Año LXVIII Madrid 26 de agosto de 1920 Núm. 2344

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.

PUENTES ECONÓMICOS DE HORMIGÓN ARMADO PARA CAMINOS VECINALES (1)

BASES FUNDAMENTALES

Por Real orden de 31 de mayo último se nos honró con el encargo de redactar el plan general de estos modelos. Formulado en 10 de junio, fué aprobado en 12 del mismo mes, y en 18 de julio nombró la Dirección de Obras públicas a los ingenieros en expectación de ingreso D. Alfonso Peña, D. Ramón M. Serret y don Jacinto González, que nos habían de auxiliar en la tarea.

Con arreglo a dicho plan los modelos abarcan únicamente las superestructuras de las obras: las condiciones características del hormigón armado excluyen su aplicación a estribos, pilas y muros, salvo en casos especiales.

Conforme al criterio de economía propusimos que todas las superestructuras permitieran el paso de una sola fila de vehículos. Posteriormente hemos debido rectificar, considerando que en muchos casos convendrá, mientras no sea grande el aumento de gasto, conservar las condiciones ordinarias de circulación. Por este motivo presentamos dos modelos, de simple y doble vía, de cada una de las ocho obras de menor luz.

Para que la colección resultara muy completa y satisficiera bien las necesidades de la práctica, propusimos y mantenemos la siguiente serie de luces, en metros:

1	; 2	; 3	; 4	; 5	; 6	; 7,25	; 8,50	
10,00	; 11,50	; 13,00	; 14,50	; 16	; 18	; 20	; 22	
	25		28		32		36	

Las consideraciones que determinan el desagüe de una obra no implican, ni con mucho, más precisión que la correspondiente a esos incrementos de 1,00 m en las obras pequeñas, de 1,25 y 1,50 en las medianas, de 2,00 en las regulares hasta 22 m de luz y de 3,00 y 4,00 en las grandes hasta 36.

Todas las superestructuras son tramos rectos. Una colección de arcos debería contener para cada una de las luces buen número de modelos correspondientes a diversos rebajamientos, y, aun así, faltaría en muchos casos el tipo de arco de proporciones apropiadas. Además, si las condiciones del problema inducen a adoptar el arco, sólo conviene el hormigón armado en las grandes luces, o con los fuertes rebajamientos y, en todo caso, mediante proyecto especial.

Dentro del género tramo recto caben las formas de piso inferior, intermedio y superior. En las dos primeras, ese elemento sólo desempeña su papel propio de transmitir el efecto de las sobrecargas que recibe a los elementos resistentes longitudinales, vigas o nervios. No puede colaborar con éstos, si el piso es intermedio, por su situación, y si es inferior, por no resistir bien tensiones el hormigón. Cuando el piso es superior,

(1) De la Memoria oficial de la Colección de modelos de dichos puentes, redactada por el distinguido ingeniero D. Juan M. de Zafra.

el material que lo constituye forma las cabezas de los nervios y trabaja eficazmente por compresión longitudinal, sin perjuicio de hacerlo por flexión en el sentido transversal. Se obtiene así el mayor rendimiento del hormigón armado, adaptando la distribución del material a sus condiciones peculiares de asimetría en la resistencia.

En las luces pequeñas piso y nervios se funden en losas de espesor uniforme: la sencillez de la mano de obra compensa, hasta cierto límite, el exceso de material que pudiera ser escatimado.

En luces de 6 m en adelante se impone la forma típica de losa nervada. La importancia de la buena distribución del material es cada vez mayor: un exceso implica un aumento de peso muerto, que influye en proporción al cuadrado de la luz. Hay que reducir la losa o forjado a la mayor de las cantidades que estrictamente requiere su trabajo en sentidos transversal y longitudinal, y al mismo tiempo hay que aumentar progresivamente las nervaduras, que pronto llegan a ser los elementos primordiales de la obra.

El número de estos nervios o vigas tiene trascendental influencia. Por un mal entendido criterio de economía, y quizá más por rutina, gran número de constructores fija ese número arbitrariamente y lo hace grande, hasta casi igualar, a veces, al de metros de anchura de la obra. Nuestro criterio fué desde el primer momento, y la práctica nos lo ha afirmado cada vez más, el de reducir ese número al mínimo, dos casi siempre, y, más en general, el de aunar, en cuanto es posible, la economía en material y en mano de obra con la robustez necesaria, realizando cada superestructura con el menor número de elementos, dispuestos del modo que menos indeterminación produzca respecto a la función que a cada uno incumbe.

En cuanto el número de nervios excede de dos es imposible conocer exactamente el modo de repartirse entre ellos la acción de las sobrecargas, aun en el caso de que éstas tengan una resultante contenida en el plano de simetría de la obra. Las cantidades de hormigón y de armadura que, tratándose de dos nervios, pueden ser aquilatadas hasta aproximarse mucho al ideal de *lo necesario y suficiente*, tienen que ser, por fuerza, bastante mayores cuando se disponen tres y más todavía si mayor es el número de nervios. Mas no paran los inconvenientes en resultar la estructura más pesada y requerir, por tanto, nuevo exceso de material: la mano de obra es más costosa y tanto más cuanto más numerosos son los elementos que han de ser armados y moldeados.

Todo tiene límite y no pretendemos generalizar lo anteriormente dicho convirtiéndolo en una regla absoluta, cualquiera que sea el ancho de la obra, pero lo consideramos indiscutible dentro de las condiciones usuales de los puentes de simple y doble vía.

Reducido a dos el número de nervios, su separación queda determinada al investigar la forma óptima del forjado, que a un tiempo ha de constituir las cabezas superiores de aquellos y ha de enlazarlos transversalmente con gran robustez, transmitiéndoles las sobrecargas que en toda su anchura recibe. Esas dos condiciones se armonizan perfectamente en la forma propuesta, en la que los espesores, reducidos en el centro y extremos laterales a lo en cada caso prácticamente indispensable, crecen con rapidez, según amplios cartabones, junto a los nervios (fig. 1.ª). Resultan así dos piezas en T que, consideradas independientes, ofrecen en sus cabezas superiores la forma y distribución de material que los estudios experimentales demuestran ser más ventajosas

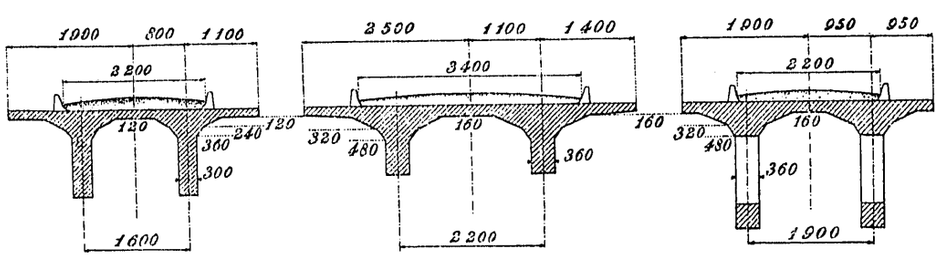

Fig. 1.ª

y que, en realidad, constituyen *una sola pieza*, en forma de π, *pi* mayúscula, de rigidez y resistencia, tanto a las flexiones transversal y longitudinal como a la torsión, muy superiores a las que sumadas ofrecerían las dos T.

Se obtiene al mismo tiempo la mayor sencillez y economía en la mano de obra: ni en los vuelos laterales hay ménsulas, ni en la zona central viguetas, sino siempre la misma distribución de espesores, que hace inútiles esos refuerzos o nervios transversales que tanto complican y encarecen la construcción. Las mismas armaduras, que colocadas en los vuelos junto al trasdós requieren las flexiones negativas del forjado, son las que en la zona central, unas, dobladas hacia el intradós, resisten las flexiones positivas, y otras, prolongadas en recta, solidarizan toda la losa de extremo a extremo, enlazando directamente las dos almas o nervios.

La realización de este programa requiere romper la tradicional costumbre de enrasar el afirmado más bajo que las aceras laterales. La disposición que adoptamos, ampliamente discutida y hace años aprobada en los proyectos de dos grandes puentes sobre los ríos Guadiana y Tajo, sólo exige contener el firme entre dos bordillos, siempre indispensables, dejando al nivel del fondo, el general del trasdós del forjado, las aceras. Levantar éstas a la altura usual requiere o sobrecargarlas con un relleno que pesa unos 400 kg : m^2, o construir otros bordillos en los extremos, que juntamente con los del firme, permitan la colocación o el moldeo de pequeñas losas a la altura deseada. Nunca puede admitirse en la cabeza superior de los nervios en T que unas partes resistentes formen escalón con otras, ni que las armaduras de los vuelos se encorven o doblen hacia arriba y ambas cosas serían precisas para poder formar las aceras con el mismo forjado.

Los bordillos, protegida su coronación contra el desgaste por una cantonera metálica, y fabricados previamente con hormigón especial, no participan, por estar subdivididos en trozos, del trabajo de la cabeza superior, pero resisten perfectamente en sentido transversal las presiones y golpes que puedan ocasionar las ruedas, gracias a sus armaduras bien ancladas en el forjado. Imbornales convenientemente distribuídos desaguan los costados del firme en las aceras, que vierten, con inclinación transversal de 0,03, por sus bordes.

Fijamos el ancho del afirmado para una sola fila de vehículos en 2,20 m, para que puedan circular con holgura de 0,10 por cada lado los cilindros compresores de 20 ton, los mayores usados en España, que apisonan una faja de 2,00. Para dos filas de carretas bastan 3,40 m para que, tocando a los bordillos las ruedas exteriores, quede un huelgo central de 0,10 entre los cargamentos, que rarísima vez superan 1,90 de ancho, aunque a la vista parezcan mucho más voluminosos. Los mayores camiones, tanto de tiro como automóviles, excepcionalmente exceden dicha anchura.

Sumados a los 2,20 y 3,40 m por cada lado, los anchos del bordillo (0,10) y de la acera (0,70), resultan los totales de 3,80 y 5,00, que ofrecen las obras entre paramentos interiores de barandillas. El segundo parecerá quizá escatimado en demasía, puesto que, de realizarse el cruce de vehículos supuesto, sus cargas desbordarán lateralmente, dejando reducidos a 0,55 m los anchos libres en cada acera. En puentes de mayor longitud, en los que parece algo más probable la simultaneidad del cruce en un mismo perfil de personas en las aceras y de los más voluminosos vehículos en el firme, ensancharíamos este hasta 3,90 para dejar completamente libres los andenes, pero en obras tan cortas (8,50 la mayor) preferimos atenernos a lo dicho, que rarísima vez se realizará.

La separación entre nervios, de 1,60 m para las obras de una sola y de 2,20 para las de doble vía, es resultado de numerosos tanteos hasta conseguir las más favorables condiciones del forjado. Aparecen las secciones en la fig. 1.ª, juntamente con una tercera forma, la adoptada para los puentes *univías* de 22 m de luz en adelante, en los cuales el trabajo del forjado por compresión longitudinal predomina sobre el de flexión transversal, al mismo tiempo que la necesidad de ir peraltando los nervios, al crecer las luces, exige forzar su separación a 1,90 m.

Logramos de este modo una gran ventaja práctica: las partes más esenciales y costosas de los moldes servirán, dentro de cada forma típica, para puentes de cualquier luz, variando tan sólo la altura de los nervios, cosa fácil de conseguir en moldes ya usados.

Las grandes luces implican una modificación estructural: el peso de los nervios, exiguo en las obras pequeñas, se hace cada vez más importante, hasta igualar casi al del forjado en la luz de 20 m. De no aligerar las almas, calándolas en celosía, los puentes de 25 a 36 m resultarían excesivamente pesados, y aunque la mano de obra se encarece bastante, el ahorro en materiales obtenido por la considerable reducción del peso muerto la compensa con creces. Varios tanteos nos han conducido a conservar el tipo de alma maciza para la luz de 22 m, pero sustituyendo la forma primera por la tercera (fig. 1.ª) estudiada para los de 25 a 36, en los que ya es francamente ventajoso el tipo de alma calada.

Sin necesidad de recurrir a ejemplos extranjeros podemos invocar, como garantía de la bondad de ese tipo, nuestro puente sobre el río Vélez, en el ferrocarril de Málaga a Torre del Mar, en explotación desde enero de 1908, con dos tramos de 26,40 m de luz, y otros varios puentes, en los que se han repetido hasta 18 tramos idénticos a aquéllos, en diversas líneas de la Compañía de ferrocarriles suburbanos de Málaga y en explotación desde 1912. Durante varios años han sido estas obras las mayores del mundo en su género de tramos rectos para ferrocarril. Basados en esta sanción experimental proyectamos para carreteras en los ríos Guadiana y Tajo tramos rectos de 40 m que, aprobados desde hace años, no han sido todavía construídos.

Después de maduro examen, respecto a las cuatro formas en que pueden ser caladas o aligeradas las almas de los puentes, nos decidimos por la misma empleada en el del Vélez y homólogos, la de celosía en N. Desechamos los tipos en X, o de dobles diagonales, y en △, o de diagonales sencillas (este último es el de

los puentes del Guadiana y Tajo), por requerir una mano de obra más complicada en las armaduras, particularmente el primero. El tipo Vierendeel, o de simples montantes, sujetos a enormes flexiones que transmiten localmente a las cabezas, cuando éstas son paralelas, sólo es aplicable en buenas condiciones en los puentes de piso inferior, en los que éste atiranta un arco formado por las cabezas superiores.

Sacrificamos la economía, por todos conceptos máxima en el tipo de celosía en △, por obtener la mano de obra más sencilla y merecedora de más confianza. Y esto mismo nos lleva a sustituír la forma del Vélez, montantes comprimidos y diagonales tensas, por la recíproca, montantes estirados y diagonales comprimidas: la descripción detallada de las obras lo justificará.

Tratamos, en resumen, de conseguir que todos los modelos proyectados puedan ser construídos con la mayor sencillez y facilidad, condición indispensable para que a la bondad del material corresponda la de la mano de obra, y puedan ambas, escrupulosamente exigidas, justificar la plena confianza que estas obras deben inspirar.

A este mismo objetivo corresponde el criterio que seguimos para fijar las bases de cálculo. El tren de vehículos que podrá circular con todas las condiciones de seguridad por todas las obras, es el formado por un cilindro compresor con ejes que cargan 8 y 12 toneladas, y por una sobrecarga de 400 kg : m^2 que ocupe toda la superficie restante, aceras inclusive. Eso para el trabajo de flexión; para el de las acciones tangenciales el tren se reduce al cilindro y sobrecarga desde la sección que recibe el eje de 12 ton hasta el apoyo más lejano, descargándose el resto. En uno y otro caso los resultados exceden considerablemente, como en su lugar veremos, a los que corresponden, según la Instrucción para los proyectos de puentes metálicos, a los más pesados vehículos.

Esta voluntaria exageración implica, no sólo una mayor seguridad de las obras dentro de las condiciones usuales del tráfico, sino la prudente previsión de lo que puedan llegar a ser, con el tiempo, las sobrecargas rodadas. De todos modos, la circulación de los más pesados cilindros compresores es inexcusable, aunque claro es que tan sólo en las pruebas podrá realizarse la acumulación de las demás sobrecargas juntamente con aquéllos.

En la fijación de las máximas cargas unitarias que han de soportar los materiales nos atenemos a un prudente criterio, aceptando los límites más generalmente adoptados hoy día y prescindiendo de los exagerados, tanto en un sentido como en otro. Para el hormigón 40 y para las armaduras 1 000 kg : cm^2, son máximos que, en esta clase de obras, en las que predomina el peso muerto y son muy escasos los efectos dinámicos, corresponden bien a la consecución simultánea de la economía y de la seguridad.

Las condiciones relativas a los materiales y a la mano de obra, que con detalle expondremos después, responden igualmente al objetivo perseguido: esencial es que las obras sean económicas, pero más esencial es que sean buenas. Unas cuantas pesetas por metro cúbico, gastadas en mejorar la composición granulométrica de los áridos que forman el esqueleto del hormigón, pueden elevar la resistencia de éste en grandísimas proporciones, a igualdad de riqueza en cemento. Un despiezo de las armaduras bien estudiado proporciona a la obra una seguridad incomparablemente más valiosa que otras cuantas pesetas gastadas en transportar barras de grandes longitudes o en enlazarlas directamente (1).

CONDICIONES FACULTATIVAS

Exponemos, en lo que sigue, los artículos especiales que en los pliegos de condiciones de cada obra han de referirse a las superestructuras de hormigón armado. Los designamos por letras, para evitar confusión al redactar en cada caso el pliego completo con las condiciones relativas a las demás partes.

Artículo A. La superestructura del puente estará constituída por los elementos definidos, compuestos y coordinados como en los planos se consigna. Los detalles que faltaren o que no estuvieren rigurosamente determinados, serán estudiados con arreglo al criterio general a que obedecen las obras y sometidos previamente a la aprobación de la Jefatura de Obras públicas.

Art. B. Las arenas serán silíceas, perfectamente limpias y no contendrán más de un décimo de su peso de humedad. Su composición granulométrica debe dar las siguientes proporciones en peso; granos gruesos, comprendidos entre 2 y 5 mm 50 centésimas del total sólido por lo menos; 15 centésimas, a lo sumo, de gra-

(1) A fin de hacer compatible la impresión de este trabajo con el de la Memoria oficial, saltamos hoy desde este punto al cap. III, que trata de las condiciones facultativas, sin perjuicio de publicar otro día el resto del cap. I y el II.

nos medios, comprendidos entre $^1/_2$ y 2 mm. De no cumplirse estas condiciones, las arenas serán cribadas, hasta eliminar el exceso de granos medios, y suplir el defecto de granos gruesos.

Art. C. La piedra será, en general, silícea y rodada, perfectamente limpia de granos comprendidos entre 5 y 30 mm. El peso de los granos inferiores a 10 mm no excederá de 20 centésimas del total y se obtendrá esta condición, si desde luego no se cumple, mediante el cribado.

Podrá admitirse la piedra partida siempre que sea dura, compacta, no heladiza ni hendijosa, ni susceptible de descomposición, y que su empleo, en lugar de la silícea rodada, sea razonadamente aprobado por la Jefatura. Además de no exceder la proporción de granos inferiores a 10 mm de 20 centésimas del peso total, deberán ser todos los granos de forma aproximada a la inscriptible en una esfera, con exclusión expresa de los de formas alargadas y laminares.

Art. D. El cemento será portland artificial, de fraguado lento, y cumplirá todas las condiciones impuestas en el pliego general vigente.

Art. E. El agua no contendrá sales magnésicas, ni sulfato cálcico, ni materias orgánicas en cantidades que la hagan impotable. Las aguas gordas calizas, o las turbias que sólo contengan légamo arcilloso muy fino, podrán ser admitidas a falta de aguas claras y perfectamente potables.

Art. F. Las armaduras serán del llamado acero de calidad dulce para construcciones. Su carga límite aparente elástica no bajará de 2 500 ni excederá de 3 000 kg : cm^2. Los planos anchos, barras redondas o cuadradas, estarán perfectamente laminados sin presentar pelos, grietas ni rebabas; y podrán ser doblados en frío, hasta describir una semicircunferencia alrededor de una barra cuyo diámetro sea vez y media el espesor, diámetro o lado respectivamente, sin agrietarse. Ninguna barra estará soldada, sino deberá venir de fábrica con la longitud prescrita en el proyecto, sin tolerancia alguna, en más ni en menos, en los planos anchos, y con tolerancia de algunos centímetros en más, pero nada en menos, en los cuadrados y redondos.

Art. G. Los rodillos y placas de los aparatos de apoyo serán de acero fundido en crisol y recocido, perfectamente homogéneo y bien moldeado, sin sopladuras, grietas ni defecto alguno. Su carga límite elástica no bajará de 3 300 kg : cm^2.

Art. H. Las planchas de plomo serán del duro de la mejor calidad, bien laminadas y perfectamente planas, sin grietas, rebabas ni oquedades. Su carga plástica en cilindros de altura igual al diámetro, no bajará de 300 kg : cm^2.

Art. I. El hormigón tendrá una riqueza efectiva, expresada en kilogramos de cemento por metro cúbico puesto en moldes, de 350 en los puentes de alma calada, y de 300 en los demás. Las proporciones de arena y de piedra se determinarán experimentalmente, de modo que la compacidad sea la máxima posible. Se procederá por tanteos, midiendo previamente los volúmenes absolutos unitarios de la arena y de la piedra y el volumen de pasta obtenida con 1 kg de cemento amasado con 400 g de agua. Con estos datos se calcularán: primero, el volumen aparente de piedra que, sumado con el de pasta producida por los 350 (ó 300) kg de cemento, completa 1 m^3; segundo, el volumen aparente de arena necesario para que sus granos rellenen en absoluto los huecos restantes en dicho metro cúbico de piedra con pasta. Determinadas así de un modo provisional las proporciones, se fabricarán diversas muestras de hormigón, todas ellas con $3^1/_2$ (ó 3) kg de cemento y con cantidades de arena y de piedra, unas iguales, otras ligeramente superiores o inferiores a las correspondientes a un volumen de 10 l. Igualmente se hará variar la cantidad de agua en más o en menos hasta obtener siempre un hormigón de consistencia plástica.

El amasado de estas pruebas se hará mezclando íntimamente en seco primero el cemento con la arena y después el conjunto con la piedra, agregando, por último, el agua poco a poco, con una regadera fina, hasta obtener una pasta homogénea, que será vertida y ligeramente apisonada por capas de 5 cm de altura dentro de moldes prismáticos, de 20 cm de escuadría y 25 de altura, metálicos o forrados de metal en su interior y desmontables.

De las muestras cuyo volumen resultante sea igual o ligeramente inferior al de 10 l de los moldes, se elegirá la que ofrezca mayor peso de materias sólidas, deducido, restando del peso total el del agua con que ha sido amasada. Se repetirá el ensayo cuantas veces sea necesario hasta conseguir el máximo de dicho peso juntamente con el volumen justo de 10 l; y las proporciones de arena y piedra correspondientes serán las las que hayan de emplearse en toda la obra. Para que esto se realice del modo más exacto, se calcularán los volúmenes aparentes que con arreglo a aquéllas corresponden al peso neto de un saco o de un barril de cemento, y se construirán medidas cúbicas con las cabidas correlativas para la arena y para la piedra. Si la piedra, y en particular la arena, están húmedas, se cuidará, al llenar las medidas, de comprimir aquéllas lo suficiente para compensar el entumecimiento de volumen.

Art. J. El amasado de los hormigones podrá hacerse a brazo o a máquina. Siempre se efectuará mezclando previa e íntimamente en seco el cemento y la arena primero, la mezcla así obtenida y la piedra después, agregando, finalmente, muy poco a poco y del modo más uniforme posible el agua, removiendo el conjunto sin cesar, hasta obtener una masa bien homogénea.

La cantidad de agua será en general la deducida del ensayo, pero podrá ser ligeramente alterada en más o en menos, según la parte de obra a que esté destinado el hormigón. En más para las piezas de poca sección o con muchas armaduras; en menos, en los casos inversos. Igualmente se disminuirá la cantidad de agua cuando la piedra, la arena, o ambas, estén húmedas, de tal modo que siempre se obtenga una consistencia del hormigón que permita rellenar bien los espacios entre armaduras y moldes, y al mismo tiempo que sólo se produzca ligera resudación por efecto del apisonado.

Se suspenderá la fabricación del hormigón cuando la temperatura baje hasta 5° C sobre 0, y sea de esperar que se mantenga o que descienda más todavía. Si fuera urgente el hormigonado para terminar una pieza o para hacer una unión de piezas sin dejar en ellas junta entre hormigones de edad bastante diferente, se aumentará en una quinta parte la proporción de cemento, y se amasará el conglomerado con agua calentada a 40°. Inmediatamente después del apisonado se abrigará el hormigón con sacos, que se regarán con agua a dicha temperatura cada tres horas durante dos días.

Art. K. Los moldes podrán ser de madera, o metálicos o mixtos, pero siempre deberán ofrecer rigidez suficiente para soportar sin deformación apreciable el peso y los empujes laterales del hormigón y el peso de la parte de obra que subsiguientemente ha de ir gravitando encima.

Los enlaces de los distintos elementos o paños de los moldes serán sólidos y sencillos, de modo que su montaje y su desmonte se verifiquen con facilidad, sin requerir golpes ni tirones. Las caras del moldeo estarán bien labradas; las piezas que las formen tendrán espesores suficientes y las juntas estarán dispuestas de modo que la hinchazón de la madera no produzca deformaciones sensibles.

Los moldes ya usados y que hayan de servir para unidades repetidas serán cuidadosamente rectificados y limpiados.

Art. L. Las barras de armadura se ajustarán exactamente en forma y dimensiones a lo prescrito en los planos. Las barras redondas de diámetro inferior a 2 c se encorvarán en frío; las demás, así como las cuadradas, en caliente. Todas se trabajarán sobre patrones muy sólidos y exactos.

Las armaduras formadas por planos anchos se despiezarán como se prescribe en los planos. En general deberán salir de fábrica con todos los taladros ya hechos y comprobada su exacta situación por un armado provisional hecho con tornillos. De no hacerse así, habrá que presentar sobre el andamio, junto a la solera del molde de la cabeza inferior, cada uno de los paquetes de planos, y bien alineadas y yuxtapuestas todas las piezas y sobrepuestas las cubrejuntas, perforar de una vez cada taladro en todos los planos a que afecte. Hecho con el mayor esmero el remachado de cada paquete, se arriostrarán los dos que forman la armadura de cada cabeza, por medio de los pasadores transversales, de contretes que mantengan la debida separación entre los planos interiores y de ataduras de alambre.

Las armaduras formadas por barras redondas se empalmarán por medio de manguitos terrajados, de las dimensiones fijadas en los planos. Las barras deberán llegar de fábrica con él o los extremos fileteados a derechas o a izquierdas que les correspondan y perfectamente protegidos durante el transporte.

Las armaduras se limpiarán cuidadosamente, frotándolas con cepillos de alambre duro hasta dejarlas libres de toda materia extraña y, en particular, de herrumbre que ofrezca espesor apreciable.

Se presentarán dentro de los moldes, o en ocasiones se montarán los moldes alrededor de las armaduras previamente presentadas, sujetando unas contra otros hasta dejarlos bien asegurados en la posición relativa que les corresponda.

En las piezas o uniones de piezas en que se reúnan o crucen numerosas barras, se recubrirán éstas inmediatamente antes de proceder a su hormigonado, con mortero, formado por volúmenes iguales de cemento y de arena fina, con la cantidad de agua necesaria para que la pasta adhiera bien el metal y que se extenderá cuidadosamente en capa delgada con brochas de alambre o de pelo muy duro.

Para colocar y mantener exactamente en las posiciones asignadas por los planos las armaduras, podrán emplearse, o bien pequeños trozos de barras transversales que separen dos capas de barras primarias y queden al mismo tiempo que éstas anegados en el hormigón, o bien tacos o piezas auxiliares que separen temporalmente unas barras de otras o de las paredes de los moldes. Tales tacos o piezas deberán tener colas o mangos bien visibles para que no puedan quedar por olvido ahogados en la masa, y se irán retirando a medida que la superficie de vertido se vaya aproximando a ellos.

Art. M. El hormigón se verterá en los moldes una vez perfectamente limpios y humedecidos éstos, por pequeñas cantidades, proporcionadas a la sección de la pieza de que se trate y se atacará con el mayor esmero, apisonando con golpes numerosos y de poca intensidad, de suerte que su efecto se haga sentir perfectamente en todos los puntos de la masa y muy especialmente en las zonas contiguas a las armaduras.

Al interrumpir el hormigonado, aunque sea solamente para el descanso del personal, se dejará la superficie terminal lo más irregular posible y se resguardará de los agentes exteriores cubriéndola con sacos húmedos. Al reanudar el trabajo, si todavía no hay principio de fraguado se recubrirá la superficie con una delgada capa de mortero rico, ya definido para revestir las armaduras, e inmediatamente se proseguirá el hormigonado, apisonando con especial esmero por pequeñas porciones. Si la superficie del hormigón está ya en fraguado, aunque sea incipiente, se empezará por picarla, frotándola con cepillos de alambre; se humedecerá con abundancia y recubrirá con el mortero rico, procediendo como queda dicho.

Art. N. Los bordillos se fabricarán aparte, con hormigón especial de 450 kg de cemento por metro cúbico, piedra de 15 mm de tamaño máximo y arena como la ya definida, con las proporciones que la experimentación determine como más favorables. Se moldearán en posición invertida en molde metálico o revestido de chapa, apisonándolos enérgicamente y manteniéndolos húmedos durante un mes. La parte opuesta a la cantonera se dejará muy desigual. Se enlazará con el hormigón del puente refiriendo las armaduras propias del bordillo a las de aquél, y extremando las precauciones ya descritas para la buena soldadura.

Art. O. Las aceras serán enlucidas con una capa de 15 mm de espesor, de mortero rico hecho con arena normal, que se aplicará y comprimirá enérgicamente sobre el hormigón a las veinticuatro horas de hecho el apisonado de cada trozo, tomando las precauciones ya descritas para asegurar el buen enlace. La superficie del enlucido quedará perfectamente plana, con la inclinación transversal de 3 centésimas y recibirá un avitolado de ranuras de 8 mm de profundidad, dirigidas según la máxima pendiente y en número de 16 : m l. Se cubrirá con arena que se mantendrá húmeda durante siete días.

Art. P. Los pasadores que han de servir para afirmar las barandillas se presentarán en obra afianzados en patrones metálicos que los fijen en la situación exacta correspondiente. Antes de hormigonar serán recubiertos de mortero rico, y el apisonado alrededor de ellos se hará con especial esmero.

Art. Q. En las caras horizontales o poco inclinadas en las que el hormigón no quede protegido por el molde, será recubierto al terminar su apisonado con sacos húmedos, sobre los que se extenderá una capa de arena que se mantendrá húmeda durante siete días, por lo menos, en verano y cuatro en las demás estaciones.

Los paramentos verticales y superficiales terminales inclinadas podrán ser desmoldados a las cuarenta y ocho horas, protegiéndolos contra el sol y el viento por medio de sacos o esteras que se mantengan húmedos durante los plazos ya dichos. Se podrán desmoldar las superficies inferiores de las riostras y del forjado a las noventa y seis horas y las de los voladizos y diagonales a los siete días. Todos estos plazos se cuentan desde la terminación del hormigonado de la pieza respectiva, y son mínimos, que deberán ser aumentados prudencialmente cuando la temperatura se mantenga por bajo de 10° C sobre 0.

Las caras inferiores de las cabezas del mismo nombre solo podrán ser desmoldadas parcialmente en las zonas a que no afecten puntales de sostenimiento y siempre que éstos no disten más de 5 m a los catorce días. El desmonte de estos puntales no se hará antes de los cuarenta y dos días en los puentes de luz igua o superior a 18 m de treinta y cinco días en los de 10 m o más de veintiocho días en los de 6 m o más y de veintiún días en las losas planas. Todos estos plazos se cuentan desde la terminación del hormigonado del tramo y deberán ser aumentados si durante su transcurso ha descendido la temperatura por bajo de 5° C sobre 0.

Art. R. Se montarán los moldes con una contraflecha en el centro igual a una milésima parte de la luz, salvo en las losas de 5 m, o menos, en las que se elevará a 4 milésimas, haciéndola decrecer parabólicamente a uno y otro lado.

La máxima flecha, producida veinticuatro horas después del descimbramiento, no excederá de la calculada bajo la acción del peso muerto, atribuyendo al hormigón, tanto estirado como comprimido, un coeficiente de elasticidad de 140 000 kg : cm^2, y a las armaduras otro quince veces mayor.

Art. S. Las pruebas consistirán en: hacer recorrer el puente, primero los carros más pesados de que se disponga en la localidad; segundo, un cilindro compresor de 20 ton; tercero, un tren formado por dicho cilindro precedido y seguido por aquellos carros, estacionar, después, ese mismo tren en la posición más desfavorable y sobrecargar los dos andenes a razón de 600 kg : m^2. La mayor flecha así producida, al cabo de seis horas, no excederá de la calculada y deberá quedar reducida a su cuarto, a lo sumo, a las doce horas de descargar por completo el puente. Por último, al recorrer de nuevo y con la mayor velocidad posi-

ble la obra, el tren formado por el cilindro y los carros, las flechas producidas deberán llegar a ser totalmente elásticas en la tercera pasada, desapareciendo por completo al quedar libre la obra.

Al redactar las condiciones que preceden hemos tenido a la vista cuanto ha llegado a nuestro conocimiento en los últimos años, completando nuestra experiencia personal.

Aunque parezca quizá exagerada la importancia que damos a la composición granulométrica de piedras y arenas y a la dosificación de los hormigones, repetimos, una vez más, que el tiempo y el dinero gastados en estudiar y mejorar todo lo posible una y otra cosa, nada valen comparados con la resistencia y seguridad que así se obtienen. La prescripción de investigar previamente las proporciones de áridos que para determinada riqueza en cemento producen la máxima compacidad, nos la impusimos ya en 1911 al redactar los proyectos de puentes del Guadiana y del Tajo: los años transcurridos no han hecho sino afirmarnos cada vez más en la no conveniencia, sino necesidad de proceder así cuando se quiere que el hormigón merezca verdadera confianza.

En la fijación de los plazos para el desmolde procuramos pecar más bien por prudencia, y más todavía en los relativos al descimbramiento o desmonte de puntales, que, hecho prematuramente, puede, si no comprometer la solidez de una obra, por lo menos disminuírla y afear su aspecto. A evitar esto último se aplica el art. $\mathcal{R}$ en su primera parte: por pequeña que sea la deformación en una línea horizontal, su efecto se exagera mucho a la vista y resulta deplorable. Una contraflecha de una milésima de luz basta para evitarlo en los puentes con nervios: en las losas planas se requiere más, porque la retracción de fraguado produce por sí sola deformaciones muy superiores a las demás.

La flecha, debida a los pesos muertos, es, en general, bastante inferior a la calculada conforme al art. $\mathcal{R}$: esa prescripción establece un límite cuyo traspaso indicaría la existencia de algún defecto oculto. Sabido es que la verdadera medida de la seguridad de una obra no es la pequeñez de las deformaciones, sino el que éstas sean o *lleguen a ser perfectamente elásticas*. Al proceso de gradual adaptación de la obra a sobrecargas sucesivas y crecientes corresponde el art. $\mathcal{S}$: la mayor flecha producida no excederá del límite calculado, y al descargar por completo la obra, la deformación *plástica, permanente,* no excederá del cuarto de aquélla; y más todavía, las nuevas flechas llegarán a ser *totalmente elásticas* después de recorrer tres veces la obra el tren de sobrecarga.

El cuadro que sigue contiene las flechas calculadas conforme al art. $\mathcal{R}$. Las debidas al peso muerto de la obra y del firme, son $f_p = 5\ pl^4 : 384\ \mathcal{E}\mathcal{J} = 5\ \mathcal{M}l^2 : 48\ \mathcal{E}\mathcal{J}$.

A las del tren de sobrecarga, parte del cual forma la de 400 kg : m^2 en las aceras y en todo el firme no ocupado por el cilindro compresor, no es exactamente aplicable esa fórmula, pues los pesos aislados de 12 y 8 ton de aquél tienen otro modo de obrar. A igualdad de máxima flexión $\mathcal{M}$ producida por un peso aislado ($\mathcal{P}l : 4$), y por otro uniformemente distribuído ($pl^2 : 8$),

$$f_a = \frac{1}{12}\frac{Ml^2}{EI}; \qquad f_d = \frac{5}{48}\frac{Ml^2}{EI}; \qquad f_d = \frac{5}{4} f_a$$

y, por tanto, se exagera algo la deformación debida al cilindro si se equipara el momento del tren de sobrecarga al de una uniforme. El error es muy pequeño en las luces medianas y grandes, en las que los 6 m ocupados por el cilindro significan poco. En las pequeñas, sobre todo en las inferiores a 6 m, el error sería inaceptable: los momentos subrayados corresponden a una sola causa, el eje de 12 ton, y las flechas están calculadas así:

Luz.	Semimomento de inercia.	PESO MUERTO		SOBRECARGAS		
		Máximo momento flector.	Flecha f_p	Máximo momento flector.	Flecha f_s	Flexibilidad relativa.
m.	cm^4	*mkg.*	*mm.*	*mkg.*	*mm.*	$f_s : l$
36	157 390 000	822 150	25,1	355 210	10,9	0,000 302
32	118 392 000	649 600	20,9	291 530	9,4	0,000 293
28	89 222 700	497 350	16,3	233 630	7,6	0,000 271
25	67 177 200	396 500	13,7	194 740	6,7	0,000 268
22	50 620 000	306 570	10,8	160 520	5,6	0,000 254
20	28 066 000	215 050	11,3	135 300	7,2	0,000 360
18	22 542 000	168 550	9,0	114 010	6,1	0,000 338
16	18 229 500	127 230	6,7	94 800	4,9	0,000 306
14,5	14 508 900	101 080	5,4	81 070	4,4	0,000 303
13	11 391 300	78 270	4,3	68 650	3,8	0,000 292
11,5	8 599 100	58 300	3,5	56 060	3,3	0,000 286
10	4 815 300	40 530	3,1	44 930	3,4	0,000 340
8,5′	3 502 100	27 870	2,2	34 540	2,6	0,000 305
7,25′	2 372 000	19 690	1,6	26 660	2,2	0,000 303
6′	1 787 800	13 160	1,0	21 020	1,6	0,000 266
8,5″	7 155 400	43 710	1,6	48 050	1,8	0,000 211
7,25″	6 520 800	31 800	1,0	37 670	1,1	0,000 151
6″	5 819 550	21 780	0,5	30 260	0,7	0,000 116
5	836 560	12 025	1,3	*15 000*	1,3	0,000 264
4	505 960	6 808	0,8	*12 000*	1,1	0,000 280
3	245 500	3 330	0,45	*9 000*	0,96	0,000 320
2	147 300	1 258	0,13	*6 000*	0,48	0,000 240
1	57 740	259	0,02	*3 000*	0,16	0,000 160

El predominio del efecto del peso muerto es muy grande, 0,70 del total en el puente de 36 m; va disminuyendo con la luz hasta igualarse con el efecto del tren de sobrecarga en la luz de 11,5, por bajo de la cual domina el último, dando 0,61 del total en la obra de 6 m de simple vía (′) y 0,58 en la de doble (″).

No debe extrañar que las condiciones facultativas nada prescriban respecto a la fisuración del hormigón armado, inevitable a la corta o a la larga. Ninguna de las Instrucciones oficiales, vigentes en diversos países, toca, ni de pasada, tan interesante extremo. Y se comprende bien, por la imposibilidad de dictar reglas, que hubieran de ser precisas, en materia tan sumamente compleja.

Nos limitamos a recordar que la retracción por fraguado y desecación, pese a las minuciosas precauciones que hemos consignado, concluye por producir al cabo de meses o de años, que obras ya probadas y en servicio en excelentes condiciones, vayan presentando fisuras, unas veces solamente en las zonas tendidas, otras en toda la sección, aunque antes, y con mayor amplitud en dichas zonas, sin que la rigidez varíe sensiblemente y desde luego manteniéndose la obra en el estado de elasticidad perfecta, obtenida con la reiteración de sobrecargas.

REVISTA EXTRANJERA

Estudio teórico de una fábrica puesta en acción por la marea.

El desarrollo de las aplicaciones de la electricidad y la necesidad de restringir el consumo de la hulla conduce actualmente a la idea de crear grandes fábricas costeras que utilicen las mareas y estén unidas a la red general de distribución.

El ingeniero de Puentes y Calzadas, M. P. Caufourier, trata teóricamente este problema en un artículo publicado en *Le Génie Civil*, y del cual vamos a hacer un resumen.

Recuerda primero el actor que el fenómeno de la marea puede representarse, con una aproximación suficiente para la práctica, por una sinusoide (fig. 1.ª, trazo grueso), que tenga por período la mitad del día lunar, o doce horas veinticuatro minutos, y una amplitud variable entre un mínimo, llamado *agua muerta*, en las épocas en que la Luna y el Sol están en cuadratura, y un máximo, llamado *agua viva*, en las épocas en que estos astros están en oposición o en conjunción. La pleamar tiene lugar, no a la hora del paso de la Luna por el meridiano, sino con un retraso llamado *establecimiento del puerto*; este retraso es constante para un mismo punto de la costa y varía de una manera continua, de un punto a otro.

Dicho esto, supone que un estanque de superficie Ω está en comunicación permanente con el mar por un boquete de sección ω.

El nivel del agua en el estanque seguirá las variaciones del nivel del mar, no instantáneamente, sino con un cierto retraso debido al caudal restringido del boquete. Supone en seguida trazada (fig. 1.ª, trazo fino) la curva que representa el nivel del estanque en función del tiempo; y llama Y el nivel del mar e y el del estanque en el tiempo t. El caudal del boquete tendrá por valor

$$Q = m\,\omega\sqrt{2g\,(Y-y)} = m\,\omega\sqrt{2g\,(H\cos\alpha\,t - y)}$$