

PROCEDENCIA DE LA PUZOLANA	FRAGUADO		En el aire	En agua dulce	En agua del mar
	Inicial	Final	7 días	28 días	28 días
Santa Cruz	1 h 55' . . .	4 h 55' . . .	18,80	25,10	28,55
			17,70	30,20	28,20
			—	23,18	24,00
	Promedio. .		18,25	26,16	26,91
Icod	»	»	12,87	17,89	22,22
			15,55	18,92	17,10
			—	17,23	20,62
	Promedio. .		14,06	18,01	19,98
Médano	1 h 40' . . .	4 h 58' . . .	16,87	19,45	22,58
			17,80	16,50	18,63
			—	15,90	18,20
	Promedio. .		17,33	17,28	19,80

Los ensayos demuestran que en las proporciones fijadas las probetas en agua del mar no sólo sobrepasan las resistencias exigidas en el Pliego para los cementos puzolánicos, sino que incluso en algunas, como en las de Santa Cruz, se obtienen resistencias superiores a las exigidas para el mismo cemento portland, debiéndose forzar un poco la proporción de cemento en las muestras de Icod y Médano, sin embargo, para mayor seguridad.

En su virtud, pues, nos hemos dirigido oficialmente a la Dirección general de Obras públicas, como ya ha quedado dicho, dando cuenta de los ensayos realizados, y que aquí reproducimos en una mínima parte,

en la seguridad de que, dada la calidad de los compañeros que componen la Comisión para el estudio de los cementos en obras marítimas, el asunto merecerá un detenido estudio del que quién sabe si resultará al fin la posibilidad de fabricar, al menos en las obras del puerto de Santa Cruz de Tenerife, los cementos puzolánicos a base de las puzolanas del país, obteniéndose en la ejecución de las obras una formidable economía, que es en definitiva lo que hemos perseguido al realizar estos estudios, sin olvidar tampoco, claro está, las consecuencias que pudieran deducirse para la economía nacional si se llegara, al fin, a la fabricación de verdaderos cementos puzolánicos nacionales.

José OCHOA Y BE JUMEA
Ingeniero. Director del Puerto
de Santa Cruz de Tenerife

Apuntes sobre la forma en planta de las presas-muros

Sabido es que está actualmente en pie la cuestión de la planta en curva o recta de las presas de embalse cuando han de hacerse de fábrica; por cuanto nadie discute la traza rectilínea de los diques en terraplén ni tampoco la de las presas-vertederos o de derivación, que siempre así se hicieron.

Las normas italianas, quizá influenciadas en sentido timorato desde la catástrofe de Gleno, proscriben, en general, la alineación recta, mientras los franceses, con más amplio espíritu de tolerancia, admiten indistintamente el trazado moderno y el circular.

En España nadie ignora que, hasta hace muy poco, todas las presas de fábrica, salvo la de Bermesales, de 45 m de altura, sobre el río Gacín (Sevilla), han sido ejecutadas con planta en arco de más o menos radio, pero siempre grande en relación a su cuerda; sólo de reciente, la Confederación del Ebro ha adoptado presa recta para los embalses de Santedalea (Teruel, río Guadalupe) y de Yesa (Navarra, sobre el río Aragón). En la del Pirineo Oriental se han propuesto en igual forma la del pantano de Crespiá y la del de Ribas, estando sancionada la primera, previo informe del Consejo de Obras públicas, y en suspenso la aprobación de la segunda hasta tanto se complete el estudio de los demás pantanos de cabe-

cera en el Fresser, pero sin observar nada, acerca de su planta, la Dirección general.

Entre las obras hidráulicas de los Estados Unidos, todas las dedicadas al abastecimiento de la enorme aglomeración urbana de New York, tienen traza rectilínea y no dejan de ser numerosas las levantadas con otro objeto en distintas regiones de la República. Sin embargo, ello no quiere decir que el criterio corriente entre los técnicos norteamericanos se incline decididamente en tal sentido, pues siempre resultan allí más numerosas las presas curvas para las grandes retenidas, excediendo poco de una docena las rectas de que tengo noticia.

Espinoso parece hoy sentar razonado criterio en lo referente a dicha cuestión, de mayor trascendencia quizá de lo que resalta a primera vista. Es indudable, en efecto, el acusado incremento de longitud y, por tanto, de volumen y coste, derivado de implantar la presa curvilínea, aparte de la complicación y dificultades de replanteo y ejecución que origina, máxime con la agravante del acuerdo circular en alzado entre el talud del paramento de aguas abajo con el vertical del triángulo postizo de coronación, que motiva una superficie de doble curvatura muy expuesta a resultar deformada al realizarla, según

consta a quienes hemos tenido que construirla.

Debemos, no obstante, aportar nuestra modesta, pero imparcial opinión sobre el asunto, valga por lo que valiere, dentro de su insignificancia.

Para el objeto conviene recordar los principales argumentos expuestos en pro y en contra.

La planta, que pudiéramos llamar clásica, o sea la curva circular, tiene a su favor, aparte de su repetida experiencia, el argumento, más intuitivo que técnico, de buscar el apoyo horizontal ofrecido por las laderas del desfiladero en la cerrada, como garantía complementaria de la resistencia del dique contra el empuje hidráulico; y otro, de mayor lógica y fuerza, circunscrito a aumentar la elasticidad de la obra, para sus cambios de dimensión con las variaciones de temperatura, facilitando, en caso de producirse grietas verticales, la tendencia a su cierre por la misma presión del agua.

Las presas rectas, además de ostentar en su abono la economía constructiva antes indicada, tienen la ventaja de ajustarse exactamente a las condiciones del cálculo, lo cual es muy importante, pues, en definitiva, el pretendido trabajo resistente de la forma en arco puede resultar contraproducente, según demostró un análisis publicado hace tiempo en cierta revista¹. Recuérdese también, al efecto, la curiosa e histórica anécdota de aquel constructor empírico que para asegurar más la solidez de una viga de hormigón armado, apoyada en sus extremos, después de salir triunfante de rigurosa prueba de carga, sin deformación plástica sensible, pretendió garantizarla, para su futuro trabajo, añadiéndole un soporte intermedio que, apenas terminado, produjo la inmediata rotura de la pieza.

En puridad teórica no existe esencial diferencia entre una planta circular de gran radio y otra recta, que, en definitiva, equivale a curva de radio infinito, máxime desde el momento en que la curvatura es arbitraria y no determinada por razones concretas que la limiten. En tal caso geométrico, el dintel o bóveda plana puede reemplazar sin inconveniente al arco escarzano de pequeña flecha, y hasta desde el punto de vista estereotómico, el efecto de cuña del dovelaje en que se fraccione la fábrica, conforme en la práctica realizan las juntas de compensación de las presas, no ofrece dificultad para conseguirlo en las de traza recta, con lo cual desaparece el argumento esgrimido contra ellas de despremiar la tendencia al cierre de las grietas verticales, proporcionado por la forma curva. Es decir, que, en buena lógica, la razón de coadyuvar las laderas del estrecho a contrarrestar el empuje hidráulico con la planta clásica no resulta cierta, tanto si la estribación del dique sobre el terreno natural presenta en conjunto sucesivos escalones, donde la proyección de las caras verticales del arraigo sea en cierto modo convergente hacia aguas abajo, disposición única aconsejable en cualquier caso, cuanto en el supuesto contrario, pues no se alteran las condiciones fundamentales por la circunstancia de empotrar un arco o un dintel, dado que ambos, y de todas maneras, efectuarían teóricamente análoga transformación de esfuerzos, motivando empujes laterales en sentido opuesto en cada escarpe y convertirán la carga sobre el paramento delantero en compresiones moleculares cerca de esta cara, con tendencia a trabajo tensor en el intradós.

¹ *Engineerings News-Record*, 12 de junio de 1924. Jakobsen.

Pero más semejanza ha de ofrecer una presa de gravedad en su función resistente con una ménsula empotrada en el suelo, a causa de su encaje en la zanja de cimiento, que con una pieza prismática apoyada por sus extremos en las laderas. Es más: la verdadera hipótesis básica de su cálculo consiste en prescindir del anclaje sobre el subsuelo del cauce, estudiándolas como simplemente apoyadas, sin confiar para contrarrestar el deslizamiento más que en la resistencia al mismo por consecuencia del peso propio, teniendo en cuenta el coeficiente de fricción de los planos ideales en contacto, con arreglo a la naturaleza de los materiales que entren en juego.

En definitiva, debe reconocerse, sin prejuzgar la cuestión, la carencia de sólida base matemática para construir ordinariamente las presas con planta curva, obedeciendo esta costumbre más bien a una apariencia satisfactoria en obras que, por su importancia, coste y posibles desastres, inherentes al caso de ruina, no permiten regatear las menores precauciones de seguridad, ni son apreciadas, en exacto grado, pequeñas economías en su importe.

Además, la fuerza de la rutina es colosal y sólo con parsimonia van abriéndose paso los perfeccionamientos a medida que aumenta el número de obras de esta clase, mayor cada día.

Así, tras del primitivo empleo de la fábrica de mampostería, vino el del hormigón mampostado y luego con bloques ciclópeos, para tenderse hoy a la homogeneidad, rapidez y baratura de los hormigones puros, cuyo peso específico cabe ahora aumentar mucho, a la vez que su resistencia e impermeabilidad, mediante el procedimiento de trepidación, empleando el vibropyl o el pervibrador Danius, flotante en la masa de cada tongada, con lo cual el volumen de huecos intersticiales se anula casi y resulta, en consecuencia, un verdadero material nuevo de sorprendentes propiedades.

Desde luego, en aquellos casos donde el perfil transversal de ubicación de la presa obliga a construirla de gran longitud en relación con su altura, no parece lógico dudar respecto a la adopción de planta recta, máxime si la cota de embalse motivo de suyo perfil de considerable volumen unitario y lo tendido de las laderas aleja toda presunción de que colaboren a soportar la presión del agua.

Lo contrario ocurrirá cuando las condiciones del desfiladero sean las opuestas, es decir, constituya un verdadero congesto de escasa anchura y laderas acantiladas, pues disminuye la ventaja principal de reducirse el volumen con la presa rectilínea. Pero nótese que entonces se entra dentro de las características apropiadas para implantar la presa-bóveda en lugar del muro de gravedad, y natural es que se proceda contar con el apoyo lateral, nos decidamos francamente por el sistema genuino adecuado, prescindiendo de involucrar, para el estudio, hipótesis poco compatibles y que distancian el cálculo de sus bases más acordes con la realidad.

La duda seguirá subsistiendo fuera de ambos casos típicos opuestos; pero será menos marcada en cuantos se les aproximen; y de todas maneras hay que convenir que las máximas garantías de seguridad únicamente se obtienen colocando las obras lo más aproximadas posible a las condiciones básicas de su cálculo, sin dejarse atraer por el espejuelo de mejorarlas con nuevas garantías que, al transformar

las hipótesis fundamentales, cabe den margen a esfuerzos insospechados.

No quiere esto decir haya sorpresas desagradables en los muros de planta en arco, sobradamente experimentados con éxito, aun los del largo período en que no se les dotaba de juntas de dilatación, pues de todos modos nadie desconoce tienen las presas de gravedad exceso evidente de resistencia y los ajenos a la técnica las califican de poco ingenieriles, con razón, desde el momento de resultar estables a simple golpe de vista, dada su enorme masa.

En puridad, al otorgar crecido radio a su eje en proyección horizontal, nos aproximamos de hecho, y pudiéramos añadir que *de derecho*, a la presa recta, hasta venir en el límite a parar en una franca cordialidad de teorías, muy propensa al completo acuerdo y a encontrar la más acertada en los casos de dudosa decisión.

Asimismo pueden ofrecerse ocasiones en que sea

oportuna la solución mixtilínea en las presas-muros, semejantemente a la ya empleada de igual manera en ciertos diques construídos en bóveda. Tal es la causa de existir muchas presas con planta curva en su región central, prolongada por alineaciones rectas, de ordinario tangentes al arco en sus extremos, donde la altura de la obra, al avanzar sobre las laderas, desciende con rapidez desde el fondo del estrecho.

La exageración en el sentido orientado por tal método llevaría de la mano a proyectar alguna vez una planta mixta en la cual predominaran longitudinalmente las dos rectas terminales, formando ángulo muy obtuso, y suavizado su encuentro por un arco de acuerdo, circular o parabólico, de corto desarrollo.

Pero, en suma, conforme al principio que dejamos sentado, las soluciones discretas no son precisamente las intermedias, que suelen tener agravados los inconvenientes de sus dos procedencias, sin totalizar las respectivas ventajas de cada una.

Enrique G. GRANDA
Ingeniero de Caminos

El coeficiente de seguridad para los caños de hormigón de portland

Para no cansar demasiado a los lectores de mi artículo último, dejé para otro la *demencia* relativa al «coeficiente de seguridad». Vaya ésta hoy, y no se vea en ella (como tampoco en las ya formuladas acerca de la «permeabilidad», del «horror a las juntas», del «desprecio de la cohesión intermolecular en los materiales pétreos» y de la «ineficacia e innecesidad de la armadura metálica en multitud de casos»); no se vea, digo, otra pretensión que la de aportar al conocimiento y reflexión de los técnicos cuanto digno, a mi parecer, de estudio o revisión he visto y veo en mi modesta pero ya algo larga práctica experimental.

Una vez y otra y muchas, y sin excepciones que lo contradigan, he observado el hecho que pone de manifiesto el siguiente ensayo:

Se trata de una partida de tubos de hormigón, del que yo distingo con el nombre especial de «archicompacto», palabra que no ha de tomarse como equivalente a «archirresistente», ya que la resistencia del hormigón archicompacto depende de las condiciones o características mecánicas de sus componentes, árido y aglutinante, y de otras condiciones o pormenores de fabricación que pueden variar sin que el producto deje de ser archicompacto. Tubos, por supuesto, del mismo diámetro interior y del mismo espesor todos ellos y construídos del modo conveniente para la debida uniformidad de cualidades y resultados.

Probado un tubo de éstos desde los catorce días de edad, a presiones hidráulicas no inferiores a 13 atmósferas, y hasta a 20 atmósferas en su día 25, alcanzó al siguiente, en prueba definitiva de rotura, 23 atmósferas.

Probado otro a sus 19 días, con una sola elevación continua del esfuerzo (sin retroceso ni parada) hasta rotura, alcanzó 24 atmósferas. La máxima resistencia que ofrece una pieza sometida en estas condiciones y *por primera vez* a esfuerzos, es la que yo llamo

resistencia «natural» de la pieza en el momento o edad en que la prueba se efectúa.

Probado otro desde su día 23, con elevación de la presión hasta 18 atmósferas, repetida cada veinticuatro horas durante varios días y hasta a 20 atmósferas en su día 27, rompió al siguiente día, en prueba definitiva, al llegar a 25 atmósferas.

Por último: probado otro a los 32 días de edad, subiendo hasta $18 \div 19$ atmósferas y retrocediendo a *cero* diez veces consecutivas, sin descanso de más de pocos minutos entre una y otra subida, alcanzó las 25 atmósferas al seguir subiendo, a la vez siguiente, en prueba definitiva hasta rotura.

Las consecuencias racionales de este ensayo, después de muy repetida (como lo está) la experiencia de la uniformidad de cualidades de los productos, cuando se procura cuanto es posible la uniformidad en la fabricación y se adoptan todas las disposiciones y cuidados que requiere un buen producto, son:

1.^a Que la resistencia de los tubos de la partida ha sido de $23 \div 25$ atmósferas (correspondientes a tensión del hormigón de $26,83 \div 29,17$ kg por centímetro cuadrado) en la segunda quincena de su edad.

2.^a Que no perjudica a la resistencia *natural* de este hormigón el someterlo repetidas veces (ni aun siendo éstas muy seguidas o inmediatas unas de otras) a esfuerzos que alcancen el 75 por 100 de su carga o tensión de rotura.

Esta segunda consecuencia es el hecho interesantísimo al cual he querido especialmente referirme como observación base de cuanto voy a decir.

En verdad yo creo que hasta el 80 por 100 de la carga de rotura, por tensión, del hormigón archicompacto pueden alcanzar los esfuerzos, sin que se produzca deformación permanente dañosa¹; pero no

¹ Aunque en los materiales pétreos, como es sabido, no se pueden apreciar, en general, deformaciones antes de