

EL MUNDO DE LAS GRANDES PRESAS CONSTATAACIONES Y CONSIDERACIONES DE ACTUALIDAD

Por EMILIO CASAL BERNARD

Ingeniero Jefe de Aprovechamientos Hidráulicos
de la Compañía Sevillana de Electricidad.

Después de presentar datos estadísticos sobre las grandes presas actuales, se da una orientación a vuelo de pájaro sobre su desarrollo en lo que va de siglo, terminando con datos y consideraciones sobre las roturas de presas. El trabajo lo publicamos en dos partes, presentándose en este primero los datos estadísticos y quedando el resto para el próximo.

A los compañeros jóvenes que en cualquier parte del mundo estén empezando la hermosa vida del presista.

Las grandes presas han adquirido hoy para la humanidad civilizada la importancia que hace un siglo tendrían, por ejemplo, los ferrocarriles, o la que van adquiriendo ahora también la aviación o las radio-comunicaciones. Pero, mientras que por lo menos las clases medias — medias también en grado de cultura — tienen ideas relativamente claras sobre aviación o radio, el técnico en presas — que para abreviar llamaré desde ahora presista — se extraña de la ignorancia que en materia de presas revelan no sólo los periodistas, sino hasta personas de cierta formación técnica. Con ocasión de la catástrofe de Malpasset se han escrito no sólo incongruencias técnicas, como que no podía resistir siendo tan delgada, cuando las presas suelen ser muy gruesas, sino incluso francas estupideces, como que la causa del accidente fué la cercanía del mar (a 10 Km.).

Y una revista francesa de pretensiones científicas reprocha a los constructores de Malpasset nada menos que los siguientes cuatro "errores":

1. La favorabilísima proporción entre los volúmenes de embalse y de presa (proporción, por demás, nada extraordinaria) era demasiado audaz (1).
2. El ritmo de hormigonado demasiado lento, con 300 m.³/día (para una presa de 40'000 m.³, cinco meses de hormigonado — ¿dónde irían a parar algunas? —).
3. Se esperó demasiado tiempo con el primer relleno. (Otro colmo: ¿qué pasaría con los embalses interanuales andaluces?)
4. La capacidad de la válvula de fondo era demasiado pequeña con 50 m.³/seg. (capacidad normal en las condiciones de Malpasset).

Cuatro críticas disparatadas y que no pueden tener nada que ver con el accidente.

Parece, pues, que convendría hacer un esfuerzo para informar, por lo menos a las clases cultas, sobre lo que es, cómo nace y de qué depende la seguridad de una presa.

Recuerdo también mi extrañeza al costarme tanto trabajo combatir hace dos años el bulo de que la inundación de Valencia estaría debida a la rotura de una gran presa. Y por último, véase por la ilustración adjunta (fig. 1.^a), hasta qué grado de alarmismo irresponsable pueden llegar ciertos periodistas. Póngase uno en el lugar de un pobre pueblo de montaña, en cuya cuenca va a erigirse una presa. Empezando por el Alcalde, ¿quién va a poder dormir después de haber hojeado la revista que garantiza dos catástrofes al año, cada una con millares de muertos, y todos los anejos correspondientes? Esto, con el altísimo grado de seguridad que, como comprobaremos más adelante, y precisamente por la misma estadística empleada por aquel mal analizador de la misma, ha alcanzado hoy la técnica de las altas presas. Nos podríamos los presistas sentir ofendidos, pero se debe perdonar a los que no saben lo que hacen (o dicen o escriben).

Sin embargo, esto no nos exime de la obligación de aprovechar la triste ocasión de las casi simultáneas catástrofes de Ribadelago, Malpasset y Orós, para hacer nuestra composición de lugar, en cierto modo nuestro examen de conciencia, intentando mejorar todavía, en lo que pudiera caber, la seguridad de estas grandiosas obras que, efectivamente, representan catástrofes cuando no resisten, siendo así que debían ser prácticamente eternas. La perfección se alcanza sólo asintóticamente, nunca por completo absoluto, y el encontrarnos hoy en un tramo de asíntota que parece estar ya rozando su punto de tangencia, no nos debe detener en el esfuerzo de acercarnos todavía más a la fugitiva meta, por poco que pudiera ser.

Un comienzo en esa dirección quieren ser las presentes líneas. El autor tuvo la suerte de "caer" entre presistas recién salidos de la Escuela; no tiene nada

de sabio, ni de sobresaliente, pero sí, otra vez la suerte, pudo conocer en cuarenta y dos años de práctica muchas presas y no menos a sus frecuentemente más delicados consortes, los aliviaderos, por todas sus costuras y en todas sus fases vitales: concepción (proyecto), gestación (ejecución), nacimiento (la puesta en carga completa) y vida activa (explotación). Porque no basta que una presa resulte perfecta al nacer; tiene que ser, repito, con sus aliviaderos, estrictamente vigilada siempre y observada para que resista los embates de una vida ilimitada.

Nos proponemos proceder en dos etapas. Primero presentaremos lo que hay actualmente de presas en

"grandes" las de $H > 30$ m. Hay que preguntarse si esta definición separa o no las presas cuya rotura significaría catástrofe de las de rotura inocua. Evidente y eventualmente puede causar catástrofe también la rotura de una presa de 29 y hasta de menos metros. Pero la catástrofe sería ya la excepción de una excepción. Analizaremos más adelante las rarísimas catástrofes provocadas por presas de $H < 30$ metros, adelantando que son de un pasado que en materia de presas bien puede llamarse remoto. Porque no se conoce ninguna en lo que va de siglo actual (1). $H > 30$ m. es también la base de la más reciente estadística publicada con la pretensión de ser com-

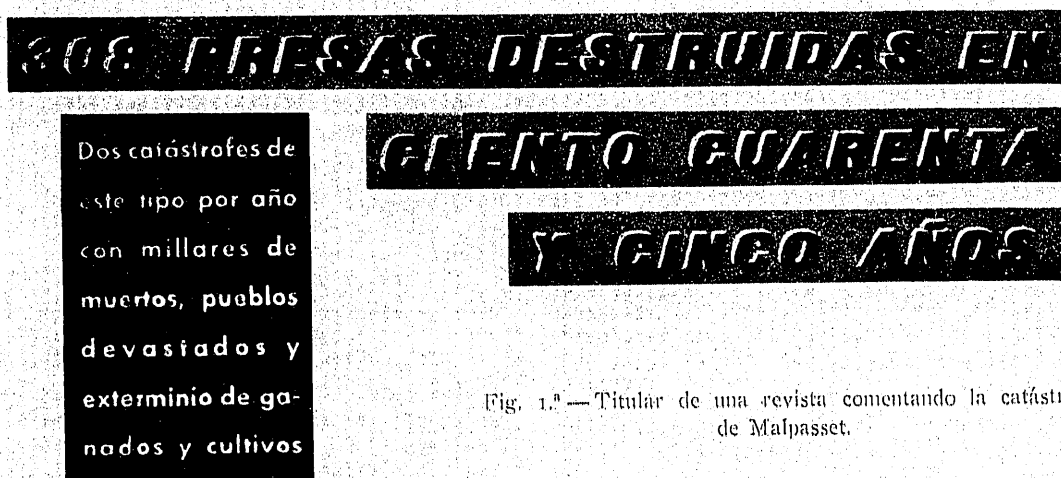


Fig. 1.ª — Titular de una revista comentando la catástrofe de Malpasset.

el mundo, cómo se llegó al estado actual y analizaremos lo que hubo de fallos efectivos.

Si de este primer artículo resultara que el tema interesa, quisiéramos con una segunda publicación provocar una amistosa discusión entre interesados para estudiar cómo se podría mejorar aún más una situación que, a pesar de impresionantes apariencias recientes, es todo lo contrario de precaria.

En la lucha del hombre contra la Naturaleza, un cierto grado de inseguridad permanecerá siempre; está ya muy bien que triunfemos en un 99 por 100 de los casos; pero esto no nos exime del deber de intentar llegar al 999 por 1000.

Empecemos, pues, por presentar un resumen de

A) El mundo de las grandes presas actuales.

El punto de cesura entre simples "presas" y "presas grandes" parecemos haberlo hallado; casi diría sin premeditación, sin darnos cuenta. Por tradición, probablemente gracias a la coincidencia práctica con los 100 pies anglo-americanos, se consideran hoy, hablando en sistema métrico-decimal, como presas

pletas. La encontramos en la excelente revista italiana *Energia Elettrica*, núm. 7, julio de 1958, copiada de Robert A. Sutherland, miembro de la "American Society of Civil Engineers" (ASCE), publicada en el fascículo 355 de los *Proceedings ASCE*. El muy meritorio redactor advierte en su preámbulo la imposibilidad de que su estadística pueda ser exacta y completa. Faltan definiciones internacionales, como la de la altura (desde cimientos o desde cauce, hasta el nivel máximo de embalse o hasta coronación, etc.); mientras se está redactando la estadística, algunas presas pasan de un estado al otro (de la construcción al servicio), otras circulan por la literatura con más de un nombre (Broc, Monsalvens, La Jagne; Hoover; Boulder, Colorado), otros nombres sirven para más de una presa (Puente, Puentes, Puente Nuevo), etc. Dicho sea de paso que Sutherland solicita aportaciones, correcciones, sugerencias, etc., de sus compañeros presistas de cualquier parte del mundo, y creo que valdría la pena ayudarlo. Por mi parte, he estudiado los datos de su estadística en aquellas presas que co-

(1) La del Reocín (Torrelavega), con 18 víctimas, se ha producido después de escrito el presente trabajo.

nozco mejor, repartidas por mis tres "patrias": España, Suiza e Italia, sin hallar más que contadas discrepancias insignificantes. La estadística en cuestión es, pues, con toda seguridad incompleta, pero de una aproximación tal, que resulta correcto basar en ellas las consideraciones de tipo general siguientes:

Incluyendo las presas en construcción hace dos años, llega a 1 620, amparando todos los tipos (tierra, escollera, hormigón o mampostería de gravedad, contrafuertes, bóveda pura, bóveda pesada, arcos múltiples, cúpula, metálicas, de madera, etc.). Se conocían además, en el momento de la redacción, 204 proyectos. Por otro camino, el redactor llega a un total de 1 763, diferencias explicable por las dificultades señaladas, y que, una vez más, no importan para lo que sigue.

A pesar de su enorme preponderancia en lo cuan-

TABLA I. — Países ordenados por el número de sus presas.

N.º de orden	País	N.º de presas	En % del mundo	OBSERVACIONES
1	U.S.A.	574	35,5	La ausencia de Rusia (sólo 6 presas) se explica por su orografía y por estar los grandes núcleos lejos de las pocas regiones montañosas. Sin embargo, extraña la falta de presas, p. ej., en el Cáucaso, tan parecido a los Alpes y con centros como Tiflis. La explicación podría estar aquí en los petróleos de Bakú o en la opaca política de la U.R.S.S.
2	Japón	221	13,6	
3	Italia	164	10,1	
4	España	143	8,8	
5	Francia	93	5,8	
6	India	60	3,7	
7	Australia ...	53	3,3	
8	Canadá	44	2,7	
9	Suiza	34	2,1	
10	Méjico	30	1,9	
Total 10 primeros países		1426	88	

TABLA II. — Países ordenados por la relación presas/superficie.

N.º de orden	País	Cantidad de presas	Superficie miles Km.²	Presas por 1000 Km.²	Km² por presa
1	Puerto Rico	14	8,9	1,580	635
2	Suiza	34	41,3	0,825	1 210
3	Japón	221	369,8	0,598	1 670
4	Italia	164	301,2	0,545	1 840
5	Portugal	31	92,2	0,336	2 980
6	España	143	503,5	0,284	3 520
7	Austria	21	83,85	0,252	3 970
8	Francia	93	551,3	0,168	5 960
9	Alemania	38	356,4	0,106	9 440
10	Inglaterra	14	244,0	0,060	16 680
Total 10 primeros países		773	2 552,45	0,302	3 320

titativo, han desaparecido en lo relativo los U.S.A. En cuanto al asombroso hacinamiento de presas en Puerto Rico (el doble de Suiza, campeona de Europa), supongo permitido sospechar que a los efectos del presente estudio se podrá considerar Puerto Rico como un satélite de U.S.A.

TABLA III. — Países ordenados por la relación presas/habitantes.

N.º de orden	País	Cantidad de presas	Miliones habitantes	Presas por 1 millón h.	1 presa por x habitantes
1	Suiza	34	5,1	6,65	151,000
2	Puerto Rico	14	2,3	6,10	164,000
3	España	143	29,7	4,80	208,000
4	Portugal	31	8,9	3,48	287,000
5	Italia	164	44,5	3,38	295,000
6	U.S.A.	574	175,0	3,28	305,000
7	Austria	21	7,0	3,00	303,000
8	Japón	231	91,0	2,33	428,000
9	Francia	93	43,8	2,12	471,000
10	Méjico	30	30,5	0,98	1 040,000
Total 10 primeros países		1 325	441,8	3,00	303,000

Visto el ritmo de construcción, siempre más intenso, está permitido suponer que dentro de poco serán más de 2 000 presas, acercándose a las 3 000 al comienzo del siglo próximo. Bien es verdad que en éste se irán agotando las posibilidades europeas; pero en otros continentes asoman ya posibilidades aún mayores. No sólo aumentarán las presas en cantidad, sino en altura, volumen y embalse.

La importancia de los distintos países como presistas, la permiten apreciar las tablas I, II y III:

Lo lógico resulta ahora extraer de las tres tablas precedentes aquellos países que figuran en todas e intentar ordenarlos. Son sólo España, Francia, Italia, Japón y Suiza, y pues los únicos cinco a admitir de "finalistas" si quisiéramos tratar esto como una competencia deportiva. Los U.S.A. faltan como intensidad de presas por unidad de superficie del inmenso país. Pero, por una parte, son tan preponderantes en lo cuantitativo con sus casi 36 por 100 de las presas del mundo, y por otra, hay más criterios que los de las tres tablas. Por ejemplo, se encuentran los U.S.A. también entre los primeros en la tabla de las presas más altas del mundo, que daremos más adelante, mientras que España conservará siempre el número 1 en plan histórico. También habría mucho más criterios que examinar. He dado a este problemita de prestigio de "olimpiada" de los distintos países presistas muchas vueltas, acudiendo a varios criterios y hasta a unos viejos conocidos, los mínimos cuadrados, para ordenarlos y, U.S.A. aparte, no hay medio de conseguirlo con los cuatro siguientes: España, Italia, Japón y Suiza. Según los criterios que se adopten, que son

muchos, cambian de puesto. Llego a la conclusión siguiente: el primer país presista, pero algo así como fuera de concurso, son los U.S.A. Estos aparte, el pelotón de cabeza lo forman, empatados: España, Italia, Japón y Suiza; los sigue de bastante cerca Francia, adelantada a su vez tanto a los siguientes, que ya no vale la pena continuar la lista.

Sorprende el alto rango del Japón. Acostumbrados a ver nombres con "k" en otras ramas de la ciencia (hidráulica, navegación, medicina, etc.), los conocemos poco como presistas. Sin embargo, en el momento de redactarse las presentes líneas, la ya citada revista italiana *Energia Elettrica*, núm. 1 de enero de 1960, trae un artículo interesantísimo sobre las presas japonesas que nada tienen que envidiar a las europeas o americanas en audacia u originalidad: $H > 100$ m. es allí también ya corriente, incluso en presas de cúpula, de tierra, etc. La emigradora familia de técnicos, a la que pertenece el autor, ha echado raíces también en el Japón, y si el tema interesa, espero un día poder ampliar las informaciones de *Energia Elettrica*.

B) Bosquejo histórico.

Parece haber habido lo mismo presas de tierra que de mampostería varios milenios antes de J. C. en Egipto, Medio Oriente, India, China, etc.

En los últimos siglos fueron los países pioneros la India, para las presas de tierra, y España, para las de mampostería, hoy hormigón. Es en España donde subsisten todavía dos presas de mampostería de granito construídas por los antiguos romanos: las llamadas de Proserpina (1291) (1) y de Cornalbo (1162), en las inmediaciones de Mérida. Debemos su conocimiento a nuestro compañero Raúl Celestino, que las describió en 1930 en la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

Pero casi todos los tratados empiezan el capítulo histórico con las presas de Alicante, de Almanza, de Elche (1292/93), todas del Levante español, todas de mampostería y todas de la segunda mitad del siglo xvi. Se ampliaban y perfeccionaban los sistemas de regadíos y presa heredados de los árabes recién salidos del país (que los heredarían, a su vez, de sus antecesores en el mismo), y la necesidad crea el órgano. Las alturas son, para la época, atrevidas: Alicante, > 41 m., rebasados en 1785 por los 60 m. de la presa de Puentes en el río Guadalentín. Otra, de la misma época, Gascó, sobre un afluente del Jarama, se hundió durante la construcción al alcanzar los 53 m. de los > 93 del proyecto. Admirable éste por su atrevimiento y como precursor en varios aspectos del desarrollo que iban a tomar las presas en el siglo siguiente. Con esta altura se atreve a enfrentarse solo el ingeniero de comienzos del siglo xx. Por otra parte, mientras que las presas de Levante del siglo xvi ca-

recen todavía de cálculo estático, por lo cual tienen un perfil muy primitivo, la de Puentes se acerca ya al clásico triángulo de gravedad de hoy, como lo hacía también el intento de Gascó, reduciendo éste, sin embargo, demasiado la relación anchura-altura $= 58$ por 100, tal vez por desconocer el efecto de la subpresión. Intuían, además, aquellos proyectistas las modernas soluciones de gravedad aligerada. Claro que, con la falta de bases teóricas de entonces, tanto atrevimiento tenía que resultar excesivo.

A partir de fines del XVIII empiezan a interesarse por las presas también otros países; se abordan en todos ellos los problemas del cálculo para conseguir perfiles a la par lógicos, seguros y económicos, acercándose con las presas de gravedad rápidamente al perfil de hoy. Hubo un momento en que el triángulo resultó demasiado delgado; una catástrofe dió ocasión al francés Maurice Levy de corregirlo con sus teorías sobre la subpresión. A su vez se pasó de la raya en el sentido de la seguridad, en detrimento de la economía. El tiempo volvió a rectificar, y hoy está cualquier ingeniero en condiciones de proyectar un triángulo de gravedad correcto.

Los distintos países adelantaron tanto más cuanto mayores eran sus necesidades en riegos o agua potable. A mediados del siglo XIX ya existen varias presas en Francia, mientras que las estadísticas históricas alemanas empiezan sólo a fines de los años 80. En cuanto a Suiza, que marcha hoy con España, Italia y Japón a la cabeza, inaugura su primera presa de $H > 30$ m. sólo en 1921, con la bóveda de Broc (1332). Abundantes manantiales, el clima húmedo todo el año y los grandes lagos naturales, resuelven todos aquellos problemas que obligaron a los países mediterráneos a procurarse lagos artificiales. Estos nacieron en Suiza únicamente por la necesidad de abastecerse de energía eléctrica. Tanto más sorprendente es la rapidez con la cual Suiza acaba de alcanzar el pelotón de cabeza.

Con la citada presa de Broc hace su primera aparición en el mundo la presa bóveda delgada de cálculo moderno. Pero el honor de haber reconocido el valor de la bóveda para contener agua pertenece a Francia, que ya en 1850 construyó la de Zola (1328), así bautizada para honrar a su constructor, nacido italiano, padre también del célebre novelista de su nombre, e ingeniero, al cual la muerte no permitió inaugurar su obra de pionero. Tiene, porque allí está todavía, la presa de Zola 38 m. de altura, 7 de base, 63,5 de desarrollo concéntrico en coronación, radio concéntrico de 48,2 y un perfil todavía poco satisfactorio para el presista de hoy. La verdadera bóveda no tiene todavía cuarenta años (v. gráfico fig. 2.^a), y nació con las teorías del alemán Ritter sobre el reparto de las cargas entre "arcos y ménsulas", teorías ampliadas y perfeccionadas por el suizo Stucky, que tuvo, sobre todo, el mérito de ponerlas en práctica, luchando contra los escépticos para poder levantar los 55 m. de la elegante presa de Broc, cronológicamente pri-

(1) Las cifras acopladas en paréntesis a un nombre de presa indican la página de la última edición del Gómez Navarro, que presenta la presa en cuestión.

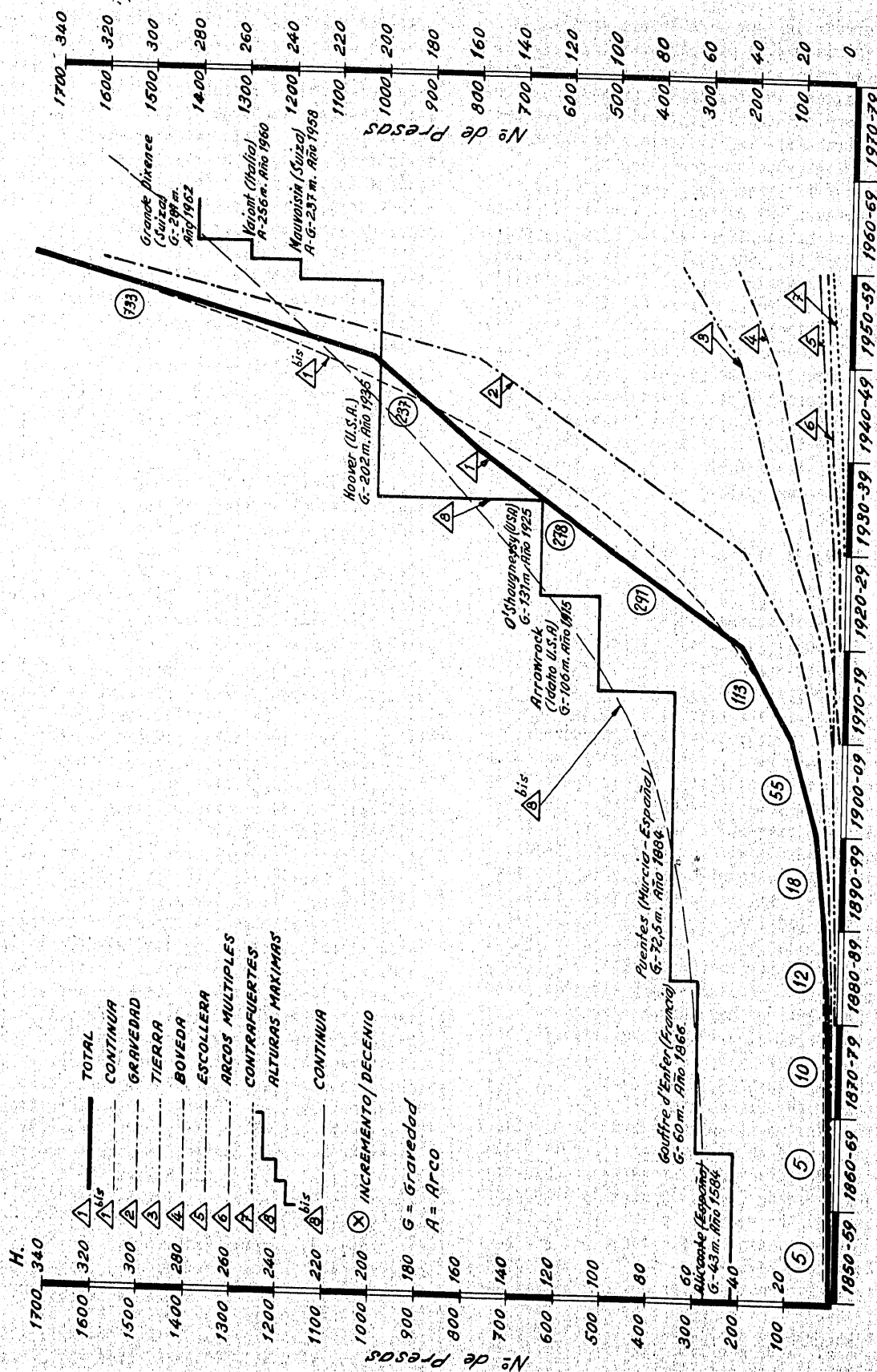


Fig. 2.ª — Gráfico del desarrollo de las presas de 1850 a 1960.

mera en la historia de las presas bóvedas propiamente dichas y, como ya dije, arranque del "presismo" en Suiza. Al inaugurarla, en la primavera de 1921, tuvimos los colaboradores la sorpresa de enterarnos de la inauguración simultánea de la presa de Amsteg-Pfaffensprung de los Ferrocarriles Suizos, de sólo 32 m. (1342/43), pero ni menos elegante ni menos atrevida (no dejó intervenir en el cálculo las mén-sulas).

Simultáneamente aparecían las primeras grandes bóvedas italianas, y en 1923-24 se levantó la primera bóveda española — Montejaque (1371) —, de sólo 30 000 m.³ para 84 de altura, entonces la más alta del mundo. Desdichadamente no llegó a cargarse por completo, sino como máximo sobre 72 m., porque las irreparables pérdidas del vaso pueden más que las aportaciones. (¡Témase a las calizas cársticas!)

Signió en Navarra la elegante Alloz (1372), de nuestro compañero Enrique Becerril, que, con la italiana Cornelico y algunas americanas, da los primeros pasos hacia la presa cúpula, mientras que todas ellas reducen el espesor en clave de coronación a los 1,50 metros que los no entendidos reprochan ahora, sin razón, a Coyne en Malpasset.

Paralelamente se desarrollan varios de los tipos hoy conocidos: arcos múltiples, gravedad aligerada, de contrafuertes o de "cabeza de martillo", todas justificables y con éxitos efectivos de construcción y de explotación; pero, como veremos, con relativamente más fallos que las presas de tipo sencillo.

También aparecían, de vez en cuando, proposiciones algo raras, alguna incluso absurda, que volvían a desaparecer por no haber sido acogidas por la práctica.

Pero la moda no se mete sólo con los sombreros de señora; sistemas de presas que la moda divulga rápidamente y que la práctica no desmiente, vuelven a eclipsarse sin que se vea claramente la razón. Por otra parte, el miedo en sí comprensible de las poblaciones afectadas por una eventual catástrofe, lleva, en ciertas situaciones o países, a los respectivos Gobiernos a hacerle caso al vulgo antes que a los presistas, que se ven obligados a renunciar a ciertos tipos técnicamente justificados. Los bombardeos ingleses de presas alemanas durante la última guerra mundial, llevaron al Gobierno suizo a obligar al dueño de la presa de gravedad aligerada del Cleuzón (88 m.), en contra de la opinión de los presistas más eminentes de aquel país, a rellenar de mampostería en seco las cámaras entre los contrafuertes: concesión parcial, ya que los militares pedían relleno de hormigón.

Y lo mismo le va a pasar en Suiza a la presa de Lucendro ($H = 72$ m.), por intervenciones parlamentarias provocadas por las catástrofes de Ribadellago y de Malpasset. Se puede, pues, decir que la presa de gravedad aligerada está en Suiza condenada a muerte, después de haber sido los presistas de allí los que más la habían impulsado, y sin que se conozcan hasta ahora fallos.

C) Tendencias en la evolución

1. Incremento cuantitativo. Traslado a otros continentes.

Los gráficos de la figura 2.^a son impresionantes. Mientras que en 1850 existían sólo seis presas, de las cuales la mitad españolas, y siendo sólo 56 en 1900, pasaban de 1 000 en 1950 y de 1 500 en servicio en 1958. Hoy, 1960, deben de ser ya más de 1 800 si se incluyen las en construcción y en proyecto. Parece probable que la curva de nuestro gráfico no podrá seguir por mucho tiempo con su actual progresión. Todas las previsiones de desarrollo de centrales eléctricas, que son las que más provocan actualmente la construcción de presas, coinciden en que dentro de 15-20 años estarán agotadas las posibilidades europeas. Pero estamos apenas al comienzo con África, América Latina, Indonesia, China. Una vez más, los pueblos todavía subdesarrollados van adoptando técnicas europeas. Pero en cuanto a presas, sus posibilidades son mucho mayores: Nilo, Congo, Zambeze, Alto Amazonas, Ríos del Himalaya, Yang-Tse-Kiang, son sólo casos extremos; hay todavía muchas más cuencas con posibilidades superiores a las mayores europeas y norteamericanas.

2. Aumento de altura (línea 8 del gráfico de la figura 2.^a).

La presa de Alicante (1292), o Tibi, de 1583, quedó con sus 43 m. la campeona de altura del mundo hasta 1866, casi tres siglos; signió entonces la francesa Gouffre d'Enfer, de 63,5 m., teniendo ésta que devolver la primacía a España, que la mantuvo hasta el siglo actual con la presa de Puentes, cerca de Murcia (1294/95), gravedad, de 72,5 m. Desde 1914 hasta casi hoy, fueron campeones los U.S.A., según el esquema siguiente:

		G. N. = Gómez Navarro	
1915 - 25	Arrowrock	106 m.	todas
1925 - 35	O'Shaughnessy	132 "	de
1935 - 58	Hoover o Boulder	225 "	gravedad
			1168
			1697
			1392

En 1958 pasó a la cabeza Suiza inaugurando el arco gravedad de Mauvoisin (1920), de 231 m., que ya está rebasado por la bóveda delgada italiana de Vajont, de 256 m., mientras se termina en Suiza la presa de gravedad de la Grande Dixence (1176), que con sus más de 280 m. ahogó ya la Petite Dixence (1488), cuyos 90 m. de gravedad aligerada sirvieron tan sólo por veintitrés años (1935-58).

Pensando que no serían muchas las presas superiores a los 100 m., quise reunir las en una tabla, resultando tantas que me paré en los 150 m.

Véanse tablas IV y V.

Estaban, pues, en servicio, en 1958, 14 presas de $H > 150$ m. y otras tantas en construcción. Prevalecen las presas de gravedad, seguidas por las bóve-

Tabla IV. — Presas $H > 150$ m., en servicio o construcción en 1958.
(Ordenadas de mayor a menor.)

Núm.	EN SERVICIO		EN CONSTRUCCION		Hm.	Tipo	PAIS
	Núm.	Nombre	Núm.	Nombre			
1	1	Grande Dixence	—	—	287	Gravedad	Suiza.
2	—	—	1	Vajont	256	Arco delgado	Italia.
3	2	Mauvoisin	—	—	237	Arco pesado	Suiza.
4	—	—	2	Chatra	231	Gravedad	India.
5	—	—	3	Yang-Tse	225	Idem	China.
6	3	Hoover	—	—	225	Idem	U.S.A. - Colorado.
7	—	—	4	Feather River	218	Idem	U.S.A. - California.
8	—	—	5	Oroville	218	Idem	Idem id.
9	—	—	6	Mike Creek	215	Escollera	Idem.
10	4	Bhakra	—	—	209	Gravedad	India.
11	—	—	7	Manora	201	Idem	Idem.
12	—	—	8	Bridge Canyon	196	Arco pesado	U.S.A. - California.
13	5	Shasta	—	—	185	Gravedad	Idem id.
14	—	—	9	Crystal	183	Idem	Idem id.
15	6	Tignes	—	—	181	Arco pesado	Francia.
16	7	Kurobe 4	—	—	180	Gravedad	Japón.
17	—	—	10	Glen Canyon	177	Idem	U.S.A. - Colorado.
18	—	—	11	Wood Canyon	171	Tierra	U.S.A. - Alaska.
19	8	Grand Coulee	—	—	168	Gravedad	U.S.A. - Columbia.
20	9	Ross	—	—	165	Arco	U.S.A. - Washington.
21	—	—	12	Echo Park	160	Gravedad	U.S.A. - Colorado.
22	10	Zenzier	—	—	160	Arco	Suiza.
23	—	—	13	Clearwater	158	Gravedad	U.S.A. - Missouri.
24	—	—	14	Mossy Rock	156	Idem	U.S.A. - Washington.
25	11	Okutadimi	—	—	155	Idem	Japón.
26	12	Santa Giustina	—	—	153	Arco delgado	Italia.
27	13	Canelles	—	—	151	Idem id.	España.
28	14	Zervreila	—	—	150	Arco pesado	Suiza.

Total: 14 en servicio y 14 en construcción = 28. $\left\{ \begin{array}{l} 17 \text{ de gravedad.} \\ 9 \text{ de arco.} \\ 1 \text{ de escollera} \\ 1 \text{ de tierra} \end{array} \right\}$ ambas en U.S.A.

das, entre las cuales se tiende hacia la cúpula. Lo más sorprendente es el proyecto (¿ruso?) de la presa de 225 m. sobre el Yang-Tse, uno de los ríos más potentes del mundo.

3. Aumento de cubicación.

a) La presa que actualmente detenta el *récord* de cubicación es la del Gran Coulee, en el río Columbia, Estado de Washington (U.S.A.), con casi 8 millones de metros cúbicos de hormigón para $H = 168$ m., $L = 1275$ m.

b) Los mayores embalses se consignan a continuación en la tabla VI.

4. Evolución de los tipos.

Las > 1.600 presas registradas por Sutherland, se reparten, en los distintos tipos, como sigue:

Gravedad	52,5 %	} 100 %
Tierra	22,1 %	
Bóveda	15,1 %	
Escollera	4,8 %	
Contra fuertes	} 5,5 %	
Bóvedas múltiples		
Tipos esporádicos		

Parece lógico suponer que la cronológicamente primera presa sería de tierra y de reducidísima altura. Pero también se pierde en la noche de los tiempos la

Tabla V. — Los primeros ocho países, ordenados por su presa más alta.

Núm.	País	Núm. presas H > 150 m.	Nombre	Tipo	Hm.	Observaciones
1	Suiza.	4	Grande Dixence.	Gravedad.	281	Acabándose.
2	Italia.	2	Vajont.	Bóveda delgada.	256	En servicio desde hace poco.
3	India.	3	Chatra.	Gravedad.	231	En construcción.
4	U.S.A.	14	Hoover o Boulder.	Gravedad.	225	Campeona del mundo, 1935/1958.
5	China.	1	Yang-Tse.	Gravedad.	225	En proyecto.
6	Francia.	1	Tignes.	Bóveda gruesa.	181	En servicio desde 1958.
7	Japón.	2	Kurobe 4.	Gravedad.	180	En servicio desde 1958.
8	España.	1	Canelles.	Bóveda delgada.	151	En servicio desde 1958.

Ordenados por el número de presas superiores a H = 150 m.

1	U.S.A.	14	(50 por 100 del total mundial)	4/5	Japón, 2.
2	Suiza	4			China, 1.*
3	India	3*		6/8	España, 1.
4/5	Italia	2			Francia, 1.

* Adelantan los países subdesarrollados.

primera presa de mampostería. Los primeros datos seguros para este tipo aparecen sólo con los romanos (Mérida). Sigue la España del siglo XVI y todavía hoy las presas de gravedad son más de la mitad de las registradas.

Para las de tierra no había, hasta hace poco, simpatía en Europa; los países "terreros" eran la India, U.S.A., Méjico.

Veremos más adelante cómo la desconfianza europea estaba algo justificada, aunque no tanto como a primera vista se podría creer. Los relativamente recientes progresos de la mecánica del suelo han mejorado de paso el conocimiento de las tierras "artificiales" para presas, de los problemas de compactación, etcétera, y en este momento van los diques de tierra europeos también alcanzando alturas siempre mayores. España hace bastante tiempo que levantó en la provincia de Sevilla la presa de tierra de la Torre del Águila (1202), de casi 30 m., y no hace mucho la del río Cubillas (1172), cerca de Granada, de 38 m. Suiza puso en servicio hace un par de años el dique de Marmorera, de aproximadamente 90 m., y tiene bien adelantado el de Goeschenalp, que con sus 155 metros va a ser, hasta nuevos proyectos, el campeón de Europa, teniendo que devolver pronto el campeonato mundial a U.S.A., por los 170 m. de Wood Canyon, altura doble de la que los U.S.A. se atrevían a levantar de tierra hace sólo cincuenta años.

En cuanto a las bóvedas puras, aparecidas por 1920, tuvieron que admitir muy pronto, aunque a regañadientes, la competencia de las bóvedas gruesas.

El primer ejemplo lo dió en 1932 Suiza con la Spittlamm (1394), de 114 m. No se quedó ésta sola y hasta ahora ninguna de estas bóvedas gruesas, de cálculo a primera vista menos claro que el de las bóvedas delgadas, ha fallado. La más alta de este tipo es hoy la suiza Mauvoisin > 237 m.

Por otra parte, las bóvedas delgadas tienden siempre más a transformarse en cúpulas (fig. 3.^a). Estas tienen en primer lugar la ventaja de utilizar mejor el material y, como corolario, la posibilidad de poder instalar también un aliviadero en coronación sin necesidad de complicaciones estilo salto de sky, para alejar del pie de la presa trepidaciones y socavaciones (figura 4.^a). Hasta existe desde 1929 el extraño tipo de tres cáscaras de huevo acopladas por dos pilares intermedios: presa de Coolidge, U.S.A., 76 m. (1429).

Combinadas estas constataciones y tendencias con lo que veremos más adelante de presas falladas, está permitido vaticinar, *grosso modo*, que en los años próximos tenderán a establecerse entre los distintos tipos las proporciones siguientes:

Gravedad (en ligero descenso por aumento de los dos tipos siguientes)	50	100 %
Tierra (en aumento)	25	
Bóveda (delgada, gruesa, cúpula), en aumento	20	
Tipos varios esporádicos (en los cuales van a quedar incluidas las escolleras, las bóvedas múltiples, gravedad aligerada, contrafuertes y tipos solitarios), en disminución	5	

Tabla VI. — Embalses mayores.

Nación o continente	Estado obra	Nombre	Río	Región o Estado	m. ³ x 10 ⁶	P R E S A			Embalse Cijara x	m. ³ agua m. ³ horm
						Tipo	Hm.	Lm.		
1. España.	Servicio.	Cijara.	Guadiana.	España.	1,67	Grav.	65	285	1	6 000
2. Europa.	Proyecto.	Alvito.	Ocreza.	Portugal.	1,71	Arco	126	450	1,025 (a)	3 330
3. N. Zelanda.	Servicio.	Roxburgh.	Clutha.	Otago.	2,30	Grav.	107	368	1,48	3 330
4. Australia.	Proyecto.	Burdekin Falls.	Burdekin.	Queensland.	8,14	Grav.	55	825	4,9	?
5. Asia Menor.	Servicio.	Sakarya.	Sakarya.	Turquía.	8,65	Grav.	110	350	5,2	16 150
6. América S.	Servicio.	Rincón del Bonete.	Negro.	Uruguay.	9,25	Contraf.	43	1180	5,55	?
7. América N.	Servicio.	Boulder o Hoover.	Colorado.	U.S.A.	38,0	Grav.	225	360	22	20 000 (c)
8. India.	Servicio.	Wainganga.	Godavery.	Madhya.	41,0	Tierra	47	700	25	?
9. Africa S.	Construcción.	Kariba.	Zambeze.	Rodesia.	49,5	Grav.	100	?	30	?
10. Asia.	Proyecto.	Yang-Tse.	Yang-Tse.	China.	62,0	Grav.	226	?	37	5 400
11. Africa N.	Proyecto o construcción.	Asuan. 4.º b).	Nilo.	Egipto.	165,0	Grav.	107	7300	99	?

a) La diferencia entre Cijara y Alvito es demasiado pequeña para poder tener la seguridad de que Alvito resulte mayor. Como, por otra parte, está Alvito todavía sólo en proyecto, y que, por fin, Cijara es muy superior a Alvito en cuanto a la relación agua/hormigón, se puede decir que Cijara conservaría el *record* europeo, incluso si Alvito se llega a poner en servicio.

Desde el punto de vista explotación, tiene España un embalse mayor aún, que es la suma de los embalses de Buendía y Entrepeñas (cuenca del Tajo) = $1,45 + 0,9 = 2,35 \times 10^6$ m.³, resultante del hecho de que los dos embalses forman vasos comunicantes por medio de una galería.

b) El *record* mundial de volumen de embalse lo va a tener la cuarta presa de Asuan, en el Nilo (casi 100 Cijaras), 33 veces la Σ de todas las posibilidades de la cuenca entera del Guadalquivir. Al proyecto del Nilo le sigue el del Yang-Tse (37 Cijaras) o siete veces la Σ de todas las posibilidades de la cuenca del Guadalquivir.

c) La mejor proporción m.³ embalse/m.³ presa la detenta la presa de Boulder, en el Colorado, cuyo 20 000 no será fácil rebasar.

(Continuad).