

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.

EL PANTANO DE GUADALCACÍN Y LAS OBRAS HIDRÁULICAS

Conferencia dada en el Instituto de Ingenieros Civiles

POR

D. PEDRO M. GONZÁLEZ QUIJANO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Decíamos en la conferencia anterior que aun sin ser un reflejo fiel de la realidad, los procedimientos actuales para el cálculo de las presas podrían merecer la suficiente moderada confianza que justifica su empleo, y ello, principalmente, porque el éxito experimental parece asegurado. Pero podría pensarse por alguien que si el mantenimiento de la obra era el único criterio, bastaría con hacer larga tabla de ejemplos concretos convenientemente clasificados por orden creciente de dimensiones, asignándose á cada una el tanto por ciento correspondiente de éxitos y fracasos. Con escoger modelos que correspondieran á la clase que ostentara mayor coeficiente de fortuna, problema resuelto y cálculos ahorrados.

Tan cómodo empirismo ni es razonable ni en todo rigor posible. Aun sin contar con que en cada caso se presentan circunstancias especiales que obligan ó hacen recomendable, por lo menos, el estudio particular, es que la clasificación misma exige un cierto criterio teórico, sin el cual el orden de la tabla acabaría por ser completamente caprichoso. La experiencia, y dentro de los límites experimentados comprueba, pues no sólo la suficiencia de las dimensiones, sino también la adecuación del criterio, y aun permitirá alguna extrapolación que, no siendo muy exagerada, nadie podrá tachar de temeraria.

Por eso os decía que los métodos empleados constituyen una aproximación grosera, pero por grosera que sea, es aproximación al fin, y esto tampoco hay que olvidarlo. No deja, sin embargo, la tesis de tener algo de paradójica. Si la continuidad es tan sólo una apariencia ó una ficción, ¿por qué arte de encantamiento se hace fecunda en verdades? Es que la realidad tiende hacia ella también hasta cierto punto. No es por puro capricho científico por lo que esa noción ha penetrado en el entendimiento humano.

Pero si quisiéramos darnos cuenta más concretamente de por qué resisten las obras que han recibido la sanción del cálculo, ciertas consideraciones podrían darnos la clave. Hay en Mecáni-

ca racional un principio de todos conocido, que recibe el nombre de principio de la menor acción. Según él, todo sistema material sometido á fuerzas que tienen un potencial se mueve de tal modo que la integral á través del tiempo de los productos de las cantidades de movimiento por los caminos recorridos es siempre la menor entre todas las compatibles con los enlaces. Pues bien, este principio tiende, al parecer, en la Ciencia moderna, á salir del marco riguroso de la Mecánica para alcanzar, con más ó menos concesiones, la categoría de ley general de la Naturaleza, repitiéndose de este modo la evolución ya realizada por el principio de la conservación de la energía, que nacido también bajo una cierta forma estrecha y condicional, ha llegado después, mediante la comprobación de las equivalencias y la generalización del concepto de energía, á constituirse en el eje, alrededor del cual parecen girar todas las ciencias físicas.

Así no sería difícil encontrar en Hidráulica algunos indicios de ello, como la determinación teórica de ciertos coeficientes por la consideración del gasto máximo, que bien podría hacerse correlativo de la resistencia mínima y más especialmente en Mecánica aplicada con el teorema de Castigliano, que supone mínimo el trabajo elástico entre todos los que serían permitidos, por las condiciones de sustentación, principio que bajo ciertas hipótesis no sería difícil deducir del otro principio mecánico que nos ocupa.

Síguese de aquí, que si un sistema de fuerzas y reacciones puede mantenerse en equilibrio, las mismas fuerzas aplicadas á un cuerpo natural producirán reacciones cuyo trabajo elástico será en suma menor que la de las reacciones primitivamente supuestas, de donde se seguirá, en la mayoría de los casos, que la fatiga que al material se exija será menor que la en aquel supuesto calculada. Y digo en la mayoría de los casos, porque podría haber excepciones. Aun con un mínimo de fatiga total podrían llegar á ser excesivos algunos esfuerzos locales, produciéndose deformaciones ó roturas que hicieran ya inaplicables las leyes de la elasticidad ó que introdujeran modificaciones en el sistema de fuerzas.

Esta extralimitación puede ser especialmente temible cuando de tensiones se trate y cuando sean las mamposterías las llamadas á resistirlas, pues sabido es cuán débil y cuán insegura es su resistencia para estos esfuerzos; pero será ya mucho menos de temer cuando las compresiones por todas partes dominen.

Sin duda parecerá una petición de principio esto de tratar de justificar los procedimientos de la Mecánica de la continuidad, apoyándose en el teorema de Castigliano, por esa misma Mecá-

nica producido; pero ya os decía antes que ese teorema, que no es más que una forma del principio de menor acción, podría también como éste desprenderse de su origen y ser considerado como una ley natural que viniera á dar expresión precisa á esa tendencia á la economía del esfuerzo, que por todas partes se revela, y que abarca desde los fenómenos más elementales de la naturaleza inorgánica hasta las más elevadas formas de la vida.

Tampoco hay que ver en la comprobación de esa tendencia una nueva manifestación de la concepción antropomórfica, que gustaría de encontrar en ella la revelación misteriosa de una casi inteligente previsión de la naturaleza. No. Cuando las deformaciones elásticas se propagan por las masas materiales, no conocen su camino; son las resistencias las que se lo marcan, y una especie de lucha es la que acaba por fijar las situaciones y por ponderar los empujes, sin que puedan verse en ello ni causas finales ni fuerzas á distancia. Todo parece reducirse, en suma, á un fenómeno de adaptación.

Experimentos modernos tienden á demostrarlo. Las mamposterías nuevas no adquieren su elasticidad definitiva, sino algún tiempo después de haber sido sometidas á la acción de las fuerzas. Hay la acomodación primero, la costumbre después, más tarde la plenitud del ejercicio. Existe, pues, en el principio, un momento de crisis. De ahí la importancia de las pruebas.

Nuestra confianza, como vemos, no es puro empirismo; poderosas razones la confirman; pero también hemos visto que hay limitaciones; para huir de ellas una recomendación general parece resaltar: que las compresiones por todas partes dominen. Y esto precisamente es lo que viene á dar importancia á aquella otra disposición á que habían sido conducidos nuestros antiguos constructores, por una intuición poderosa de las conveniencias prácticas. Me refiero á la forma curva de la planta. Es fácil combinar las fuerzas y dimensiones situadas en el plano del perfil de modo que predominen las compresiones, pero con las reacciones normales á este plano no ocurre ya lo mismo. Las variaciones de temperatura pueden desarrollar presiones y tensiones en el sentido de la longitud de la presa, y no sería posible contrarrestar las últimas si por la forma misma del macizo no se dirigiera contra ellas una parte del empuje del agua. Este empuje cerrará en último extremo las grietas verticales que hubiera podido producir la contracción en el momento en que más peligrosas pudieran ser, es decir, cuando el pantano estuviera lleno. Será preciso, sin embargo, para que la solución sea efectiva, contar con fuertes estribos de presa capaces de provocar por su resistencia las compresiones que se quieren desarrollar.

Esta exposición, ya un poco larga, creo que habrá puesto de relieve los más importantes puntos á tener en cuenta en el proyecto de una presa de mampostería. En consonancia con ellos, la presa del Guadalquivir ha sido calculada adoptando el conocido perfil triangular, cuyas dimensiones se han determinado de modo que quede satisfecha la condición de Levy. Con ella, dado el peso de la piedra procedente de los bancos inmediatos á la misma angostura, y que es, aproximadamente, de 2.500 kilogramos por metro cúbico, deducido el de los morteros y mamposterías y admitiendo para el agua una densidad de 1,05, bastante superior á la que pudiera corresponder á las mayores turbias observadas, se llegó á fijar la inclinación del talud de aguas abajo en 0,87, lo que supone en el cimientto espesores de 35 metros, próximamente. En la coronación este espesor, que sería teóricamente nulo, se ha ensanchado hasta 4 metros para restablecer por encima de la presa la comunicación interrumpida entre las dos laderas. En cuanto á la planta, se ha adoptado la forma circular con un radio de unos 80 metros, correspondiente al paramento vertical de aguas arriba.

La pronunciada curvatura, la condición quizás un poco exagerada de Levy, y más que todo, el escaso ancho de la angostura hubieran podido aprovecharse para reducir el ancho del cimientto, y así se propuso en el proyecto primitivo anterior á los sondeos; pero pareció preferible á la Superioridad, sobre todo, después del buen resultado de aquéllos, prolongar hasta el fondo el talud más tendido ya que la propuesta no permitía una gran economía, y en cambio vendría á aumentar las cargas en la base. En algún caso de cimentación difícil, el recurso podría, sin embargo, aprovecharse. Y así se ha reconocido posteriormente en la construcción del pantano de La Peña. Es evidente, en efecto, que no están en iguales condiciones de resistencia dos trozos de presas de longitudes diferentes, porque tengan el mismo perfil. Si las suponemos limitadas por planos verticales, en estos planos se desarrollarán, seguramente, reacciones que impongan una limitación á los desplazamientos del macizo que el empuje del agua tiende á producir. Cuando la longitud de la presa crece, las reacciones de los extremos permanecen las mismas; en cambio, con la longitud aumentan proporcionalmente los empujes y los pesos. Es claro, que si la longitud fuera infinita, esa reacción de los extremos carecería por completo de eficacia; si, en cambio, es muy pequeña, puede llegar á ser preponderante. El cálculo de su intensidad origina, sin embargo, algunas incertidumbres.

La longitud total de la presa es de 94,23 metros, contada según el eje del camino que va sobre la coronación, cuyo ancho es de 3 metros por ocupar un metro los dos pretilos, y el volumen total de las mamposterías ha excedido algo de 23.000 metros cúbicos. En el proyecto primitivo sólo la mitad de este camino insistía directamente sobre la presa; la otra mitad no lo hacía sino por intermedio de arcadas y pilastras en saliente sobre el paramento de aguas abajo, con el que venían á confundirse á unos 16 metros de la coronación, dejando señalada su base con un triángulo de sillería. La decoración se hubiera así marcado más vigorosamente; pero se objetó que daría aspecto más robusto una coronación maciza como la adoptada.

Parte importantísima en un proyecto de pantano es el aliviadero de superficie. De él pasaremos á ocuparnos ahora. Es el objeto del aliviadero que no llegue el agua en ningún momento á rebasar la coronación de la presa; había en ello dos peligros: en primer lugar, elevándose el nivel más de lo supuesto, no sólo podría excederse el empuje calculado, sino que éste se elevaría más y descentraría más también la resultante con aumento de presiones en el paramento de aguas abajo y peligro de tensiones en el paramento mojado; en segundo, la cascada que se produciría, atacando la presa por su pie, podría ocasionar socavaciones que disminuyeran la superficie comprimida aproximando al paramento la resultante y exagerando por el mismo motivo las tensiones que por la primera causa hubieran podido originarse. En uno ú otro caso la ruina podría ser inminente.

Bueno será, sin embargo, observar que no en todos los casos sería el riesgo tan grande si la roca de apoyo es suficientemente resistente y la longitud de la presa en su coronación no excesivamente reducida. Durante la construcción de la obra ha saltado el río varias veces por encima de la presa, sin que se produjeran socavaciones sensibles, y el aumento de nivel que la avenida supone en una presa que no sea excesivamente corta no llegará probablemente á producir tensiones si el perfil se ha calculado con arreglo á la condición de Levy. Cuando la cimentación, como en nuestro caso, sea algo profunda, el peligro es bien escaso, por lo menos en el cauce, que es donde parece que debía ser mayor, porque el colchón de agua que se forma suele ser suficiente para amortiguar el choque, porque además éste no se

producir tampoco de una manera continua é indefinida: las avenidas son pasajeras y las pequeñas averías que pudieran ocasionarse serían perfectamente reparables antes de que alcanzaran gravedad.

Si la roca fuera más blanda el caso sería más serio, pero de todos modos, si no una ruina inevitable, por lo menos la avenida interrumpiría la comunicación entre las dos laderas é impediría toda clase de maniobras. Para evitarlas se proyectó el aliviadero.

Era preciso para ello conocer, aunque no fuera más que aproximadamente, el régimen del río. Este es extraordinariamente irregular á pesar de que su cuenca abunda en arbolado y monte bajo, prueba de más, á mi juicio, del poco efecto que esta vegetación ejerce en la reducción de las avenidas ni en la supresión de las inundaciones. A las ocho ó diez horas de descargar un aguacero importante en la tierra ya el río empieza á subir en la angostura y sube rápidamente hasta llegar al máximo, máximo pasajero que decrece en seguida, primero con gran rapidez y después más lentamente hasta volver las aguas á su nivel primitivo. Era lo que contaban los prácticos y lo que pude apreciar desde las primeras avenidas que presencié; era además la consecuencia natural y forzosa de la irregularidad de la lluvia y de las pendientes de la cuenca. Su gemelo el Guadalete, con una cuenca más rica en terrenos laborables, suele tardar más en recoger el agua: quizás influya en ello la gran absorción de los terrenos removidos; no he podido aún recoger datos suficientes para afirmarlo rotundamente; pero una circunstancia que sin duda influye es que la cuenca es algo mayor y la pendiente media más reducida. De todos modos la diferencia no parece muy importante y no vendría probablemente en favor de la cuenca arbolada.

No deja de haber manantiales en la cuenca del Majaceite. Las calizas jurásicas ó cretáceas de la parte alta de la cuenca, insistiendo sobre las margas ó arcillas del lias ó sobre los terrenos triásicos inferiores de menor permeabilidad, originan en los repliegues del terreno donde el contacto entre unos y otros pisos geológicos queda al descubierto, fuentes abundantes, pero su caudal está sometido también á alteraciones notables, siguiendo las alternativas de la lluvia, cuya influencia suele hacerse sentir en el gasto á los pocos días de caer. Es á esta crecida de los manantiales á la que se debe principalmente el más lento descenso del caudal del río en el último período de las avenidas, y gracias á que muchos de ellos son perennes puede mantenerse la alimentación de la corriente durante la prolongada sequía del verano.

De estos manantiales son los más importantes los de Benamahoma, Tempul, Aljibe y Ortela, estudiados por D. Angel Mayo con motivo de su proyecto de abastecimiento de Jerez. El más constante de todos es el de Benamahoma, que aforado en el verano de 1861 dió 20.342 metros cúbicos en las veinticuatro horas, y representaba en aquel momento el 65 por 100 del caudal total del río, medido en la angostura. Los de Tempul, Aljibe y Ortela unidos bastaban con exceso para dar cuenta del resto, debiéndose la diferencia al consumo de agua en los eventuales regadíos del bosque ó á pérdidas en los cauces por la evaporación tan activa en esta época del año.

Por haber sido escogido para dotar de aguas á Jerez el manantial del Tempul, ha sido con más constancia observado y estudiado. Según datos que debo á la amabilidad de mi querido compañero D. Antonio Gallegos, director actualmente de aquel servicio, el caudal del manantial ha llegado á variar en los últimos años entre 3.000 y 120.000 metros cúbicos en las veinticuatro horas, y la variabilidad de los manantiales de Aljibe y Ortela es todavía mayor, pues exceden con mucho al de Tempul en los períodos de abundancia y se empobrecen considera-

blemente más en los de escasez. Ya D. Angel Mayo, en Febrero de 1873, obtuvo para el Aljibe 30.800 metros cúbicos, cuando Tempul no daba sino 15.000, mientras que en Septiembre del mismo año la relación se había trocado con 9.000 en Tempul y 5.000 en el Aljibe, pero en el año extraordinariamente seco de 1882, en el que no se recogió en San Fernando sino 389 milímetros de lluvia, los aforos hechos en 30 de Septiembre por D. Guillermo Cookes, que sucedió á D. Angel Mayo, dieron para el Aljibe 939 metros cúbicos contra 3.924 para Tempul.

Aunque aquellas sierras no se encuentran tan peladas, todavía se ha pretendido que estas irregularidades eran debidas á la despoblación; pero si hay casos en que puede verse fácilmente lo contrario, es éste uno de ellos. La gran permeabilidad de los terrenos que dan origen á esos manantiales procede en gran parte de las numerosas fisuras de la roca por donde el agua llega á correr con velocidades apreciables; no es preciso para que se filtren detener las aguas; ellas encuentran á veces su camino hasta en las ásperas pendientes; ¿qué podría esperarse en este caso de una más densa población forestal que cubriera la roca de una espesa capa de mantillo como suponen los defensores á ultranza de las exageradas influencias del arbolado? Pues lo que con toda seguridad resultaría, sería que las grietas quedarían obstruidas en gran parte y que en todo caso, antes de llegar á ellas el agua, debería atravesar esa capa de menor permeabilidad, y, en definitiva, que sería restado un cierto contingente á la filtración en beneficio del desagüe superficial inmediato. Lejos de reducirse la irregularidad llegaría á ser mayor, aunque es de creer que tampoco fuera mucha la diferencia.

No parece que los manantiales actuales hayan variado gran cosa á través de los siglos, pues ese mismo manantial de Tempul sirvió ya en la época romana para que sus aguas fueran conducidas á Cádiz como hoy lo son á Jerez, y en muchos sitios se encuentran todavía restos de la antigua conducción y el recuerdo en otros de algún acueducto, conservado en el nombre de ciertos lugares como en el cortijo de los Arquillos, que permiten la reconstitución completa del trazado. Uno de estos restos puede verse inmediato á la hacienda de Fuente Imbros; es un acueducto cubierto, fabricado de resistente hormigón y cuyas dimensiones no difieren gran cosa de las del acueducto moderno.

Por eso, cuando con motivo del Congreso internacional de Agricultura de Madrid de 1911, un distinguido forestal francés me ponderaba el número considerable de ruinas de obras hidráulicas observadas por él en Argelia, y aludía también á otras muchas españolas de la época romana, pretendiendo sacar de todo ello la conclusión de un empobrecimiento de las corrientes y de los manantiales producidos á consecuencia de la devastación forestal, yo hube de invitarle á que fijara su atención en aquellas ruinas para que pudiera ver claras las causas del cambio y no fueran atribuidas á alteraciones de orden físico las que no eran, en suma, sino las manifestaciones de un fenómeno de nomadismo. Nada habían tenido que ver con ello ni el hacha imprevisora, ni el intencionado fuego, ni el diente del ganado; aquellas obras no habían sido sino una de tantas víctimas de una lucha gigante entre dos civilizaciones irreductibles.

Y cuando en consonancia con esas ruinas pudieran comprobarse en algún caso algunas ligeras modificaciones, el argumento que de ahí se dedujera, dada la complejidad de estos fenómenos, sería de tal fragilidad que no debería inspirar la menor confianza: una sencilla consideración os lo hará comprender. Según los análisis del agua de Tempul, cada litro de agua encierra 17 centigramos de sustancias sólidas disueltas de sales cálcicas la mayoría, aunque una tercera parte, próximamente, de cloruro sódico. Puede parecer esa proporción insignificante, pero supone

ya 170 toneladas por cada millón de metros cúbicos. El caudal medio total del manantial podría apreciarse en 5 millones de metros cúbicos anuales, y si se lo supone, próximamente, constante durante los dos mil años, á los que pudiera remontarse la conducción á Cádiz atribuida por Florián de Ocampo á Cornelio Balbo, aunque no faltan eruditos que pretenden ser obra de la legendaria Iberia, hija del no menos fabuloso Hispan, tendríamos que en todo ese espacio de tiempo habrían sido sustraídas á la roca 1.700.000 toneladas que para una densidad de 2,5 supondrían, próximamente, 700.000 metros cúbicos, es decir, capacidad más que suficiente para almacenar volumen sobrado con que mantener durante cuatro meses un caudal de 6.000 metros cúbicos en las veinticuatro horas, bastante superior á muchos estiajes actuales. Si este estiaje hubiera aumentado, ¿dónde mejor explicación?

Pero supongamos, por el contrario, que hubiera disminuído. Observemos, desde luego, que de ningún modo aquel importante volumen debe ser considerado como formando en el interior de la montaña inmensa cavidad de dimensiones en ningún sentido exageradas; probablemente la bóveda no resistiría y el hundimiento vendría obligado.

Pero aun sin constituir una cavidad única la estabilidad de forma del conjunto, no podrá mantenerse; el agua no ataca en todas partes por igual; atacará primero las sustancias más solubles, los cloruros y los sulfatos que, escasos en la roca, son, sin embargo, relativamente abundantes en el agua; el carbonato cálcico exigirá más tiempo, y así se formarán huecos pequeños, disminuciones de la densidad y de la resistencia, y todo ello bajo la presión considerable del terreno y á través de bancos quebrantados por las dislocaciones en una red de complejidades extraordinarias, que ni la previsión de la naturaleza ni la mano del hombre se han cuidado de que obedezca á la ley de los grandes números; los hundimientos podrán ser numerosos é incesantes y de todos los órdenes de magnitud y con todas las consecuencias imaginables, desde poner en continua alarma los registradores sismográficos hasta cambiar por completo el curso del manantial, como se ha observado alguna vez en otros menos importantes con una rapidez tal, que una causa continua no podría explicarla.

Conocidas las principales causas del irregular régimen del Majaceite, no deberá extrañar ya que su caudal oscile entre límites extremados. Avenidas que lleguen en su máximo á exceder de 100 metros cúbicos por segundo las hay todos los años, y algunas pude presenciar en los pocos meses de que disponía para redactar el primitivo proyecto; pero según los informes de los conocedores de la localidad, las había mucho mayores, y en los muros de un molino situado en la inmediación de la angostura señalaban el punto más alto á que había llegado el agua, al parecer, en todo un siglo, pues se añadía que esa avenida había sido reconocida, como la mayor que había visto en su vida, por un anciano ya difunto, pero conocido por todos los que entonces ocupaban el molino.

Excesivamente vago era el dato, y muy aventurado el aplicar las fórmulas de la hidráulica á cauces irregulares en momentos de gran agitación en la corriente, y cuando la pendiente superficial, que es la que principalmente determina las velocidades y el gasto, y que se ha de medir á lo sumo en centímetros por metro, debe ser determinada por las indicaciones en distintos puntos de un impreciso «hasta aquí llegó». Aceptando hipótesis extremas, se llegó, sin embargo, á la conclusión de que el máximo ni debía haber excedido de 650 metros cúbicos por segundo ni bajar gran cosa de 400.

Con posterioridad han podido observarse varias avenidas que

han excedido de este límite inferior, y aunque sospechosa de error en la observación del máximo, una hay en la que podría haber pasado algo de 800.

No limitando los cálculos al máximo, sino procurando deducir el volumen total de aquella avenida tradicional, se deducía que no debía haber sido mayor de 24 millones de metros cúbicos. En vista de ello se propuso como primera solución para el aliviadero dejar una escotadura en la presa de 10 metros de ancho por 4 de altura, con lo cual deberían quedar almacenados aguas arriba 35 millones de metros cúbicos antes de que el agua, lleno el pantano, alcanzase la coronación de la presa, y todavía en este caso límite la escotadura permitiría la salida de 140 metros cúbicos por segundo, muy superior á todo el caudal presumible en el período descendente de la avenida.

Convenía, sin embargo, estudiar este extremo con más detención y con más datos. Su solución definitiva no era urgente hasta última hora, y cuando llegó el momento oportuno se rebajó en la solución adoptada á 2 metros la lámina vertiente, estableciendo el vertedero lateralmente con una longitud de umbral de 72 metros, lo que supone un embalse regulador de 16 millones de metros cúbicos y una capacidad máxima de desagüe de 360 metros cúbicos por segundo, á lo que no parece que deba llegar la avenida transformada; pero si estas previsiones fueran excedidas, como el umbral ha quedado 4 metros por debajo de la coronación con intención de recrecerlo 2 metros en el porvenir, el desagüe actual sería aún suficiente para dar salida de un modo continuo á 664 metros cúbicos por segundo, cantidad inferior á la que daría el vertedero si la lámina quedara libre y que en este caso quedaría limitada por la capacidad del canal de desagüe.

En el lluvioso año actual, y á pesar de encontrarse abierto el desagüe de fondo por el que han salido diariamente millón y medio de metros cúbicos, el pantano ha estado casi lleno desde Diciembre, y las aguas han saltado tres veces por encima del umbral del aliviadero, llegando en una de ellas la lámina vertiente á 0,80 metros que se hubieran convertido en 0,92 metros de haberse cerrado en aquel momento el desagüe inferior y que representan en suma un caudal de 112 metros cúbicos por segundo, ó sea el de las mayores avenidas ordinarias, y esto á pesar de un embalse regulador de 90 millones de metros cúbicos.

Para conseguir igual resultado, ¿qué extensión de cuenca sería preciso repoblar? En una nota presentada al Congreso de las Ciencias de Madrid de 1913, y fundándome en datos nada sospechosos del eminente forestal francés M. Henry y de otros observadores alemanes, llegué á deducir que el exceso de agua que pudiera almacenar una hectárea de bosque sobre la que retuviera el mismo terreno descubierto apenas si podría llegar á 168 metros cúbicos. En esa proporción el bosque necesario debería medir 5.357 kilómetros cuadrados, y la cuenca del Pantano no tiene más que 600. ¿Será preciso más para comprender la ineficacia del sistema y por qué la irregularidad puede ser tan extremada en una cuenca donde abundan los recursos forestales?

Acabamos de citar el desagüe de fondo. Su objeto es poder vaciar el pantano, y, sobre todo, facilitar las limpias, objeto para el cual, como decíamos en la conferencia anterior, se han reservado 6 millones de metros cúbicos. Este problema de las limpias no ofrece gravedad en nuestro caso: las turbias no son ni importantes ni duraderas. ¿Será ello debido al arbolado? Nunca he negado yo alguna moderada influencia de las plantaciones en la defensa del suelo y en la reducción de los arrastres, influencia, probablemente, mayor en el matorral que en el monte alto, aunque en la mayoría de los casos insuficiente para que ese procedimiento de evitar los acarrees pueda considerarse económico cuando no se cuente con él previamente; pero en el nuestro

si las turbias son escasas y los acarreos más gruesos insignificantes, más parece debido que á otra cosa á la consistencia de los terrenos de la cuenca, especialmente los más elevados, constituidos, en su mayor parte, por calizas, mientras que los terrenos más fácilmente socavables como las margas y arcillas se encuentran á nivel más bajo, y donde las pendientes más reducidas no permiten ya un considerable trabajo de erosión.

En el Guadalete, sin embargo, donde hay más tierras labo-
rables, aun con moderadas pendientes se producen turbias que si nunca llegan á ser cenagosas, son, sin embargo, más intensas que las del Guadalquivir, hasta el punto de que en la confluencia, cuando crecidos los dos ríos llegan á encontrarse, las aguas del Guadalete se distinguen todavía de las del Majaceite en bastante trecho por el aspecto que le dan las más numerosas materias en suspensión. Parece verse aquí la influencia desfavorable de las labores; pero habrá que tener en cuenta también que si éstas no se han extendido más en la cuenca del Majaceite, es porque abundan mucho menos los terrenos apropiados y en todo caso la observación carecería de finalidad práctica, porque si por reducir ligeramente las turbias se hubieran de restituir al bosque ó á la maleza los terrenos desmontados, la consecuencia sería la despoblación del valle del Guadalete, que si se encuentra más poblado que el del Majaceite, es, precisamente, por la mayor riqueza de su suelo.

De acarreos gruesos también parece conducir más el Guadalete que el Majaceite. Son en este último tan escasos que aun la arena llega á faltar cuando se la necesita en grandes cantidades. Durante la construcción de la presa, agotado el banco que se explotaba, para la fabricación de los morteros, nada podía esperarse de las avenidas próximas, y así hubo, en ocasiones, que alejarse en busca de arena hasta á 5,5 kilómetros del lugar de la presa. En cambio, en el Guadalete se ven con frecuencia extensos chinarrales como el que se encuentra en la misma junta de los dos ríos. ¿Será esto debido á diferencias forestales?

No sería posible contestar sin un estudio muy detenido de ambas cuencas, pues hay que tener en cuenta que el arrastre de los materiales gruesos es excesivamente lento: no avanzan de una manera continua, sino que parecen proceder por saltos y desordenadamente, y sólo en aquellos momentos en los que la violencia de la avenida origina remolinos suficientemente poderosos como para atacar el lecho. Los materiales de este modo son removidos más que arrastrados, y sólo porque á favor de la corriente existen la velocidad del agua y la pendiente del cauce, pueden estas fuerzas constantes acusarse sobre los movimientos irregulares y determinar un avance general, siempre muy limitado. Por eso, como consecuencia de tan continuados roces, los guijarros se redondean y casi se pulimentan, y no es raro encontrar algunos cantos que, aprisionados entre sus compañeros, han conservado más angulosa y rugosa la cara inferior, mientras la superior sufría el roce de las arenas y de los guijarros más pequeños. Y cuando quisiéramos hacer comparaciones, ¿podríamos tener la seguridad de que los acarreos actuales habían partido de la montaña, cuando eran las mismas que actualmente las condiciones forestales de las dos cuencas?

Pero los acarreos gruesos, cuando no vengán envueltos en cenagosa corriente, de tal modo que queden empastados al depositarse en plástica masa que les sirva, por decirlo así, de lubricante y permita su progresión hacia el interior del vaso, no pueden ser nunca de importancia grande para el aterramiento de los pantanos, porque sería siempre posible detenerlos en la cola del embalse ó en los afluentes laterales.

En cambio, las materias en suspensión no hay modo de detenerlas; á favor de velocidades mínimas pueden llegar hasta la

misma presa, y su depósito es lento. Mientras la suspensión continúa podría dárseles salida, en gran parte, abriendo el desagüe de fondo, pero se perdería así mucha agua, y una vez depositadas, la acción de la corriente puede considerarse nula. Quizás sea todavía apreciable y aun importante en pantanos relativamente pequeños y estrechos de cauce pendiente, donde la velocidad de fondo no se reduzca considerablemente y donde pueda provocarse en los mismos sedimentos un movimiento general de avance análogo al movimiento de los ventisqueros, como el que algunos Ingenieros han creído observar en algunos casos particulares. En estos casos, la pérdida de agua puede no tener tampoco importancia por conducir sobrada la corriente para llenar muchas veces el pantano.

No era este nuestro caso. El gran volumen del embalse, el mayor de los terminados en España y aun en Europa, obtenido con una presa de altura nada exagerada, lo que supone un gran ensanchamiento del vaso, hace que la velocidad, á muy corta distancia de la angostura, puede considerarse nula cualesquiera que sean las dimensiones que dentro de las posibilidades prácticas se dieran al desagüe de fondo. No cabe, pues, una limpia natural pero, como ya he dicho, los depósitos son muy escasos y por las causas indicadas se producen hoy aun con el desagüe abierto casi en la misma forma en que podrían producirse con el pantano cerrado; pues las aguas salen casi completamente claras y solamente al vaciarse el pantano vuelve otra vez la turbia á presentarse en el momento en que el agua entra en su cauce y alcanza allí ya velocidad suficiente para limpiarle; pero á las veces el efecto no llega y los depósitos se acumulan. Sin embargo, no crecen sino á razón de 0,03 metros por año en las proximidades de la presa; para que alcanzaran los 11 metros sobre el fondo á que se encuentra la toma más baja, serían precisos más de trescientos años.

En los primeros años sería necesario para extraerlos, arrastrarlos hasta sitio donde la corriente fuera eficaz; la operación podría ser relativamente costosa para el objeto conseguido; pero cuando la masa sea importante, esos 11 metros podrían suponer ya un desnivel considerable para que el movimiento de los tarquines pudiera provocarse en forma parecida á la que se presenta en los cauces de mayor pendiente. Por otra parte, sólo hasta aquel momento el problema llegaría á ser tal, pues hasta entonces toda el agua que impedirían embalsar los arrastres sería la que de ningún modo podría utilizarse en el riego, de manera que su acción habría de ser hasta favorable en los años secos, pues contribuiría á dejar toda la disponible á un nivel utilizable.

No habiendo ventaja en dar una gran sección al desagüe de fondo, se ha limitado á un vano rectangular de un metro de ancho por 1,50 metros de altura, que bajo una carga de 11 metros podría dar salida, próximamente, á 12 metros cúbicos por segundo, y aun con un desagüe medio de 6 dejar escapar en unos doce días los 6 millones que se dedican á limpias.

La toma de aguas para el riego, hemos dicho ya que se encuentra á 11 metros sobre el desagüe de fondo. Aparte de las ventajas ya reconocidas á esta disposición, en parte venía obligada por la necesidad de conseguir nivel desde donde fuera dominada una zona regable suficiente y sobre todo para que pudiera el riego alcanzar á los llanos de Caulina, tan favorablemente situados. El embalse que se pierde de ese modo no son más que los 6 millones de metros cúbicos que se reservaban para limpias y que en todo caso no podrían ser nunca íntegramente utilizados por impedirlo más ó menos los tarquines depositados. Aun en la hipótesis más favorable no representarían sino un 8 por 100 del volumen total, y si para el porvenir fuera esa fracción todavía de inapreciable valor, con sólo los 2 metros de recrecimiento

no sólo se habría compensado la pérdida, sino que se la habría sustituido por un volumen más de dos veces y media mayor.

Tanto el desagüe de fondo como la toma de aguas se encuentran protegidos del lado del embalse por torres que permiten el manejo desde la parte superior de las compuertas que cierran los vanos. Esta compuerta es doble en el desagüe de fondo, y al dejar paso á las aguas éstas encuentran salida por un túnel de 60 metros de longitud, perforado en la roca, y cuya sección es mayor que el orificio de entrada, de modo que toda el agua cabe cómodamente por él sin llegar á tomar altura en el pozo de la torre correspondiente.

En la torre de toma los vanos son tres y de un metro cuadrado de sección. Dos de ellos se encuentran al mismo nivel en la parte inferior y el tercero 5 metros más arriba para evitar la maniobra de las compuertas inferiores cuando la carga de agua sobre ellas sea demasiado grande. El caudal que como máximo debe darse á los canales es de 10 metros cúbicos por segundo y para él está calculado el túnel correspondiente que tiene unos 45 metros de longitud.

Las compuertas, de forma de cuña para que el empuje del agua asegure el cierre y montadas sobre rodillos para reducir los rozamientos durante la maniobra, se construyen actualmente y se espera colocarlas este verano: la disposición indicada ya en el proyecto primitivo de 1902 es, en suma, muy semejante á la realizada algunos años después en escala mayor en la presa de Roosevelt en los Estados Unidos.

Quedan así reseñadas las principales características del proyecto y de la obra.

En cuanto á la ejecución poco tendré que añadir, ya que apenas si se han encontrado dificultades imprevistas, reduciéndose las principales diferencias á los volúmenes de obra que han sido algo excedidos por la necesidad de prolongar el cimiento en el río hasta los bancos sanos de la roca y de profundizarlo igualmente en las laderas para separar los más quebrantados de la superficie.

Empezaron las obras en 1906, pero aquel verano puede decirse que fué sólo de preparación, no pudiendo hacerse otra cosa que perforar el túnel de fondo por donde había de desviarse el río, y construir en el cauce las ataguías que limitaran el cimiento y permitieran agotar. En el verano siguiente se pudo en tres meses, que casi se triplicaron de hecho al trabajar de día y noche con tres turnos de ocho horas, extraer por completo los acarreos del cauce y cimentar sobre la roca, llegando con las mamposterías casi al nivel del río, aunque no lo suficiente para trabajar fructíferamente durante el invierno. El túnel de fondo no permitía, en efecto, desaguar sin carga sino unos 4 metros por segundo, y este caudal era muy frecuentemente excedido en las avenidas invernales.

Al principiar el verano de 1908, las mamposterías pudieron continuarse ya sin interrupción hasta la completa terminación de la presa; ésta se ha ido elevando por igual en casi toda su longitud, excepto en una pequeña extensión, inmediata á la ladera izquierda, que se ha ido dejando más baja, á fin de que por ella tuvieran desagüe las avenidas extraordinarias, sin interrupción del trabajo general. En el sentido del perfil transversal se ha cuidado de que las mamposterías fueran siempre algo más elevadas hacia el paramento de aguas abajo, afectando, aproximadamente, la forma de las superficies isostáticas normales á ambos paramentos. Es una precaución que puede contribuir á asegurar una mayor aproximación en la realidad á las hipótesis del cálculo.

Los morteros empleados han sido de dos clases: de cemento portland en el cimiento y paramentos, y de cal hidráulica en el interior. Hubiera sido quizás preferible haberlo hecho todo con

cemento, y así llegó á proponerse, aunque para no perjudicar á la economía, se redujera la dosis al ascender en altura y al alejarse del paramento mojado; pero se creyó que así se perdería en compacidad y que podrían originarse mayores resudaciones. La completa supresión de éstas en las presas de mampostería nuevas, es extraordinariamente difícil; las burbujas de aire durante el batido de los morteros, las pequeñas líneas de separación entre el mortero y la piedra al secarse aquél en la parte superior de la obra durante las interrupciones de trabajo, los ripiados defectuosos, por descuido ó ignorancia de la mano de obra, grietas y hoquedades de la piedra misma, etc., son causas todas de que queden cavidades diminutas, aisladas las más de las veces, pero entre las cuales se insinúa el agua acabando en algunos sitios por encontrar camino, y como va cargada con las sales cálcicas que va disolviendo á su paso, se opera un transporte de este material hacia el paramento de aguas abajo, donde se acusa por grandes manchas blancas del carbonato depositado al evaporarse en gran parte el disolvente.

Se ha señalado en ello un peligro por el empobrecimiento que podría resultar para los morteros, pero en la mayor parte de los casos el hecho carece de importancia porque esas mismas sales cálcicas acaban por cerrar los poros ó tapizar las oquedades cortando en definitiva el paso del agua. En nuestro caso al embalsarse las primeras aguas presentaron ya esas manchas en el paramento de aguas abajo, pero cada año ha ido bajando su nivel superior, y en el presente con el embalse lleno, y después de cinco meses la mayor parte de esas manchas blancas que acusaban resudaciones antiguas estaban ya completamente secas. Por otra parte, esas resudaciones son tan mínimas que para que el arrastre de la cal redujera de modo alarmante la riqueza del mortero, sería preciso que pasaran cientos de años. Aunque los arrastres fueran, pues, continuos, no era cosa de preocuparse extraordinariamente por tan lejano peligro, que en todo caso sería remediable en su día por inyecciones de cemento, de silicatos solubles ó de las sustancias que al efecto pudieran inventarse en lo sucesivo. Y, sin embargo, por efectos de esta índole ú otros parecidos se ha llegado á creer que toda presa llevaba en sí el germen de su propia ruina que había de resultar más tarde ó más temprano por *descomposición química de los morteros*.

La presa, como os decía, está terminada y las compuertas serán colocadas el verano próximo. El gasto, por todos conceptos, incluyendo unas 600.000 pesetas que han costado las expropiaciones de dos molinos, varios edificios y cerca de 800 hectáreas de terrenos, asciende, próximamente, á millón y medio, con lo que vienen á corresponder unos dos céntimos al metro cúbico de capacidad de embalse. Es el mínimo conseguido hasta ahora en España y en Europa; pero ello es debido en su mayor parte á las excelentes condiciones del emplazamiento.

La presa se ha construido por administración, aunque utilizando para algunas partes de la obra el sistema de destajos. A principios de 1913 estaba ya terminada al estado en que se encuentra hoy. Entonces empezaron por contratar los canales, contrata que ha sido preciso rescindir después de cerca de dos años perdidos. No pretendo aquí hacer la crítica de los dos sistemas. Creo que el de subasta tiene ventajas innegables, pero nuestra legislación en este punto elaborada con vista, principalmente á la construcción de las carreteras, exige tal vez una revisión profunda para que su aplicación no sea causa de perjuicios difícilmente remediables cuando se trata de obras que se realizan con la cooperación de los particulares, en persecución de un beneficio próximo y en las que el factor tiempo tiene una importancia de primera magnitud.

Bueno sería estudiar detenidamente este punto, sobre el que

ha llamado la atención no hace muchos años en libro no bastante atendido el Sr. Sánchez de Toca, cuya autoridad y competencia en materias financieras y administrativas no sólo se ha demostrado en la controversia y en el libro, sino también en la delicada y difícil gestión de grandes empresas.

Y ahí tenéis lo más importante que de la obra tenía que decir. Pero creo yo que si ella fuera única en su clase en España, no habría llegado quizás á fijar la atención de mis compañeros para invitarme á disertar sobre ella. Lo que principalmente le da importancia es el ser una de tantas como han sido emprendidas con una orientación en la que muchos vemos amplia cosecha de pingües beneficios para el porvenir económico de España.

Porque os he pintado á grandes rasgos un pequeño rincón de Andalucía, y no de los menos favorecidos por la naturaleza; pero ¿cuántos otros cuadros más ó menos análogos podrían presentarse en casi todas las regiones de nuestra Patria! Fuera de la zona Norte de clima europeo, ¿cómo negar el valor enorme que tiene el agua en este nuestro territorio árido y seco, y que sólo nos parece inmenso para nuestra escasa población, porque tenemos la costumbre de no hacer comparaciones más que sobre el mapa?

Pero cuando se traen á colación estas consideraciones no faltan nunca críticos que den la voz de alarma contra la ligereza en el obrar, según ellos más expuesta á peligros que el dulce no hacer nada, y cuando se habla de obras que den el agua, porque por tener el agua se ha de empezar, gritan en seguida escandalizados: ¡Oh! El problema es muy complejo. No miráis más que uno de sus aspectos. No os preocupáis más que de las obras, y ¿caso con las obras se ha hecho ya todo?

Y el severo Aristarco se queda tan fresco, creyendo haber puesto una pica en Flandes, donde tantas sobran hoy, sin pensar cuán fácilmente se podría contestar á su pregunta con otra: ¿y quién ha pretendido nunca tal dislate? ¿Cuándo han dicho tal cosa los más decididos defensores de las obras de riego?

No. Lo sabemos de sobra. Las obras no bastan. La piedra es inerte cuando no responde á los designios de una voluntad. Ya os lo recordaba antes. Ante la inmutable naturaleza, ¿cuántas ruinas en derredor de este Mediterráneo, vivero de pueblos, semillero de civilizaciones!

Por eso pedimos el concurso de todos con la colaboración ó con la oposición sincera, que en estas nobles lides la oposición es una colaboración también cuando se ejerce sin intenciones segundas, con el alma libre de pasiones mezquinas y puesta siempre la mirada en la consecución de la verdad y del bien.

Ya sabemos que se necesitan muchas cosas. Se necesita preparar las tierras para que puedan recibir convenientemente el riego, se necesita que los cultivos sean los más apropiados para el clima y para el terreno, se necesita que los abonos no escaseen, que el capital no falte, que las zonas se pueblen, que el labriego se eduque, que los transportes se faciliten, que se establezcan corrientes comerciales, y para que todo eso sea posible, una labor legislativa intensa que aparte obstáculos y armonice intereses y proporcione garantías y suprima abusos y defina el derecho de todos sin comprometer los derechos del porvenir, y en definitiva que cada cual esté en su sitio con su voluntad y con su esfuerzo en esta magna obra que, como ninguna otra, exige una disciplinada labor. Ya veis, ya veis si se necesitan colaboradores.

Y entre estos colaboradores debéis ocupar lugar principalísimo vosotros todos, los Ingenieros de todas las especialidades, porque, ¿cuál de ellas no se rozará más ó menos con la magna empresa? Por eso estos problemas deben ser estudiados en común, porque sin necesidad de confundir competencias ni de usurpar atribuciones á los organismos oficiales, este intercambio

de ideas en un terreno neutral, como puede serlo este Instituto, sería siempre fecundo en resultados prácticos templando las exageraciones en que pudiera caer alguna vez el entusiasmo profesional, haciendo patentes los aspectos más descuidados y contribuyendo, en suma, á la más completa y adecuada solución del problema.

Mas para que la labor sea eficaz preciso será estudiar el problema en vivo y no partiendo de hipótesis generales más ó menos verosímiles, pero que nunca ó casi nunca resultarán á la medida de los casos concretos; habrá de guardarse sobre todo de buscar exclusivamente las inspiraciones en ejemplos extranjeros, no siempre fácilmente asimilables, y menos aún que en otras materias en estas complejísimas, en las que las exigencias del clima y hasta las particularidades del estado social han de imponer su sello á las soluciones de la técnica. Hay que hacer, en suma, ciencia nacional.

Es el mismo requerimiento que habéis recientemente oído brotar de augustos labios en un día de gran gala para la ingeniería española, en el que se conmemoraban las hazañas de un héroe de la técnica: «Tenéis el estrecho deber de crear ciencia y técnica castizas nuestras para que cuando en vuestro fecundo trabajo de docta erudición hayáis de importar cosas nuevas ó extrañas las asimiléis á nuestro acervo, no como ingerencias exóticas servilmente imitadas, sino como dones nuevos hechos nuestros con señorío, después de haberlos acomodado al genio y virtud de nuestro pueblo y sin perder nunca nada de nuestro propio sér».

Un poco extraño podrá parecer, sin embargo, esto de hacer ciencia nacional, porque, ¿qué es la ciencia, sino el conocimiento de la verdad, ni cómo la verdad puede ser modificada por los confines políticos ni por las diferencias de latitud? Pero un solo momento de reflexión hará comprender que aunque la verdad sea una é inmutable en todos los lugares y tiempos, no es la verdad sino verdades parciales y fragmentarias las que puede alcanzar nuestro entendimiento y las que pueden encontrar aplicación en el círculo más estrecho de nuestra limitada actividad.

Por eso la ciencia total, incapaz de anidar en un solo cerebro, tiene necesariamente que dividirse, y esta división puede operarse de dos maneras, ó limitándose al estudio de aspectos parciales de los fenómenos que aislados en el laboratorio de las numerosas circunstancias que los complican en la realidad acaban por entregar el secreto de las sencillas leyes que los rigen, ó reduciendo el campo de la observación pero respetando la integridad de la Naturaleza para no perder detalle de las influencias actuantes y poder contemplar la imagen en toda su rica variedad de tonos y matices. Del primer procedimiento hacen uso más especialmente aquellas ciencias que, aspirando á explicar el mundo, se elevan de abstracción en abstracción hasta los conceptos más simples y de aplicación más general; del segundo, aquellas otras ciencias llamadas por lo común descriptivas, que recogen el fenómeno total y proporcionan con él á las anteriores la primera materia para sus delicados análisis, ó la piedra de toque con que poder comprobar la exactitud de sus atrevidas síntesis.

Ninguna duda puede caber en la manera cómo la división del trabajo deberá operarse entre los grupos humanos para el desarrollo y progreso de esta segunda categoría de ciencias, ni de la influencia que han de tener sobre ella las diferencias evidentes entre las distintas regiones del planeta; pero aun en aquellas otras que parecen más independientes de los factores locales, esa división tampoco se realiza al azar, en primer término porque esa oposición de procedimientos no es tan radical ni tan exclusiva como á primera vista pudiera creerse; trátase tan sólo

de un simple predominio y con frecuencia se pasa de uno á otro por gradaciones insensibles; pero la razón más importante es que el trabajo científico no es, aunque otras sean las apariencias, la labor exclusivamente personal de algunos cerebros privilegiados. El más poderoso entendimiento quedaría estéril ante las inauditas complejidades de la realidad si hubiera de verse obligado á construir la ciencia por su propio esfuerzo; aun suponiéndole dotado de cuantos conocimientos haya ido atesorando una ciencia anterior, siempre necesitará de estímulos especiales para continuar en dirección determinada las investigaciones y será del exterior de donde estos estímulos deberán venir. El progreso científico será de este modo la resultante de todas las actividades mentales, y vendrá, por decirlo así, á traducirse en una cierta presión de ideas que hará brotar al fin en los más nobles cerebros la fórmula precisa ó la concepción genial que hayan de guiar los pasos de las generaciones sucesivas ó marcar su profunda huella en los futuros destinos de la especie.

Sin ambiente apropiado no habrá, pues, ciencia posible, y ese ambiente, producto siempre de necesidades más ó menos hondamente sentidas, ya en la vida diaria, ya en esferas cada vez más amplias de la actividad hasta llegar á las más altas regiones del pensamiento, derivará su cohesión y su potencia de su más completa adaptación al medio físico y social en que se produce. Por eso ciertas ciencias han encontrado, con preferencia, sus cultivadores en determinados países, como la Hidráulica, por ejemplo, en Italia y Holanda, y por eso también hasta en las ciencias más abstractas, en las Matemáticas puras, cada pueblo llega á imprimir en ellas su peculiar carácter cuando de ellas se adueñan, si no en la significación intrínseca de los teoremas, en la sistematización de las teorías y en las direcciones de la investigación.

Claro es, sin embargo, que una ciencia nacional no puede significar tampoco la rotura de todo lazo científico con el exterior. Si la Naturaleza es extremadamente variada en sus manifestaciones locales, los elementos de cuya combinación la variabilidad procede, son los mismos en todas partes, y si los gustos, los temperamentos y las aptitudes pueden prestar fisonomía especial á la producción científica de cada país, no por ello ha de ser destruída la unidad de la Ciencia, que habrá de ser objetiva si ha de ser fecunda.

Por causas diversas, ese ambiente científico y esa ponderación de ideales han faltado con frecuencia en nuestra Patria, y hemos carecido por ello de una pujante ciencia nacional que, aun más que á otras naciones, nos era necesaria por las complicaciones de nuestro suelo y de nuestra historia.

Apenas constituida la Nación por la integración de las distintas regiones que habían tenido hasta entonces vida política independiente, fué el lazo religioso, no por arbitraria elección de nuestros hombres de gobierno, sino por indeclinables exigencias del estado social, el que pudo dar unidad á aquel heterogéneo conjunto de pueblos que aun guardaba el recuerdo de agravios mutuamente recibidos y de esfuerzos malgastados en estériles luchas intestinas. Brotó, de este modo, un ideal común, y en su nombre destruimos en nuestro suelo los últimos restos del poderío musulmán y detuvimos en Lepanto los progresos de la media luna y nos lanzamos con Colón á descubrir un mundo, al que inculcamos nuestra civilización con la cruz y con la espada, que simbolizaban el sentimiento y la energía de la raza.

Pero tuvimos la desgracia de que cuando asentábamos sobre estas bases nuestra nacionalidad, el lazo religioso empezaba á alojarse en Europa y el cansancio de las grandes luchas, originadas por unos y otros fanatismos, dejaba paso á nuevas tendencias de amplia tolerancia como ya antes se habían desarrollado

entre nosotros cuando habían convivido en plena Edad Media cristianos, musulmanes y judíos dentro de grupos políticos de distinta religión dominante. Parecía como si nuestra evolución histórica marchara en sentido contrario á la del resto del mundo con el que sólo confrontábamos en rápido cruce que vino á corresponder con el culminar de nuestro poderío.

Pero este mismo poderío nos concitó á su vez numerosos enemigos. No en balde sojuzgábamos pueblos é imponíamos nuestras soluciones á las cancillerías de Europa. Los intereses lastimados se aprestaban á la defensa y en el ardor de la lucha todas las armas parecían buenas, aun aquéllas que confinaban en los linderos de la calumnia. Entonces nació esa leyenda negra que tendía á presentarnos ante Europa como una nación feroz y sanguinaria, incapaz de redención y de progreso y que sólo podía dominar sobre ruinas y sobre cadáveres, y aun para mancillar más nuestra memoria hasta cuando luchábamos con pueblos bárbaros ó salvajes se sublimaban las cualidades de los vencidos y se menospreciaba el inmenso beneficio hecho á la Humanidad con el descubrimiento y la civilización de un mundo hasta el punto de que los mismos descendientes de los conquistadores llegaran á avergonzarse más tarde de su noble abolengo y buscaran sus ejecutorias en las fantásticas glorias de los enemigos de su raza.

Esta atmósfera de luchas y rencores nos apartaba aún más de aquellas naciones de las que los intereses políticos nos separaban y contribuía á mantener nuestro aislamiento, al que cooperaban también causas geográficas y sociales. La falta de comunicaciones con el interior, aun tanto como esas mutuas desconfianzas y recelos y las trabas legales que en ellos se inspiraban, dificultaba el acceso de extranjeros, para los que apenas si estaban abiertas más que las costas, y de ellas, el Norte de suelo pobre y de pueblo inclinado á la emigración, Portugal separado y celoso de su independencia, el Sur lindante con Africa y el litoral catalán y levantino con única salida al Mediterráneo que había perdido ya el cetro de la civilización, sobre todo desde que se había visto amenazado por la barbarie turca.

Confinados de este modo en nuestro patrio solar, debimos quizás desentendernos de los grandes problemas europeos y atender al desarrollo de nuestros intereses económicos y los de nuestras nacientes colonias; pero no era ya fácil retroceder sin mengua, y de este modo nuestra misma grandeza nos aplastaba y consumía, víctimas de un ideal desmesurado sin base material sobre qué sustentarse.

¿Cómo en estas circunstancias hacer ciencia cuando todas las energías nacionales apenas si bastaban para prolongar la agonía? Todavía en los primeros tiempos de la gran epopeya americana, ante el espectáculo de una Naturaleza completamente nueva, llegaron á acopiarse grandes materiales que sabios extranjeros utilizaron después, pero la decadencia fué rápida y profunda, los estudios de aplicación fueron casi por completo olvidados; perdimos lo propio y cerrábamos la puerta á lo extraño, y esto cuando el desarrollo científico europeo tomaba vuelos más extraordinarios, cuando se presentaban en crisis las concepciones tradicionales del Universo y se sentaban las bases de verdades nuevas que habían de revolucionar el mundo del pensamiento modificando las condiciones de la vida ordinaria y conmoviendo hasta los cimientos más profundos de la organización social.

Y así se comprende cómo pudo resumir sus impresiones don José Echegaray al tratar de caracterizar la bibliografía matemática española del siglo XVII, diciendo que toda ella podía reducirse á libros de cuentas ajustadas y geometrías de sastre, afirmación contra la cual no pudo oponer la portentosa erudición de Menéndez Pelayo, más que el solo nombre de Hugo de Omeri-

que, autor de una recomendable obra de Análisis geométrica que había merecido los elogios de Newton, y aun podría añadirse que ese singular representante de la cultura española en la materia nació en Sanlúcar de Barrameda hijo de padres holandeses.

El descuido de las Matemáticas había de traducirse, naturalmente, en la decadencia de la ingeniería, y, en efecto, nuestros antiguos constructores no llegaron a formar escuela, pronto faltaron y hubo que importarlos. Ya en 1548 las Cortes de Valladolid piden al Monarca la apertura de canales de riego como los de Aragón, Valencia, Murcia, Granada y Navarra, y le suplican que «mandase venir de fuera personas expertas, á quienes diese comisión de visitar los ríos y aguas de Castilla, y averiguadas las tierras regables proveyesen lo conveniente á su beneficio». El encargo fué encomendado á Bustamante de Herrera, pero debió ser auxiliado por tres alemanes para reconocer el terreno en que había de comenzarse el canal de Campos.

Pudo contar Felipe II con el singular ingenio de Juan de Herrera, pero no podía acudir á todas partes y hubo de venir de Italia el Ingeniero Juan Francisco Sittori para visitar las obras apenas empezadas del canal Imperial, y otro italiano, Juan Bautista Antonelli, fué el encargado de habilitar el Tajo para la navegación, empresa á la que prestaba gran interés la guerra de Portugal. Italiano fué también el célebre Juanelo Turriano, autor del artificio de su nombre para dar agua á Toledo, y que estudió también, entre otros proyectos, la unión del Guadalquivir con el Guadalete, y cuando en el siglo XVII Jerez se preocupaba de mejorar la navegación de este último río, fué también con un extranjero, el sedicente Ingeniero holandés D. Antonio Graffion, con el que el Ayuntamiento hubo de contratar obras, que no parece que llegaron á realizarse.

Bajo Felipe IV vuelve á removerse el proyecto de navegación del Tajo, y en 9 de Octubre de 1623, el Consejo de Estado, evacuando una consulta sobre un papel de D. Luis Bravo de Acuña, opina que aunque la conveniencia era mucha, la Hacienda se encontraba en situación estrecha y los pueblos no podrían con los repartimientos necesarios, pero que entretanto se reconocieran los ríos por personas científicas y de experiencia, que se trajeran de Flandes y Milán. La consulta lleva resolución marginal del Rey que dice: «Este negocio parece muy combeniente y que para ejecutarle con buenos efectos no hay repartimiento, por duro que fuese, que no se deba intentar; y así me parece que luego al punto se escriba á mi Tia embie las personas mas pláticas de semejantes fábricas, para que aquí lo puedan introducir, y lo mismo se haga en Milán, escribiendo al Duque de Feria para ello, encargandolo mucho á todas partes». Así se hizo, y en 14 de Marzo de 1624, la Infanta Doña Isabel escribía desde Bruselas diciendo que enviaba cuatro facultativos.

Pero ya todo quedaba en proyecto, y aun era á veces peor, cuando se pasaba á vías de hecho. Bajo Carlos II un particular solicita regar á su costa 60.000 fanegas de tierra, á cambio de percibir el 5 por 100 del aumento de las rentas; pero el Gobierno prefiere tomar á su cargo las obras, y se gastaron 100.000 pesos en abrir unas acequias, por las que el agua de lluvia corría hacia el río. Ciertamente que los extranjeros no eran aquí mucho más afortunados, pues hacia la misma época fracasa la empresa de los Ingenieros holandeses hermanos Grunenberg, que se proponían unir el Tajo con el Duero por un canal que pasase por Madrid.

Afortunadamente, el advenimiento de la dinastía borbónica señala un renacimiento de la cultura patria. Empieza el país á ser estudiado más científicamente, toman forma más prácticas las empresas, grandes obras se inician, y muchas son llevadas á feliz término; comienza á formarse en ellas un personal idóneo;

progresa y mejora la organización de los servicios. En 1799 se crea ya la Inspección general de Caminos, y en 1802 la primera Escuela de Ingenieros Civiles, fundada por D. Agustín de Betancourt. La Nación entraba al fin por la senda de su mejoramiento económico.

Pero esta feliz etapa de prosperidad vióse interrumpida, primero por la invasión napoleónica, más tarde por las contiendas civiles, hasta que el restablecimiento de la paz bajo Isabel II permitió reanudar la fecunda labor. Desde entonces el progreso ha sido continuo. No es posible negarlo cuando se compara nuestra época con las pasadas: el siglo XIX ha aventajado sin duda á los demás siglos: el desarrollo considerable de las obras públicas, el incremento de la producción minera y los perfeccionamientos llevados á su beneficio, las mejoras en el cultivo y explotación del suelo, los progresos industriales y mercantiles de todo género atestiguan que España no es una lamentable excepción en las grandes corrientes de universal adelanto.

Pero aun reconociéndolo así, cuando se compara nuestro estado actual con el de otras naciones más favorecidas, se ve cuánto aun nos falta por hacer y qué estrechas responsabilidades contraería la generación actual si no intensificara su esfuerzo para aventajar á las anteriores y legar á la que le suceda una España libre de las debilidades y desfallecimientos á que la condenaran fatalidades históricas y obstáculos derivados de su constitución y de su situación geográficas.

Y aun habrá que añadir que los momentos son críticos. En la expansión incesante de nuestra moderna civilización toca ya el turno para entrar en la senda de universales progresos al inmenso continente africano, y por nuestra singular situación en el mundo no hemos de tardar en vernos colocados en el preciso camino por donde han de comunicarse dos de los más importantes grupos de la gran familia humana. Si no queremos desaparecer perdidos entre los remolinos de la gran corriente, preciso será que afirmemos de modo vigoroso nuestra personalidad nacional, y en los tiempos que corren esa personalidad no puede tener por sustento sino una adecuada potencialidad económica que ha de ser el resultado de un esfuerzo enérgico dirigido por una cultivada inteligencia sagaz y previsora.

Si esto está en la conciencia de todos vosotros, no es menos cierto que la acción individual no basta en este nuestro ambiente nacional indiferente ó distraído, y entendiéndolo sin duda así este Instituto se esfuerza por llamar la atención sobre estos asuntos presentando este año algunos ejemplos de la actividad española en materia de ingeniería, analizando en el anterior aspectos importantes de la instrucción y de la educación técnicas; pero las conferencias no pueden ser verdaderamente útiles si no son un estímulo del pensamiento colectivo, y desde este punto de vista echaba de menos un querido y distinguido compañero que no se completara esta labor con instructivas discusiones en las que sin arranques oratorios, sin discursos desmesurados, llevando cada cual su punto de vista concreto, la observación sencilla, á veces tan sólo la palabra ó la frase feliz que precisa el concepto, se formara entre todos un ambiente de franca y desinteresada colaboración como ocurre en muchas Asociaciones técnicas extranjeras, y de lo que pueden verse, las pruebas, por ejemplo, en los *proceedings* de las Sociedades inglesas y americanas.

Y mientras de este modo aprovecháramos cada uno de la experiencia de los demás, contribuyendo todos á ir planteando nuestros problemas en la forma precisa que las condiciones de nuestro país y de nuestro pueblo imponen, lo que es el primero y más importante paso para resolverlos, iría también enriqueciéndose poco á poco esa ciencia nacional de que antes os hablaba, y que si encierra ya hoy, gracias á los progresos de los últi-

mos años, contenido importante de fecundas verdades, exige todavía continuados estudios y grandes esfuerzos para que sea elevada al supremo grado de utilidad y eficacia.

La labor se completaría con la realización práctica de una feliz iniciativa aquí expuesta, hace ya cerca de dos años, por persona tan autorizada como el Sr. Torres Quevedo, una de las pocas glorias científicas de que podemos ufanarnos. Me refiero á la Escuela de Ampliación de los estudios técnicos que en el pensamiento de su ilustre iniciador, que debería ser también su Director obligado, no sólo sería una institución de enseñanza donde se completaran los conocimientos teóricos que sirven de base á la ingeniería moderna, sino al mismo tiempo un Centro de investigación que activamente contribuyera á los progresos de las distintas técnicas, tanto desde el punto de vista de su utilización ó de su adaptación nacional, como desde el de colaboración asidua á la labor universal de perfeccionamiento y mejora de los méto-

dos de estudio y de trabajo, á la que debemos sumar nuestro esfuerzo si no queremos ser una triste excepción en el concierto de las naciones cultas.

Cuando todo esto se realice, esos problemas de que antes os hablaba, como los demás que surjan en el dilatado campo de la economía patria, encontrarán fácilmente solución cumplida, porque entonces la ingeniería española, plenamente capacitada por sus estudios y autorizada por sus obras, alcanzará al fin el lugar que le corresponde en la dirección de la vida nacional, á la que llevará ese delicado sentido de la medida que debe ser siempre la especial característica de nuestras profesiones, y á cuya falta en las épocas más críticas de nuestra historia habrá que atribuir las de otro modo incompresibles alternativas de grandeza y decadencia de nuestro pueblo, tan pronto conducido por el oleaje de los acontecimientos á las más altas cumbres de la idealidad como sumergido en los abismos del materialismo más grosero.

Revista de las principales publicaciones técnicas.

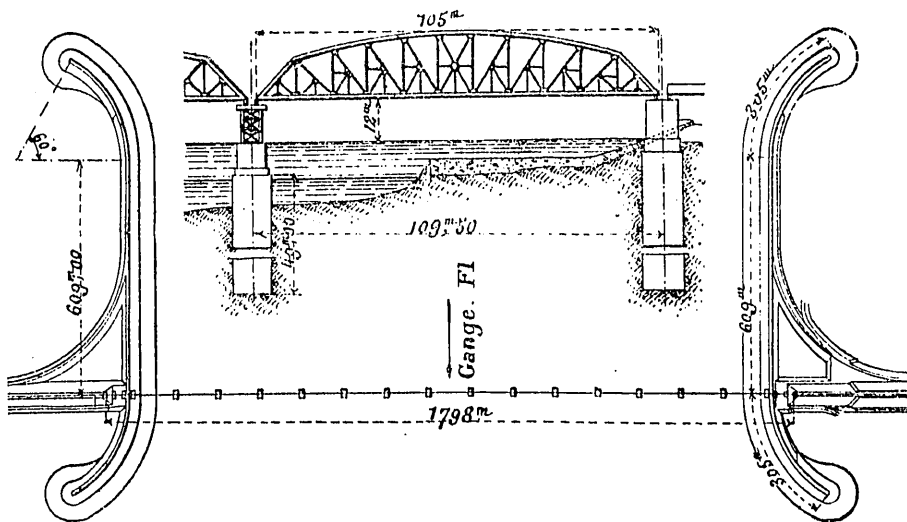
El puente de Sara sobre el Ganges.

Se termina en la actualidad la construcción de una obra muy importante, con cuya ayuda el Eastern Bengal State Railway debe atravesar el Ganges en su parte superior en Sara Ghat, á 190 kilómetros de Calcuta. Este puente, cuya descripción tomamos de *Le Génie Civil*, se ha comenzado en 1909, y tiene una longitud total de 1.798 metros; sirve también de paso á una carretera. Se compone de quince tramos principales, de 109,50 metros de longitud, y de tres tramos de avenidas en cada orilla de 24 metros, próximamente, de longitud cada uno.

las orillas del río por diques de 900 metros de longitud agua arriba de los estribos y de 300 metros agua abajo (fig. 1.^a).

Los cajones de cimentación de las dieciséis pilas principales se han hundido hasta 58 metros por debajo de las más altas aguas, ó sea á 48,75 por debajo de las aguas bajas, á través de los lechos de arena y de arcilla, descansando sobre la arena que atraviesan en una profundidad de 15 metros.

Los cajones tiene una forma rectangular terminada por dos semicírculos de $18,60 \times 10,70$ metros en proyección horizontal. El cajón propiamente dicho se compone de una armadura de acero de 11,25 metros de altura (fig. 3.^a), rodeada de



Figs. 1.^a y 2.^a

Cada uno de los tramos principales, cuyo alzado puede verse en la figura 2.^a se compone de dos vigas de celosía, parabólicas, de 105 metros de longitud y de 16 metros de altura total; la separación de las dos vigas es de 9,75 metros y la anchura total del puente de 14,80, comprendiendo las dos aceras. El peso de cada tramo es de 1.216 toneladas.

La construcción de esta obra ha presentado dificultades particulares á causa de la falta de solidez del fondo del Río y de la acción de las crecidas sobre las orillas, que están sometidas á inundaciones y á corrosiones muy violentas. Así es que han tenido que establecerse las pilas del puente sobre cajones hundidos á una profundidad muy grande y han tenido que protegerse

hormigón. La colocación se ha efectuado al aire libre; el cajón llevaba dos pozos de trabajo, de palastro, impermeables, de 5,60 metros de diámetro, en cuyo interior se excavaban las tierras. Al exterior de los pozos el cajón se cargaba, á medida que descendía, de bloques de hormigón moldeados de antemano, de 6 toneladas, próximamente, atravesados por barras de acero de 40 milímetros de diámetro que les unían entre sí. La cámara de trabajo se ha tapado en seguida vertiendo hormigón hasta un espesor de 5,50 metros, próximamente, y los pozos se han llenado de arena. A la altura de 47 metros, próximamente, á partir de la base la forma del cajón cambia: lleva una losa de cemento armado de 1,80 metros de espesor y encima una estructura de