

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS.

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

CONGRESO NACIONAL DE RIEGOS É INDUSTRIAS ANEJAS

CELEBRADO EN ZARAGOZA LOS DÍAS 2 AL 6 DE OCTUBRE DE 1913

PONENCIAS PRESENTADAS

NORMALIZACIÓN DE LAS CORRIENTES FLUVIALES,

PRINCIPALMENTE MEDIANTE EMBALSES,
Y LA INDUSTRIA DE PRODUCCIÓN DE FUERZAS HIDRÁULICAS (1)

POR

DON LUIS SÁNCHEZ CUERVO

Ingeniero de caminos, canales y puertos.

§ V.—Necesidad imprescindible de los embalses.

En los estados que se acompañan á esta Memoria respecto á máximos y mínimos caudales, comparados con la totalidad de las aguas superficiales (fig. 2.^a), así como en los cuadros análogos que insertan muchas obras, algunas de las cuales he citado, puede apreciarse la ridícula importancia del caudal mínimo con relación al régimen uniforme que consentiría el total de volúmenes que por el cauce discurren en un año. Es presumible que esta pequeña importancia del mínimo se agrave, en general, en nuestra Patria á causa de la accidentada orografía, del régimen más acentuadamente torrencial de los ríos y de la enorme evaporación del verano.

Para algunas cuencas alpinas francesas, se considera el estiaje como equivalente á $\frac{1}{4}$ del caudal medio, subsistiendo la indeterminación que ya he señalado, respecto á lo que debe llamarse caudal medio (2). Si por este caudal se entendiera el cociente de dividir la cantidad total de agua que en un año pasa por el cauce, por el número de segundos que el año tiene, aun me parecería elevada dicha fracción en esos casos particulares, según mis observaciones de cuencas altas en el Pirineo central, y, desde luego, lo es siempre en cuencas algo extensas no regulari-

zadas, á las cuales habría mejor de aplicarse una fracción comprendida entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{10}$, sin pecar de pesimista.

En el río Lozoya, según la Memoria ya citada en el párrafo tercero de esta ponencia, los caudales mínimos medios de los meses de Septiembre de 1903 y Agosto de 1904, fueron, respectivamente, de 509 y 255 litros por segundo. En esos mismos años, los caudales medios, definidos como más arriba se dice, fueron, correspondientemente, de 5.750 (año seco) y 10.300 (año lluvioso) litros por segundo, es decir, que los estiajes respectivos correspondieron á $\frac{1}{11}$ y $\frac{1}{40}$ de los respectivos caudales medios, siendo, en valor absoluto, el estiaje del año lluvioso la mitad del que correspondió al año seco. Y aquí no cabe decir que los riegos, que prácticamente no existen, mermaron y casi anularon el caudal de estiaje.

Mientras los aprovechamientos de energías hidráulicas han tenido una importancia pequeña, de aplicación local y limitada, el mal se ha sobrellevado como se ha podido, según los casos (ejemplo, represadas), pues, entre otras razones, no permitía la modestia de dichos aprovechamientos la inversión de las cuantiosas sumas que, aun acometida en pequeña escala, exige la regularización anual del régimen.

Pero cuando se ha pretendido explotar grandes energías hidráulicas, aquella insignificancia relativa del mínimo caudal, comparada con los recursos medios anuales que ofrece una cuenca, ha impuesto, ineludiblemente, la necesidad de normalizar el régimen de las corrientes.

Sólo dos medios se preconizan como posibles para lograr este resultado, que son: la repoblación de las cabeceras de las cuencas y la construcción de embalses reguladores. Desde el punto de vista de los aprovechamientos hidráulicos, el bosque es, sin embargo, totalmente ineficaz. Es indudable que, aparte los mil beneficios inapreciables que á los bosques se deben, aun incluyendo en ellos el aumento bastante discutido que puedan determinar en las totales precipitaciones anuales, su efecto sobre el régimen

(1) Véase el núm. 1.989.

(2) Pacoret, tomo I, pág. 107.

irregular de los ríos se refleja, casi exclusivamente en los máximos ó avenidas, acumulando hasta cierto límite las aguas á modo de volante de inercia, para cederlas con relativa lentitud, matando ó redondeando así los picos de la curva de caudales y contribuyendo á evitar, en muchos casos, los efectos devastadores de las crecidas.

Pero sobre los valores mínimos, su influencia es insignificante; quizá eleva algo el mínimo estiaje de verano (1), aunque no todos aceptan esta influencia como indiscutible, y, en todo caso, la mejora —siempre desde nuestro punto de vista— es de pequeña monta.

En cambio, se admite por todos que el bosque no mejora en nada y hasta empeora, según muchos, el sequiaje de invierno, *el más molesto ó perturbador para las industrias* (2).

Hay indudable falta de ponderación cuando se afirma por algunos, con miras á los aprovechamientos de energía hidráulica, que *el bosque es seguramente el medio más efectivo de regularización* (3), pues esto no pasa de ser una afirmación que nunca vemos confirmada en la práctica.

Nada tiene tanta fuerza como los hechos, y no conozco de ningún caso en que la existencia de bosques dispense de la construcción de embalses regularizadores para el aprovechamiento de grandes energías hidráulicas y mucho menos de casos en que se pretenda acudir ó se haya acudido á la repoblación como medida de mejora de dichos aprovechamientos. Aun elevada al máximo la influencia regularizadora de los bosques en cuanto al estiaje, siempre los grandes aprovechamientos utilizan ríos que se nutren, en mayor ó menor medida, de las precipitaciones en cuencas nevadas ó de hulla blanca, que se almacena hasta la época del deshielo, y contra la irregularidad y la penuria del sequiaje invernal, determinadas por esta causa física de temperatura nada puede influir, como no sea para agravarlas, la acción del bosque.

Difícilmente pudieran imaginarse cuencas más pobladas de bosque que las de los ríos noruegos, con más la circunstancia extremadamente favorable de poseer en su curso extensos lagos naturales. Y, sin embargo, todos los grandes aprovechamientos de fuerza acuden obligadamente á los embalses artificiales para obtener la deseada regularidad de régimen. Estos embalses se logran allí con relativa facilidad mediante la construcción de presas en los umbrales de evacuación de los lagos sucesivos escalonados en el curso de cada río. Por ejemplo, para el salto de Rjukan (250.000 HP.) se ha regularizado el régimen mediante una presa de unos 14 metros de altura en el exutorio del lago Mosvand, embalsando 840 millones de metros cúbicos (casi igual que la presa de Aswan en el Nilo) y elevando así el caudal mínimo desde 5 hasta 45 metros cúbicos por segundo, es decir, en la relación de 1 á 9. El aumento de la potencia hidráulica mínima desde 28.000 á 250.000 HP., no ha costado más de unos 10 francos por HP. instalado. Este relativamente pequeño costo de la normalización del caudal, se traduce por la baratura de la energía hidráulica en aquel país y por la posibilidad de la máxima regularización (caudal prácticamente constante), pero no es aquel pequeño coste la razón fundamental de que se apele á los embalses que de todas suertes serían necesarios.

Pruebas de esta necesidad, tan precisa que de no poder satisfacerla se impone el abandono de los grandes aprovechamientos, la ofrecen los importantes trabajos de creación de fuerzas hidráulicas que en España están llevando á cabo las Sociedades Riegos y Fuerza del Ebro y Energía Eléctrica de Cataluña, en

los cuales la regularización juega un papel importantísimo y justifica dispendios de tanta monta como son la construcción de presas de 80 metros de altura y la expropiación de pueblos enteros. Y, sin embargo, las cuencas altas de los ríos utilizados (Pirineo Central) pueden pasar en España por ser de las más densamente pobladas de bosque.

Dondequiera que existe un aprovechamiento de importancia, aun limitándonos á España, donde los gastos que la regularización demanda no han estado hasta ahora al alcance de la mayoría de las Empresas, se ha reconocido la necesidad de acudir á los embalses artificiales, haciendo para ello sacrificios de mucha consideración (ejemplo, la Sociedad Hidráulica Santillana). En cambio, allí donde estos embalses no existen, siquiera la cuenca esté saturada de bosque (ejemplo, el salto de Molinar, en el Júcar, perteneciente á la Hidroeléctrica Española), se oyen las más justas lamentaciones sobre la penuria de los sequiajes y sobre la irregularidad en los caudales.

Mucho se ha agitado, cuando de embalses artificiales se trata, el riesgo de aterramientos, dándole una importancia que, de ser cierta, impondría tan rápida amortización de estas obras, que su construcción vendría á ser en muchos casos absolutamente antieconómica.

La experiencia ha venido á destruir estas prevenciones, y son muy interesantes los datos que á este propósito contiene la varias veces citada obra de los Sres. Nicolau y Puig, pág. 257 (1). Si esta cuestión se considera en relación con aprovechamientos de energía, los inconvenientes se reducen todavía mucho. En efecto, siempre que es posible, y lo es casi siempre, se utiliza una gran fracción de la altura de presa de embalse para ganar parte del desnivel del salto. La ganancia es proporcional á la altura así obtenida para el arranque del canal, mientras que la capacidad de embalse crece, aproximadamente, con la tercera potencia de la altura de la presa.

De aquí la conveniencia de la disposición indicada, que permite mirar como desprovisto de todo inconveniente el aterramiento, al menos durante un número de años muy superior al que requiere la amortización de la obra, según muestra la experiencia recogida hasta el día.

Una prueba del excesivo y no justificado temor á los aterramientos, es la existencia, durante siglos, de lagos y lagunas de poco fondo situados, no solamente en zona de montañas y de bosque, sino en comarcas de tierra de labor, como la que da nombre á Laguna de Duero, en la provincia de Valladolid.

A más de la regularización, en el ciclo anual, interesa mucho á los aprovechamientos hidráulicos de importancia poder introducir en el caudal instantáneo de cada día una variación escogida *a priori*, si bien conservando el valor medio diario de dicho caudal. Esta contrarregulación intencionada, que los americanos designan por *pondage* y que puede traducirse genéricamente por *represada*, equivale á reemplazar el régimen rectilíneo por redientes ó senoides con duración de ciclo de un día, siendo la línea media de ellos la recta de caudal constante. Esto da una gran elasticidad y eleva considerablemente el factor de utilización de la potencia disponible, pues hay muchas aplicaciones (alumbrado, tranvías, etc.), cuyo consumo es eminentemente variable, con uno ó más mínimos en el curso del día, y aun la mayoría de las industrias que consumen fuerza tienen duración de jornada de diez á doce horas.

Ejemplo notable de esta disposición elástica, con ciclo diario, de los medios de producción de energía hidroeléctrica, lo ofrece

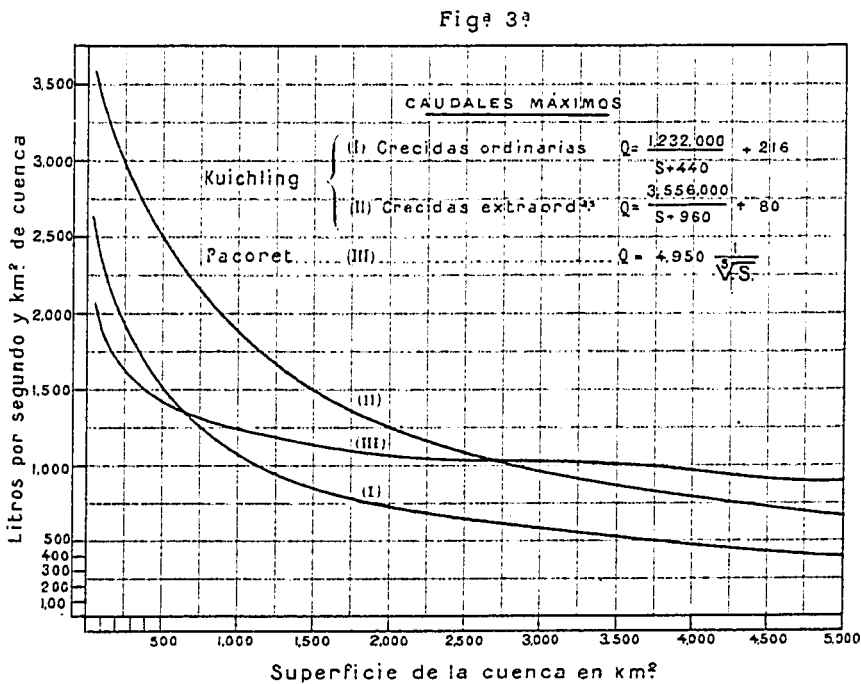
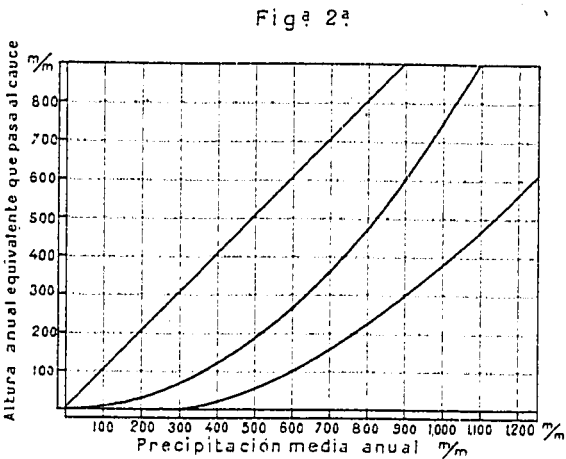
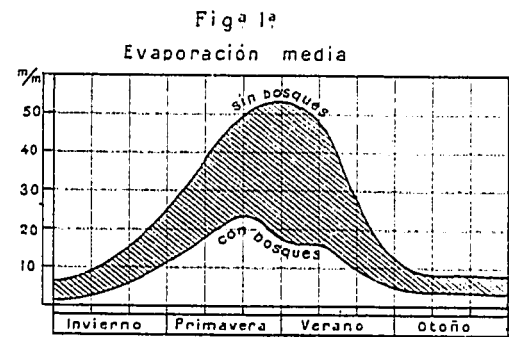
(1) Véanse, á este propósito, las publicaciones del Ingeniero de caminos Sr. González Quijano.

(2) Pacoret, tomo I, pág. 113.

(3) J. de Igual, *Salto de agua*, 1913.

(1) También los artículos del Sr. González Quijano contienen cálculos muy originales sobre esta materia.

NORMALIZACIÓN DE LAS CORRIENTES FLUVIALES



el salto de Aytona (Lérida), que construye la ya mencionada Sociedad Riegos y Fuerza del Ebro. Su elasticidad, merced á embalses laterales al canal, en valles secundarios que éste atraviesa es tal, que la potencia del salto podrá variar como se desee, entre los límites extremos de 30.000 HP. durante veinticuatro horas y 60.000 HP. durante doce horas. Otro notabilísimo ejemplo de salto regulado en esta forma, es el del Canal de Isabel II, que posee en su cabecera el embalse del Villar y en su pie un gran depósito que permite enviar al canal de abastecimiento un caudal constante, á pesar de las variaciones diarias en el consumo de la energía.

Al hablar de la necesidad absoluta de los embalses para hacer posibles los grandes aprovechamientos de energía hidráulica, encuentra su sitio adecuado el decir algo sobre las facilidades legislativas que á aquéllos hay que prestar. Nuestra legislación no permite la expropiación forzosa de terrenos ó propiedades cuando éstas se han de ahogar en un embalse cuyo objeto es crear fuerza motriz. Esto puede ser una importante barrera opuesta al desarrollo de las grandes y valiosas energías naturales. Estaba justificada esta falta de protección cuando, como repetidamente vengo diciendo, los aprovechamientos tenían un carácter limitado y local que afectaba poco ó nada á la masa social. El concepto de utilidad pública es muy elástico, de límites imprecisos y cambiantes, y dado el carácter actual de enorme difusión de la energía hidráulica, gracias al vehículo electricidad, es difícil asegurar que no haya tanta razón de utilidad pública en un gran salto de agua como en un ferrocarril. Ya hoy pudiera decirse sin hipérbole que, suspendido el abastecimiento de electricidad á una capital, casi su vida entera amenazaría quedar en suspenso. Desde los servicios públicos de alumbrado y tranvías, hasta las industrias que ocupan miles de obreros, todos sufrirían grave perturbación, que será tanto mayor cuanto más vayan caducando los viejos medios de producción de energía eléctrica, que constituyen ya insuficiente reserva, y vayan perfeccionándose y asegurándose los grandes transportes de energía, combinados los de diferentes orígenes ó saltos con múltiples líneas y con elevado factor de seguridad en todos sus elementos.

Tiempo llegará, y sin tardar mucho, en que esta rápida infiltración de la electricidad en todos los momentos y aspectos de la vida civilizada lo saturará todo, y de ello nos damos quizá escasa cuenta por lo mismo que lo vivimos. Desde el ferrocarril de interés general, el alumbrado público y privado y la depuración y esterilización de las aguas potables, hasta el termocauterio y el modelo herramental del dentista, nada habría que no esté pendiente en las grandes aglomeraciones humanas de esa energía, antes tirada, que el padre Sol nos envía pródigo en forma de saltos de agua.

Mayor utilidad pública es difícil idear, y como creo haber puesto de manifiesto que sin grandes embalses no hay posibilidad de grandes aprovechamientos económicos, juzgo razonable la ayuda legislativa para la expropiación cuando la necesidad de ésta aparece justificada.

Riegos y saltos forman el aprovechamiento integral de las aguas corrientes, y para ambos la normalización del caudal es condición indispensable al buen rendimiento. Alguien ha dicho, confundiendo la causa y el efecto, que no hay mejor abono para los campos que los humos expelidos por las chimeneas de las fábricas; pero, en realidad, la riqueza madre de todas es la riqueza agrícola, siempre fecunda, perpetuamente renovada en su parto anual.

Ella es la única que crea, siendo las industrias meras transformaciones y no creaciones, y quedando á cargo del comercio la circulación de unas y otras. Si en una región la industria y el

comercio se desarrollan prósperos, es porque se apoyan sobre la prosperidad de la agricultura. Un año de mala cosecha significa un año de crisis para industriales y comerciantes.

Es claro, sin embargo, que no hay acción sin reacción, y todo á la postre viene á compenetrarse y fundirse. Al lado de los campos fértiles, y junto á las potentes energías hidráulicas se fundan industrias que, como la de fijación del nitrógeno atmosférico, toman estas energías como primera materia y entregan sus productos fertilizantes á la tierra, contribuyendo así, á su vez, al mayor rendimiento y prosperidad de la agricultura.

CONCLUSIONES

1.^a El conocimiento, tan exacto como sea posible, del régimen de nuestras corrientes fluviales, forma parte integrante y principal del catastro de la riqueza pública, y requiere muchos años de observaciones sistematizadas que sólo el Estado puede realizar.

2.^a El régimen eminentemente variable de los ríos en general, y especialmente de los ríos españoles, de no ser corregido ó normalizado, imposibilita todo aprovechamiento económico de las grandes fuerzas hidráulicas, disipándose, casi en pura pérdida, esta fuente de riqueza, cada día de mayor valor en la vida moderna de las naciones.

3.^a No hay otra solución práctica y eficaz para normalizar aquellos regímenes, desde el punto de vista de los grandes aprovechamientos de energía, que la construcción de embalses reguladores.

4.^a Todo dispendio hecho por el Estado—á través de una organización adecuada—para lograr el conocimiento del régimen de los ríos, así como los que requieran las obras de corrección y normalización del caudal de éstos, será ampliamente remunerado por el desarrollo de la riqueza agrícola é industrial; y

5.^a Estas riquezas—agrícola é industrial—son las únicas fuentes de progreso positivo y permanente, y á su desarrollo debe contribuirse por todos sin distinción de política pequeña. Los caminos y demás vehículos y cauces de la riqueza, y hasta el poderío político y militar, nacen espontáneamente y sin esfuerzo cuando aquélla se desarrolla.

Madrid, Septiembre 1913.

Coste de las obras hidráulicas en España ⁽¹⁾

por

D. SEVERINO BELLO, *Ingeniero de caminos, canales y puertos.*

III. El imprevisto técnico en los proyectos de obras hidráulicas.

En el Senado español, en alguna revista financiera, en algún periódico autorizado, se han manifestado fuertes quejas de la deficiencia de los proyectos y de la escasez de los presupuestos de las obras hidráulicas; quejas que alcanzan á los técnicos encargados de los proyectos y á la Administración pública que los sanciona y ejecuta. Acaso fué injusta la queja por algunas par-

(1) Véase el número anterior.