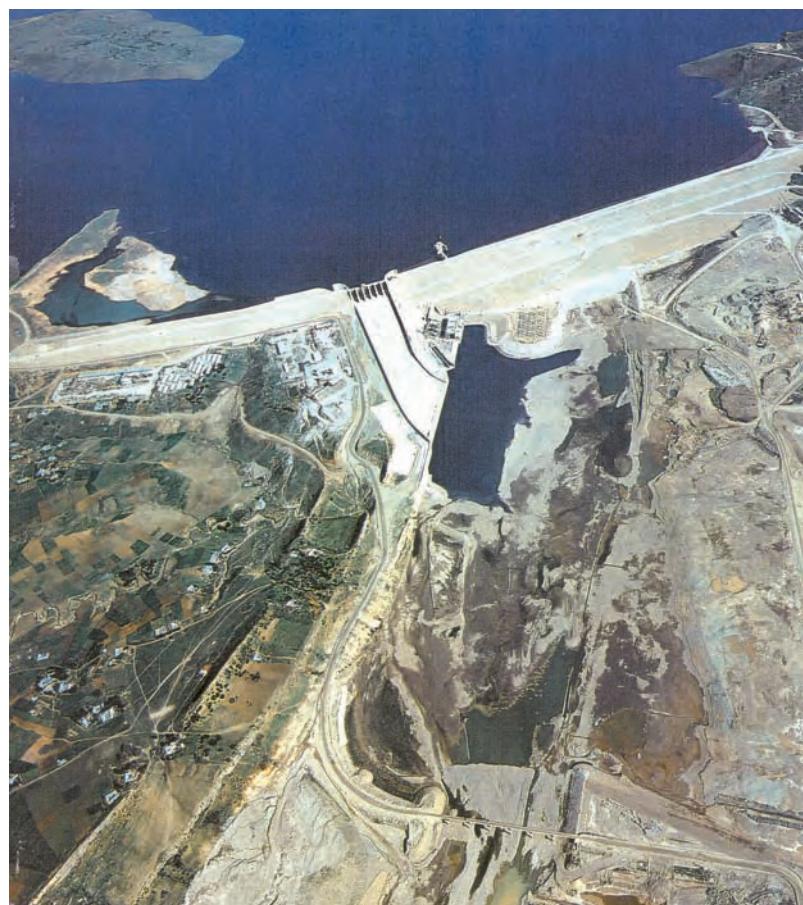
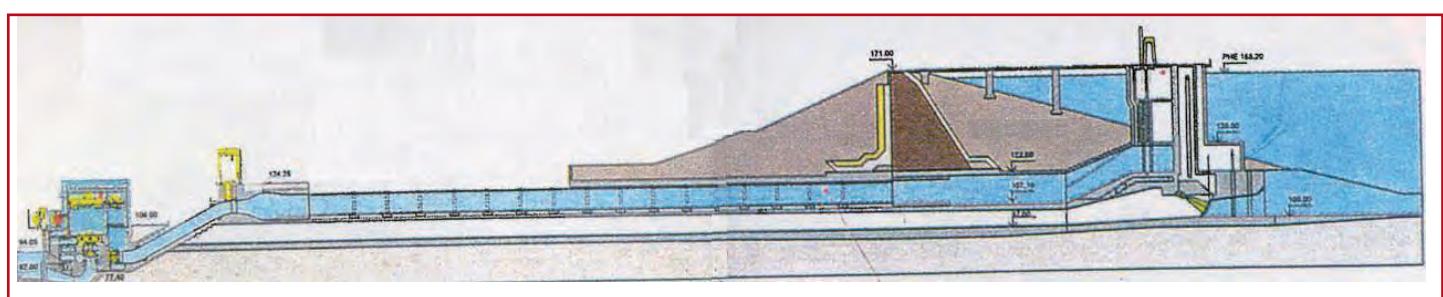


Fig 27. Presa de Al Wahda.

Fig 28. Sección transversal de la presa de Al Wahda.

- Generación 400 millones de Kwh anuales de energía hidroeléctrica.
- Trasvase de 600 millones de m³ de agua a la zona sur de Maruecos.

El contrato fue otorgado por el gobierno de Marruecos, a través de la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas en asociación con la Oficina Nacional de Electricidad, al grupo internacional de empresas "Consorcio del Proyecto Hidroeléctrico M'Jaara TCC/TPE" participado por la compañía española NECSO.



Las principales cifras del proyecto son:

- Presa de tierras de 88 m de altura (Fig 28) cuyas características principales son: Longitud de coronación (presa principal+ lateral) 2,6 km. Anchura de coronación 10m. Altura máxima sobre cimientos 88 m. Anchura máxima a nivel de cimientos 600 m. Volumen del cuerpo de presa 26,4 millones de m³. Capacidad máxima del aliviadero 13.000 m³/s. Superficie del embalse a nivel máximo normal 127,5 km². Volumen de embalse 3.800 Hm³. Superficie de cuenca 6.190 km².
- Central hidroeléctrica con tres grupos Francis de 82,5 MW cada uno.
- Torre de toma de 71 m de altura en el estribo derecho de la presa.
- Desagüe de fondo situado bajo el doble túnel de toma de 750 m de longitud.
- Canal del vertedero de 700 m de longitud y 100 m de anchura gobernado por seis compuertas Tainter de 14,7 m de anchura y 17 m de altura.
- Distribuidor y tuberías forzadas de la central.

4.7. Presa de Yacambú

La presa de Yacambú se encuentra sobre el río del mismo nombre en el llamado Cañón de Angostura en la zona oriental de los Andes Venezolanos a 100 km al suroeste de la ciudad de Barquisimeto en el estado de Lara de la República de Venezuela (Fig 29).

Su finalidad consiste en el trasvase de agua desde el río Yacambú, perteneciente a la cuenca del Orinoco, al noroeste del valle de Quibor, perteneciente a la cuenca del Caribe, para cumplir dos objetivos; regar 21.000 Ha en el valle de Quibor y proporcionar un caudal 3 m³/s de agua para consumo a la ciudad de Barquisimeto.

El propietario es el M.M.A.R.N. (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales) y el constructor fue el consorcio formado por la compañía venezolana D'ELL ACQUA y la empresa española OHL (Obrascón, Huarte, Lain).

La presa es del tipo de gravas con pantalla de hormigón de 160 m de altura y con una berma de estabilización en el estribo izquierdo. Esta presa forma un embalse de 461 Hm³ que inunda un área de 825 Há.

Las principales características del proyecto fueron (Fig 30).



Fig 29. Presa de Yacambú.

- Presa: Altura máxima sobre cimientos 160 m. Taludes 1,5/1 aguas abajo, 1,6/1 aguas arriba. Máxima anchura a nivel de cimentación 408 m. Longitud de cresta 115m. Cota de coronación 758 m.s.n.m. Volumen de presa 2.938.000 m³.

- Berma de estabilización: Relleno de tierras. Talud 2,5/1. Volumen 3.917.000 m³. Volumen de filtros 101.000 m³. Cota de coronación 750 m.s.n.m.

Fig 30. Sección transversal de la presa Yacambú.

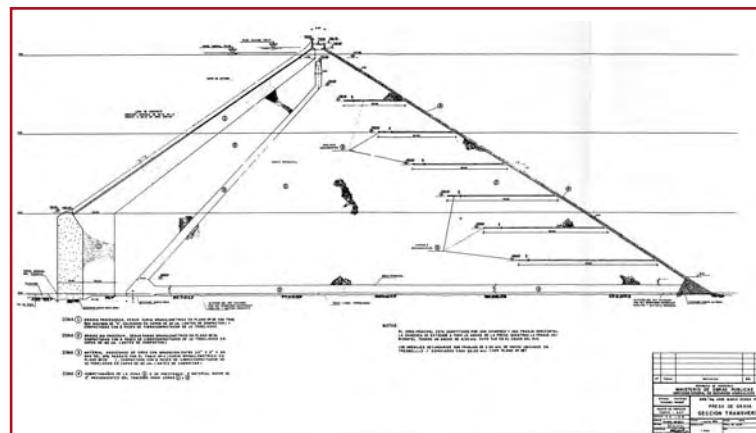


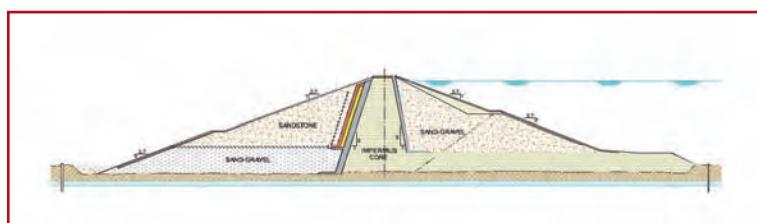


Fig 31. Presa de
Daule Peripa.

4.8. Presa Daule Peripa (Ecuador)

Situada 160 Km al Norte de Guayaquil, la presa Daule Peripa fue construida por FERROVIAL-AGROMAN (año 1987) y promovida por CEDEGE como elemento principal del sistema de aprovechamiento múltiple de los recursos de la cuenca del río Guayas para riego, abastecimiento urbano, generación de energía

Fig 32. Sección
transversal de
la presa de
Daule Peripa.



eléctrica y otros fines ambientales tales como defensa contra la salinización (Fig 31).

El embalse, de 5.400 millones de metros cúbicos de capacidad, se crea mediante la construcción de una presa principal y un dique lateral en la margen izquierda.

En el sitio de la presa, el terreno está formado por rocas sedimentarias blandas, areniscas, limonitas y argilitas con niveles ocasionales de conglomerados, apareciendo en el lecho del río depósitos de gravas y arenas con espesor máximo 10 m.

La presa, de planta recta, con 250 m de longitud de coronación y 90 m de altura sobre cimientos, es de materiales sueltos, con núcleo central de arenisca triturada y espaldones formados por areniscas, gravas y arenas, con taludes exteriores 2,7H:1V, habiéndose



Fig 33. Presa de Monción.

empleado en su construcción 3 millones de metros cúbicos de rellenos (Fig 32).

El dique lateral tiene 21 Km de longitud y una altura máxima de 30 m, siendo de materiales sueltos y sección homogénea con dren chimenea, taludes exteriores 3 H:1V aguas arriba y 2,5H:1V aguas abajo, y un volumen total de rellenos de 5 millones de metros cúbicos.

El aliviadero, situado en la margen izquierda de la presa, entre esta y el dique lateral, tiene una capacidad de 3.600 m³/s, estando formado por una sección de control provista de tres compuertas Tainter de 17 x 8,5 m, canal de descarga de 395 m de longitud y 59m de ancho, y cuenco amortiguador. Adicionalmente, en la margen izquierda del embalse, se ha dispuesto un aliviadero de emergencia de 500 m de longitud de vertido, labio fijo de hormigón y 1.260 m³/s de capacidad. En la construcción de ambos aliviaderos se han excavado 4,4 millones de metros cúbicos, habiéndose empleado 200.000 m³ de RCC y 275.000 m³ de hormigón convencional.

El manejo del río durante la construcción se llevó a cabo mediante dos túneles revestidos de 12 m de diámetro y 500 m de longitud, con una capacidad de desvío de 2.800 m³/s.

En operación, uno de los túneles se utiliza para control de niveles, evacuación de crecidas, desague

de fondo y suministro de agua para riego, mientras que el otro túnel se utiliza para derivar caudales a la central hidroeléctrica, dotada de dos grupos Francis verticales con 213 Mw de potencia total instalada.

4.9. Presa de Monción (República Dominicana)

La Presa de Monción y su contraembalse forman parte del Proyecto de Aprovechamiento Múltiple del Río Mao, promovido por INDRHI y construido por FERROVIAL-AGROMAN, UNIÓN FENOSA Y CONDE (año

Fig 34. Sección transversal de la presa de Monción.

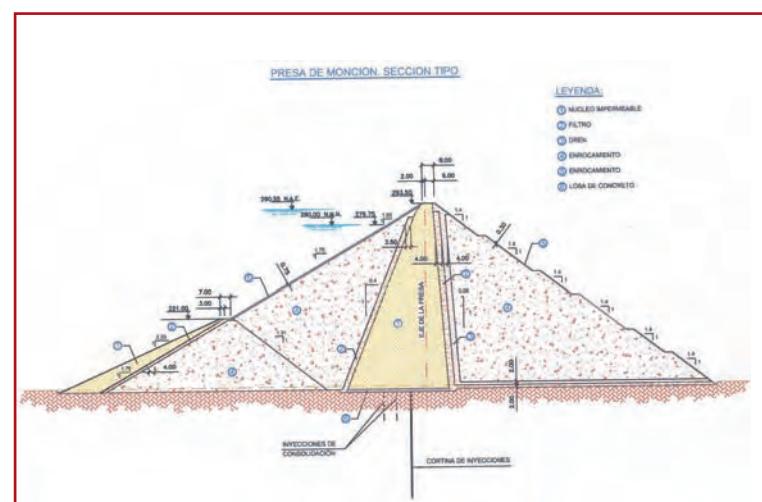


Fig 35.
Contraembalse
de Monción



2003) cuyo objeto es laminar las crecidas del río y suministrar agua para riego, abastecimiento urbano y generación de energía eléctrica (11).

Situada en un estrecho cañón de rocas metavolcánicas y metasedimentarias con paquetes alternantes de esquistos, la presa tiene una altura de 122 m y

Fig 36. Sección transversal del contraembalse de Monción.

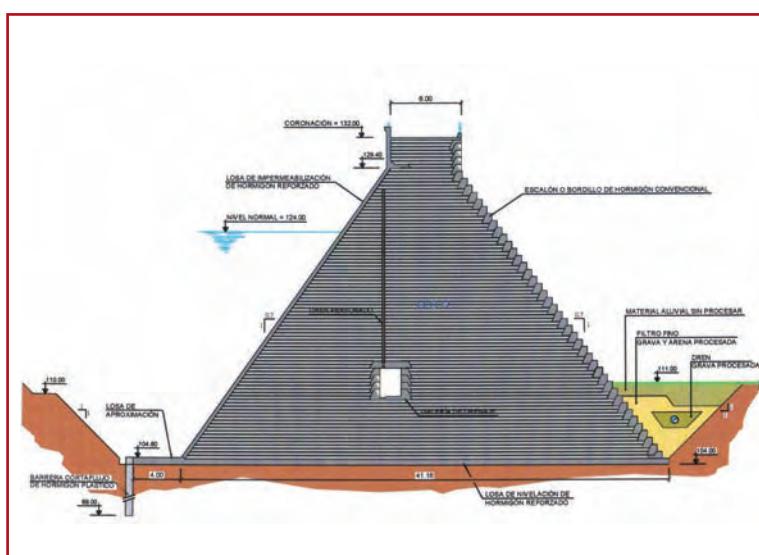
una longitud de coronación de 345 m, creando un embalse de 370 Hm³ (Fig 33).

La presa es de materiales sueltos y planta recta, con núcleo central de arcilla y espaldones de escollera procedente de excavaciones del aliviadero, situado en un collado independiente existente en la margen izquierda del embalse. Los taludes exteriores tienen pendientes 1,75H:1V el de aguas arriba y 1,4H:1V el de aguas abajo, habiéndose empleado en la construcción 640.000 m³ de arcilla y 1.960.000 m³ de escollera (FIG 34).

El aliviadero es de labio fijo, con una longitud de vertido de 75 m y canal de descarga de 1.130 m de longitud, con ancho variable, revestido en los primeros 150 m y excavado en roca en el resto, con una capacidad de 5.740 m³/s en la P.M.F.

El desagüe de fondo se realiza a través de un túnel revestido de 630 m de longitud y 18 m² de sección, controlado mediante dos válvulas bureau de 1,8 x 2,3 m.

La central hidroeléctrica está equipada con dos grupos Francis vertical, con una potencia instalada de 50 MW y una producción media anual de 140



GWH. Los caudales se conducen a la central a través de un túnel de 4,4 Km de longitud y 4,0/3,5 m de diámetro interior revestido de hormigón y blindado en los 750 m finales, con chimenea de equilibrio de 105 m de altura formada por dos tanques, uno inferior subterráneo de 84 m de altura y 8 m de diámetro, y otro superior exterior de 21,5 m de altura y 16 m de diámetro. La toma en el embalse se realiza mediante una estructura inclinada en cajón, de 85 m de altura y provista en su embocadura de reja y compuerta vagón de 3,14x4,00 m, disponiéndose aguas abajo el pozo de compuertas, de 103 m de altura y 6 m de diámetro provisto de compuerta vagón de 3,14x4,00 m.

El manejo del río durante las obras se realizó mediante una ataguía de 50 m de altura, englobada en la presa, y un túnel de 512 m de longitud y 50 m² de sección.

Los caudales turbinados en la central se recogen en el Contraembalse de Monción (Fig 35), presa mixta formada por un cuerpo central de hormigón de 270 m de longitud y dos diques laterales de materiales sueltos de 205 y 220 m de longitud. El cuerpo central es tipo FSHD, construido con hardfill o RCC de baja dosificación (7), con una altura de 28 m, paramentos inclinados 0,7H:1V y un volumen total de hormigón de 175.000 m³ (Fig 36). En el cuerpo de presa se aloja la obra de toma del canal principal de riego y una central hidroeléctrica equipada con dos grupos Francis horizontal, con 3,2 Mw de potencia instalada y 20 GWH de producción anual.

4.10. Presa de Santa Juana (Chile)

Situada sobre el río Huasco, en la Región de Atacama y 700 Km al Norte de Santiago, la presa de Santa Juana ha sido promovida por la Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas de Chile(12) y construida por FERROVIAL-AGROMAN (año 1995) creando un embalse de 160 millones de metros cúbicos para riego de 12.000 Ha (Fig 37).

La presa es tipo CFRD y planta recta, con una altura de 106 m y 390 m de longitud de coronación(21), estando formado el cuerpo de presa por gravas compactadas con taludes exteriores 1,5H:1V aguas arriba y 1,6H:1V aguas abajo, en cuya construcción se han empleado 2.700.000 m³ de gravas. La pantalla impermeable de hormigón armado aguas arriba tiene espesor variable según la ley $t =$

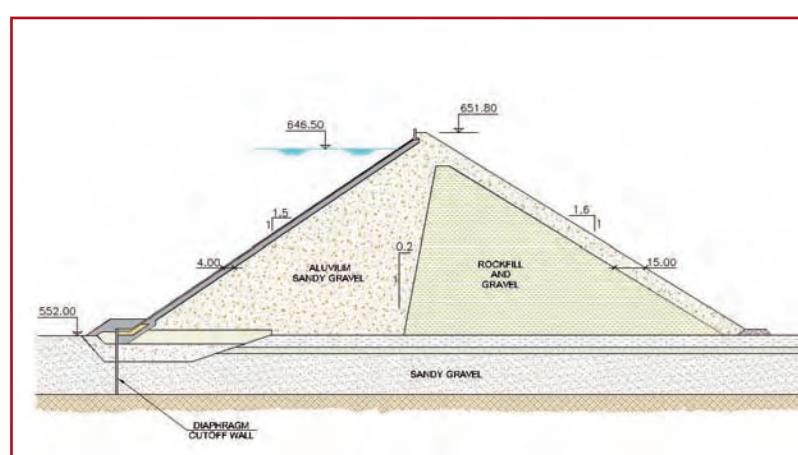


Fig 37. Presa de Santa Juana.

$0,30 + 0,002 \cdot H$ con juntas verticales cada 15 m y construida en dos fases, con 39.000 m² de superficie y 14.000 m³ de hormigón (Fig 38).

En el sitio de la presa, las laderas presentan fuertes pendientes, estando formadas por rocas volcánicas de alto módulo de deformación y escaso recubrimiento de suelos, mientras que el fondo del valle está recubierto por un aluvial de más de 30 m de espesor formado por gravas y arenas con lentes de materiales finos (8). Con objeto de

Fig 38. Sección transversal de la presa de Santa Juana.



evitar su excavación, el plinto se cimentó directamente sobre el potente aluvial de fondo del valle(9), diseñándose con estructura flexible capaz de absorber importantes movimientos diferenciales en situación de embalse y en situación sísmica. A estos efectos, el plinto, de 0,7 m de espesor y 6 m de longitud, incluye tres juntas: una en su unión con la pantalla, otra intermedia y una tercera en la unión con la cabeza de la pared moldeada de 35 m de profundidad y 80 cm de espesor que impermeabiliza el aluvial.

El aliviadero, dimensionado para un caudal máximo de 1.530 m³/s para T=10.000 años, es de vertido lateral y labio fijo de 55 m de longitud, con canal de descarga de 307 m de longitud de los que se han revestido de hormigón los primeros 62 m. La toma de riego y desagüe de fondo se realiza mediante 2 conductos Φ 1.200 mm, controlados mediante sendas válvulas de mariposa y Howell Bunker, y alojados en un túnel margen derecha, de 416 m de longitud y 25 m² de sección, utilizado para manejo del río durante la construcción. ♦

Referencias:

- 1. INSTITUTO DE LA INGENIERÍA DE ESPAÑA (1992). *Obras hidráulicas prehispánicas y coloniales en América*. Asociación de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid.
- 2. GONZÁLEZ TASCÓN, I. (1992). *Ingeniería española en Ultramar*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid.
- 3. CEHOPU (1993). *Obras Hidráulicas en América colonial*. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente CEDEX. Madrid.
- 4. CEHOPU (1988). *Antiguas obras hidráulicas en América*. Actas del Seminario México-1988. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.
- 5. DÍAZ MARTA, M. (1981). *La ingeniería colonial en el Nuevo Mundo*. Revista de Obras Públicas. Año 1981 695-699
- 6. DÍAZ MARTA, M. (1974). *La ingeniería colonial en el Nuevo Mundo. Alardes constructivos en Guanajuato*. Revista de Obras Públicas. Año 1974 495-500
- 7. CAPOTE, A., SÁENZ DE ORMIJANA, F., MOHEDANO, V. (2003). *Contraembalse de Monción: a hard fill dam constructed in the Dominican Republic*. Proceeding of the Fourth International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams, 417-420. Balkema.
- 8. NOGUERA, G., PINILLA, L., SAN MARTÍN, L. (2000). *CFRD constructed on deep alluvium*. J.
- Barry Cooke Volume Concrete Face Rockfill Dams. Beijing
- 9. RODRIGUEZ-ROA, F., ALVAREZ, L., VIDAL, L. (1993). *Presas de materiales sueltos con pantalla de hormigón cimentadas sobre suelos de origen fluvial*. Simposio sobre Geotecnia de presas de materiales sueltos. Sociedad Española de Mecánica del Suelo y Cimentaciones.
- 10. SAENZ DE ORMIJANA, F., CAPOTE, A., MOHEDANO, V. (2003). *Reconstruction of the Villarpanado Dam in the Dominican Republic using Roller Compacted Concrete*. Proceeding of the Fourth International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams, 187-191. Balkema.
- 11. MOHEDANO, V., SÁENZ DE ORMIJANA, F., CAPOTE, A., (2003). *Proyecto de Aprovechamiento múltiple del Río Mao en la República Dominicana*. Revista de Obras Públicas. Madrid.
- 12. ZAPATA, M., MÁRQUEZ, J.L. (1997). *El embalse de Santa Juana en Chile*. Cauce. Madrid.
- 13. ABADÍA F. (2001) *The works of Caruachi dam and hydroelectric power plant reach the construction second phase*. Hydropower and Dams
- 14. DOLZ, J. SANCHEZ JUNÍ, M. NINYEROLA, D. POMARES, J. EGUSQUIZA, E. QUINTERO, F. ABADÍA, (2002). *Caruachi Dam. Study of the hydraulic behaviour of the diversion conduits*. Hydropower and Dams
- 15. DOLZ, J. SANCHEZ JUNÍ, M. QUINTERO, F. ABADÍA, F (2002). *Presa y central de Caruachi*. Diseño y ensayos para las maniobras de desvío y cierre. Ponencia VII Jornadas Españolas de presas en Zaragoza. (Comité Nacional Español de Grandes Presas)
- 16. VEGA CARRASCO, F. ABADÍA F. (2002) *Elementos Hidromecánicos de la presa y central de Caruachi (Venezuela)*. Ponencia en el Primer Congreso Internacional de Conservación y Rehabilitación de Presas. Madrid.
- 17. BERKANI, A. IBAÑEZ DE ALDECOA, R. DUNSTAN, M (2001). *The construction of Beni Haroun Dam*. Hydropower & Dams.
- 18. COMITÉ ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS (1988). *Realizaciones españolas en el extranjero*.
- 19. ABADÍA ANADÓN F. SARABIA CENTENO J.L. CRUZ LARREGLA M. (2001). *Presa y Central de Caruachi. Un emblemático proyecto hidroeléctrico en Venezuela*. Revista de Obras Públicas. Madrid.
- 20. *Presa de Pangue* (1999). Revista de Obras Públicas. Madrid.
- 21. *Presa de Santa Juana* (1997). Revista de Obras Públicas. Madrid.
- 22. MARSELLÁ ANDÍA J.A. ORTEGA SANTOS F. (1996). *La construcción de la presa de Pangue con hormigón compactado con rodillo*.
- 23. ABADÍA ANADÓN, F. MORIM DE OLIVEIRA, J. 2001. *Presa y central de Alqueva en Portugal*. Revista de Obras Públicas. Madrid.