

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 HORMIGÓN ARMADO

**Fórmulas-recetas
y fórmulas racionales-experimentadas**

POR D. JUAN M. DE ZAFRA,

Profesor de Hormigón armado y de Puertos y Señales marítimas en la Escuela especial de Caminos, Canales y Puertos.

Publica la REVISTA un interesantísimo artículo del Ingeniero Director del puerto de Huelva; una solución del capital problema de establecer muelles de ribera en terrenos fangosos. El problema, siempre difícil, lo es en grado máximo en Huelva, por la pésima naturaleza del terreno; la solución representa un considerable progreso, una importante mejora de la ya realizada en Rotterdam, y, en una palabra, está á la altura de la reputación de nuestro querido compañero el Sr. Montenegro.

Pero se hace en dicho artículo una afirmación que no podemos dejar pasar sin razonada protesta.

"Haremos uso de las fórmulas de M. Hennebique, que si bien tachadas de poco científicas, tienen en cambio la sanción de la experiencia, más digna de confianza que muchas teorías aún no muy justificadas que existen sobre esta materia."

Esta tesis no es, en manera alguna, del Sr. Montenegro; es del propio M. Hennebique. Es la eterna cantilena que este ingenioso constructor y archiingeniosísimo propagandista del hormigón armado repite desde un principio, con la misma constancia con que ciertos doctores repiten los anuncios de sus específicos. Hoy día, nueve años después de anular un Tribunal las patentes del sistema, prosigue anunciando su sistema privilegiado.

La sugestión ejercida por el reclamo reiterado tenazmente, es innegable. Por sugestión se explica, única y exclusivamente, que un Ingeniero de la valía del Sr. Montenegro haya hecho suya, siquiera sea de pasada y sin darse exacta cuenta de su alcance, semejante tesis.

Algo tiene el agua cuando la bendicen. Por algo en Francia, de donde ha irradiado al mundo entero su admirable propaganda comercial M. Hennebique, dichas fórmulas no pasan. A partir de 20 de Octubre de 1906, está prescrito por las Instrucciones para el empleo del hormigón armado, según el art. 10, lo siguiente:

"Les calculs de résistance seront faits selon des méthodes scientifiques appuyées sur les données expérimentales et non par des procédés empiriques. Ils seront déduits soit des principes de la résistance des matériaux, soit de principes offrant au moins les memes garanties d'exactitude."

Lo que se razona detalladamente en la Memoria de dichas Instrucciones, empezando por sentar: "Art. 10. Cet article a pour objet d'écarter les procédés de calcul purement empiriques. Les principes de la résistance des matériaux fournissent ici, comme pour les constructions ordinaires, des solutions plus sûres."

Triste resulta que los españoles tomen como bueno lo que en su casa rechazan los franceses.

Lo grave de la tesis reproducida por el Sr. Montenegro, está en afirmar dos cosas: que las fórmulas en cuestión tienen la sanción de la experiencia, y que esta sanción es más digna de confianza que muchas teorías aún no muy justificadas.

¿Qué se debe entender por sanción de la experiencia? ¿Que las construcciones calculadas por dichas fórmulas no se caen? ¿O que las hipótesis sentadas y sus consecuencias, repartición y valor de las cargas del material, se aproximan suficientemente á la realidad?

Si lo primero, la afirmación es exacta; si lo segundo, inexacta.

Que las construcciones no se caigan, necesario es, pero no suficiente. Precisa que haya un margen de seguridad, lo bastante amplio para prevenir largamente las contingencias posibles, las imperfecciones del cálculo, las de la ejecución. Ese coeficiente de seguridad debe acomodarse á las circunstancias que en cada obra concurren, pero en cada una ser homogéneo, uno mismo para todos sus elementos.

Una pieza sometida á compresión axial, puede ser realizada con arreglo á las fórmulas de M. Hennebique, con variadísimas secciones de hormigón y de armadura. Desde luego se echa á un lado la influencia del pandeo, atribuyendo al hormigón armado un privilegio, verdaderamente exclusivo, del que ningún otro material disfruta.

Eliminada por tan cómodo procedimiento la enojosa influencia del pandeo, se determinan *ad libitum* ó poco menos las secciones de metal y de hormigón, cuyas cargas guardan, según M. Hennebique, la relación de 25 á 1.000 ó de 1 á 40. Pero si surge la duda y se acude á la experimentación se encuentran, en lugar de 1/40, relaciones variables de 1/8 á 1/15.

La sanción experimental no es ciertamente brillante. Parecida es la que se obtiene en las piezas sometidas á flexión. La determinación previa de la fibra neutra, ese *enojoso* elemento que en la realidad sube ó baja, según la intensidad de la flexión; la del no menos *molesto* elemento, distribución de cargas entre el hormigón comprimido y la armadura estirada; todo ese mecanismo molecular que los concienzudos experimentadores alemanes y norteamericanos persiguen y acorralan, no haciendo teorías ni lucubraciones, sino observando centenares de piezas, todo ello se resuelve por M. Hennebique con una sencillez digna de Alejandro y por procedimiento muy semejante al que le sirvió para deshacer el famoso nudo.

La espada de M. Hennebique divide el momento antiflector en dos mitades exactas, que distribuye equitativamente entre el hormigón comprimido y la armadura atirantada. Y cada mitad se realiza con admirable sencillez; basta igualarla al producto de la sección por la carga que convengan y por el brazo de palanca que resulte, ó á la inversa.

¿Quién abandona un camino como éste, sembrado de rosas sin espinas? Hay que seguirle hasta el fin, hasta acabar también con el esfuerzo cortante.

Ni esfuerzo, ni momento son sino puros mitos, entes de razón, sin más existencia que la que la razón les presta, porque facilitan los cálculos, sucediendo las cosas como si verdaderamente existieran. Pues ese esfuerzo cortante lo corta á su vez M. Hennebique, también en dos mitades, que distribuye con estricta igualdad entre el hormigón y los estribos.

De las cargas moleculares principales, ¿para qué ocuparse? Hay quien, como nosotros respecto al momento, esfuerzo, etc., no cree en su existencia real, ó cree que son invenciones de desocupados que se entretienen en complicar los problemas de resistencia de materiales.

Pero de esa Arcadía venturosa, donde todo se corta por la mitad y se reparte, ó por igual, ó como uno quiera, donde los que un querido compañero que honra á la Escuela de Caminos, llama tan gráficamente Ingenieros de fusil y manual, lo resuelven todo en un dos por tres, de allí á los laboratorios las cosas cambian radicalmente. La sanción experimental queda reducida á un aire de familia que si á veces, justo es decirlo, llega á ser parecido grande en determinados elementos y en ciertas proporciones, á veces, las más, es muy lejano. En particular resulta muy curioso que el esfuerzo cortante se empeña en *no cortar* jamás en ninguna de sus dos direcciones, sino en las intermedias; y que los estribos cuando llegan á romperse es á fuerza de estirarse, nunca de troncharse.

Volvemos á repetir: ¿es ésta la sanción experimental?

No: no hay más sanción que la del primer género, la de no caerse las obras así proyectadas. Pero tampoco se caen otras muchas obras que hacen, por ejemplo, los carpinteros de armar, que ellos calculan á su manera, por recetas análogas á las de M. Hennebique, barajando longitudes, pesos, secciones, etc. No se deduce de ello que un Ingeniero deba recurrir á tales procedimientos para proyectar una armadura.

Pero hay más. Todas esas fórmulas y tablas de ellas deducidas resuelven, mal que bien, los problemas *isostáticos*, en los que *a priori* se conoce la distribución de momentos y de esfuerzos. ¿Y en un problema *hiperestático*, en el que todo es desconocido, mientras el estudio de las deformaciones de la obra, previamente anteproyectada, no determine

las reacciones y momentos estáticamente indeterminados? De no acudir, no á *las teorías*, sino á LA TEORIA, no hay más solución que cortar por lo sano, cortar con la espada, que tan útil ha sido, cuantos enlaces estorban (al cálculo) ó, por lo contrario, suponer las piezas que convengan infinitamente rígidas para que otras resulten perfectamente empujadas.

Volvamos ahora la vista á *las teorías* y á LA TEORIA que son cosas muy distintas. Las primeras, las lucubraciones y artificios de hace años, relativas á leyes más ó menos complicadas de distribución de cargas, artificios algo por el estilo de los de M. Hennebique, yacen todas en el mismo justo olvido. Entre los que estudian á conciencia el hormigón armado lo mismo en los laboratorios, donde se continúa perfeccionando su conocimiento, que en las obras, laboratorio más vasto, en el que los resultados obtenidos en el primero se utilizan y complementan, realizando obras de una complicación y osadía á que jamás llegó, ni con mucho, M. Hennebique; entre los *Ingenieros del hormigón armado*, valga la denominación, sólo existe una teoría: la de la elasticidad.

Esta teoría se aplica al hormigón armado como se aplica al acero, salvando el abismo entre lo ideal y lo real mediante las correcciones experimentales. Inútil sería repetir aquí lo que extensamente hemos desarrollado en nuestra conferencia en el Instituto de Ingenieros civiles, que la REVISTA nos ha honrado publicándola íntegra. No hay Mecánica ni teoría especial para el hormigón armado; es la de todos los materiales elásticos, es la Resistencia de materiales, tal como hoy se conoce y se aplica, la que, manejándola *como se debe*, permite utilizar en grado máximo las preciosas cualidades de aquél, con cuanta exactitud, con cuanta seguridad se pueden lograr con el acero.

Y cuenta que la Resistencia de materiales de hoy no es la de hace veinte años. Mucho se utiliza la teoría, muy complicados cálculos se desarrollan, pero todo se hace caminando sobre seguro, sobre bases previa y perfectamente comprobadas por la experimentación, sin admitir hipótesis alguna sin antes cerciorarse de que el error que involucran es en sentido de exagerar las fuerzas del enemigo, de implicar, por tanto, mayor seguridad.

Antes de llegar, no á una fórmula, sino á la primera ecuación general, se estudia atentamente lo que en la realidad pasa. Sobre esta base, la teoría, entendiendo por tal la serie de razonamientos y de cálculos que los expresan, se desarrolla, pero sin perder jamás de vista la serie de fenómenos que en la realidad se desenvuelven y cuyos efectos se trata de conocer y de valorar.

Permítasenos, aunque pueda significar inmodestia, atestiguar con lo propio y no con lo ajeno y resumir el proceso que en nuestras *Construcciones de hormigón armado* hemos seguido para llegar finalmente á lo necesario, á las fórmulas de aplicación, las que con arreglo á nuestro criterio, deben ser *fórmulas racionales-experimentadas*, ó si se quiere, *fórmulas experimentales-razonadas*.

La compresión uniforme se estudia partiendo de la forma en que se verifica la rotura (pág. 92), y de los resultados de una prolija experimentación (pág. 94). En el pandeo se invierte el orden, es verdad, pero se concluye por identificar (pág. 106), la expresión racional con la resultante experimental.

Antes de plantear una sola ecuación, se estudia experimentalmente (páginas 110 á 124), la serie de fenómenos que pone en juego la flexión; se discuten y se adoptan las bases

simplificativas del cálculo, y, por adelantado (pág. 122), se concreta y valora la discrepancia entre lo real y lo que se va á calcular. Todo cuanto sigue no es sino el desarrollo de esas bases, ya perfectamente sancionadas. Se camina sobre seguro y se llega por fin á unas expresiones tan sencillas ó más que las de M. Hennebique, pero que, á pesar de su sencillez, conservan todo el rigor racional y experimental mantenido desde un principio.

Respecto á las cargas transversales, después de recordar la verdadera función del esfuerzo cortante, la producción, juntamente con el momento, de las cargas principales y de examinar las características que en el hormigón armado presentan dichas cargas, sobre la base desfavorable de eliminar la resistencia á la tensión, se estudia la forma real, experimentada prolijamente, de las roturas que esas cargas producen (pág. 190). Sólo después de sentar las bases resultantes, tan experimentales como racionales, se aborda (pág. 193) el cálculo de las armaduras secundarias en sus distintas formas. Y se demuestra analíticamente (pág. 199) la imposibilidad de que dichas armaduras trabajen por tronchadura, lo que la práctica enseña también por su parte.

Y además de las constantes llamadas á la experimentación, que respecto á numerosos detallan se hacen, el estudio del hormigón zunchado no puede tener más sanción práctica, pues no es sino el resumen razonado de una experimentación extraordinariamente prolija.

Y cuanto en nuestra obra hemos condensado no es sino un resumen, por desgracia excesivamente conciso, de la inmensa masa de trabajo que sobre el hormigón armado se ha hecho. En especial en Alemania, que, como siempre, fué la que imprimió á los estudios experimentales su criterio racional, concienzudo, meticoloso, llevado al límite; después en los Estados Unidos y en Francia.

Quien quiera tener idea de lo que se ha estudiado y se sigue estudiando en la materia, que hojee la vasta enciclopedia especial, *Handbuch für Eisenbetonbau*. No creará, seguramente, que es sanción experimental lo que falta á la TEORÍA VERDAD del hormigón armado. No concebirá que los Ingenieros españoles, hartos de ver copiar en ciencias, artes, letras y costumbres, generalmente lo malo y no lo bueno de nuestros vecinos, utilicen y defiendan hoy, en 1912, lo que ellos han desechado en 1906.

Perdónenos nuestro querido amigo y compañero el señor Montenegro, de cuyo valer como Ingeniero tenemos la más alta idea y cuyo notabilísimo trabajo aplaudimos con entusiasmo.

Por lo mismo que tan alta estima nos merece su firma, no hemos podido dejar pasar sin enérgica protesta lo que para el Sr. Montenegro, harto preocupado con su difícil problema, era una cosa accesoria y consignó de pasada sin darse cuenta de la importancia que en tesis general tiene.

CANAL DE ARAGÓN Y CATALUÑA

Dictamen de los Ingenieros agrónomos D. Celedonio Rodríguez y D. Guillermo Quintanilla sobre las dotaciones de aguas propuestas.

Al estudiar el problema de riegos en el Alto Aragón, por lo que se relaciona con la cantidad de agua necesaria para los diversos cultivos, se hace una aclaración previa. La diversidad de circunstancias y de factores que pueden concurrir para que va-

rie el volumen más conveniente por hectárea, obliga como medida de previsión cuando se trata de una extensa zona, á no aceptar los promedios mínimos, buscando, por el contrario, en los promedios máximos la más absoluta garantía, de que cualquiera que sean las exageraciones del clima en un momento determinado y por grandes que sean las necesidades del cultivo, hay las reservas de agua precisas para conseguir una cosecha máxima.

Ese criterio, de una gran amplitud, ha de informar todos los razonamientos y conclusiones que aquí se consignan para salvar, sin temor de dificultades mal previstas, el grave riesgo que ofrecería la desproporción entre el agua disponible y la zona regable.

Es el primer elemento de juicio en estas cuestiones, las circunstancias locales, el cielo y el suelo en que se trabaja. Respecto al clima, la cantidad y distribución de las lluvias, descuellos entre todos los datos que pueden aportarse, y aunque para nada se ha de tener en cuenta ese mayor aprovechamiento, no estorba consignar que, siendo muy distinta la ponderación entre el agua evaporada, el agua que se filtra y la que discurre por la superficie según la situación de los terrenos y el mayor ó menor esmero en las labores, el cambio de cultivo de secano ó regadío lleva consigo una mayor perfección que utiliza mucho mejor la humedad que las lluvias proporcionan.

Dos agrupaciones distintas pueden hacerse de la extensa comarca que se proyecta regar.

Una en la provincia de Huesca de mayor altitud y otra en la de Zaragoza, más baja que la primera.

En ambas pasaremos por alto el examen y discusión de las temperaturas, puesto que su régimen es apropiado en general al cultivo cereal en alternativa con las leguminosas, y á los llamados cultivos y aprovechamientos de verano como son los de huerta y frutales, raíces y tubérculos, cereales (maíz principalmente y forrajes).

En cambio, se deberá prestar atención muy principal al régimen de los meteoros acuosos, sobre todo al de las lluvias, sin dejar de decir algo sobre la evaporación.

En cuanto á las primeras, examinaremos aparte cada una de las zonas de que se ha hecho mención, y en ellas nos fijaremos en su cuantía y en el modo de distribuirse en las distintas épocas del año.

Tenemos á la vista el resultado de las observaciones meteorológicas de cuarenta años, comprendidos entre 1865 y 1905, en la zona de Huesca.

La cantidad media caída en un año de este largo período es de 552 milímetros en números redondos, que se distribuye en las cuatro estaciones del año, del siguiente modo:

Diciembre	}	100,5 m/m.
Enero		
Febrero.....		
Marzo		
Abril	}	166,1 »
Mayo		
Junio		
Julio		
Agosto	}	108,5 »
Septiembre		
Octubre		
Noviembre		
SUMA.....		551,6 m/m.

Si nos referimos, en primer término, á la distribución de las lluvias en los períodos del año en que los cereales y leguminosas de invierno necesitan el agua, tanto para que su germinación y nascencia sean perfectas, cuanto para que se cumplan después sus necesidades vegetativas y de producción, vemos que en la época en que debe verificarse la preparación del terreno para la siembra y sean los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre, se cuenta con suficiente cantidad de agua proyec-