

de apreciarse en nuestro artículo anterior: "Experiencias en presas arco").

El caso concreto de la presa Hoover ha hecho que el método alcance su perfección teórica. Por sucesivos avances se ha llegado a la reproducción macroscópica del punto de partida microscópico de la teoría de la elasticidad. El equilibrio de tensiones en un paralelepípedo infinitamente pequeño tiene su correlato en el equilibrio de esfuerzos en el trozo común arco-muro. Así, refiriéndonos a la figura 10 (de la Memoria de Westergaard, director de los Estudios analíticos), se consideran como esfuerzos actuantes en los sistemas virtuales, además de los momentos flectores en arcos y muros (M_x y M_y) y los esfuerzos cortantes tangenciales (Q_x y Q_y), que eran los únicos que en los primeros tiempos se tenían en cuenta, los esfuerzos longitudinales en arcos y muros (P_x , P_y), torsión de los muros (M_{yx}), efecto Poissons arco-muro, esfuerzos tangenciales entre anillos sucesivos (P_{yx}), esfuerzos tangenciales entre muros inmediatos (P_{xy}), distribución no lineal de las tensiones, saturación del

RIBERA: *Los grandes viaductos*.

— *Puentes de fábrica y hormigón armado*, t. IV. Madrid, 1932.

BRITISH PORTLAND C. A.: *Concrete Bridges*. Londres, 1928.

SANTARELLA: *Ponti italiani in cemento armato*. Milán, 1932.

CARDELLACH: *Filosofía de las estructuras*. Barcelona, 1910.

WORRINGER: *La esencia del estilo gótico*. Madrid, 1925.

GÓMEZ NAVARRO Y ARACIL: *Salto de agua y presas de embalse*, t. II. Madrid, 1932.

ARTICULOS DE REVISTAS

SANTARELLA: *La arquitectura de los puentes italianos de hormigón armado*.—Memoria presentada al II Congreso Internacional de Puentes. Viena.

HARTMANN: *Estética de los puentes*.—Idem.

LINTON: *El arte de construir puentes*.—Idem.

SPANGENBERG: *Puentes en arco de grandes luces*.—Idem.

LOSSIER: *Grandes puentes de hormigón armado*.—Idem.

FREYSSINET: *Possibilité de la substitution des voûtes en béton aux ouvrages métalliques de tout nature pour la réalisation de très grandes portées*.—Memoria presentada al Primer Congreso del Hormigón y Hormigón armado. Lieja.

MAILLART: *Note sur les ponts-voûtes en Suisse*.—Idem.

CAMPUS: *La fibre moyenne des grandes voûtes hyperstatiques*. Idem.



Puente George Washington, 1 067 m.—Record de luz en tramo colgado

hormigón en el paramento aguas arriba, retracción y plasticidad del hormigón, deformación de cimientos y paredes laterales debidas al empuje de la estructura y deformaciones en el terreno del fondo y laderas por presión directa del agua.

La prueba más concluyente del valor de este método es que se aplica para calcular la estructura de la obra "más grandiosa del siglo actual", que en la serie de presas arco construidas representa una extrapolación, duplicando casi la máxima altura recientemente conseguida.

Carlos FERNANDEZ CASADO
Ingeniero de C., C. y P.

BIBLIOGRAFIA

ZÜCKER: *Die Brucken*. Berlín, 1921.

HARTMANN: *Asthetik in Brückenbau*. Viena, 1928.

FOWLER: *The Ideals of Engineering Architecture*. Londres, 1929.

RUKWIED: *Brückenästhetik*. Berlín, 1933.

GIOVANNI: *La tecnica della costruzioni romane a volta*.—*Annali di Lavori Pubblici*, mayo 1930, pág. 561.

— *Circa il nuovo ponte sul Tevere a monte di Ponte Milvio*.—*L'Ingegnere*, julio 1931.

RIBERA: *Evolución decorativa de los puentes en el siglo XX*. REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, núm. 2.573.

LINDAU: *The Semicircular Masonry Arch*.—Paper n.º 1086 of Transactions Am. S. C. E.

GRIMM: *The Arch Principle in Engineering and Esthetic Aspects*.—Paper n.º 1185 of Transactions Am. S. C. E.

F. MORENO: *La antigüedad de la construcción de puentes con bóvedas gemelas*.—REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

LAMBERT: *Gravity Dams Arched Downstream*.—*Proceedings of Am. S. C. E.*, marzo 1931.

JAKOBSEN: *The Constant-Angle Arched Dam*.—*Transaction of American Society of Civil Engin.*, 1916.

PEÑA: *Solución racional al problema de presas-bóvedas*. REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, núm. 2.476.

NOETZLY: *Laminated Arch Dam with Forked Abutments*.—*Proceeding Am. S. C. E.*, febrero 1930.

WESTERGAARD: *Theoretical Analysis of the Structural Action of the Stevenson Creek Arch Dam*.—*Proceedings Am. S. C. E.*, mayo 1928, parte III.

La economía española y la hiperemia hidráulica en las obras públicas

Las obras hidráulicas se multiplican y toman cada vez un desarrollo mayor. Tienen, sin embargo, limitaciones de diversa índole, que es interesante examinar, descollando entre ellas las relacionadas con la economía y equilibrio político de España.

En Hidrología, se consideran terrenos áridos aquellos en que el riego es necesario para asegurar la regularidad de las cosechas e indispensable para ciertos cultivos, y zona húmeda, la que, por la relativa abundancia de las precipitaciones acuosas, per-

mite asegurar una producción agrícola continua y de gama más variada. La isoyeta de 500 mm suele señalar la separación de unas y otras zonas.

En España dicha curva afecta la forma de una E, con los travesaños un poco deformados, para adaptarse a las cordilleras centrales que cruzan nuestra Península. Las partes comprendidas entre los travesaños son las zonas áridas, y se unen entre sí por la parte de Levante. Suman, en total, 247 000 km², o sea un 42 por 100 de la superficie de la Península, y casi todos están situados en España, pues solamente una pequeñísima porción de la cuenca del Guadiana afecta a Portugal. Por consiguiente, la mitad de España peninsular corresponde aproximadamente a la zona árida.

La isoyeta 1 000, que separa con los límites de la Península las zonas de grandes lluvias, sólo afecta, salvo algunos puntos esporádicos en las cordilleras, a una pequeña zona cántabropirenaica y a otra también, reducida, en Galicia y Portugal, contigua al Atlántico.

Conviene hacer notar que las zonas áridas españolas son, en general, susceptibles de producción agrícolas y forestales de gran entidad, y aunque necesitan el riego, no pueden estimarse como países desérticos. Esto es consecuencia del régimen pluviométrico de nuestra Península, sujeta a influencias atlánticas, a las lluviosas y frías del Norte de Europa y a las mediterráneas, puesto que las reminiscencias de cuencas cerradas que indican un régimen continental asiático son insignificantes. La gran elevación de las cordilleras en relación con la superficie de la Península contribuye a regularlas, gracias a las lluvias *orográficas*, circunstancia que se aprecia en todo su valor cuando se compara con Australia, donde el poco relieve de sus montañas, en relación con el territorio, origina extensos desiertos y numerosas cuencas de absorción.

Nuestra principal zona estéril está en el valle del Ebro; pero como esta cuenca goza de situación más favorable que la del Nilo, por disponer de los recursos hidráulicos de la cordillera pirenaica, es posible rescatar dicha comarca desértica. En cambio, en el valle del gran río africano la inmensidad de los desiertos cruzados es causa de que el Egipto útil tenga solamente 35 000 km², aunque la jurisdicción política se extienda a un millón.

El territorio de la Península árida puede estimarse tiene una precipitación acuosa media de 300 milímetros anuales, puesto que es reducida la superficie donde la lluvia no llega a 200. El caso es, por tanto, muy distinto del Sahara, en que la lluvia media es de 146 milímetros, con sitios, como El Cairo, en que sólo llueve 31 por año.

Estas circunstancias hacen que los terrenos áridos tengan un valor medio y sostengan hoy día una población que generalmente supera a 30 habitantes, y aun en los casos extremos llega a 16 por kilómetro cuadrado. El problema tiene, por consiguiente, un máximo interés, pues si se consigue aprovechar los recursos hidráulicos disponibles en cada cuenca, para suplementar sus lluvias en la parte árida y en la medida necesaria que exigen los cultivos intensivos, aunque sólo sea en la pequeña fracción permitida por el coste de las obras y la preparación agronómica de los terrenos, se habrá ampliado España en proporciones insospechadas.

La lucha por el agua entre las diversas regiones áridas es un fenómeno social impuesto por la Geografía a los habitantes de estas provincias, y claro es que los contiguos a zonas de muy densa población, superior a 500 habitantes por kilómetro cuadrado, y con un clima caluroso, permitiendo rotaciones de cultivos, son los que con mayor insistencia solicitan la creación de nuevos regadíos mediante la construcción de pantanos colectores de los recursos hidráulicos de su cuenca, y, cuando éstos resultan insuficientes para llenarlos, se defienden soluciones de trasvasar las aguas pertenecientes a otras cuencas contiguas.

Los trasiegos de aguas de territorios de gran pluviosidad a sitios áridos son defendibles, por cuanto es posible, en los primeros, prescindir de parte de las aguas invernales, y, a la vez que se facilita el avenamiento de los terrenos húmedos, se favorecen las regiones secas creando nuevas riquezas.

En España solamente las zonas cuya lluvia excede de un metro están en condiciones de efectuar este trasvase; pero, desgraciadamente, su situación en la Península no permite llevarlas a las zonas secas.

En general, las cuencas hidráulicas tienen parte árida y zona lluviosa, excediendo de 500 milímetros al año y no llegando a 1 000. Esta última es la que alimenta principalmente los pantanos que han de guardar las aguas para después repartirlas por la parte árida, no permitiendo las disponibilidades de estas porciones montañosas sean segregadas parte de las aguas en provecho de otras unidades hidráulicas, pues son todas necesarias para fertilizar las propias regiones áridas que posee la cuenca. No parece lógico el trasiego de aguas de una cuenca de esta naturaleza a otra análoga aunque las divisorias presenten facilidades y permitan la ejecución de las obras sin dificultades técnicas ni costes desmesurados. Lo normal es mantener la *unidad geográfica* que exige sea la cuenca un solo conjunto en sus aprovechamientos hidráulicos. Enmendar la naturaleza y traslocar los valores económicos entre las cuencas en que se hiciese el cambio de aguas, solamente en casos muy especiales puede justificarse. Por ejemplo, cuando en la cuenca suministradora del agua no fuera posible su aprovechamiento inmediatamente después de los embalses necesarios por no ser los terrenos adecuados para el cultivo agrícola y tampoco pudiese serlo mediatamente aguas abajo porque, bien las filtraciones, llevando las aguas al mar o a territorio situado fuera de la acción política de nuestra nación, o bien porque la fuerte evaporación en el recorrido impidiese la utilización de las aguas almacenadas. En cambio, pudiera presentarse muy favorable el cruce de la divisoria de una cuenca próxima con terrenos de suelo rico para el cultivo intensivo, clima más caluroso, permitiendo la obtención de varias cosechas anuales y una población inteligente ya conocedora de las prácticas del regadío. Mas, a pesar de estas ventajas, y aunque se demostrase la utilidad rentable de la obra, no puede admitirse el empobrecimiento de la cuenca contigua, a no ser en algún caso excepcional como el antes expuesto, especialmente si se tiene en cuenta que la ampliación de mercados para productos similares a los que ya obtiene España en gran cantidad puede presentar problemas de muy difícil solución, casi imposible, y en cambio los regadíos en valles más fríos permiten siempre

la producción de forrajes para el ganado, riqueza de gran importancia, que conviene incrementar, y la restauración de otros, como el del lino, de abolengo hispano y de positivo interés industrial.

La situación de las cuencas mediterráneas, cuyas disponibilidades hidráulicas están casi agotadas, pueden todavía mejorarse, sin acudir al trasvase de aguas de las atlánticas, aprovechando cuidadosamente todos los aportes, evitando en lo posible la evaporación y las filtraciones, y utilizando por elevación las escorrentías de los regadíos establecidos, como se hace actualmente en la del Segura. Es evidente que el estudio profundo de estas cuestiones, especialmente cuando muchas zonas de regadío se han establecido por ampliaciones sucesivas sin el análisis primario del conjunto de la cuenca que exigen estas cuestiones, puede permitir un aprovechamiento mucho más completo de sus recursos hidráulicos propios. Las filtraciones de los canales, acequias y azarbes pueden disminuirse considerablemente revistiéndoles, y la evaporación, que alcanza en dichas provincias cifras próximas o superiores a dos metros anuales, puede evitarse recubriendo canales, acequias y desagües, rescatando para los riegos volúmenes de agua de relativa importancia en cifras absolutas, aunque los tantos por ciento respecto del caudal distribuido apenas se consiga exceda del 1 por 100 y rara vez llegue al 2.

Estas mejoras, frecuentes en los oasis del Sur de Argelia, pues la fuerte evaporación, superior a 4 m anuales, obliga a entubar las más pequeñas conducciones de agua, no son económicas si se atiende exclusivamente a los recursos de la zona de regadío a que afecta; pero puede corregir en muchos casos las penurias ocasionadas por una extensión del regadío, en desproporción con sus recursos, y evitar la necesidad de acudir a otras cuencas con la perturbación que en la vida de estas regiones supone privarlas de las riquezas naturales que le son propias.

Mayor utilidad podrá obtenerse con una buena ordenación de la distribución de riegos, y especialmente con el aprovechamiento de las escorrentías, que es sabido alcanzan, por lo menos, un 30 por 100 de los volúmenes empleados, y a veces exceden de estos guarismos. Todavía sería preciso el estudio de la utilización de las aguas subterráneas antes de acudir al trasvase de aguas de otra cuenca.

Desde un punto de vista económico, el trasiego de aguas de una cuenca a otra podría *desequilibrar* a España.

Relativamente fácil es llevar parte de las aguas de las cuencas del Tajo, Guadiana y Guadalquivir a las cuencas mediterráneas, así como también parte de las del Ebro y Duero a las cantábricas. Los grandes desniveles de las altiplanicies centrales sobre la periferia permite, al hacer estos trasvases, grandes saltos de agua, ventaja que a primera vista puede parecer decisiva en estas cuestiones; pero si esta modalidad se extiende, como las regiones privadas de agua se volverán mucho más áridas de lo que son, sin posible redención, resultará que no podrán sostener la población actual, y España se convertiría en un erial rodeado de un collar de vergeles.

Desde el punto de vista económico, toda producción es sabido requiere tres factores concurrentes: *naturaleza*, *capital* y *trabajo*, y al trasvasar las aguas la naturaleza de la cuenca aportadora se en-

trega realmente al beneficio de las periféricas favorecidas con el trasiego. Se quitan, por consiguiente, elementos vitales, primordiales para la existencia de las regiones del interior, cuyo empobrecimiento es notorio.

Si la cuestión se examina desde el punto de vista autonómico, regulado por la Constitución, es evidente que, si se establece un régimen de separación de bienes regionales, las provincias favorecidas por estas aportaciones de *naturaleza* deberán pagar, a las desposeídas de esta riqueza, su valor presente, aumentado del futuro que puede obtenerse con la regulación de los ríos. De lo contrario, no es posible imaginar una existencia justa de este régimen económico, pues si las provincias de la periferia, favorecidas por su situación marítima, absorben, además, toda la riqueza que corresponde al interior, la diferenciación de los distintos sectores de España irá aumentando, y a la disociación económica seguirá la política.

Podrá alegarse, en contra de nuestro parecer, que actualmente se transporta energía eléctrica de una cuenca a otra, sin que origine resquemores ni protestas de ninguna provincia; pero, aparte de que la *naturaleza* transportada tiene solamente una limitada modalidad, que no la impide yacer en su cuenca originaria, es factible en todo momento evitarla trasladando las líneas de energía eléctrica, cuya fuerza puede reemplazarse por otra de igual fuente o análoga, pero cuya variación no supondría trastornos sociales tan enormes como sería la supresión de una zona de riego creada por trasvasar agua cuyo caudal sería casi imposible sustituirle. De todas formas, el traslado de energía eléctrica de la parte de España de régimen común a las provincias autonómicas o fueristas requiere, en una buena justicia distributiva, se abone la *naturaleza* correspondiente por la parte que la usufructa, y su valor es la contribución que produciría la riqueza transportada en la provincia de ordenación económica especial.

Lo mismo debe ocurrir con el agua utilizada para riegos en las regiones autónomas, entre las cuales está el caso muy conocido del Canal de Aragón y Cataluña, que toma aguas del Esera, regulado por el pantano de Barahona, río netamente aragonés, y que fecunda unas 30 000 hectáreas de la provincia de Lérida.

Estas consideraciones son también aplicables al único trasvase hasta ahora conocido por nosotros. Nos referimos a las aguas del Cerneja, afluente del Ebro, cuyo trasiego está autorizado para llenar el pantano de Ordunte, sito en la cuenca del Cadagua, afluente del Nervión, y cuya construcción tiene por objeto atender el abastecimiento de aguas de Bilbao.

En primer lugar, es ilógico trasvasar aguas de la cuenca del Ebro a otra cantábrica en que la lluvia excede de un metro anual. Hidrológicamente esto es una herejía. En segundo lugar, no fueron tenidos en cuenta los intereses de los usuarios del Ebro, a pesar de las numerosas reclamaciones que desde Tarra-gona a Medina de Pomar figuran en la información pública del expediente, sin que pueda servir de paliativo el hecho de ser el *abasto de aguas* a poblaciones un aprovechamiento preferente, según la vigente ley de Aguas, pues precisamente por esta razón debieron antes demostrar la imposibilidad de captar otras en la cuenca del Nervión, tan rica en recur-

tos hidráulicos, aun acudiendo a la expropiación de algunas industrias que podían haber sustituido fácilmente la fuerza eléctrica, o pagando las indemnizaciones necesarias que requiriese el desmerecimiento de ciertos cultivos por falta de agua.

En este caso se da la circunstancia de ser Vizcaya una provincia privilegiada en el orden económico, y aun aceptando el hecho, para nosotros sin justificación, del trasvase de agua, debe abonar, si el trasiego se consuma, la utilidad del mismo a la provincia de Burgos, pues, de lo contrario, supone trasladar en su provecho exclusivo una riqueza netamente castellana.

París, por tener agotados para el abasto de ciudad tan populosa todos los recursos hidráulicos del Sena, acude al Loira, no sin protesta de los habitantes de esta cuenca, y consigue en la vecina República la autorización del trasvase utilizando aguas freáticas, sin aplicación directa, y obligándose a compensar el perjuicio a los usuarios construyendo pantanos que les permitan aprovechar las aguas invernales. Caso bien distinto el de Bilbao, que ni de-

muestra la absoluta necesidad del trasiego ni compensa los perjuicios que ocasionará la falta de aguas del Cerneja en la cuenca del Ebro.

Es fundamental conservar un equitativo reparto de las riquezas naturales, para que el *tono de vida* en todas las provincias españolas sea el mismo y no existan escalones marcados entre la periferia y el centro. La acción del Poder público debe ser la de nivelar las poblaciones, y nunca desequilibrarlas. Es condición esencial para hacer una España grande, y, por ello, las grandiosidades constructivas deben limitarse al reparto que señalan imperativamente las disponibilidades geográficas, aunque a veces contraría la actividad profesional, siempre fácil a proyectar obras que sobrepasen en magnitud las ya construidas, bien en su conjunto, bien en algunas de sus partes.

Someter estas consideraciones, de gran interés nacional, al juicio público, lo estimamos un deber, especialmente en los momentos actuales, que se moteja injustamente a nuestra ingeniería de excesivamente constructiva y falta de visión de conjunto.

Luis R. ARANGO
Ingeniero de Caminos

Canal auxiliar de los riegos de Urgel

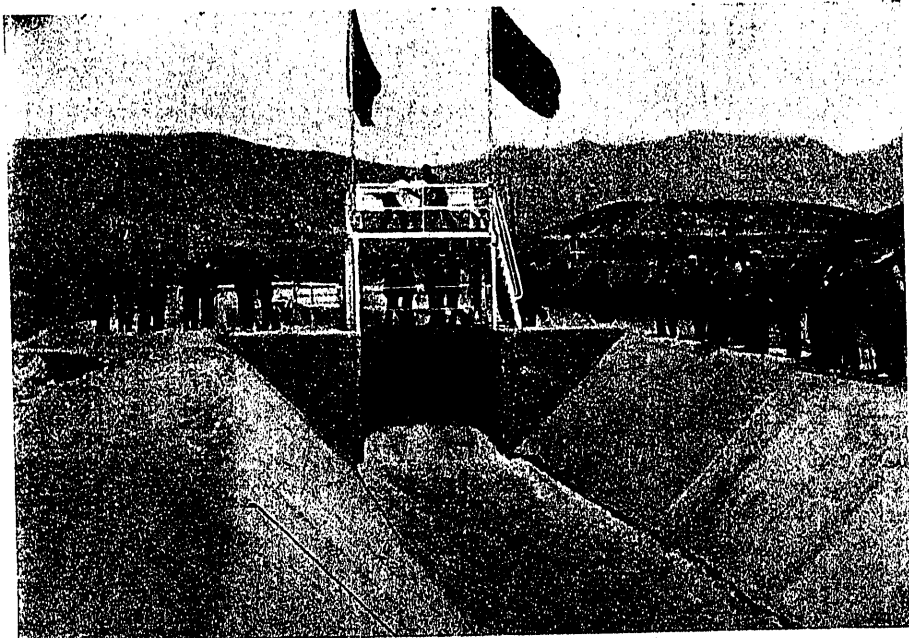
I

La zona de Urgel, situada hacia el Sur de la provincia de Lérida, en la margen izquierda del río Segre, lindante con las comarcas de la Segarra y Ga-

años 1851 y 61, honra a sus gestores, entre los que merece citarse el director técnico de la construcción, D. Domingo Cardenal, ingeniero de Caminos, que salió victorioso de las grandes dificultades que se presentaron, especialmente en la construcción del túnel de Monclar, aumentadas todavía por los escasos medios económicos de que se disponía para realizar aquella empresa.

Las características más importantes de la obra son: longitud de 144 km; capacidad proyectada para 33 m³ en sus 77 km primeros, aunque sólo pueden pasar unos 20 m³ por insuficiencia de sección; cauce abierto en tierra, aunque tiene algún trozo revestido, exclusivamente para cortar el paso a las filtraciones, y entre las obras más importantes merecen citarse el túnel con que atraviesa el canal la sierra de Monclar, de 4917 m de longitud, abierto en las margas, areniscas y yesos del oligoceno; el terraplén con que cruza el valle de Castellserá, de 600 m de longitud y cota de 25 m; el acueducto metálico sobre el río Sió, y sección especial para el paso de terrenos de yeso junto al valle del

Cenill. Este canal, estudiado para asegurar el riego de cereales de aquella extensa zona, y sujetas sus aguas a los fuertes estiajes del Segre, se comprende que no satisfaga las necesidades actuales del Urgel, donde los cultivos intensivos y de verano van aumentando de día en día, y, ya en previsión de esto, se



Compuerta de entrada en el Canal auxiliar de Urgel. Momento de la inauguración

rrigas, está a una altura media de 200 m sobre el mar, ocupa una extensión de 70 000 hectáreas y se riega, desde el año 1861, con las aguas que deriva el canal de Urgel de aquel río en el punto denominado "Llenguadera", término municipal de Tosal.

El canal de Urgel, obra construida entre los

de día en día, y, ya en previsión de esto, se