

RECRECIMIENTO DE PRESAS EXISTENTES Y METODOS PARA LA CONSTRUCCION DE PRESAS POR ETAPAS SUCESIVAS

Por JOSE TORAN PELAEZ,
Ingeniero de Caminos.

Ponencia general para el Tema núm. 20 del IV Congreso Internacional
de Grandes Presas. Nueva York 1958.

I-T. INTRODUCCION

"Por eso se llamó Babel, porque allí confundió Yave, la lengua de la tierra toda, y de allí los dispersó por la haz de toda la tierra."

Génesis II, 9.

La naturaleza es hostil al hombre, y éste ha de arrancarle su *habitat*. El hombre quiere, además de vivir, asegurar su vida; por ello trata de dominar el azar de su circunstancia. El técnico es el encargado de la tarea; dispone como instrumento de sus ideas; es su ingenio el que ha de dirigir el esfuerzo común para "re-crear" una naturaleza en su contorno que sea propicia a la sociedad.

Calentarse, beber agua que se encuentra al paso son actos naturales accesibles al animal. El técnico consigue hacer fuego y guardar el agua en previsión de su necesidad.

Cuanto menores son las posibilidades naturales, mayor ha de ser el esfuerzo del hombre para satisfacer sus necesidades. La necesidad es el origen de la acción técnica.

España es un país muy pobre en agua. A la escasez general se une el régimen torrencial de sus ríos que dificulta la utilización. A esta razón hay que atribuir el pionerismo español en la construcción de presas. Una vez más, al iniciar un nuevo capítulo de la técnica de los constructores de grandes presas, encontramos en España el ejemplo precursor que aparece en esta ocasión con inusitada antelación (*). Se

(*) Otros casos de pionerismo español en la construcción de presas:

a) Presas de gravedad Proserpina, Cornalbo (época romana, bajo Trajano) [2]; Alicante (Tibi), 41 m.; 1579-1594 [1], [2], [26], [27].

b) Presas bóveda Almansa, 14 m., 1384 [1], [2], [27]. Relléu, 31 m., 1500 [2]; Elche, 23 m., 1632 [1], [2], [27]; Arguis, S., XVII.

c) Presas de contrafuertes, Albuera Feria, 22 m., 1747. Contrafuertes con cabeza, Burgomillodo, 26 m., 1928.

trata de la presa de Almansa; se construyó en 1384, con una altura de 14 m., y se recreció 7 m. en 1586; es de tipo bóveda gruesa y todavía se encuentra en servicio [E. Becerril, R-13]. Han pasado varios siglos desde el recrecimiento de la presa de Almansa y el mismo afán que allí hubo ha cristalizado en obras colosales que son orgullo de una civilización. La presa Ross (U. S. A.), y sobre todo la Grande Dixence (Suiza), la estructura más alta que el hombre haya construido, son muestras de los objetivos alcanzables mediante la técnica del recrecimiento.

Quince países han contestado al llamamiento con un total de veintinueve informes, todos interesantes, y algunos muy importantes:

Alemania: (1) H. Press.

Argelia: (1) G. Safont y J. Salva.

Egipto: (1) H. Zaky.

España: (3) E. Becerril; C. Conradi; A. Presmanes.

Estados Unidos: (5) C. J. Hoffmann; C. R. Scott, E. R. Dexter y F. A. Houck; S. W. Stewart; J. B. Cocke y J. E. Schumann.

Francia: (3) J. Bellier; M. Terrasa y H. Vieu, H. Chamayou.

Gran Bretaña: (2) J. M. Linton Bogle; P. I. Parker.

India: (1) K. L. Rao y S. K. Dhawan.

Italia: (3) G. Oberti; M. Scalabrini; C. Semenza.

Japón: (1) M. Kondo y M. Kakitani.

Noruega: (1) F. Gröner.

Portugal: (1) A. C. Xerez y H. G. Pinto.

d) Presas de más de 100 m. Camarasa, 103 m., [3], [27], 1920; Tremp, 104 m., 1920 [2].

e) Presas con central incluida bajo el aliviadero. Gaitanejo (1920).

f) Y también..., desgraciadamente, la primera gran catástrofe ocasionada por ruptura de una presa. El 30 de abril de 1802 se perforó la presa de Puentes, maravilla en su época. Tenía 50 m. de altura; ocasionó 608 víctimas [1], [2].

Rumania: (3) C. Mateescu; R. Priscu, A. Vasiliu y S. Caciulescu; R. Priscu y M. Constantinescu.

U.R.S.S.: (2) A. Z. Bassevitch; L. Bossovsky.

Yugoslavia: (1) D. Lazarevic.

La primera sorpresa que su lectura depara es la del gran número de recrecimientos que ya se han realizado. Por distintas razones, y con diferentes técnicas, durante las últimas décadas especialmente, se han multiplicado los recrecimientos. Hoy se registran ya, como realizaciones, los procedimientos más ingeniosos y diversos que cabe imaginar.

Por falta de datos precisos no ha sido posible completar el registro de presas recrecidas, que, a simple título de intento informativo, se incluye en el cuadro B del capítulo siguiente. Pese a ello, este cuadro tiene ya más de cien referencias.

El llegar a conclusiones generales de riguroso orden científico sobre tema en el que ya se ha volcado el ingenio espontáneo de incontables técnicos de alta calificación, es labor muy difícil que, desde luego, supera mis fuerzas. La responsabilidad de una ponencia general sobre tema tan trascendente como el recrecimiento de presas recae sobre mí por razón de honroso reconocimiento por parte de la C.I.G.P. de un decanato histórico en la materia, que en todo caso corresponde a la Ingeniería española. Por otra parte, la delegación recibida de colegas más autorizados no hace sino añadir nueva carga de responsabilidad sobre mis hombros. Resulta de todo ello un "estado de pretensión espiritual" que sólo con una sobrecarga de buena voluntad puede equilibrarse.

Válgame estas reservas para justificar la labor desarrollada sobre un mero principio de ordenación. He intentado, incluso, una clasificación inductiva de esos magníficos seres híbridos y, en definitiva, monstruosos, que son las presas recrecidas. Para ello he seguido el camino más fácil para pasar revista a todos; su ordenación morfológica y funcional. En algún momento se me planteó el problema del neologismo necesario. No he dudado en introducirlo cuando he creído que podría aclarar la clasificación. Que no haya al menos confusión en este nuevo intento de los hombres de conquistar la altura. Mis sueños, bastantes noches, me llevaron a la Torre de Babel.

I-2. ANTECEDENTES HISTORICOS

21. Recrecimientos.

Anteriores al siglo XX. — Además de la presa de Almansa, ya citada, ha de participar de honores, por venerabilidad histórica, la curiosa presa-bóveda de Pontalto (Italia) [1]. Se construyó en 1662, con una altura de 5 m., y se recrece por primera vez en 1752, añadiéndole 13 m. más. En proporción, este recrecimiento 2,5 H es probablemente el *record* registrado. Posteriormente se ha reiterado su recrecimiento hasta los 38 m. que tiene en la actualidad. A lo largo del texto habremos de volver sobre ella.

Se completan los ejemplos anteriores a este siglo con la presa de Paramatta (Australia) [2]. Se construyó en 1858 en mampostería y hasta una altura de 12,5 m. Cuarenta años después se emplea ya el hormigón para recrecerla 3,3 m., 0,265 H.

1900-1930. — Es en este siglo cuando se inician los recrecimientos importantes. El primero a citar, por razón cronológica y por la magnitud de la obra, de grandes dificultades técnicas en su tiempo, es el de la presa de Assouan (Egipto) [H. Zaky R-20], que se acomete para conseguir 7 m. más de altura de embalse mediante la reducción del resguardo y el recrecimiento de 5 m. de la estructura. La altura primitiva era de 30 m. En consecuencia, 0,17 H.

Casi simultáneamente, en 1913, se recrece por primera vez la presa de Ringedal (Noruega) [3]. La adición en altura se acompaña de la construcción en el paramento de aguas arriba de una máscara de Levy. 11 + 4 m.; 36 por 100. También a esta época (1914) corresponde el primer recrecimiento de la presa de Tansa, en Bombay (India) [K. L. Rao, R-52].

En 1916 surge ya un recrecimiento en presa de altura importante; es el primero de los de la presa de Lake Spaulding (U. S. A.) [4]. Se trata de una presa bóveda tipo ángulo constante, proyectada con vista a recrecimientos sucesivos, cuya altura inicial de 68,6 metros se eleva 10,7 m.; 15 por 100.

Entre 1920 y 1930 registramos los recrecimientos de:

Arguis (España) [Becerril, R-13], 22,45 + 4,85 metros; 12,5 por 100, modificación total del perfil de gravedad, y Cienfuegos (España) [3], 10,5 + 10 metros; 100 por 100. Esta presa se recreció después en otros 10 m., manteniendo siempre su perfil de gravedad.

En 1923 se recrece la presa de Oklahoma (U.S.A.) [S. W. Stewart, R.-126]; 16 + 4,6 m.; 20 por 100.

1930 en adelante. — Se sitúa en 1930 la iniciación de los recrecimientos sistemáticos. El segundo recrecimiento de Assouan (Egipto) [H. Zaky, R-20] se termina en 1933; 35 + 15 m.; 43 por 100.

Introducción del sistema de cables tesos. — Alrededor de 1930, A. Coyne, rematando un proceso intelectual, con raíces en las antiguas experiencias sobre muros de muelle efectuados por Considère, introduce el empleo de cables tesos en el campo de la construcción de presas; y con brillante simplicidad resuelve el refuerzo y un pequeño recrecimiento de la famosa presa de Cheurfas (Argelia) [6], [7].

Esto ocurre algún año antes de que Freyssinet consagrara definitivamente con la obra de la estación marítima de Brest su técnica genial del hormigón pretensado. Parece justo recoger y aclarar este detalle que precisamente Freyssinet refiere [5] en honor al mérito de nuestro gran Coyne (nosotros; todos aquellos con vocación por las grandes presas). En cualquier caso, "Hommage au génie français".

El propio Freyssinet desarrolla las enormes posi-

bilidades del pretensado en 1938 en el recrecimiento de la presa de Beni-Bahdel (Argelia) [5], [8].

En 1939 se efectúa el recrecimiento de la presa de Marshall Ford, en Texas (U. S. A.) [9]. Se trata de un recrecimiento importante en dimensión 60 + 25 metros; 42 por 100. La elevación se efectúa mediante adición en el paramento de aguas arriba.

Sobre la experiencia derivada de estos antecedentes, se multiplican en los últimos años los casos de recrecimiento, entre los que también son muchas las realizaciones, con ayuda de los métodos de pretensado.

Hoy se puede decir que la experiencia alcanza el recrecimiento de todos los tipos de presa clásicos. Los resultados obtenidos empiezan ya a ser suficientes para deducir conclusiones generales. Sin embargo, el problema es tan sugestivo, que es evidente que en plazo inmediato veremos madurar tendencias que hoy se insinúan, y ponerse en juego otros sistemas que, si bien no consistirán en nada más que combinar ideas básicas ya conocidas, revolucionarán la visión que hoy tenemos del problema y las técnicas para su solución.

22. Recrecimientos múltiples.

Como ya hemos señalado, en algún caso de los recogidos en párrafos anteriores, en muchas ocasiones el recrecimiento de una presa no ha sido único, sino que la presión de la demanda obligó a repetir la operación, casi siempre imprevista en la ocasión anterior. Vuelve a surgir aquí, como ejemplo *record*, el de la simpática presita de Pontalto (Italia), que registra en su historia cuatro recrecimientos posteriores a su construcción, en 1662, ya citada anteriormente. Estos recrecimientos, además del de 1752, se efectuaron en 1825, 1850 y 1887; la fórmula final de Pontalto (Italia) [1] es 5 + 13 + 7 + 9 + 4 m. Conservó siempre el primitivo tipo estructural; anillo grueso.

En España se registra el caso de Irabia [Becerril, R-13], con tres recrecimientos y uno en proyecto según la fórmula 15 + 12 + 7 + 6 + (11) m.

La presa de Tansa [K. L. Rao, R-52], en la India, construída en 1890, ha tenido, además del recrecimiento ya citado de 1914, otros dos en 1925 y 1948 y, por último, en 1951 fué reforzada por el sistema de cables tesos.

Por sus peculiaridades técnicas, que más adelante se describirán, hay que citar, como caso clásico de re-

crecimiento múltiple, el de la presa de Assouan con la fórmula 30 + 5 + 15 + (5) m. El último recrecimiento en proyecto será abandonado al construirse la magna obra de Sadd-el-Aali.

Por último, recojamos los casos ya reseñados de presas con dos recrecimientos: de Ringedal (Noruega), 11 + 4 + 19 = 34 m. (1913) [14], [18], y Lake Spaulding, 68,6 + 10,7 + 4,6 = 83,90 m.

23. Construcción por etapas.

La construcción por etapas es la consecuencia lógica del perfeccionamiento de la técnica del recrecimiento.

Hemos de distinguir el recrecimiento múltiple de la construcción por etapas. La diferencia está en que aquéllos surgen sin previsión, o al menos sin medidas precautorias en la construcción anterior.

No se dice rotundamente en la información de que disponemos, aunque parece deducirse del estudio de su sección, que la presa ya citada de Lake Spaulding fuera proyectada inicialmente para su construcción por etapas. De no ser ésta, creemos que corresponde a la presa de O'Shaughnessy [10] el título de ser la primera presa de gran importancia en que se aplica el procedimiento. Se construyó en 1923 con un perfil de anillo grueso y altura de 105,1 m., y se recreció 26,1 m. en 1938 hasta su altura definitiva de 131,2 m.

También se construye en 1923 la presa Bristol [2] [S. W. Stewart, R-126], prevista para su ulterior recrecimiento, 17 + 9. En la presa Bristol tiene gran importancia el aliviadero, que se recreció con la instalación de compuertas móviles.

Es caso clásico el de la presa bóveda de Ross, construída en 1937, con una altura de 93 m. y preparada para una segunda etapa que, realizada en 1943, la incrementó en 56,5 m. Visto el buen resultado que dió este recrecimiento, se acometió otro en 1948 de 35,1 m., hasta su altura actual de 164,6 m., y todavía se considera un eventual recrecimiento de 40,4 m. más.

En la actualidad, la presa más alta del mundo se construye por etapas. La presa de Grande Dixence (Suiza) [C.-34. V.C.I.G.P., París] se prevé responderá a la fórmula 182 + 42 + 30 + 30 = 284 m.

El procedimiento de construcción por etapas se ha generalizado, y así se construyen o se proyectan las grandes presas-bóveda de Cancano (Italia), 173 metros; dos etapas, y Kurobe (Japón), 188 m., tres etapas.

PAIS	INFORME N°	AUTOR	APORTACION A LA TEORIA GENERAL DEL RECRCIMIENTO	MONOGRAFIAS	RECRCIMIENTOS DESCRITOS	CITAS Y REFERENCIAS
ALBANIA	3	H. PRESS			SCHWAMMENAUER; Presa de tierra recrecida con escollera.	
ALGERIA	101	O. SAPOST J. SALVA		MERPROUCH; Presa bóveda construída con elementos prefabricados postensados.		BHRI-BAHDEL.
EGIPTO	20	H. ZAKY		ASSUAN; Historia de sus recrecimientos. Oaseo clásicos.		
ESPAÑA	15	E. REGERIL	La junta en el recrecimiento de una presa de gravedad. Esfuerzos tangenciales y deslitemiento efectivo. Situación favorable de las juntas. Altura conveniente para el recrecimiento.			PROSERPINA, ALMANA, KICHE, ARBOIS, LAS VENCIAS, PUNTES VIEJAS, BURDUA LLO, IZABIA, SOLARQUE, BACHPLASA, BURGOMILLODO, CAMPOFRIO, SALTAS, LOS PRARES, ASSUAN, HABRA, DIXENOR.
	47	O. COMLADI		TORRE DEL AGUILA; Presa de tierra recrecida con escollera.		
	137	A. PRESNARES		DOIRAS; Presa de gravedad recrecida con un macizo sobre la coronación.		
ESTADOS UNIDOS	91	O.J. HOPPMAN		ALAMO GORDO y PINEVIEW; Presas de tierra. Problema en el aliviadero.		
	92	C.R. SCOTT		MOFTOMERY; Presa de escollera con pantalla de impermeabilización de hormigón bituminoso.		
	121	E.R. DEKTER P.A. HOGUE	Consideraciones aplicables a todo recrecimiento. Numerosas reseñas bibliográficas.			LAOS, ROSS, STREMBRAS, CHARLOTE LAKE, BURRINJUCK, SENLAR, ASSUAN, O'SHAUGHNESSY, MUNDARINO, MARSHALL, FORD, LAKE MERTZ, SANTA BARBARA.
	126	S.W. STEWART	Recrecimiento de presas del tipo AMBURSHE. Empleo de compuertas móviles.			DANVILLE, BOYDS CORNERS, POSSUM KING DAM, BRISTOL, SHANVILLE, UTICA, BOY SEN, NARPA, OKLAHOMA, RODRIGUEZ, WESLEY BEALE, OLARK BRACE, ESCARA, CADILLAC, QUAYABAL, MOTT UNION, GOANO, MATHIS, JORDAN.
	127	J.B. COCKER J.E. SCHUMAN		BALGH; Presa bóveda recrecida. Estudio técnico. Empleo del "Prepark".		
FRANCIA	48	J. BELLIER			RASISS, JOIX, TANSA, STREMBRAS, GAFARSA.	
	49	M. TERRASA H. VINU		MONT LARRON; Presa bóveda recrecida mediante la construcción de otras dos laterales.		
	61	H. CHAMAYOU		COULE; Presa de gravedad recrecida.		
GUAYATEÑA	2	J.M. LINTON DOOLE		AVON; Presa arco gravedad recrecida mediante el empleo de tirantes tipo "COYNE".		
	44	F.I. PARKER	Empleo de tirantes metálicos en la construcción y el recrecimiento de presas.	Descripción muy detallada de la técnica "Metodo COYNE" en su aplicación a las presas de TANSA, HENLEY, STREMBRAS, CHEURPAS.		ALLT-NA LAIRION.

PAIS	INFORME N°	AUTOR	APORTACION A LA TEORIA GENERAL DEL RECRCIMIENTO	MONOGRAFIAS	RECRCIMIENTOS DESCRITOS	CITAS Y REFERENCIAS
INDIA	52	K.L. RAO S.K. DILWAN			BHATGAR, TANSA, JALAPUT, THOKRWARDI, BHIRAWTA, WALMIAN, KOYNA, HIRAKUD.	LLOID, NAGARJUNNAGAR.
ITALIA	14	G. OBERTI	Ensayos en laboratorio de la construcción por etapas de presas bóvedas.	Estudio en modelo reducido de las presas de PHERA, CANICANO, KUROBE, TOULES.		LIMBRRO, ROSS, CANICANO.
	38	M. SOALABRINI	Estudio analítico de bóvedas concéntricas. Conveniencia técnica de la estructura diferenciada.	PHERRA; Presa bóveda construída por etapas. Estudio del monolitismo.		MAR, AMBIESTA, VAIONT, KUROBE, ROSS.
	86	C. SEMENZA	Construcción por etapas de presas bóvedas. Estudio general. Dispositivos en el paramento para asegurar el monolitismo. La "presa cebolla".			
JAPON	23	M. KONDO	Tensiones diversas a considerar y analizar en el estudio elástico de un recrecimiento y determinación del talud de aguas abajo de una presa de gravedad bajo carga hidrostática parcial.	Descripción minuciosa del recrecimiento de la presa ODMARI.		LAOS, MARSHALL FORD, CHEURPAS, BYVER, MULLARDPOO, O'SHAUGHNESSY, ASSUAN, GRANDE DIXENOR, VERSE.
BRUSELA	50	F. GRÖNER		MÖSVANN; Presa de gravedad recrecida por el paramento de aguas arriba.		
PORTUGAL	40	A.C. XEREZ H.G. PINTO		CHICAMBA; Presa bóveda construída por etapas.		
RUMANIA	32	C. MATRESCU	Tipología general de recrecimientos posibles para diferentes presas. Estudio detallado de los casos de presas bóveda y de contrafuertes.			GRANDE DIXENOR, BURBINA, HABRA, CHEURPAS, SABBIONE, PURTA NEGRA, LA GIROTTI, ROSS.
	33	R. PRISCU A. VASILIU S. CACIU, MSCU		NEGOVANU; Presa de gravedad proyectada para ser construída por etapas. Estudio cooperativo de los diferentes tipos.		
	34	R. PRISCU M. CONSTANTINESCU	Estudio del recrecimiento y de la construcción por etapas de presas de gravedad con cables tensores. El efecto de la fluencia del hormigón.			
U. R. S. S.	112	A.Z. BASSVITH	Estudio analítico del anclaje con cables. Redistribución de los esfuerzos elásticos mediante juntas con cierre diferido. Introducción al método general del Postmonolitismo.			O'SHAUGHNESSY, ASSUAN, RIMO, MULLAR DOCH, STREMBRAS, LA GIROTTI, AVON, BIR-METTIE.
	123	L. ROSSOVSKY		MIRQUETZHAOURSKE; Presa de tierra construída y recrecida con colocación hidráulica de las tierras.		
YUGOSLAVIA	90	D. LAZARVIC	Diferentes procedimientos de recrecimiento para presa arco y de gravedad aligerados. Empleo de cables tensores. Tipo de juntas que permiten movimientos entre las partes en contacto.			

NOMBRE	PAIS	RIO	TIPO ESTRUCTURAL	UTILIZACION		EPOCA APROX.		RECRECIMIENTO				RAZONES DEL RECRECIMIENTO							DEL RECRECIMIENTO						TIPOLOGIA						OTRAS
				RECRECIMIENTO	CONSTRUCCION	CONSTRUCCION	RECRECIMIENTO	RECTIFICACION INTERES	REFUERZO	ATERRAMIENTO	ALIVIADERO	MAYOR DEMANDA	CONSTRUCCION POR ETAPAS	h (m)	Δh (m)	W (Hm³)	Δw (Hm³)	C (Dm³)	Δc (Dm³)	RECRECIMIENTO DIRECTO	RECTIFICACION POR ANCLAJE PERI	ESTRUCTURA DIFERENCIAL	SIMONOLITISMO	POSTALITISMO	IDIFORMISMO	METAMORFISMO					
ALAMO GORDO	ESTADOS UNIDOS	PECCS	E-R	IR	1384	1586					43	5	160		1460	260											91	/9/DAVIS PL54/E.M.R., N°71933			
ALMANSA	ESPAÑA	BARRANCO GRANDE	G(M)	IR							14	7														13					
ARMORE	ESTADOS UNIDOS		B	WS							14	3														126					
ARGUIS	ESPAÑA	ISUELA	G	IR-P	1902	1926					24	3														13					
ASSOUAN	EGIPTO	NILO	G(M)	IR-P	1912	1933					30	5	1000	1500												20					
					1933						15	5	5000													20					
AVON	GRAN BRETAÑA	AVON	G	WS	1923	1930					29	4	1.4	0.7												2					
AYERS ISLAND	ESTADOS UNIDOS		B								15	9																			
BALCH	ESTADOS UNIDOS	KINGS	A	P	1927	1957					29	13														127					
BERBOW	ESTADOS UNIDOS		B	WS-P							7	3														126					
BENI BAHDEL	ALGERIA	TAFNA	MA		1942						57	7	42	31												32	L'HOUILLE BLANCHE, 3-IV-1954				
BERNINA	SUIZA		G		1890						27	18	150	2.2												52	/23/ CONFESSINI, p.392				
BHATGAR	INDIA	TAJO	G(M)	IR							23	13														13					
BOLARQUE	ESPAÑA		G	P							27	18														13					
BOYDS CORNERS	ESTADOS UNIDOS	BIG HORN	G(M)	WS	1907						18	18														126					
BOYSEN	ESTADOS UNIDOS	PENIGEWASSET	B	P	1924	1932					12	5														126					
BRISTOL	ESTADOS UNIDOS	DURATON	B	P	1924						17	9														126					
BURGOMILLODO	ESPAÑA	ALBERCHE	B	P	1913						26	9														13					
BURGULLO	ESPAÑA		G	P							26	9														13					
CADILLAL	ARGENTINA		B	IR	1940						60	15														126	/2/GOMEZ NAVARRO, p.1170				
CALLA	ESPAÑA	CALLA	G	P	1927						53	6														13					
CANPOPRIO	ESPAÑA		G	P							26	6														14-38					
CANGANO	ITALIA		A	P	1956						137	36														15					
CHERUPAS	AFRICA ORIENTAL	MEKERRA	G	IR	1891	1930					40	55	400	1600												40	/2/GOMEZ NAVARRO, p.1173				
CHICAMBA	AFRICA ORIENTAL	REVUE	A	P							55	20	80													15					
CHORRO	ESPAÑA	TURON	G	P	1921	1948					80	2														40	/3/KELEN, p.211				
CIENFUENS	ESPAÑA	FLUMEN	G(M)	IR							11	10														126					
COAMO	PUERTO RICO		B	IR							17	1														126					
DARVILLE	ESTADOS UNIDOS	DIX	G(M)	WS	1904						5	1														126					
DOIRAS	ESPAÑA	NAVIA	G	P							94	4	102	16												137					
ELIZABETH	ESTADOS UNIDOS		B	WS							4	2														126	/3/KELEN, p.213				
ENNEPE	ALEMANIA	ESCABA	B	IR	1904						44	10	2.3	10.3												126					
ESCABA	ARGENTINA		B	IR	1940						71	5	126	53												126					
FERRA	ITALIA		A-G	P							73	65														14-38					
GAFARSA	ETIOPIA		G(M)	P	1910						10	6														48					
GIROFFE (IA)	FRANCIA	VAL DES DIX	MA	P	1948						48	11	53	6												32	IE GENIE CIVIL, X-1948				
GRANDE DIXENCE	SUIZA		G	P							182	42	100	94	1850	1460															
			G	P							30	30	91	1380																	
			G	P							30	30	115	1200																	
GUADALMELLATO	ESPAÑA	GUADALMELLATO	G	IR	1911	1952					56	8	110	52	225	72										126	C-34, 5º. C.I.G.P.				
GUAYABAL	PUERTO RICO	JACAGUAS	B	IR							37	5														13-32	/2/ANAV. p.1176, 4º C.I.G.P., R-49				
HABRA	ALGERIA	FERGoug	G	G	1873						35															44					
HAMIZ	ALGERIA		G	G	1885	1935					41																				
HENLEY	AFRICA DEL SUR		G	G																											

11. Decisión obligada.

Rara vez se decide recrecer una presa por una razón única entre las muchas que pueden justificar esta operación. Es más corriente, y sobre todo así ha ocurrido en ocasiones precedentes, que el recrecimiento surja de un conjunto de motivos. Entre ellos puede no ser imperativo el aumento de altura, al cual entonces, se llega como consecuencia. Aislemos en primera instancia la rectificación de errores de proyecto que con cierta frecuencia se acusa, implícitamente, en el archivo de recrecimientos.

Refuerzos. — Las insuficiencias de proyecto que consideramos son las que afectan fundamentalmente al perfil de la estructura o a las hipótesis de sobrecargas. Cuando la realidad excede las últimas, se compromete la estabilidad de la obra. Un perfil escaso se puede corregir evidentemente con adición de peso (esto es general en casi todos los tipos de presa, pero muy en particular en las presas de gravedad, que son estadísticamente las más numerosas entre las recrecidas). Si se ha de añadir peso a la presa, el recrecimiento resulta fácilmente como subproducto directo.

Las presas de Cheurfas, en Argelia, y Tansa y Shirawta (R.-52), en la India (subpresión superior a la prevista), pueden servir como ejemplos.

Reparación. — Otras veces no son los errores de concepto, sino los de construcción, los que mueven a la reparación de la presa. El más frecuente es la mala calidad de las fábricas, sobre todo en presas antiguas de mampostería: Ringedal (Noruega), Tansa (India), o en presas relativamente modernas, en las que no se tomaron suficientes precauciones para el ataque de aguas de pH reducido: Mósvan (Noruega).

Revisión de hipótesis. — La insuficiencia de datos hidrológicos en el proyecto original, corregida ulteriormente por observación estadística, también conduce a la sobreelevación, sin que esto pueda atribuirse a un error de proyecto y sí a una rectificación de hipótesis. En presas destinadas al control de crecidas ha sido frecuente la sobreelevación persiguiendo dos fines, a veces simultáneos:

a) El incremento de la capacidad de embalse para la mejor laminación de las puntas de riada, y

Aliviadero. — b) El dominio, con el aumento del nivel de agua, de mayor longitud de umbral en el propio vertedero o en otro nuevo en un collado limítrofe del vaso Oklahoma (R.-126), Alamo Gordo (R.-91).

Un caso curioso que no resistimos a la tentación de citar, pues se trata de un ejemplo de rectificación de hipótesis, y además de "decrecimiento", es el de la presa de Mulholland (U.S.A.), que hubo de reducirse funcionalmente al descender el aliviadero y reforzarse con un espaldón de tierra aguas abajo, pese a la opinión de todos los expertos consultados, que

consideraron innecesaria la operación, por la simple razón de que la población del valle, aguas abajo de la presa, en psicosis de miedo colectivo, presionó a las autoridades hasta lograr las modificaciones citadas.

Aterramiento. — Las presas también pueden perder su utilidad sin quebranto de su estructura. Así ocurre cuando los aterramientos colmatan o reducen en forma substantiva la capacidad del embalse. Vuelve otra vez como ejemplo nuestra vieja amiga la presa de Pontalto, que a lo largo de los siglos ha ido perdiendo sucesivas veces su utilidad como defensa de la ciudad de Trento, amenazado por las riadas a causa de los grandes acarreos del río Fersina, hasta ser al fin relevada de su función por una nueva presa. También por aterramiento se inutilizó el embalse y hubo de recrecerse la presa de Hamiz (Argelia) [R.-49, IV C.I.G.P.]. Asimismo, en la presa de Guayabal (Puerto Rico), construída en 1911, cuando en 1942 se decidió su recrecimiento, llegaron los aterramientos a ocupar el 42 por 100 del volumen de embalse.

Los aterramientos, especie de enfermedad fisiográfica de los vasos, siguen siendo el gran enemigo de la utilidad de los embalses para almacenar agua. Su solución mediante grandes compuertas inferiores — presas de Mera (Italia) y Vah (Checoslovaquia) —, alterará probablemente el concepto que tenemos de la estructura de presas. El dragado de embalses [R.-49, IV C.I.G.P.] y otros sistemas se han ensayado con éxito variado. El problema del aterramiento y sus soluciones fué objeto del tema núm. 14, discutido en el IV C.I.G.P. Nada importante ha modificado las conclusiones que allí se establecieron [Drouhin, RG.-14, IV C.I.G.P.]. Muchos embalses morirán, a efectos prácticos, por aterramiento y sus presas habrán de recrecerse.

Mayor demanda. — No se puede eliminar, entre las decisiones forzadas, la más importante para el recrecimiento, que es el aumento de la demanda, coincidente con la inexistencia de sitio adecuado para construir otra presa. Sin embargo, el no plantearse esta decisión con carácter imperativo, más que ocasionalmente, nos mueve a considerarlo en artículos siguientes.

12. Decisión opcional.

Los dos elementos que, adjetivos a la existencia del agua se requieren para su utilización son: volumen W , para almacenarla, y altura H , para producir energía. Ambos, por ser funciones geográficas, tienen forzosa limitación. Como quiera que sea el número de escalones en que se fraccione para su aprovechamiento el curso de una corriente, la suma no podrá superar a la diferencia de niveles entre el nacimiento y el mar.

Técnicas modernas (inyecciones, pretensado, etc.), permiten la habilitación hidráulica de suelos y consi-

güen las condiciones de resistencia del cimientó requeridas por la presa. Con ellas se amplía el número de valles aptos para construcción de embalses y, por consiguiente, el W total disponible para la humanidad. El límite de W resulta así más impreciso que el límite de H , aunque indudablemente existe a efectos prácticos.

La demanda de W es y será permanente. Pero W no es sólo función estricta de la regulación del caudal afluente; W es también función de la demanda, y en ésta, el ciclo de irregularidad (basada en la vida del hombre y en su solicitud de agua en cualquier forma), resulta diario o a lo más estacional. La regulación total no es lograr un caudal constante de una aportación natural variable, sino alcanzar un caudal que se amolde a la demanda. De aquí W necesario se deduce de dos términos:

a) Uno constante, valor asintótico al que tiende la regulación hiperanual del caudal disponible afluente; función de variables naturales fundamentalmente climatológicas.

b) Otro, función de las características del consumo que requiere un caudal, que aun constante en su valor medio, es solicitado en régimen variable.

Para el ciclo de variación del consumo, la regulación anual, a lo más, es suficiente, pero, sin embargo, puede concentrarse la demanda en puntas cortísimas. En el caso extremo en que no se diera conjugación posible entre la regulación del caudal afluente y del caudal utilizado, $W = W_1 + W_2$. W_1 hemos visto tiene un límite. W_2 no lo tiene, pues crece con la humanidad y con sus necesidades primarias de beber y comer (regar), y crecerá también aunque derivemos a la energía nuclear, ya que siempre resultará oneroso el empleo intermitente de centrales térmicas. (Las puntas de energía habrán de satisfacerse hidráulicamente [19].)

La necesidad de W será mayor que las posibilidades topográficas H y W , las dos condiciones que se requieren del agua están limitadas y como consecuencias obvias resultan:

1.ª La necesidad de aprovechamiento exhaustivo de los recursos restantes; y

2.ª La revisión de los aprovechamientos que ya se efectuaron.

La técnica ha de caminar indefectiblemente hacia los dos puntos anteriores. Hoy por hoy, sin la sujeción a un plan de economía absoluta que no tenemos noticia exista en ningún país, es raro el caso en que el recrecimiento no pueda compararse *a priori* con la construcción de una nueva presa. Cabe, por consiguiente, una opción que habrá de decidirse por otras razones fundamentalmente financieras, como veremos en el capítulo siguiente:

Mejor rendimiento. — La altura de una presa y la capacidad de un embalse son dimensiones geométricas absolutas. Sin embargo, la altura y el volumen utilizables no lo son, pues dependen del agua alma-

cenada. Una disposición conveniente puede repercutir en el rendimiento de la explotación de la obra.

La utilización para energía de una presa convencional pierde la diferencia de altura entre el nivel máximo y el nivel real, o sea, entre la altura del tramo del río ocupado y la del agua en el embalse en cada momento. En los aprovechamientos en serie se puede evitar esta pérdida en el segundo escalón y siguientes, recreciendo la presa y haciendo trabajar anegada la central de aguas arriba.

El empleo de embalses de concentración, reguladores de varias corrientes derivadas de valles paralelos, permite disponer el canal de alimentación del embalse próximo a la presa y con acceso directo a la central. De este modo se consigue que la central pueda trabajar "a contracarga" aprovechando la altura diferencial [16].

La oscilación de niveles en los embalses reguladores exige de gran elasticidad de los generadores, con la consiguiente pérdida de rendimiento. El recrecimiento de la presa puede corregir este efecto al llenar el volumen afectado por la regulación a la parte superior, que con mayor superficie dará una oscilación menor de altura, en iguales condiciones de regulación. La mejora del rendimiento, entonces, se obtiene por dos sumandos: altura absoluta de la altura aprovechable y reducción de la oscilación de alturas. Este sistema significa, en definitiva, elevar todo el embalse y que su volumen inferior no ha de funcionar después nada más que como soporte del embalse utilizado. Es un procedimiento adecuado para la utilización hidroeléctrica de embalses construídos para regulación de riego.

II-2. CONSIDERACIONES ECONOMICO-FINANCIERAS

21. Estudio comparativo con una nueva construcción.

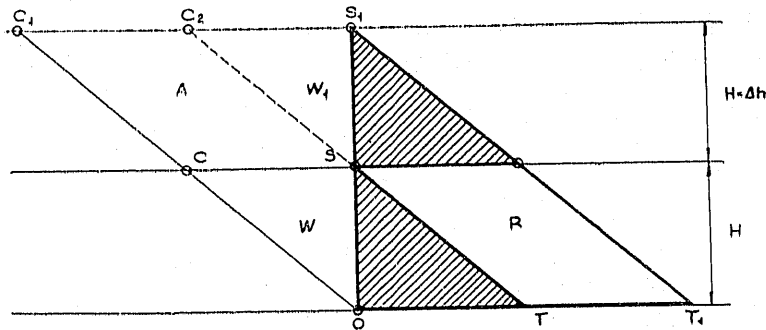
Hemos descrito las razones que pueden motivar el recrecimiento de una presa. Prescindamos de los casos en que resulta obligado por falta de ubicación para una nueva presa que satisfaga la demanda, y también de aquellos otros en que la razón fundamental es la de reforzar o mejorar la presa existente, eventualmente deteriorada o inutilizada.

Limitemos el campo de consideración económica al estudio del caso en que el recrecimiento se plantea como solución opcional contra la de construcción de nueva planta.

Existe una presa, que en el diagrama representamos por el área OST , con una altura H y una capacidad de embalse W , representada por el triángulo OSC . ¿Qué conviene más, construir otra presa, S_1T_2 de altura H_1 en otra ubicación, o superponer a la existente otra estructura de modo que $\Delta h = H_1$? Dé la representación diagramática se deduce que la

superposición dará lugar a una nueva presa $O S_1 T_1$, cuyo embalse será el representado por el área $O S_1 C_1$. Si comparamos la presa resultante del recrecimiento y su embalse con la de igual altura y nueva planta, veremos que el recrecimiento implica una construc-

de subsistir invariante cualquiera que sea la forma de las curvas S_1 , T_1 y $O C_1$ que lo limitan. Siempre existirá un área R de coste en desventaja para el recrecimiento y área A en ventaja por mayor volumen de embalse.



ción adicional correspondiente al refuerzo de la presa antigua, representada por el área R , limitada por los vértices T , S , T_2 , T_1 . R es el aumento de obra necesaria para permitir que la presa existente valga como cimiento de la nueva. En el lado del embalse obtenemos, sin embargo, un volumen adicional al comparar el de la presa recrecida con el obtenido con otra de nueva planta. Este volumen es el representado por el área A delimitada por los vértices C , C_1 , C_2 , S . En primera instancia, puede ya anticiparse una conclusión: si el objetivo fundamental es obtener altura de salto, el recrecimiento es antieconómico. Al compararlo con la construcción nueva, resulta en desventaja por razón del coste adicional del refuerzo de la presa existente para soportar la nueva. Sin embargo, si el objetivo primordial es aumentar el embalse disponible, el recrecimiento será preferible a la nueva construcción, en el caso de que el incremento de embalse obtenido, A , tenga un valor superior al mayor coste del refuerzo R . En el caso general de aprovechamiento combinado de altura y regulación, el recrecimiento presenta, con respecto a la construcción de nueva planta, una ventaja, que es el mayor embalse, A , y un inconveniente, en cuanto a coste por la necesidad de afrontar la construcción R .

Si bien el esquema sólo da una solución general que ha de depurarse con las circunstancias peculiares de cada caso, creemos es bastante expresivo para plantear el estudio económico y orientar el proyecto del recrecimiento con vistas, sobre todo, a la reducción de R .

En la realidad, las curvas que dan las áreas del embalse en función de las alturas no son, naturalmente, una recta, ni tampoco responden a una ley lineal los costes de la presa en función de las alturas.

Subrayemos, sin embargo, la calidad topológica del diagrama que comentamos, o sea, su condición

En la práctica, las curvas características de embalse han sido estudiadas por varios autores. Se acepta corrientemente y se ha comprobado se ajusta a efectos prácticos a la realidad la fórmula de R. A. Sutherland [18], que da una fórmula parabólica, $S = a s^m$, para las curvas $O C_1$, cuyo parámetro a y cuyo exponente m son función de las características fisiográficas del valle. Puesto que la geometría del vaso depende de sus formas de erosión, y éstas son consecuencias de la naturaleza geológica del terreno (también hay una influencia climatológica), resulta que m es una función fundamentalmente geológica. Se echa de menos estudios más precisos sobre esta correlación métrica, entre la geometría y la geología que algunos autores han insinuado [16] y que darían luz para la tarea pendiente de prospección de embalses, especialmente en su búsqueda sobre valles paralelos.

La variación m oscila entre 2 y 4, y normalmente se acepta el valor 2,5. El parámetro a sólo puede determinarse con la medición directa de las áreas ocupadas en cada caso.

La curva $S_1 T_1$, que da la ley de variación de las áreas de presa en función de las alturas medidas en sentido descendente a partir de su coronación, es una función también parabólica que depende de los parámetros propios de la cerrada y de la estructura de presa elegida. A modo de sugerencia para estudios que apetezcan sobre este tema, incluimos el gráfico adjunto, en las formas aproximadas de estas curvas, ajustándolas a los tipos clásicos de cerrada y al parámetro de forma habitualmente empleado L/H .

Para facilitar la comparación del gráfico con el diagrama, se ha trazado aquél con escalas naturales, aunque distintas. En su utilización práctica, sin embargo, es preferible el empleo de escalas logarítmicas. Tampoco hay razón para disponer en un mismo grá-

fico las curvas características de presa y embalse que, evidentemente, requieren escalas diferentes por corresponder a distinto orden de magnitudes.

Por último, llamemos la atención sobre un factor que reduce el optimismo en cuanto a la conveniencia del recrecimiento con vistas al mayor volumen de embalse. El rendimiento de la regulación no sigue una ley lineal; la forma aproximadamente triangular de las puntas y de los senos de la curva de caudales es la razón que justifica el que en la base se compensen áreas de exceso y de defecto con menor altura que cuando se pretende dominar las puntas. La repercusión de esta ley sobre la ocupación del embalse se traduce en un menor rendimiento del volumen habilitado conforme se progresa a la regulación total; por consiguiente, el aumento del volumen medio no es proporcional a los aumentos de la capacidad de embalse. Este factor puede contrarrestar, en forma importante, la conveniencia del recrecimiento [20].

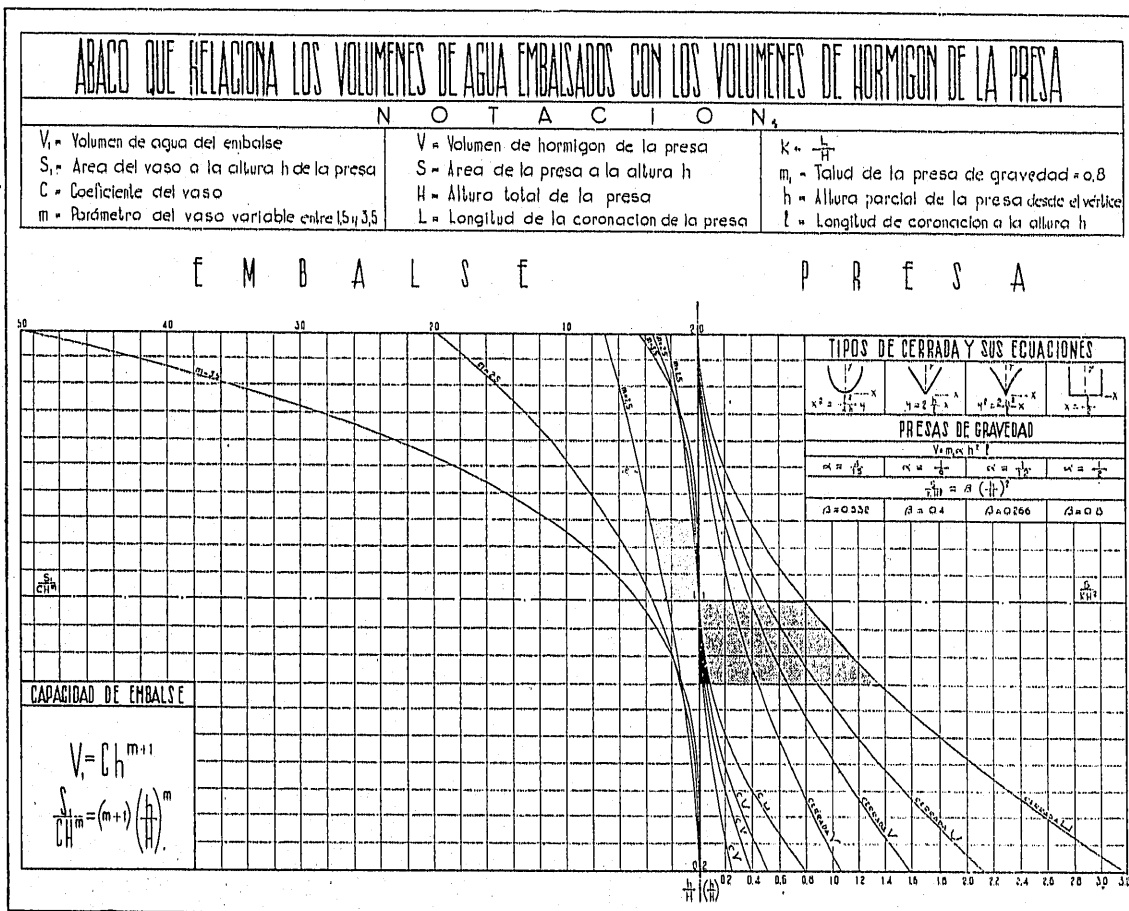
22. Construcción por etapas.

Es ley fatal, como veíamos en el capítulo anterior, que el constante crecimiento de la demanda agote las posibilidades de vasos propicios y cerradas adecuadas para la construcción de presas de embalse. Pese a que

avanza la técnica del acondicionamiento de los suelos naturales, aumentando las posibilidades geológicas, es evidente que cada vez se presentarán con menor frecuencia los casos de opción entre recrecimiento y construcción de nueva planta. Los recrecimientos de las presas ya construídas se plantearán *a fortiori* y resultará imperativo el aprovechamiento exhaustivo de las ubicaciones vírgenes para nuevas presas, que se deberán proyectar previendo su ulterior recrecimiento. Si esto se puede establecer como principio universal estadístico, resulta que, al reducir el ámbito de aplicación, se adelanta el momento en que habrá de desaparecer la coyuntura opcional.

Todo ello es cierto, tanto para los países más desarrollados, que por la misma razón ven más próximo el agotamiento de los recursos topográficos de su territorio, como para los países nuevos, que no deben permitirse el lujo, ante una demanda apremiante y en vertiginosa ley de crecimiento, de resolver el problema de hoy encareciendo la solución del mañana.

En un orden de economía absoluta, superando el coste financiero concreto y remontándonos a la contraprestación real de la obra que, en última instancia, es ocupación total de hombres en trabajo, es indiscutible que la solución más conveniente es la de la construcción total cuanto antes.



El hombre reparte su ocupación entre los términos del binomio ocio y trabajo. Por ley natural, la presión de la demanda sobre el primer sumando aumenta permanentemente. La técnica, multiplicando los resultados obtenidos del trabajo, puede reducir el tiempo de ocupación y restablecer, en cierta medida, el equilibrio.

Sin embargo, las posibilidades relativas de la técnica, en cuanto a esta compensación, son inferiores cuanto mayor es el grado de civilización. El beneficio y la felicidad de ocio marginal, que puede derivarse al aplicar la técnica sobre el trabajo, son mayores cuanto más primitivo sea el estadio en que se aplique. La rueda produjo más felicidad y más tiempo libre al hombre que el avión de reacción.

Cuanto más ajustado esté el equilibrio, menos eficaces son los recursos de la técnica, mayor es el sacrificio del hombre al ceder su ocio y más ha de solicitar por ello. El trabajo se encarece. La previsión de su encarecimiento absoluto es tanto más fácil cuanto más desarrollado sea el medio social en que se considere.

Los países técnicamente más jóvenes pueden todavía permitirse el lujo de hacer las obras despacio y de no aprovechar exhaustivamente las reservas que la Naturaleza les otorgó.

Es en los países más desarrollados en donde el encarecimiento del trabajo puede comprometer el equilibrio económico a plazo muy corto. Una sana concepción del futuro, fruto de visión estatal, o incluso una previsión de tipo financiero, según los casos recogidos en los párrafos anteriores, conducen a la construcción total, es decir, al recrecimiento o a la construcción inmediata y exhaustiva de las reservas remanentes.

Ahora bien, el conseguirlo en la escala que hoy permiten los medios técnicos supera, en la mayoría de los casos, las posibilidades financieras. La técnica ha desbordado el módulo humano en el manejo de magnitudes, incluso en el orden financiero. No hay hoy en el mundo ahorro capaz de poder cubrir la previsión de las necesidades futuras, incluso a corto plazo, si hablamos en generaciones.

Establecido el principio de que faltan los medios, de esta causa ineludible surge la construcción por etapas. Señalemos como caso curioso, confirmativo de la teoría, el hecho de que precisamente en los países más ricos es donde se ha planteado el sistema. En Suiza, una de las naciones económicamente más prósperas, es donde se construye hoy, por etapas, la más alta de las presas que el mundo ha conocido, la Grande Dixence. Además, la construcción se afronta, con gran sentido realista, por una empresa privada que, por principio, ha de sentir la exigencia de la rentabilidad a corto plazo de sus inversiones.

Al construir una obra por etapas, se encarece; en ello todos los autores coinciden. Este encarecimiento ha de tener compensación, pues de lo contrario el

sistema no existiría, salvo en casos de falta de recursos financieros. ¿Cuáles pueden ser los sumandos que compongan dicha compensación? En primer término, una antelación de la explotación, dando satisfacción a una demanda apremiante y remuneradora. Si es más remuneradora a causa del apremio, no se ha de dar con frecuencia en países ricos en que, normalmente, la demanda está relativamente satisfecha. Basta consultar las estadísticas de consumo *per capita* y coeficientes de aumento de la demanda, para comprobar que ésta aumenta menos cuanto mayor es aquél.

La partida equilibradora en estos países es la inevitable previsión del encarecimiento del coste conforme el tiempo pasa. La decisión resultará entonces de comparar el coste de la obra total en el momento en que hubiera de ser inevitable, con la construcción por etapas iniciada hoy. En ésta se tienen dos ventajas: a), el disfrute de una explotación anticipada; b), precios absolutos inferiores.

Resulta de cuanto antecede que se han de distinguir dos casos en el problema económico de la construcción por etapas: el caso de que exista demanda (hagamos abstracción de su calidad) para la producción total, y el caso en que exista sólo una demanda parcial y se haya de satisfacer, sin embargo, la ley de previsión absoluta que, indefectiblemente, obligará al aprovechamiento exhaustivo. El primer caso no tiene duda, pues su solución se encuentra en la diferencia entre la rentabilidad de explotación y el interés del dinero que, damos como supuesto básico, existe en favor de aquélla. El sobrecoste de la obra ha de pagarse con la diferencia citada.

En el segundo caso, el problema es más complejo. Afrontar un sobrecoste hoy, que además es de tipo absoluto, sin más contrapartida que una previsión del mañana, escapa del terreno financiero y entra en el de la economía absoluta.

II-3. LA TEORIA

31. Planteamiento.

Definición primigenia. — El primer contacto con el problema estructural del recrecimiento de una presa (cuando no se trata de subsanar su inutilización parcial por deterioro o aterramiento) despierta automáticamente en el subconsciente la idea de rectificación, de superar y corregir una imprevisión. De este complejo se obtiene la definición primigenia del objetivo del proyectista: "Recrecer la estructura primitiva hasta lograr otra mayor que resista a las cargas a que ha de ser sometida (monóliticamente) y en la misma forma que lo hubiera hecho en caso de haber sido originariamente construída en su dimensión total."

Si el conjunto de cargas a que la estructura final ha de estar sometida no difiere nada más que en su escala (hacemos abstracción de cualquier otra condi-

ción, incluso del propio material, y nos limitamos a la homotecia mecánica) del cuadro de hipótesis del proyecto primitivo, parece consecuente no cambiar el tipo de la estructura. El problema, según este tosco enunciado, se reduce al meramente constructivo. Sus "desiderata" serán lograr la soldadura de la junta entre el cuerpo de la presa existente y la parte yuxtapuesta que permita el paso de las líneas de fuerza sin solución de continuidad, evitando, o reduciendo, además, las tensiones locales en la superficie de contacto (efectos térmicos, coeficientes de elasticidad distintos, etc.), a fin de impedir fisuraciones en detrimento de la resistencia y de la impermeabilidad. Se trata, en definitiva, de una *reprise* en la ejecución de la obra, con todas las dificultades de construcción inherentes a una junta de trabajo antigua.

La dificultad de la solución dependerá de la localización de la junta en el conjunto estructural, ya que las tensiones locales en la junta, por las distintas propiedades físicas de las fábricas unidas, pueden sumarse a las tensiones propias del estado creado por las cargas exteriores.

La primera objeción a la definición que comentamos es la de prejuzgar la solución del problema en aquella que se comporte como la presa construida inicialmente en su altura total. Es perfectamente innecesaria tal limitación, pues satisfecha la función pretendida, poco puede importar disimular su origen en un recrecimiento.

Tampoco es válida la definición en cuanto a su ignorancia de la alteración de hipótesis, en comparación con las del proyecto de una presa con la dimensión total. Las condiciones topográficas de la parte recrecida no tienen por qué ser análogas a las de la presa existente (hay que suponer que la determinación de la altura inicial no fué consecuencia de una especulación abstracta, sino que el condicionamiento local influyó en ella). En todo caso, el cuadro de cargas para el conjunto no es nunca espontáneamente análogo al de la presa total. Si las hipótesis son distintas, mal podrán coincidir las soluciones.

Revisión de las hipótesis de carga.—La modificación artificial de las hipótesis, que es posible, en cierta medida, con respecto al cuadro de cargas, mediante artificios hoy al alcance de la técnica, tales como el empleo de los métodos de pretensión, no debe prejuzgarse en la definición. Resulta, en consecuencia, obligada una revisión de esta definición para centrar adecuadamente el estudio. Comencemos con el análisis del cuadro de cargas característico del recrecimiento.

No ha sido espontánea, ni siquiera hoy se acusa en todas las ponencias la visión del problema estructural intrínseco del recrecimiento. Su específica característica estriba en que la superposición del nuevo cuerpo, a la presa que se recrece, no se efectúa sobre el estado cero de sobrecargas exteriores. Si la presa se mantiene en servicio durante la ejecución del recre-

cimiento, y éste es el caso interesante, su estructura se encuentra bajo carga y deformada, en consecuencia. La carga es función del nivel y de la explotación del embalse, y, por consiguiente, aleatoria, y lo mismo ocurre con la deformación resultante (*).

La distribución de tensiones, resultando de este estado de carga, puede no ser la más desfavorable, que normalmente se ha de alcanzar a embalse lleno, pero siempre se encontrará del lado inconveniente o al menos incontrolado.

Además, al efectuar el recrecimiento, el nuevo cuerpo de presa actúa como sobrecarga. Su comportamiento como tal es variable durante el proceso de construcción y fraguado, en que el hormigón pasa del estado plástico al elástico. Sus propiedades físico-mecánicas varían. Esta variación es función complicada del tiempo, del proceso de construcción e incluso de la colocación del nuevo hormigón sobre la estructura ya existente. La retracción, las variaciones térmicas e higroscópicas, las deformaciones diferidas del antiguo hormigón, el diferente comportamiento elástico entre éste y el nuevo, la diferencia de edad entre ambos y las variaciones juveniles en el comportamiento general del nuevo hormigón, son causas todas ellas que repercuten sobre la distribución de tensiones creadas por la sobrecarga del agua.

Análisis tensional.—Esta distribución de tensiones, que insistimos es variable azarosa con el nivel del embalse y también en la serie de factores descritos, todos ellos de difícil control y cuando menos variables intrínsecamente en el tiempo y con sus circunstancias locales, no conviene que quede incorporada y bloqueada en la estructura [R. Prisco, R.-33]. Así ocurriría si se produjera el monolitismo, automáticamente, con simultaneidad o no, al recrecimiento.

En resumen, la distribución tensional de la presa primitiva en trance de ser recrecida, es la resultante de la superposición sobre el estado cero de efectos elásticos de las siguientes sollicitaciones:

- a) Sobrecarga propia; presión hidrostática, función aleatoria del nivel del embalse.
- b) Sobrecarga accidental. Peso del cuerpo de presa que se incorpora, cuya acción es variable, según avanza la ejecución y según el estado físico del hormigón en su proceso de pseudosolidificación.
- c) Tensiones en la junta por la superposición de fábricas con distinto comportamiento físico-mecánico.

La soldadura entre la parte añadida y la presa antigua bloquearía este estado tensional, por principio incontrolable, que añadido en su base a la distribución de tensiones causada por la sobrecarga total en la presa final, considerada como un conjunto elástico, puede llevar los valores de las tensiones más allá de los límites aceptables. Quedaría como un poso o resi-

(*) Véase el informe de los expertos federales suizos sobre el proyecto de la construcción por etapas de la presa de Grande Dixence [C.-34, V C.I.G.P.].

duo tensional que desvirtuaría el principio pretendido de llegar a una presa que se comportara como si hubiese sido inicialmente construída en toda su altura.

Aun en el caso vanal en que pudiera vaciarse el embalse para el recrecimiento de la presa y, por consiguiente, hacer abstracción de la sobrecarga extra-estructural del agua, no se puede aceptar la permanencia del estado cero durante el recrecimiento. El estado de tensiones originado por la sobrecarga del recrecimiento y por los fenómenos en la junta, puede ser fundamentalmente distinto, en su distribución geométrica y en su magnitud, al de la estructura final construída como conjunto simultáneo. Es una auténtica pretensión que la superestructura aporta a modo de dote a su difícil matrimonio estructural con el viejo dique (una vez más jugarán "ces problèmes de peau"). No dote, sino hipoteca, habrá de ser para la feliz vida elástica del conjunto.

Pretensión desfavorable. — Evidentemente, los valores cuantitativos de las tensiones residuales habrán de diferir mucho según los casos, y las causas y sus determinadas condiciones llegan a ser menospreciables e incluso favorables. Tal ocurre en el caso de una presa de gravedad, en el que el peso propio del recrecimiento mejora las compresiones en paramento aguas arriba con respecto a las obtenidas por el cálculo elástico para una presa monolítica [13].

No ocurre así con los efectos secundarios en la junta por retracción, que caso de no controlarse llegarían a bloquear tracciones importantes en el paramento aguas arriba; 8 Kg./cm.² en el caso citado por Masao Kondo [R.-23, Japón] de la presa de Odomari. [Véase también C. M. Roberts, R.-12, V C.I.G.P.]

La diferencia entre los módulos de elasticidad del hormigón viejo (muy elástico) y del nuevo, durante su primera edad, también puede acumular tracciones en el paramento de aguas arriba por la distinta participación de una y otra fábrica en soportar las cargas exteriores. Estas tracciones son de orden menor y sólo merecen ser consideradas a efectos de tomar precauciones para su fácil corrección, como más adelante veremos.

Ensayo de definición general. — El análisis anterior brinda una definición que, por mor de claridad y guía para nuestra exposición, preferimos no sintetizar:

"El proyecto de recrecimiento de una presa "ha de dirigirse hacia lograr un complejo estructural de mayor altura mediante el acondicionamiento y aprovechamiento de la estructura existente y la construcción de otra del mismo tipo "o diferente, que permitirá que el conjunto por "integración monolítica o simple colaboración "(con independencia en su funcionamiento, e incluso en la función encomendada a cada parte) "resista, a efectos mecánicos e hidráulicos, tanto

"el cuadro de cargas propias de un estado final "como el derivado del proceso constructivo."

32. Funcionalismo resistente.

Posibilidades de proyecto. — Establecida la definición, se abren automáticamente las siguientes líneas de acción mecánica posible para el proyectista: la elección entre ellas, forzosamente casuística y decidida por otras circunstancias (locales, geológicas, constructivas, económicas, etc.), ha de conducir a la solución del problema estructural:

A) Elusión de la dificultad creada por la incorporación de tensiones residuales. Mantenimiento *sine die* de la independencia entre la antigua estructura y la nueva. Ambas funcionarán en colaboración sin integración (*Estructura diferenciada*).

B) Acción sobre las causas de tensiones perturbadoras. Manejo (cuando es posible) del nivel del agua en el embalse y planificación de la construcción por bloques del recrecimiento, de modo que las tensiones residuales creadas por estas sobrecargas en el momento de la soldadura se reduzcan, anulen o tomen incluso signo conveniente con respecto a la distribución total. Precauciones constructivas para controlar las tensiones secundarias en la junta. Previsión en el proyecto de la situación geométrica de la junta en la zona menos peligrosa, en caso de que la construcción no lograra la anulación de las tensiones secundarias. En resumen, integración estructural (*Monolitismo* simultáneo al recrecimiento).

C) Elección del momento óptimo para la soldadura. Mantenimiento de la independencia estructural entre la parte antigua y el recrecimiento, hasta que se anulen o se reduzcan al punto de ser menospreciables las causas que puedan dar lugar a una pretensión residual. Elección, además, del momento en que la sobrecarga de agua se encuentre en su posición más favorable. Programación en el tiempo y en el espacio de la soldadura de juntas (*Postmonolitismo*).

D) Anulación o reducción de las causas del problema tensional. Empleo de las técnicas de pretensión para contrarrestar y redistribuir las tensiones residuales e incluso llevarlas a su signo y magnitud más conveniente. Acción combinada con el juego de las sobrecargas controlables. La aplicación de la pretensión con respecto a las tensiones en la junta es más artificiosa por el forzoso carácter empírico de sus causas. Para combatirlas, es preferible seguir los programas A) o C).

Estamos ante la verdadera fisonomía del problema del recrecimiento. Si se permite el humor de una semejanza tosca, pero expresiva, diremos que no se trata solamente de introducir más viajeros en un autobús ya lleno, sino que, además, pretendemos que los nuevos viajeros lleguen a su destino pese a que el autobús ya está en marcha. Las soluciones no

pueden ser muchas. La primera, y drástica, es tomar otro vehículo con la misma ruta (construir una nueva estructura que recoja el incremento funcional, trabajando en paralelo con la existente). La otra solución es hacer entrar a los viajeros en el autobús pese a todo. Las posibilidades opcionales que se presentan en ella son:

a) Reducir la marcha e incluso parar el autobús, si tenemos autoridad para ello, para permitir el salto de los viajeros. Controlar la carga de agua, incluso suprimirla o contrarrestarla con pretensiones, hasta permitir la soldadura de la nueva estructura en el estado cero u otro más favorable.

b) Correr paralelamente al autobús y esperar el momento en que su velocidad, espontáneamente reducida, se sincronice con la de los viajeros hasta permitir el salto. Esperar la ocasión en que la reducción de la sobrecarga y anulación de los esfuerzos secundarios en la junta sea propicia para la soldadura en ésta próximo a cero.

Elección. — La decisión del proyectista ante las distintas soluciones posibles para el funcionamiento económico de su estructura — repetimos — ha de basarse, lo mismo que la del viajero, en el condicionamiento adicional: economía, seguridad y disponibilidad y adecuación local.

El primer caso del símil abre amplio panorama de soluciones a nuestro problema estructural; nos libera del pie forzado, del mantenimiento de forma. Puede no ser el autobús, sino el taxi o la bicicleta (solución económica si existe y si la carretera permite su uso) lo más conveniente.

Conduciría a error, sin embargo, extrapolar el símil más allá de su objetivo, pura disgresión en fácil

literatura para fijar ideas intuitivas. El hecho es que nunca la estructura primitiva puede permanecer absolutamente independiente e invariable durante el recrecimiento.

Recrecimiento y refuerzo. — El recrecimiento significa un incremento funcional (componente horizontal de la presión hidrostática), que se puede suplir con otra estructura independiente, pero implica también un incremento de carga sobre la infraestructura existente (componente vertical sobre el antiguo embalse) que exige el refuerzo de ésta.

La nueva estructura ha de satisfacer estos dos puntos que, recogidos en la definición, conviene destacar antes de adentrarnos en las consecuencias morfológicas de la solución prevista, puesto que también han de tener trascendente repercusión en la forma final de su estructura total:

a) Incremento funcional. Contención del aumento del nivel de agua.

b) Sobrecarga de la estructura primitiva. Refuerzo para resistirla.

Ambos objetivos pueden alcanzarse con una sola estructura o resolverse separadamente, dando lugar a una junta horizontal. Esta junta separará la antigua presa reforzada de la nueva presa superpuesta encargada del incremento funcional. Un ejemplo típico de la separación entre las dos estructuras encargadas de satisfacer el refuerzo y recrecimiento, se tiene en el segundo de Assouan. El incremento funcional se satisfizo por simple adición de otro cuerpo superpuesto a la presa; el refuerzo se consiguó colocando sobre el paramento aguas abajo unos contrafuertes que aportan el peso estabilizador necesario para contrarrestar el efecto de la sobrecarga.

(Continuará.)