

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.

PROYECTO DE REGLAMENTO

para el cálculo y prueba de las obras de hormigón
armado de los ferrocarriles ⁽¹⁾

Buenos Aires, Agosto 17 de 1918.

Señor Director de «La Ingeniería».—Ingeniero, Jorge W. Dobranich.

Hace algún tiempo tuve el agrado de recibir una comunicación del Sr. Director, preguntándome si podía publicar en *La Ingeniería* un proyecto de Reglamento para obras de hormigón armado, que sabía había preparado. Por ciertas circunstancias me era imposible en aquel entonces acceder á sus deseos, pero ahora lo hago con el fin de contribuir á que se estudie este asunto con toda atención y con la generalidad que corresponde y que no se ha querido dar en el proyecto aludido por las razones que se expresarán brevemente.

Pero antes de exponerlas creo justo y necesario dejar constancia de la forma en que fué estudiado ese Reglamento y quiénes son sus autores. Su estudio fué iniciado en 1916 y terminado á fines del mismo año. Con objeto de que ese Reglamento, destinado á aplicarse en los ferrocarriles nacionales únicamente, consultara lo mejor posible los intereses del Gobierno, por lo menos á mi juicio, y los de las Empresas ferroviarias, y dado el cargo que ocupó en la Dirección de Ferrocarriles, por el cual me corresponde entender en esta clase de asuntos, convoqué á una reunión preliminar á todos los Jefes de Vía y Obras de aquéllas. Después de cambiar ideas y de convenir en principio la necesidad y oportunidad de la reglamentación, los Jefes citados delegaron en dos de ellos su representación para facilitar el estudio y discusión. En consecuencia, el proyecto definitivo es el resultado de la colaboración de los Ingenieros Sres. Juan A. Briano, del Ferrocarril Central de Buenos Aires, y Guillermo Lowe Brown, del Ferrocarril Oeste, y del suscrito, que se encargó luego de su redacción final.

Como ya había hecho notar al proponer un nuevo Reglamento de puentes metálicos, actualmente en vigencia, las Empresas ferroviarias en nuestro país se desenvuelven en condiciones tales que no permiten al P. E. la intervención en la adquisición de sus materiales. Cada una de ellas efectúa sus compras, en el extranjero casi siempre, y tienen sus Inspectores propios y Consultores encargados de certificarles la cantidad de los mate-

riales. No puede admitirse que tengan interés en adquirirlos de mala calidad, puesto que se aplicarán á construcciones permanentes, cuya renovación estará á su cargo y que la ley de Ferrocarriles obligará á mantener siempre en buen estado, facultando además al P. E. para declararlas fuera de servicio en caso de peligro, sea cual sea la consecuencia que esta medida pueda tener para la Empresa afectada. Podría decirse hasta cierto punto que la inspección gubernativa no es completamente preventiva, sino que se ejerce sobre elementos de trabajo ya adquiridos y admitidos como buenos. Es casi lo que pasa con el tren rodante: se inspecciona una locomotora y se le da certificado de circulación si las pruebas dan buen resultado, prescindiendo casi en absoluto del material mismo.

De ahí que en el citado Reglamento de puentes metálicos se apartará toda prescripción sobre calidad del metal, entendiendo que se emplearía el mejor. Este mismo principio fué aplicado al estudio del Reglamento de hormigón armado, pero como no era posible hacerlo en absoluto en lo que respecta al cemento, base de toda la construcción, se fijó como calidad del mismo lo que establece el pliego de Obras Sanitarias de la Nación.

Las observaciones precedentes tienen suma importancia, pues lo que puede ser dejado subentendido para los ferrocarriles no lo puede quedar para el resto de construcciones civiles, pues sería peligroso.

Hay, además, otras consideraciones de índole práctica que obligan á no establecer reglas demasiado numerosas para aplicar á las construcciones ferroviarias: la imposibilidad de hacer ensayos y ejercer vigilancia en millares de kilómetros sin un personal numeroso, cuyo sostén estaría fuera de proporción con los fines á alcanzar. Muchas prescripciones quedarían realmente en el papel y muy rara vez se podría verificar su cumplimiento. Como ejemplo mencionaremos que el ensayo de calidad del metal se reduce á lo indispensable y susceptible de hacerse en cualquier parte sin aparatos especiales.

Sentados estos principios, y teniendo en cuenta que las sobrecargas móviles habían sido establecidas en el Reglamento de puentes metálicos, se procedió á comparar las prescripciones de ocho Reglamentos de hormigón armado, á saber: el francés de 1907, prusiano de 1907, de los Arquitectos británicos de igual fecha, austriaco de 1908, italiano de 1908, suizo de 1909, el de los Arquitectos norteamericanos de 1913 y el del Condado de Londres de 1912, revisado y ampliado en 1915. Nuestro criterio de selección fué adoptar en los casos más discutidos la prescripción más moderna, la más simple para las aplicaciones, y en cuanto al método de cálculo dejar bastante elasticidad para que

(1) De *La Ingeniería* de Buenos Aires.

los perfeccionamientos de la teoría, aún no definitiva, no obliguen á hacer correcciones en breve plazo. Como ejemplo citaremos los resultados de las experiencias de Considère sobre el hormigón zunchado: hemos preferido dejar los datos mismos en vez de hacer promedios ó extensiones simplificadoras que pueden no ser confirmadas por la práctica. El coeficiente de elasticidad del hormigón y el de resistencia se determinan por el volumen de las mezclas de materiales, dato mucho más cómodo para verificar que el del peso.

Agregaré que el acuerdo con mis dos colegas sobre el proyecto final fué completo, por cuya causa creo que no violentaría en lo más mínimo los intereses de los ferrocarriles, incluso los del Estado.

Sobre los diversos artículos del proyecto es inútil entrar en detalles, pues por sí mismo se explican.

Saluda á usted con su mayor consideración, B. LAUREL.

Proyecto de Reglamento para el calculo y prueba de las obras de hormigón armado de los ferrocarriles.

CAPÍTULO PRIMERO

PRESCRIPCIONES GENERALES

1.º Desde la fecha de la aprobación de este Reglamento el cálculo, construcción y prueba de las obras de hormigón armado que lleven á cabo las Empresas ferroviarias, deberán sujetarse á sus prescripciones.

2.º Debe entenderse por hormigón armado el hormigón reforzado con barras de hierro de tal manera que sea la resistencia combinada de esos dos materiales la que se utilice para soportar las cargas, hallándose el metal completamente envuelto en el hormigón.

3.º Las Empresas deberán presentar sus proyectos á la Dirección general de Ferrocarriles con los siguientes elementos: plano general de la obra, vista, planta, secciones, disposición de las armaduras metálicas, dosaje del hormigón, calidad de los materiales y cálculos de resistencia. Las modificaciones reconocidas como necesarias en el curso de los trabajos deberán ser aprobadas previamente, corrigiéndose ó complementándose los planos y cálculos respectivos.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

1.º *Cemento*.—No debe emplearse más que el cemento Portland de fragado lento, el cual deberá satisfacer el pliego de condiciones que para la provisión y recibo de dicho material admite la Dirección general de Obras sanitarias de la nación.

2.º *Arena y grava*.—La arena será de granos silíceos, duros, angulosos, no contendrá arcilla, tierra ó materias orgánicas. Los granos deberán pasar por un tamiz con mallas de 6 milímetros de lado, y el 75 por 100 por lo menos de los que satisfacen esa condición pasarán también por un tamiz con mallas de 3 milímetros.

La grava será granítica, basáltica ó de otra piedra dura análoga, en lo posible angulosa, de tamaño variable entre 6 y 30 milímetros medidos á través de mallas cuadradas. El límite máximo será, sin embargo, tal que pueda pasar entre las barras metálicas y entre éstas y los moldes.

3.º *Hormigón*.—No se agregará á la arena seca menor cantidad de cemento que la necesaria para rellenar sus huecos. Se pre-

parará el mortero suficiente para rellenar los vacíos de la grava con un excedente de 10 por 100. No se permitirá el empleo de aguas salobres.

En la obra del hormigón se preparará á máquina, siempre que sea posible.

Las proporciones de los materiales se indicarán siempre en volumen.

4.º *Armaduras*.—Las armaduras serán de acero de la misma clase que se emplea en los puentes metálicos. La calidad del metal podrá ser rápidamente verificada doblando las barras en frío en un semicírculo de radio interior igual á una y media veces la menor dimensión transversal; no deberán producirse rajaduras ó grietas en el exterior.

5.º *Resistencias y ensayos*.—De acuerdo con la calidad normal de los elementos y proporciones adoptadas para el hormigón, se indicarán más adelante las resistencias á la compresión admitidas para este material y que se utilizarán para los cálculos. Si se trata de obras importantes, la Dirección general de Ferrocarriles podrá, sin embargo, exigir la ejecución de las pruebas necesarias con los mismos materiales y procedimientos de preparación que se usarán y en las proporciones indicadas. En ese caso se adoptarán para los cálculos los valores medios resultantes de los ensayos hechos con las probetas á los veintiocho días de su preparación.

Si fuera indispensable, se determinará también la resistencia á la tracción por medio de ensayos á la flexión.

6.º *Colocación de las armaduras*.—Las armaduras deben estar limpias y libres de costras ú óxidos y no serán engrasadas ni pintadas. Las barras no se encorvarán con radios inferiores á tres veces su diámetro en los ganchos extremos y á cinco veces ese diámetro en los codos. La posición de los hierros corresponderá lo más exactamente posible á la indicada en los planos; las secciones transversales de los mismos serán cuidadosamente verificadas.

El menor diámetro de las barras longitudinales será de 5 milímetros; otras armaduras tendrán por lo menos 3 milímetros de diámetro, pero podrán admitirse, debidamente justificadas, dimensiones menores en armaduras especiales. La menor luz entre barras será de 25 milímetros en el sentido horizontal y de 15 en el vertical.

La distancia máxima entre barras de tracción será de 15 centímetros.

7.º *Moldes*.—Se construirán de suficiente rigidez y en condiciones de resistir sin deformación apreciable el peso propio del hormigón, el apisonado, los golpes y las cargas durante la construcción. Serán de fácil manejo para retirarlos.

8.º *Colocación del hormigón*.—Se preparará, á medida que se vaya necesitando, en las cantidades suficientes para mantener la continuidad del trabajo. Se colocará en capas sucesivas cuyo espesor no excederá de 20 centímetros, previo apisonamiento de la anterior; no se dejará caer de alturas superiores á 1,50 metros. Una vez puesto en obra será preservado de toda sacudida y cambios bruscos de temperatura, por lo menos, durante tres días. No se permitirá el empleo de piezas de hormigón armado, llevadas á las obras, sino después de veinte días de su fabricación y de cuarenta y cinco días de colocación del hormigón en dichas obras.

9.º *Desmolde*.—Será necesario asegurarse de que el fragado del hormigón es suficiente antes de sacar los moldes y accesorios que no soportan el peso directo de la obra, retiro que en todo caso no deberá hacerse sino tres días después de terminar el relleno.

Los moldes y entramados que soporten cargas no deberán retirarse antes de:

10 días en obras de luz inferior á 3 m.	
20 — — — de 3 á 6 m.	
30 — — — superior á 6 m.	

Se aumentarán estos plazos si la temperatura es inferior á 5°.

10. *Registros.*—En obras importantes, y siempre que la Dirección general de Ferrocarriles lo haya advertido al aprobar los planos, deberá llevarse un registro en que se anotarán diariamente los detalles relacionados con el adelanto del trabajo, el estado del tiempo, la procedencia y dosaje de los materiales, las observaciones hechas al retirar los moldes y la descripción de los defectos comprobados.

CAPÍTULO III

NORMAS PARA EL CÁLCULO ESTÁTICO

1.º *Cargas.*—Las bases para la determinación de las cargas permanentes y sobrecargas de las obras serán las mismas que las del Reglamento para el cálculo y prueba de los puentes y construcciones metálicas, aprobado por decreto de 19 Abril de 1916, excepto la prescripción 4.ª de las sobrecargas móviles para puentes de ferrocarril, relativa al aumento de 2 (15 — l) por 100 para puentes de menos de 15 metros de luz.

Las sobrecargas se aumentarán, por lo menos, en las siguientes proporciones:

a) En las obras soportando maquinarias comunes, en locales de reunión, depósitos y construcciones análogas, en un 25 por 100.

b) En las obras soportando maquinarias con fuertes vibraciones en un 50 por 100.

c) Las sobrecargas debidas á los trenes, tranvías y vehículos en un 50 por 100.

Para las columnas se examinará la posibilidad de cargas excéntricas.

Para los cálculos podrán sustituirse las cargas móviles por las equivalentes uniformemente repartidas, determinadas para los puentes metálicos.

2.º *Dimensiones.*—La luz á emplear para el cálculo de vigas ó losas aisladas será la menor de las dos longitudes que siguen: la luz libre aumentada de la altura efectiva de la pieza, ó la distancia entre centros de las superficies de apoyos.

Para losas ó vigas continuas se tomará la distancia entre centros de apoyos.

La longitud para el cálculo de las columnas será la que quede libre entre apoyos laterales.

En las losas en forma de T el ancho del ala que se empleará en el cálculo, será el menor de los siguientes valores: 30 por 100 de su luz $\frac{5}{4}$ de la distancia entre centros de las nervaduras de la losa, 15 veces el espesor de la losa. El ancho de la nervadura no será inferior á $\frac{1}{5}$ de su altura.

3.º *Determinación de las fuerzas exteriores.*—a) Los momentos flectores y esfuerzos cortantes, serán calculados para las posiciones más desfavorables de las cargas.

b) Hay que tener en cuenta en los cálculos y en la disposición de las armaduras, según las circunstancias, los momentos de flexión negativos que se producen sobre los apoyos extremos é intermedios.

En las losas ó vigas continuas se determinarán los momentos en los apoyos como en las vigas continuas elásticas, teniendo en cuenta las sobrecargas más desfavorables de las vigas próximas.

El cálculo de los momentos de flexión en las viguetas de las vigas continuas, debe hacerse admitiendo la posición más desfavorable de la sobrecarga y bastará considerar la aplicación de esta última sobre tres viguetas consecutivas.

Para las viguetas cuyas extremidades estén entera ó parcialmente empotradas y que se consideren aisladamente, el momento de flexión en el medio de la luz, calculado para la pieza suelta libremente apoyada, podrá á lo más ser disminuido de las dos terceras partes del momento de empotramiento admitido.

No hay que tener en cuenta la depresión elástica de los apoyos de las losas y vigas continuas, sino en el caso que las piezas tuvieran luces muy diferentes unas de otras y que los esfuerzos resultaran seriamente influenciados por dicha causa.

c) Para las losas apoyadas en los cuatro costados y armadas en los dos sentidos, la proporción de la carga total que se asignará para las armaduras transversal y longitudinal será, respectivamente, de $\frac{l^2}{l^2 + b^2}$ y $\frac{b^2}{l^2 + b^2}$; siendo l y b el largo y ancho de la losa.

Pero cuando el largo de una losa sea mayor de dos veces el ancho, se supondrá como eficaz únicamente la armadura transversal.

4.º *Determinación de los esfuerzos internos.*—a) Se admitirán como coeficientes de elasticidad: para el acero 2.100.000 kilogramos por centímetro cuadrado; para el hormigón normal de una parte de cemento, dos de arena y cuatro de grava, 140.000 kilogramos por centímetro cuadrado. La relación n entre los coeficientes de elasticidad del acero y del hormigón se tomará igual á $\frac{630}{e}$ siendo e el coeficiente máximo de trabajo á la compresión admitido para el hormigón.

El coeficiente de elasticidad del acero se tomará igual para tracción y compresión; el del hormigón se supondrá constante entre los límites de esfuerzos del material.

b) Para el cálculo de las piezas sometidas á la flexión se admitirá: que el acero soporte solo todos los esfuerzos de tracción, salvo en el caso de columnas como se indicará más adelante; que las deformaciones y esfuerzos son proporcionales á las distancias al eje neutro; que las ligaduras y la adherencia entre el hormigón y el acero son suficientes para producir la acción conjunta de ambos materiales.

Podrán también admitirse y en consecuencia calcularse las armaduras longitudinales de modo que el acero soporte por sí solo todos los esfuerzos tanto de tracción como de compresión, despreciándose la resistencia del hormigón á ambas solicitaciones. En ese caso se deberán colocar, en sentido horizontal y vertical, ligaduras transversales que sujeten las barras comprimidas; estas ligaduras rodearán ó se engancharán á las armaduras de compresión y tracción y se colocarán distantes á lo más de 20 centímetros ó diez veces el diámetro de las barras.

c) La resistencia del hormigón para el esfuerzo cortante se calculará sobre la parte de la sección que tiene por altura la distancia entre las barras de tracción y el eje de gravedad de la sección comprimida del hormigón.

Si el trabajo así calculado pasara el límite indicado más adelante, la resistencia al corte deberá ser dada exclusivamente por un arreglo conveniente de las barras de armadura ó por armaduras especiales que se colocarán á distancia á lo más iguales á $\frac{5}{4}$ de la altura de la viga.

Se determinarán los esfuerzos de adherencia. Se recomiendan dobleces de 180° en las extremidades de las barras para resistir al deslizamiento.

a) Para partes de la obra ó columnas solicitadas á la com-

presión axial ó excéntrica se supondrá que el hormigón ó el hierro actúan como materiales elásticos; no hay que tener en cuenta el concurso del hormigón á la tracción sino cuando los esfuerzos máximos de esta clase no pasen de 10 kilogramos por centímetro cuadrado.

Si rebasan este límite no se admitirá la participación del hormigón en la tracción. Se computará la sección de las armaduras longitudinales igual á n veces su valor. Si la carga es excéntrica los hierros del lado solicitado á la tracción soportarán solos esta clase de esfuerzos.

No deben considerarse ni calcularse como de hormigón armado las columnas y partes de obras solicitadas á la compresión, cuyas armaduras longitudinales tengan secciones inferiores á 0,6 por 100 de la sección mínima del hormigón.

Si las secciones transversales constituyen verdaderos sunchos distantes á lo más de una fracción a del diámetro d de las espiras, se podrá tomar en cuenta, como trabajando á la compresión, k veces la sección de una armadura longitudinal de igual volumen: los valores de k son:

$$\begin{aligned} \text{Para } a &= 0,2 \ d; & k &= 32 \\ a &= 0,3 \ d; & k &= 24 \\ a &= 0,4 \ d; & k &= 16 \end{aligned}$$

La sección ficticia de la pieza calculada con esos datos no puede, sin embargo, pasar del doble de la del hormigón.

No podrá admitirse que las armaduras longitudinales resistan á la compresión sino cuando existan armaduras transversales cuya distancia no exceda ni veinte veces el diámetro de la barra más delgada ni la menor dimensión de la sección.

c) Se tendrán en cuenta los esfuerzos provocados por los cambios de temperatura y contracción del hormigón si la estructura no puede dilatarse ó contraerse libremente.

5.º *Coefficientes de trabajo.*—a) Para el hormigón, trabajando á la compresión simple ó á la compresión en la flexión, el coeficiente c de trabajo será dado en kilogramo por centímetro cuadrado por

$$c = 63 - 3,5 \ V$$

siendo V la relación de la suma de volúmenes de arena y grava al volumen del cemento, medidos antes de mezclarse y con un máximo de 53 kilogramos por centímetro cuadrado correspondiente á $V = 3$.

El coeficiente de trabajo al corte para el hormigón no pasará de 4,5 kilogramos por centímetro cuadrado.

El esfuerzo de adherencia entre el hormigón y las armaduras no excederá de 7 kilogramos por centímetro cuadrado si las barras están dobladas en sus extremidades y de 4,2 kilogramos por centímetro cuadrado en los demás casos.

En las columnas y piezas solicitadas á la compresión excéntrica podrá admitirse, como ya se ha dicho, que la tracción en el hormigón llegue hasta 10 kilogramos por centímetro cuadrado.

b) En las columnas se tomará en cuenta la eventualidad de la flexión cuando la relación de la longitud á la menor dimensión transversal pase de 20. En ese caso el coeficiente de trabajo á la compresión del hormigón deberá calcularse por la fórmula siguiente:

$$c_1 = \frac{45}{1 + 0,0001 \left(\frac{l}{r} \right)^2}$$

siendo l la longitud libre de la columna y r el menor radio de giro de la sección.

c) El coeficiente máximo del trabajo para el acero será:

Para puentes de ferrocarril, de 1.100 kilogramos por centímetro cuadrado.

Para puentes carreteros y edificios, de 1.200 kilogramos por centímetro cuadrado.

PRUEBA DE LOS PUENTES DE HORMIGÓN ARMADO CONSERVACION DE LAS OBRAS

1.º *Pruebas.*—Tanto para los puentes de ferrocarril como para los puentes carreteros son aplicables las prescripciones del Reglamento de construcciones metálicas aprobado por decreto de 19 de Abril de 1916, en todo lo que se relaciona con los trenes de pruebas, realización de las sobrecargas, clases de ensayos y condiciones de ejecución de los mismos.

No se exigirá el cálculo previo de las deformaciones.

La aplicación de las sobrecargas se hará por lo menos cuarenta y cinco días después de haber fraguado el hormigón.

Durante y después de las pruebas se registrarán las deformaciones producidas y se examinará cuidadosamente el comportamiento y descenso de los apoyos.

Si la obra se ha comportado bien, sin producirse soluciones de continuidad, grietas ú otros defectos importantes, será puesta en servicio por resolución de la Dirección general de Ferrocarriles. En caso contrario ésta resolverá su admisión provisional ó rechazo, después de oír á la Empresa.

2.º *Conservación.*—Son aplicables á esta clase de obras las prescripciones generales que, sobre conservación y vigilancia, se han prescripto para los puentes metálicos en el Reglamento citado, especialmente para las partes que no estén protegidas por el hormigón.

En las partes hechas de hormigón armado se verificará el estado de los materiales y se repararán los defectos comprobados; cuando éstos sean de tal naturaleza que alteren las condiciones en que trabaja el material según la teoría, las reparaciones se harán con todas las reglas del arte para devolver al material las condiciones admitidas.

Estas últimas prescripciones son válidas para todas las obras de hormigón armado.

Salvo casos especiales, será innecesario efectuar las pruebas periódicas de los puentes, bastando sólo las iniciales para los de más de 10 metros de luz.

B. LAUREL,
Ingeniero civil.

LOS PARARRAYOS

POR

ACH. DELAMARRE

(CONCLUSIÓN) (1)

¿Qué resistencia mínima puede pretenderse alcanzar corrientemente?.... Creythgon ha hallado que la resistencia de una conexión única, hecha con tubos de una pulgada, inscrustados por lo menos de 6 á 8 pies en un terreno de humedad normal, variaba entre 15 y 50 ohmios, y que 8 ohmios constituía una cifra excepcional; en el mismo terreno, pero muy seco, la resistencia ha podido alcanzar varios cientos de ohmios.

Para asegurar una humedad suficiente se ha recomendado algunas veces regar la tierra con una solución de cloruro de so-

(1) Véase el número anterior.