

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

DISCURSO INAUGURAL
DEL CURSO 1948-49

LEÍDO EN SESIÓN CELEBRADA EL DÍA 10 DE NOVIEMBRE DE 1948

POR EL ACADÉMICO NUMERARIO

EXCMO. SR. D. ALFONSO PEÑA BOEUF



MADRID
DOMICILIO DE LA ACADEMIA
VALVERDE, 22.—Teléf. 21-25-29
1 9 4 8

C. BERMEJO, IMPRESOR.—J. GARCIA MORATO, 118.—TELEFONO 23-11-99.—MADRID

Señores Académicos:

Señoras y Señores:

Inauguramos hoy el curso académico de esta Real Corporación, siguiendo en estas fechas la costumbre tradicional, y por la benevolencia de los demás señores académicos se me confiere el honor de hacer este discurso, que con mayor brillantez podría haber sido preparado por otro cualquiera de los ilustres compañeros.

Voy a tratar de un tema del que en diferentes ocasiones me he ocupado, pero que presenta diversos puntos de vista en el transcurso del tiempo y sin incurrir en repeticiones, aunque sosteniendo un criterio de antiguo, puede quizá interesar vuestra amable atención.

* * *

LAS PRESAS DE EMBALSE

En las aplicaciones que los Ingenieros hacen de las ciencias físico-matemáticas a las construcciones, se ha progresado mucho si se consideran las que actualmente se ejecutan, comparadas con las que fueron desarrolladas en la antigüedad.

Ha prosperado muchísimo la técnica para hacer bien las construcciones, siempre con el doble concepto de obtener la ma-

yor economía compatible con la seguridad en su estabilidad y sin descuidar la estética, que no debe olvidarse, por la satisfacción que produce al espíritu.

En los siglos anteriores al pasado, el desarrollo fué mucho más lento, y, hasta entonces, salvar luces de 100 metros era empresa de mucha consideración, mientras que hoy día pasar de los 1.000 no ofrece dificultad, sin que pueda considerarse esta cifra restrictiva si se dispone de medios adecuados.

Tanto ha sido el avance en los últimos cincuenta años, que en algunas conferencias se ha formulado la pregunta de si estaremos en la época actual en los límites de la audacia con el empleo de los materiales en uso, a los que se hace agotar su resistencia específica con el mayor grado de aprovechamiento y siempre que pueda obtenerse al mismo tiempo un régimen de tranquilidad.

No es así, pues todavía, aun sólo con los elementos existentes, hay un margen que permite llegar a límites más amplios y por otra parte surgen en la industria materiales nuevos que permiten extender las actuales aplicaciones.

Pero, sin embargo, en materia de presas de embalse se ha progresado relativamente poco desde época muy remota.

De los puentes que hacían los romanos a los que hoy día se realizan, hay un abismo, y aunque en la Edad Media las construcciones ojivales marcaron una valentía extraordinaria y un concepto genial de aprovechamiento de la materia, actualmente, desde el punto de vista constructivo —y dejando por el momento nuestra admiración estética para ellas— se superan todos esos alardes por otros mucho más audaces.

En las presas, el movimiento es notoriamente más lento y respecto al criterio que inspira la obra pudiéramos decir que se sigue un régimen casi estacionario.

De la idea que tenían los romanos de cerrar un valle por medio de unas piedras, que con su peso opusieran la debida resistencia para contener el empuje del agua, en el embalse, al con-

cepto que hoy día se practica con las presas de gravedad, puede decirse que, en cuanto a idea fundamental, no se ha variado nada.

Es cierto que actualmente hay otros tipos de presa: en forma de bóvedas, de cúpulas, de anillos, etc., que son ideas mucho más progresivas, pero en la estadística formada, sólo un 18 por 100 pertenecen a estos tipos; y el resto al sistema de gravedad, que por tanto forman aplastante mayoría.

En la época remota y durante un largo período de tiempo, las presas que se hacían con escollera, o con mamposterías, se estudiaban para el equilibrio estático, no entrando en juego para nada las propiedades físicas de la materia sino sólo por su peso específico y solamente se invocaban los principios de la estática gráfica como problema geométrico de resultantes de presiones.

Hasta final del siglo pasado fué esta sencilla manera de actuar la que reflejaba toda la técnica empleada.

En mediados del siglo anterior a éste, el desarrollo que tomaron las Escuelas de Ingenieros que estaban en su creación y el rápido incremento de la construcción con la aparición de los materiales metálicos, hizo variar el concepto de las masas, componiendo el edificio por líneas resistentes en el sentido de las resultantes de esfuerzos, que dió así origen a la teoría de las estructuras.

La flexibilidad de las líneas estructurales fué imagen gráfica para hacer comprender que la deformación de ellas influía en la distribución de los esfuerzos internos y que no bastaba el equilibrio puramente estático para que las piezas pudieran resistir. Eran las facultades físicas de la materia que entraban en juego y que completaban las geométricas de la estabilidad.

A este respecto los Ingenieros ampliaron sus estudios con la teoría de la elasticidad, muy anterior a esa época por el esfuerzo de los matemáticos, pero simplificando notoriamente las expresiones generales por su aplicación casi exclusiva a piezas de figura prismática, grado el más sencillo de la forma.

Ya en este siglo y siguiendo la expansión que se había hecho para aplicar el criterio elástico a las estructuras, se trató de me-

ter en las presas análogo concepto, haciendo aplicación de la elasticidad en las dos dimensiones y tomando como base los estudios de los matemáticos en las superficies velarias, que desde época de Bernouilli formaban capítulo muy interesante de la elasticidad matemática.

Los Ingenieros, con un concepto excesivamente simplista, creyeron que se podían aplicar correctamente las expresiones elásticas a las presas de gravedad y para ello suponían cortada la obra por planos verticales en sentido transversal e hicieron aplicación de la elasticidad doble al sólido formado por una rebanada de presa comprendido entre dos de esos planos. Con este método se sigue operando en los presentes días.

En un análisis un poco severo, surgen muchas dudas respecto a la relativa exactitud que pueda conseguirse con este modo de ver el problema.

La primera, es la eficacia de esos planos de junta, que en rigor deben ser neutros en esfuerzos, condición que sólo podría ser aproximada si fueran verdaderos planos, en vez de la junta en laberinto que se precisa para la impermeabilidad y, además, que fuera despreciable el enorme rozamiento que tiene en la unión y aún todavía si no hubiera causa de perturbación porque las laderas no fueran inclinadas. Pero todo esto en la práctica es irrealizable, y por contraposición las laderas tienen bastante inclinación y desigualmente entre ellas, los planos de junta no son transversales por precisar un dentellado relleno de otras sustancias que eviten las temidas filtraciones, existe también arqueado en planta, que desarrolla sin duda importantes reacciones en sentido normal a esos que debieran ser planos neutros, y, por último, y muy importante, hay que tomar en cuenta la siguiente consideración:

La aplicación de la teoría de elasticidad matemática podrá tener cierta aceptación en los hormigones, cuando éstos constituyen estructuras lineales, como ocurre en las líneas estructurales de los edificios, en las que las dimensiones transversales son

muy pequeñas comparadas con las longitudinales y si ciertamente sabemos que no se cumple la ley de proporcionalidad entre esfuerzos y deformaciones, los errores tienen no mucha importancia en las resultantes de los esfuerzos a lo largo de las piezas que son los que más influyen en las estructuras. Pero en las presas, se emplean grandes cantidades de masa y las dimensiones son comparables en los tres sentidos del volumen; están además sometidas inevitablemente a dos causas de variación de forma, que son el estado higrométrico y la temperatura, pero no con valores pequeños, pues para las primeras ocurre muy frecuentemente que el paramento de aguas abajo tiene por calentamiento del sol temperaturas de 50° y el otro, de aguas arriba, en contacto con el embalse, se mantiene en los 15 a 20° , lo que da lugar a diferencias muy grandes de tensión unitaria; y en relación con las segundas, por imbibición de agua o por retención de la que origina su proceso de fraguado, el estado higrométrico es muy variado e importante. Estas dos causas alteran profundamente la esencia misma del proceso de cálculo que como condición previa exige dilatación cúbica constante y partida del estado neutro en la estimación de los esfuerzos de sobrecarga. Además, podría añadirse la plasticidad residuaria que en pequeñas masas es inapreciable, pero no así cuando los volúmenes son enormemente grandes.

Sin embargo, los Ingenieros hacen frecuentemente proyectos de estas presas engalanando sus memorias con cálculos y gráficos que parecen aquilatar con el mayor escrúpulo todas las previsiones, cuando en rigor el espíritu filosófico está tan alterado en la práctica que un fino análisis hace disipar todas las expresiones algébricas empleadas, con tanta rapidez como se evapora una gota de agua cuando se somete a un foco de calor.

Y algo queda en suspenso en el ánimo de los técnicos, cuando, a pesar de la audacia que es signo característico de esta época y que les ha hecho incurrir en exageraciones tan imprudentes como atribuir un coeficiente de seguridad muy poco superior a

la unidad en algunas construcciones móviles aeronáuticas, prescribe, sin embargo, en las instrucciones oficiales dictadas por las autoridades para estas presas que el coeficiente de seguridad no debe bajar de 10, y en algunas marcan, además, que la compresión máxima no pasará de 22 kg. cm², cuando en ensayo de pequeños prismas de esos hormigones no es difícil alcanzar valores de resistencia superiores a 10 veces de ese valor.

A pesar de todo, son quizá este tipo de presas de gravedad que tienen como característica la estabilización estática por el propio peso, las que con mayor grado de seguridad se emplean en la práctica, pues si bien es cierto que todos estos defectos son imputables, desde el punto de vista racional, puede tener un relativo grado de aproximación cuando los planos de junta sean algo eficaces y la construcción se conduzca con unas precauciones que neutralicen en parte las variaciones de volumen estimadas como más perjudiciales. Es, pues, el pliego de condiciones que debe observarse en la construcción el documento que mayor importancia tiene para la posible aceptación de un cálculo siempre poco aproximado.

El volumen que resulta para estas construcciones es enorme y quizá sea esto una gran limitación para su realización, ya que actualmente por consecuencia del precio elevado en las unidades de obra se producen presupuestos que pueden resultar incompatibles con la economía de la empresa.

Y es que por su peculiar funcionamiento el rendimiento de trabajo de la materia es pequeñísimo, porque basta ver el diagrama del estado elástico plano, que se ha aceptado por el cálculo, en su perfil triangular, para apreciar que, en una sección transversal de la presa, en carga cuando el embalse está lleno, la presión, que es máxima en el vértice del pie, tiene valor tan moderado como hemos dicho antes y sólo afecta a la pequeña masa que la rodea, decreciendo notoriamente en el resto de la sección, por lo que la presión media calculada a la vista de las isostáticas, es siempre inferior a un tercio del máximo en el pie. Es, pues,

un sistema constructivo en el que los valores de trabajo medio son inferiores a $\frac{1}{30}$ del que por su naturaleza puede realizar. Y es que la materia está sumamente desaprovechada por la forma en que está constituido el sistema, que emplea todas sus facultades en estabilizar, dando así lugar a pensar en lo poco conveniente que resulta emplear grandes capitales con tan escaso rendimiento.

* * *

Cuando un valle es estrecho, surge de un modo espontáneo la idea de cerrarle con una bóveda para hacer el embalse, pues intuitivamente, y desde antiguo, se presiente que la forma de arco refiere muy bien las presiones a las laderas.

Pero esta idea tan simplista tiene muy graves dificultades a fin de precisar las dimensiones que ha de darse a la presa para la necesaria seguridad.

En los primeros ensayos a este respecto se hizo el cálculo por las fórmulas de las piezas prismáticas curvas aplicadas sucesivamente a distintas alturas, pero cae totalmente por su base este razonamiento por la sencilla razón de que no son piezas prismáticas. Se trata en realidad de elementos horizontales continuos de un sólido variable en forma transversal y sustentado por dos lados o por tres, si se considera el fondo. Y un sólido así dispuesto no es susceptible de ser tratado por la teoría de la elasticidad, por la inmensa aplicación que tienen las ecuaciones internas y más aún las del contorno.

Es preciso simplificar el problema para hacer asequible el cálculo, pero siempre que sea posible la hipótesis que se haga a tal efecto. No importaría que esta hipótesis diera resultados sólo aproximados, pues aun con una grosera aproximación podría uno conformarse, pero lo que no se puede aceptar es que el fenómeno físico sea distinto en el concepto que en la realidad.

Y eso es lo que pasa en los métodos que los distintos autores han presentado.

No hemos de estimar como razonable el simple cálculo de arcos delgados que al principio hizo Cain entre otros autores, ni siquiera el de arco grueso apreciado por Ingenieros tan distinguidos como Jacobson y Noetzli, porque la continuidad de la presa hace que forme un continuo elástico sin que pueda descomponerse de modo arbitrario la solidaridad entre los distintos arcos que virtualmente se han separado, pero que en la realidad están enlazados. Y no puede prescindirse de las deformaciones en sentido vertical que de ese modo quedarían olvidadas.

Ya se comprende que este es un simplismo inaceptable, por idéntica razón que no puede aplicarse tal criterio al estudio de una bóveda oblicua en la que se presienten las notorias torsiones que, por no estar las resultantes en el mismo plano, se producen y que de ese modo no se tendrían en cuenta.

Comprendiendo este falseamiento del problema, los técnicos que pudiéramos llamar más modernos y ya en época actual preconizan el estudio de dimensiones, partiendo de un posible reparto entre las fibras horizontales y las verticales, con la denominación de sistema arco-ménsula.

En una primera aproximación admitieron sólo una ménsula central y una serie de arcos horizontales. Después, creyendo perfeccionar los resultados, han llegado a un procedimiento, fatigosísimo de cálculo, en el que suponen varios arcos y unas cuantas ménsulas, que, deformados de conjunto, dan una serie de valores que deben ser comunes para las flechas en los puntos de unión.

Siguiendo procedimiento análogo al expuesto por Campini, se supone una serie de variaciones de las presiones sobre las ménsulas, por una ley parabólica que tiene bastante arbitrariedad, pero aun suponiendo que en lugar de una sola ménsula central se descomponga la presa en cinco o seis rebanadas y otras tantas ménsulas, no puede hacerse la igualdad de flechas en los puntos de cruzamiento, empleando las fórmulas generales de re-

sistencia de materiales para los arcos gruesos como independientes y para las ménsulas verticales como pieza empotrada en su base, por la clarísima razón de que las sustentaciones laterales que respectivamente tienen esas piezas, hacen que no sean ciertas, ni siquiera aproximadas, las expresiones de las elásticas que han servido de base para la igualación de las deformaciones en los puntos de cruzamiento.

Aunque algunas grandes presas americanas como la de Boulder y Gibson hayan sido estudiadas de este modo y seguido en ellas este criterio, es indudable que no puede considerarse científicamente como satisfactorio, no porque sea poco aproximado, que eso sería quizá lo de menos si el orden de aproximación era comparable con la previsión de las cargas de resistencia asignadas, pero es que aun con los reajustes que después se hacen respecto a deformación radial y de torsión seguidos por autores tan acreditados como Glover y Lieurance, como todo ello parte de aplicación de funciones algébricas que sólo por restringidas hipótesis se verifican, deja lugar a una total incertidumbre respecto al llamado coeficiente de seguridad, que en rigor no es más que un margen de desconfianza.

Por de pronto hay una cosa que sorprende: las presas así calculadas no son delgadas; su espesor en la base tiene una relación de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{6}$ de su altura y, sin embargo, hay que admitir valores relativamente fuertes para cargas de trabajo internos.

Pero es curioso observar que si por arte de magia fuera posible deshacer los enlaces de continuidad, suprimiendo las fibras ménsulas y los arcos trabajaran solos, sobraría más de la mitad de la materia.

- No ocurre eso en la naturaleza: evidentemente, cuando en una malla formada por cuerdas en dos sentidos, que se cruzan, se cortan todas las de un sentido, decrece notoriamente la resistencia total de la malla, ocurriendo lo mismo con todos los tejidos. . . y aquí ocurre lo contrario.

¡Sóloamente en las cuestiones sociales y políticas es donde, por tratarse de elementos que tienen albedrío, puede muy bien ocurrir que al suprimir varios de ellos se mejore el conjunto!

* * *

El problema es siempre el mismo: encontrar un sistema que con la debida resistencia produzca el máximo de economía.

Ahora bien, y como cuestión previa, ¿cuál es el material a emplear? Del estudio de los diversos materiales de construcción se desprende que es el hormigón el que mejores condiciones reúne: por su gran peso específico, su notoria resistencia unitaria en relación con él, su moldeabilidad, la inalterabilidad relativa con el tiempo y otras facultades de orden físico.

Pero, elegido el material, es notorio que el régimen de mayor economía corresponde al sistema que puede producir compresión axial únicamente. La sección entonces está aprovechada al máximo, porque éste es el régimen de mejor aptitud específica de ese material y el problema queda reducido así a encontrar la manera posible de obtener en el sistema sólo compresiones normales.

Bien sabido es que esto se consigue en elementos mecánicos con los antifuniculares de tracción, o lugares geométricos de compresión y para presiones uniformes corresponde la figura del arco de circunferencia con presión mínima cuando el diámetro es la luz a salvar.

Surge de ese modo, correctamente, que la presa formada por anillos circulares constituyen el sistema óptimo, siempre que estos anillos no tengan coacción mecánica de unos con otros o con elementos externos.

La cuestión queda, pues, reducida a la técnica de la construcción.

Indudablemente la dependencia menos coactiva entre los anillos es la producida por rodadura, pues este modo de actuar unos elementos con otros es el que produce el mínimo de resistencia pasiva y así se considera en todas las máquinas de la industria.

Desde el punto de vista teórico es el sistema de presa que más se acerca a la perfección. Ahora bien, es preciso demostrar que las juntas actúan de modo aproximado a las condiciones previstas. La experimentación con elementos naturales es la que debe realizarse para comprobar el resultado en la práctica.

Siempre es difícil la experimentación en las presas, porque los modelos en escala reducida que pueden hacerse en los laboratorios no traducen fielmente los procesos de orden físico, ya que no pueden fácilmente hacerse variar las distintas causas de actuación con la escala del modelo.

Y por el contrario, en las presas ya construídas se hace la medida de la deformación con bastante dificultad, por la pequeñez de los valores en relación con otros elementos perturbadores.

Este es el motivo por el que hay muy poco experimentado en toda clase de presas y los resultados en general son de difícil interpretación.

En este tipo de presa de anillos, además de la que como vía de ensayo se hizo en Isber (que sigue en funcionamiento a lo largo de dieciocho años en que fué hecha), se ha realizado una experiencia en escala natural en Benageber, como ataguía del Pantano del Generalísimo, con una altura de 41,50 metros sobre cimiento.

Para este ensayo no se ha empleado en su totalidad la composición que acabamos de expresar como más conveniente y eficaz, pues con objeto de poder hacer la prueba de distintos medios de unión, se hizo un primer basamento de arco empotrado, con 14 metros de altura, al que después sigue un anillo que, como todos los siguientes, tiene 3 metros en alto, sustentado sobre el zócalo y con las laderas por intermedio de chapas de plomo; continúa encima otro anillo de apoyo directo sobre el de abajo y en las laderas con rodillos de fibro-cemento, y el siguiente en altura se practicó con sistema mixto de plomo en horizontal y rodillos en apoyos laterales. El resto de los anillos hasta la coronación han sido dispuestos con rodillos en ambos apoyos. Estas alter-

nancias no son nunca convenientes por la ambigüedad que arrojan en los resultados.

Después de varias riadas adventicias, se produjo una avería por rotura de algunos rodillos de apoyo del quinto anillo, porque realmente tenían excesiva carga y demasiada separación. Cuando se cerraron las compuertas en mayo del año pasado, el Ingeniero encargado, Sr. Sancho Tello, elevó a la superioridad, en junio, el resultado de las observaciones.

Las conclusiones del informe son las siguientes:

«La ataguía se ha comportado durante el embalse de 1947 de acuerdo con su peculiar constitución. Los movimientos de los anillos aguas abajo durante el embalse y aguas arriba en desembalse, han sido perfectamente observados y registrados. La diferencia de desplazamiento entre clave y arranques es lógica dada la diferencia de rozamiento existente entre las distintas cargas».

En realidad esta variación que constructivamente se hizo entre los diversos anillos, con el fin de ver si se producían variaciones por sus diferentes apoyos, ha dado resultado por cuanto que la sustentación por rodadura es la que ha acusado deformaciones más concordantes con las previstas, pero claro está que son pocos los elementos para poder sacar una plena confirmación experimental.

Posiblemente se obtendrá ya un resultado más claro en la presa que se está construyendo en El Tiemblo, por la División hidráulica del Tajo, en que desde el principio se hace la construcción sobre rodillos en ambos sentidos y, además, el gran desarrollo angular de esta presa permitirá comprobar el efecto de resistencia al pandeo para los ligerísimos anillos superiores.

Con este tipo las esbelteces conseguidas son mucho mayores que con el sistema arco-ménsula, llegando a esbeltez inferior a $\frac{1}{10}$ de grueso en la base, en relación con la altura, resultando trabajo muy moderado de fatiga interna.

* * *

Si para los efectos de conseguir el máximo aprovechamiento de la materia, con la consiguiente economía, se llega a la conclusión de que este criterio conduce al rendimiento óptimo cuando, para el material de hormigón frecuentemente empleado, se puede conseguir que trabaje exclusivamente a compresión sensiblemente uniforme, que es su máxima aptitud, podría formularse la siguiente pregunta, al cambiar el punto de vista, en sentido inverso al anterior: ¿no podría obtenerse todavía mejor resultado de rendimiento económico variando el material por otro de peculiar aptitud para esfuerzos de tensión?

De todos modos los materiales que dispone la industria para estos efectos, son los metales los que tienen mejor aplicación y entre ellos el acero del comercio el que, proporcionalmente al precio, tiene positivas ventajas.

Podría idearse entonces un tipo de presa de embalse con anillos circulares de radio variable, formando una serie de virolas, unas encima de otras, que estarían orientadas, como es natural, con la concavidad hacia el embalse y que serían la figura de equilibrio elástico de un sistema de tracción absoluta, siempre que las sustentaciones no coartaran la libre dilatación radial.

Para conseguir este efecto podrían amarrarse los anillos en los extremos por garfios soldados a ellos, que formarían largos anclajes en la roca de ladera y con ligero huelgo en los arranques calculado para la deformación en carga, con objeto de que pueda actuar como rótula. Y cada anillo apoyado sobre el inferior verticalmente por intermedio de tochos en forma avellanada, de distancia próxima, pero discontinuos para que su coacción fuera pequeña, pero de eficacia, porque el peso en vertical es siempre muy moderado respecto a la resistencia horizontal. La impermeabilidad de las juntas se podría hacer con chapa fina en acordeón, soldada a las virolas.

Este sistema de presa, completamente nuevo hasta el presente, tendría, desde luego, una máxima utilización del material y por tanto, dentro de la calidad de éste, su mejor aprovechamiento.

Dada su ligereza no era lógico que tuviera camino de coronación, pero debería hacerse independiente por sistema funicular de puente colgado.

Ahora bien, por sugestiva que sea una idea nueva, debe siempre compararse con las antiguas, pues no tendría eficacia en caso negativo.

El más importante de los puntos de vista es el económico. Y mirando así esta cuestión, es posible que tenga ventajas con respecto a los sistemas de presa de uso corriente (tipos de gravedad, bóvedas continuas, sistemas de contrafuertes y bóvedas, etc.), pero creemos que es menos económico que la de anillos de hormigón con rodadura de rodillos.

Con el concepto de trabajo mecánico, los dos sistemas son inversos uno de otro: régimen único de compresión el primero y de tracción absoluta el segundo, pero como los materiales respectivos tienen esas peculiares aptitudes, la comparación se puede hacer inmediatamente con sólo tener en cuenta la relación de precios y la de resistencias específicas.

Para una resistencia unitaria del hormigón, del orden de 40 kgs. cm.² y 1.000 kgs. cm.² para el acero, cifras ambas bastante moderadas, por exigirlo así estas construcciones, aunque ahora los precios son difícilmente estimables por las distintas causas de encarecimiento y especulación que se han producido desde la guerra mundial, si se adoptan precios de cuando había estabilidad, resultaría que la relación entre el precio del metro cúbico del acero y del hormigón tenía en esa época y para este género de obras, el valor aproximado de 70.

Hoy día han aumentado muy desigualmente los valores del hormigón y del acero en obra, pues este último ha crecido en proporción especulativa muy superior: y posiblemente la relación expresada antes pasará actualmente del valor 100.

Ahora bien, como la relación de resistencias específicas es $\frac{1.000}{40} = 25$, resulta mucho más caro desde el punto de vista in-

trínseco el sistema de presa de anillos de acero que el de hormigón y en todos los casos la relación de precios pasa de dos veces y media.

Con los otros sistemas puede llegar a ser no sólo comparable en precio, sino mucho más económica, porque además hay otra ventaja que es muy de tener en cuenta: la rapidez y facilidad de la construcción y de emplazamiento, pues en realidad una presa tan sencilla formada por anillos que serían chapas de palastro sin más preparación que la de su soldadura, hecha en taller, y de las otras delgadas para las juntas, en obra, pueden dar una gran rapidez de montaje, en tanto que una presa de gravedad requiere generalmente varios años, casi siempre del orden de cinco y a veces mucho más, para su puesta en servicio.

Teniendo en cuenta esta aclaración, es posible que en su comparación con la de anillos de hormigón quede muy atenuada la relación antes indicada de precios unitarios por la gran diferencia de jornales en el montaje, que daría en la metálica valor en gastos generales muy aminorado en relación con todas las otras soluciones.

Dejamos esta idea en suspenso, porque todavía es preciso ponerla en práctica a vía de ensayo, y de momento sólo exponemos una posibilidad que antes de emplearla debe ser madurada.

* * *

Hemos hecho un análisis rápido, pero metódico, de los principios en que se basa el estudio técnico de las presas de embalse y la conclusión que resulta es la siguiente: que si la teoría de la elasticidad en su concepto y desarrollo racional, es maravillosa, aunque complicada y restringida, no puede aplicarse con tanta extensión como frecuentemente se hace en el campo de la técnica, pues a veces se incurre en falsedad al considerar sólo la verdad «a medias», y las ecuaciones matemáticas que son magnífico instrumento de cálculo para su establecimiento, requieren una

adaptación de orden físico que sea compatible con la realidad de los hechos experimentados.

En la hipótesis es donde generalmente hay fallo y en materia de grandes presas, de enorme responsabilidad civil y de difícil experimentación por las grandes masas que se manejan y pequeñas deformaciones ostensibles, es donde la crítica del método debe ser más severa.

HE DICHO