

es que la barca, venciendo todas las dificultades, llegue al término del viaje.

Dedicó, por último, un cariñoso y sentido recuerdo al señor D. Eduardo Gasset, el ilustre fundador de *El Imparcial*, á cuyo lado luchó en época azarosa y turbulenta, diciendo que todas las brillantes condiciones que hoy se reconocen en el joven ex-Ministro las ha heredado de su padre, quien en tan alto grado las poseía.

Terminó brindando por su amigo de ayer y de hoy, y por sus compañeros, amigos de siempre.

* *

El Sr. Alzola dedicó frases laudatorias al Sr. Gasset; enumeró algunas de sus reformas y mejoras encaminadas á la rapidez en la tramitación y brevedad en el despacho de los asuntos, é hizo una exposición de sus propósitos, encaminados á proseguir la labor del Sr. Gasset, cosa fácil á su juicio, dados los talentos del Ministro que le ha sucedido y sus propósitos de continuarla.

Recordó una frase del Sr. Echegaray, de que debe comenzarse por la regeneración individual para poder obtener la colectiva.

* *

Al terminar el Sr. Alzola en medio de los aplausos de todos los concurrentes, aplausos que también se habían tributado á los anteriores oradores, se levantó á brindar el Sr. Gasset.

«En la cuenta abierta que tengo con el Cuerpo de Ingenieros de Caminos—comenzó diciendo,—mi débito es tan grande que nunca lo podré satisfacer. Antes de ser Ministro con sus enseñanzas, más tarde con su ayuda eficaz, inteligente y laboriosa, y ahora con este acto que aumenta mi gratitud.»

Defendió á los empleados, y especialmente á los Ingenieros, del concepto erróneo que de su entusiasmo y amor al trabajo se tiene por algunos.

Al efecto, y en honor del Cuerpo de Ingenieros, citó el hecho de que al crearse las Divisiones hidrológicas fueron muchos los que adelantaron de su bolsillo particular el dinero necesario para dar comienzo á los trabajos que se les habían encomendado, entretanto se les expedían los oportunos libramientos.

Con este motivo elogió grandemente al Cuerpo de Ingenieros, que por su cultura é ilustración está llamado á representar papel principal en la regeneración de nuestra Patria, contribuyendo al desarrollo de las fuentes de riqueza. Misión más elevada que la de inspeccionar los acopios en las carreteras ó construir las que sólo interesan á los caciques, es la confiada á los Ingenieros.

Con la ayuda de éstos he iniciado lo que considero camino salvador: dar impulso á las obras públicas y á la política hidráulica.

No sería sincero si no dijera que aquella ayuda y mi voluntad, que es lo único que he puesto y por lo que recibo la gloria que me corresponde, pues decir otra cosa sería falsa inmodestia, hubieran sido estériles sin la decidida protección que desde el primer momento, y en todos los casos, encontré en el Sr. Silvela. En medio de los regateos que la situación económica impone, nunca puso trabas á lo que ese fin se encaminaba, y seguramente apreciando, como yo, que dentro de la política de nivelación eran precisos aumentos para obras públicas, éstos se hubieran consignado en el presupuesto para poder atender, no sólo á las hidráulicas, sino también á la construcción de ferrocarriles secundarios y caminos vecinales, cuyos planes tenía en estudio y hubiera formulado oportunamente.

Conste, pues, que una buena parte de lo que se ha hecho, débese al jefe del partido conservador, al Sr. Silvela.

Claro es que mi obra no es perfecta, ni podía serlo siendo mía, pero confío que mis sucesores, entre los que espero se cuente el Sr. Salvador, corregirán con sus talentos mis faltas y suplirán mis deficiencias.

Subsistió una vez más en su creencia de que la base de la regeneración tienen que ser las obras públicas. Entiendo—dijo—

que en lo de la regeneración estamos todos conformes; sólo disintimos en la manera de obtenerla.

Así como hay quien puede creer que para dar energía á un hombre débil conviene entregarle un florete á fin de que el ejercicio le robustezca, otros piensan, y yo soy de ellos, que es más práctico nutrirle, darle los cuidados de la higiene, y cuando sea fuerte, entregarle el arma que será en sus manos medio de eficaz defensa.

Tributó calurosos aplausos al Sr. Alzola por el concurso que le había prestado, y terminó reiterando una vez más su agradecimiento al Cuerpo de Ingenieros y brindando por su prosperidad, que entendía era la prosperidad de la patria.

A propuesta del Sr. Boguerin, los ramos de la mesa fueron remitidos á las señoras de los Sres. Sánchez Toca, Gasset y Alzola.

También el Sr. Boguerin rogó al Director general de Obras públicas saludase en nombre de los reunidos al nuevo Ministro, ofreciéndole su más decidido concurso.

* *

Lista de comensales:

Alzola, Acosta Aguilar, Albacete, Alfonso, Alonso Grimaldi, Alonso Millán, Alvarez Antón, Arévalo, Barón, Benito (D. Mateo), Bellido (D. Manuel), Boguerin, Boix, Bonaplata, Brockmann (D. Guillermo, D. Ernesto y D. Enrique), Cáceres, Canalejas, Carderera, Catarineu, Carrión, Cervantes, Cruzado, Cuadrado, Donnet, Echegaray (D. José), Escalona, Estibaus, Fesser, Fernández Argente, Fernández Villaverde, Fernández Quintana, Freart, Fuente (D. Manuel de la), Fungairiño, Gadea, Gálvez Cañero, García (D. Veremundo), García Arregui, García Ruiz, Garcini, Gaztelu, Gelabert, Gomendio, Gómez y Fernández, Gómez de Velasco, González Echarte, González Herrero, Granadino, Gutiérrez (D. Felipe), Gutiérrez (D. Pantaleón), Hernández de Tejada, Inchaurrendieta, Lagos, Levenfeld, Lizarraga, López Caamaño, López Martín, Llasera, Llorens, Machimbarrena, Maluquer, Mancebo, Marín (D. José), Marín (D. Luis), Martín Campos, Martín Montalvo, Martínez Azua, Mendizábal, Milano, Millán, Monche, Morales Amores, Moreno, Muñoz, Naranjo, Navarro, Naya, Nicolau, Ochando, Olazábal, Orduña, Palau, Peironcely, Pérez de Laborda, Pérez de los Cobos, Petit, Portuondo (D. Antonio), Portuondo (D. Joaquín), Prieto, Rebollo, Rodríguez Leal, Ruiz (D. Federico), Ruiz (D. Vicente), Rivera (D. Tomás), Sáez (D. Antonino), Salvador (D. Amós), Sans (D. Pelegrín), Santa Cruz (D. Francisco), Sastre, Sonier, Soriano (D. Angel), Soriano (D. Eduardo), Suárez (D. Eugenio), Serantes, Tauler, Tejada, Ulierte, Villademoros y Zubiaurre. Adheridos: De Federico, Ortuno, Sáinz de los Terreros y Otamendi (desde París) é Ingenieros de Caminos de todas las provincias, Divisiones hidráulicas y de ferrocarriles.

ESTABILIDAD

de las construcciones de hormigón de cemento armado.

(Continuación.)

Se ve así que nuestro método de cálculo, comparado con el de M. Considère, exige más hierro y menos hormigón cuando se quiere limitar el trabajo de este material á 500.000 kgs. por m.² y dar la misma altura h á las vigas destinadas á resistir un momento flector determinado M .

El precio de la viga por metro lineal es:

Según el método de M. Considère

$$\pi_c = 0,001.359 \frac{M}{h}$$

y según nuestro método

$$\pi_b = 0,001.440 \frac{M}{h}$$

Se ve, pues, que nuestras fórmulas (34), (35) y (36) dan resultados que difieren poco de los que se obtendrían por el método de M. Considère, limitando el trabajo práctico del hormigón comprimido á 500.000 kgs. por m². La solución de este sabio Ingeniero es más económica, pero reduce quizás demasiado la sección de la armadura.

Las diferencias son pequeñas en el caso que se acaba de estudiar, y se podría adoptar probablemente uno cualquiera de los dos métodos sin ningún peligro. Pero no sucedería lo mismo si se tratara de disminuir notablemente el trabajo del hormigón comprimido. Y esta disminución puede considerarse necesaria; Ingenieros entendidos estiman que sería prudente limitar este trabajo á 300.000 kilogramos por m², y su opinión parece justificada si se tiene en cuenta que las cargas impuestas á las mejores fábricas de sillería no exceden de 250.000 kgs. por m².

Para limitar el valor de r á 300.000 kgs. es preciso, según el método de M. Considère, hacer $r_0 = 2,5 \times 300.000 = 750.000$ kilogramos, y $k = 0,725$. Con estos valores y $u = 0,8333$, las fórmulas (196) y (197) darán

$$x = 0,327 \quad n = 0,00262.$$

La relación (200) da

$$M_0 = 75.140 bh^3$$

de donde se deduce

$$M = \frac{M_0}{2,5} = 30.000 bh^3$$

$$bh^3 = 0,000.0333 M \quad (203)$$

y

$$\omega = 0,000.000.087 \frac{M}{h} \quad (204).$$

Haciendo $r = 300.000$ kgs. y $\rho = 9.375.000$ kgs., nuestras fórmulas (12) y (23) dan

$$M = 50.000 bh^3 \quad (205)$$

$$bh^3 = 0,000.020 M \quad (206)$$

$$\omega = 0,000.000.240 \frac{M}{h} \quad (207).$$

El precio de la viga por metro lineal, limitando el trabajo del hormigón comprimido á 300.000 kgs. por m², sería:

Según el método de M. Considère:

$$\pi_c = 0,002.259 \frac{M}{h},$$

y según nuestro método:

$$\pi_b = 0,001.920 \frac{M}{h}$$

En este caso, nuestra solución es más económica; pero exige mucho más hierro que la de M. Considère, y permite reducir notablemente la sección del hormigón. Por consiguiente, no se puede adoptar indiferentemente uno ú otro método, y conviene investigar cuál de los dos puede conducir á la mayor economía y resistencia.

46. *Investigación de la solución susceptible de proporcionar el máximo de economía y de resistencia.*—Si se comparan las relaciones (201) y (202) con las (203) y (204), se ve que el método de M. Considère reduce la sección ω de las armaduras de

$$0,000.000.181 \frac{M}{h} \text{ á } 0,000.000.087 \frac{M}{h}$$

cuando el trabajo del hormigón comprimido debe limitarse á 300.000 kgs. en vez de 500.000 kgs. por m² de sección transversal.

Se comprende que el tanto por ciento de metal de una viga dis-

minuya cuando la sección de hormigón aumenta, permaneciendo constantes la altura y el momento resistente. Mas parece, *à priori*, que la sección de la armadura debería ser constante, porque el esfuerzo desarrollado por las fibras tendidas es invariable cuando no varían la altura y el momento resistente.

¿Cuál es la causa de la importante reducción que el método de M. Considère hace experimentar á la sección de las armaduras? Basta dirigir una ojeada á las fórmulas para reconocer que esta reducción debe atribuirse al hecho de suponerse constante el valor de la tensión producida por el hormigón, valor que queda fijado en 120.000 kgs. por metro cuadrado, cualquiera que sea la magnitud adoptada para la resistencia práctica del hormigón comprimido.

Pero es posible admitir, como ya lo hemos explicado en el párrafo segundo, conforme á los resultados de muchos experimentos, que el hormigón tendido en las vigas de hormigón de cemento armado, soporta, sin peligro, tensiones muy superiores á las que se pueden imponer al hormigón desprovisto de armadura metálica. Pero es evidente que esta hipótesis no tiene valor mientras el tanto por ciento de metal no llega á tener alguna importancia.

En efecto, el aumento de resistencia que la presencia del hierro comunica al hormigón, no puede desarrollarse sino en las fibras de hormigón contiguas al hierro. La influencia del hierro sobre el hormigón se entiende, indudablemente, hasta una cierta distancia A ó B ó C ó D (figura 42), y se comprende que las porciones de hormigón situadas dentro del círculo de radio A ó B , pueden ser sostenidas eficazmente por el metal.

Pero cuando disminuye más allá de cierto límite la sección total de las armaduras, aumentando la del hormigón (lo que ocurre al aplicar las fórmulas de M. Considère al caso en que r_0 va disminuyendo), puede suceder que las circunferencias que limitan la zona de influencia de las barras de hierro se hallen por completo dentro del hormigón, como se indica en la figura 43.

En este caso, las partes de hormigón tendido situadas fuera de los cálculos $a b c d$, $a' b' c' d'$ se hallarían en peligro de agrietarse.

La rotura del hormigón tendido debe ser evitada á todo trance. Por lo tanto, importa que el tanto por ciento del metal sea suficiente para que las porciones de hormigón en que pueden desarrollarse tensiones no queden demasiado alejadas de las barras de hierro de la armadura. Es imposible, actualmente, determinar hasta qué distancia se ejerce la influencia del hierro sobre el hormigón, y es probable que será siempre muy difícil. Pero entretanto que se realicen experimentos acerca de este punto, será prudente aplicar con reservas todas las teorías que tiendan á reducir notablemente las secciones de las armaduras.

El método de cálculo que proponemos no presenta este inconveniente. Las fórmulas (36) y (207) muestran, en efecto, que la sección de las armaduras permanece constante, cualquiera que sea el valor de la resistencia supuesta para el hormigón.

Además, nuestras fórmulas elementales

$$M = \frac{r b h^3}{6} \quad (12)$$

y

$$\omega = \frac{3 r b h}{8 \rho} \quad (23)$$

dan

$$b h = \frac{6 M}{r h}$$

y

$$\omega = \frac{3 r}{8 \rho} \times \frac{6 M}{r h},$$

es decir,

$$\omega = \frac{9}{4 \rho} \times \frac{M}{h} \quad (208)$$

lo cual demuestra que la sección de la armadura es independiente del valor atribuido a la resistencia del hormigón comprimido.

Por consiguiente, parece verosímil que nuestro método pueda ser más favorable a la estabilidad cuando se considere oportuno limitar el trabajo del hormigón comprimido a 300.000 kgs. por m.² Como además da por resultado una reducción del gasto, este método puede ser considerado como más ventajoso en el caso de que se trata.

Debemos, no obstante, reconocer que nuestra hipótesis respecto a la porción de la fibra neutra no se realizará nunca, probablemente. Para que esta fibra pase, como suponemos, a la mitad de la altura de la viga, es preciso, según las explicaciones del párrafo 5, que la sección de la armadura se halle determinada de modo que la parte extendida de la viga presente por unidad de superficie una resistencia a la extensión igual a la resistencia al aplastamiento de la parte comprimida. Mas al efectuar los cálculos numéricos hay necesidad de atribuir a la resistencia del hormigón un valor medio, que se diferencia siempre, más ó menos, del valor real. Por lo tanto, la condición necesaria para que la fibra neutra pase por el centro de gravedad de la viga no se hallará jamás satisfecha exactamente.

Hemos tenido interés en mencionar esta objeción; pero debemos añadir que no se debe exagerar su importancia. Puede, por otra parte, oponerse igualmente al método de M. Considère. La posición que este método atribuye al plano de las fibras neutras se halla determinado por la relación (194).

$$x = \frac{r_0 u}{k \rho_0 + r_0}$$

la cual demuestra que x depende esencialmente de los factores R , ρ_0 y r_0 . Dos de estos factores, r_0 y k , representan, uno de ellos r_0 directamente, y el otro k indirectamente, la resistencia del hormigón, es decir, una cantidad susceptible de variar entre límites extensos y de tomar valores muy diferentes de los que se hayan admitido en los cálculos. Se ve que es igualmente imposible con el método de M. Considère que con el nuestro, apreciar cuál va a ser en cada viga la verdadera posición del plano de las fibras neutras.

Si este plano se separase de la porción que le asignan los cálculos, tendría que aproximarse al trasdós ó al intradós de la viga.

En el primer caso, el trabajo de las fibras tendidas aumentaría, y el inconveniente resultante de la desviación sería menos grave con nuestro sistema, que asigna a las vigas armaduras más fuertes.

En el segundo caso, el trabajo de las fibras comprimidas sería mayor, y nuestro sistema, que dará una sección menor para el hormigón comprimido, sería menos favorable a la estabilidad.

Pero el aplastamiento de las fibras comprimidas en esta clase de vigas es mucho menos temible que la rotura de las fibras tendidas, sobre todo construyéndolas limitando las presiones a 500.000 kgs. por m.² de sección transversal.

Por consiguiente, las vigas en que el hormigón tuviese en este caso una sección algo débil, darían en las pruebas mejores resultados que aquellas cuyas armaduras fuesen demasiado reducidas.

Se ve así que nuestro método de cálculo puede ser más favorable a la estabilidad aun en el caso en que la fibra neutra no ocupase exactamente la posición que le asignan los cálculos. Sin embargo, sólo se trata de una probabilidad, y para averiguar, con pleno conocimiento, el método que ha de conducir a la mayor economía, siendo además el que da más resistencia, será necesario proceder a los experimentos comparativos, cuyo programa hemos indicado en el párrafo 43.

47. *Determinación del valor de ρ aplicable cuando se limita el trabajo práctico del hormigón comprimido a menos de 500.000 kgs. por metro cuadrado.*—Según las explicaciones que preceden, el método del Ingeniero Jefe M. Considère reduce la sección

de las armaduras, porque se efectúan los cálculos admitiendo que la tensión producida por el hormigón tendido permanece constante cualquiera que sea el límite práctico de los esfuerzos que se considere oportuno imponer a las fibras comprimidas.

Nuestro método de cálculo supone, por el contrario, que el trabajo del hormigón extendido es siempre igual al décimo de la presión impuesta al hormigón comprimido; esta hipótesis puede ser admitida porque es, sin duda, favorable a la estabilidad cuando se limita el trabajo del hormigón comprimido a menos de 500.000 kgs. por m.² Pero no es quizás enteramente fundada, y conduciría probablemente a dar secciones algo exageradas a las armaduras. Es, en efecto, presumible que la tensión real del hormigón tendrá un valor intermedio entre las que le atribuyen los dos métodos que comparamos.

Nos ha sugerido la hipótesis que ponemos el estudio de la viga A' de los experimentos de M. Hennebique en 1898. Según los cálculos del párrafo 9, los hierros de la armadura de esta viga debieron de experimentar una tensión de 13.548.000 ágs. por m.², mientras que el trabajo impuesto al hormigón comprimido resultaba de 315.000 kgs. por m.²

No tenemos datos precisos respecto a la importancia de la carga que soportaba esta viga cuando aparecieron las primeras grietas del hormigón tendido; pero es de creer que esta carga era notablemente superior a la cuarta parte de la que produjo el aplastamiento del hormigón comprimido, y la única de la viga, es decir, notablemente superior al peso que produjo en los hierros de la armadura la tensión de 13.548.000 kgs. Y una tensión de 13.548.000 kgs. hubiera impuesto a los hierros, y, por lo tanto, a las fibras tendidas del hormigón, alargamientos incompatibles con la estabilidad.

Hay, pues, motivos para creer que las tensiones se habrán repartido entre los dos elementos constitutivos de la viga de tal manera que el hormigón tendido habrá experimentado esfuerzos superiores al décimo de la presión impuesta al hormigón comprimido, y que, por consiguiente, el trabajo de los hierros de la armadura habrá sido, en realidad, notablemente inferior a los 13.548.000 kgs. que resistan de los cálculos efectuados según nuestro método.

Se podría creer que esta cifra hubiera sido menor si hubiéramos admitido otra hipótesis respecto a la posición del eje neutro de la que ha servido de base a los cálculos del párrafo 9. Este es un punto que ha sido ya examinado, y admitiendo otras posiciones para el eje neutro, hemos obtenido los resultados consignados en el siguiente cuadro:

DISTANCIA entre el plano de las fibras neutras y		PRESIÓN del hormigón comprimido por m. ² de sección transversal. r kg.	TENSIÓN de los hierros de la armadura por m. ² de sección transversal. ρ kg.
el trasdós de la viga. x h.	el intradós de la viga. y h.		
0,30 h	0,70 h	486.000	12.356.000
0,40 h	0,60 h	380.000	12.881.000
0,50 h	0,50 h	318.000	13.475.000
0,60 h	0,40 h	278.000	14.136.000
0,70 h	0,30 h	250.000	14.831.000
Totales.....		1.712.000	67.679.000
Medias.....		342.000	13.536.000

Se observa que la hipótesis admitida respecto a la posición del eje neutro, ejerce poca influencia sobre el valor de ρ , que es, en todos los casos, notablemente inferior al término medio de 9.375.000 kg. determinado en el párrafo 9.

Es, pues, seguro, que el trabajo del hormigón tendido ha ex-

cedido de la décima parte de la presión experimentada por el hormigón comprimido. De otro modo, habría que admitir que las armaduras de las vigas en que el tanto por ciento de metal es pequeño, pueden resistir sin peligro para el hormigón tendido, tracciones muy superiores á las que es posible imponer á las armaduras de las vigas en que el tanto por ciento de metal es más elevado.

Esta última hipótesis es evidentemente infundada, pero permite explicar los hechos, y parece posible admitirla al menos como base de un procedimiento de cálculo. Obtienen, aplicándola, resultados idénticos á los que darían las fórmulas iniciales de la primera parte de esta Memoria, si se redujese la relación de los números r y r' (resistencia práctica del hormigón por una parte á la compresión (r) y por otra á la tensión (r').

Este modo de proceder se presta ciertamente á la crítica, pero nos vemos obligados á recurrir á él, porque ignoramos la importancia exacta de las cargas que soportaban las vigas experimentadas en 1898 cuando aparecieron las primeras grietas, es decir, en el momento de la rotura del hormigón tendido.

Existe gran número de vigas en servicio, en las cuales el tanto por ciento de metal es pequeño, y á veces inferior al de la viga A' experimentada en 1898. Hemos mencionado un caso en que M. Hennebique proponía fijar la razón n en menos de 0,003. Estas vigas han resistido bien á las pruebas que se les impusieron, pero los experimentos no fueron prolongados hasta la rotura. Carecemos, pues, de los elementos necesarios para calcular los valores de ρ correspondientes por el método aplicado en el párrafo 9.

Según las indicaciones del cuadro inserto en el párrafo 15, el trabajo ρ de las armaduras de las vigas de M. Hennebique, valuado por medio de nuestras fórmulas, llegaría á 14.600.000 kilogramos, cuando $r = 388.900$ kgs., y á 19.000.000 de kgs. cuando $r = 253.300$ kgs. por m.²

No conviene imponer esfuerzos tan considerables á las armaduras de las vigas destinadas á tener mucha duración. Pero las explicaciones que preceden demuestran que es posible, cuando se efectúan los cálculos con nuestras fórmulas iniciales, aumentar el valor atribuido á ρ , en lo que concierne á las vigas constituidas de modo que el trabajo quede limitado á 500.000 kgs. por metro cuadrado de sección transversal, y proponemos fijar los números r y ρ , como se indica á continuación:

$\rho = 9.375.000$ kgs. para $r = 500.000$ kgs.

$\rho = 10.000.000$ kgs. para $r = 400.000$ kgs.

$\rho = 11.250.000$ kgs. para $r = 300.000$ kgs. ó menos.

Estas cifras no son más que aproximadas, y las fórmulas que deduciremos de ellas deberán ser consideradas como provisionales, mientras los experimentos cuya utilidad hemos indicado, no hayan permitido comprobar ó rectificar los coeficientes numéricos. Creemos, sin embargo, que dichas fórmulas podrán ser empleadas en la práctica, porque son más favorables á la estabilidad que las de varios inventores, cuyas obras resisten bien á las pruebas.

CUARTA PARTE.—Fórmulas prácticas para el cálculo de las vigas de puentes para carreteras.

48. *Influencia de la repetición de los esfuerzos.*—Las fórmulas prácticas de la primera parte de esta memoria han sido establecidas admitiendo que el hormigón puede soportar sin peligro una presión de 500.000 kgs. por m.² Es una cifra elevada, que á primera vista sorprende á los constructores, acostumbrados á limitar á menos de 25 kgs. por cent.² las presiones que se imponen á las fábricas de piedra dura. La hemos aceptado después de haber comprobado directamente la gran resistencia de muchas vigas construidas. Pero conviene observar que estas vigas no se hallan generalmente sometidas á las trepidaciones que experimentan los tableros de los puentes.

M. Considère ha dicho en la pág. 232 del *Génie civil*, 11 de Febrero de 1899, que: «el hormigón árido dosificado á 30 kgs. soporta una aplicación de la presión de 150 kgs. por centímetro cuadrado sin alteración, y aun mucho más cuando está muy bien fabricado; pero el esfuerzo, al repetirse, determina el aplastamiento con un valor mucho menor...»; «que se poseen muy pocos datos respecto al efecto que produce la repetición de esfuerzos en los morteros»... y «que mientras no se realicen experimentos concluyentes, es prudente admitir que los esfuerzos repetidos deben ser siempre inferiores á los dos tercios de las cargas de aplastamiento que figuran en la columna 6 del cuadro de la página 131 (150 kgs. por cent.² para el hormigón dosificado á 300 kgs.).»

El trabajo ρ_0 del hormigón bajo la carga de rotura, debe, pues, limitarse en este caso á 100 kgs. por cent.², ó sea á 1.000.000 kgs. por m.² Las fórmulas obtenidas por M. Considère, adoptando este valor de ρ_0 y haciendo $u = 0,88$, son, según el *Génie civil*, 18 de Febrero de 1899:

$$M_0 = 140.000 \, b \, h^2$$

y

$$n = 0,0082;$$

de donde se deduce

$$M = \frac{M_0}{0,5} = 56.000 \, b \, h^2 \quad (209)$$

$$b \, h^2 = 0,000.018 \, M \quad (210)$$

$$\omega = 0,0082 \, b \, h = 0,000.000.148 \frac{M}{h} \quad (211)$$

Creemos que sería prudente limitar á 400.000 kgs. por m.² el trabajo máximo del hormigón comprendido en las vigas expuestas á choques y trepidaciones, como las de los puentes para carreteras. Mas parece que la aplicación de la fórmula (211) reduciría exageradamente la sección de las armaduras, la cual debe fijarse, según las ecuaciones de M. Considère, en

$$\omega = 0,000.000.191 \frac{M}{h}$$

en el caso de esfuerzos permanentes. (Véase párrafo 18, fórmula 81.)

Entretanto que no se haya demostrado por medio de experimentos muy concluyentes que la sección de las armaduras de las vigas sometidas á esfuerzos repetidos puede ser fijada en

$0,000.000.148 \frac{M}{h}$, consideramos conveniente atribuirle un va-

lor superior al que indica la fórmula (211).

Quedaría, indudablemente, perfectamente asegurada la estabilidad de los puentes, aplicando las fórmulas establecidas en el párrafo 11, haciendo $r = 400.000$ kgs. y $\rho = 7.500.000$, á saber:

$$b \, h^2 = 0,000.015 \, M \quad (38)$$

y

$$\omega = 0,02 \, b \, h = 0,000.000.300 \frac{M}{h} \quad (39)$$

Sin embargo, parece deducirse de las explicaciones del párrafo precedente, que no es de absoluta necesidad reducir el valor de ρ á 7.500.000 cuando se hace $r = 400.000$ kgs., y estimamos que, en este caso, se puede adoptar, $\rho = 10.000.000$. Introduzcamos estos valores de r y de ρ en las fórmulas (12) y (13) del párrafo 5, y tendremos

$$M = \frac{r \, b \, h^2}{6} = \frac{4.000.000 \, b \, h^2}{6}$$

y

$$\omega = \frac{3 r b h}{8 p} = \frac{3 \times 400.000}{8 \times 10.000.000} b h;$$

de donde se deduce

$$M = 66.667 b h^2 \quad (212)$$

$$b h^2 = 0,000.015 M \quad (213)$$

$$\omega = 0,015 b h = 0,000.000.225 \frac{M}{h} \quad (214).$$

Comparemos estos resultados con los que se obtienen por el método de M. Considère, haciendo

$$M = 0,8333; \quad z = \frac{1}{6} = 0,1667;$$

$$r_0 = 400.000 \times 2,5 = 1.000.000; \quad k = 0,07;$$

$$r'_0 = 120.000 \quad y \quad p = 16.000.000.$$

Con estos valores las relaciones (196) y (197) dan

$$x = 0,393 \quad y = 0,607 \quad n = 0,00773.$$

La ecuación (200) da

$$M_0 = 128.000 b h^2$$

de donde se deduce

$$M_0 = \frac{M_0}{2,5} = 51.200 b h^2 \quad (215)$$

$$b h^2 = \frac{2,5 M}{28.000} = 0,000.195 M \quad (216)$$

$$\omega = 0,00773 b h = 0,000.000.151 \frac{M}{h} \quad (217)$$

El precio de la viga por metro lineal será:
Según el método de M. Considère:

$$\pi_c = 0,001.623 \frac{M}{h};$$

y según el nuestro

$$\pi_b = 0,0001,575 \frac{M}{h}.$$

En este caso, nuestra solución es más económica, pero la diferencia es relativamente pequeña (3 por 100 próximamente). Se ve además que nuestras fórmulas exigen más hierro y menos hormigón que los de M. Considère. Por consiguiente, nuestro método de cálculo debe ser más favorable a la estabilidad, si es cierto, como creemos, que importa sobre todo evitar la rotura del hormigón tendido.

Debemos recordar, sin embargo, que las fibras comprimidas de las vigas calculadas por medio de las fórmulas (213) y (214) experimentan un esfuerzo superior a 400.000 kgs. por m.², si el eje neutro ocupa la posición que le asignan las ecuaciones de M. Considère.

Para apreciar la importancia de este esfuerzo, volvamos a la fórmula (189); reemplazando en ella r'_0 y p por los valores numéricos que les asigna M. Considère, a saber:

$$r'_0 = 120.000 \quad p = 16.000.000$$

tendremos, efectuando los cálculos,

$$(3 y + 400 n) (y - z) = 200 k (1 - y) \quad (218)$$

de donde se deduce

$$(200 k - 3) y^2 - (400 k + 400 n - 3 z) y + 200 (k + 2 n z) = 0$$

ó haciendo

$$\delta = 400 k + 400 n - 3 z$$

$$(200 k - 3) y^2 - \delta y + 200 (k + 2 n z) = 0$$

De donde se saca

$$y = \frac{\delta \pm \sqrt{\delta^2 - 800 (200 k - 3) (k + 2 n z)}}{2 (200 k - 3)} \quad (220)$$

En el caso actual,

$$z = \frac{1}{6} = 0,1667; \quad 3 z = 0,50; \quad n = 1,015,$$

y según las indicaciones del párrafo 45, conviene hacer $k = 0,07$.

Por consiguiente, la fórmula (219) da $\delta = 33,50$.

Además

$$200 k - 3 = 11$$

$$K + 2 n z = 0,075$$

$$800 (200 k - 3) (k + 2 n z) = 660.$$

Y sustituyendo en la fórmula (220)

$$y = 0,545$$

luego

$$x = 1 - y = 0,455$$

Introduciendo estos valores en la relación (219), y observando que $3 n = 2,50$, se llega finalmente a

$$M_0 = 201.300 b h^2.$$

Si se impone a las vigas calculadas por nuestras fórmulas (213) y (214) un momento flector igual al momento resistente que les atribuye la relación (212), el coeficiente de seguridad será

$$\frac{201.300 b h^2}{66.667 b h^2} = 3,02.$$

Pero la segunda ecuación de M. Considère (núm. 190), da

$$r_0 = k p_0 \frac{l - y}{y - z} = 1.348.000.$$

Se encuentra, finalmente, que el trabajo del hormigón comprimido valuado según el método de M. Considère, sería

$$r = \frac{1.348.000}{3,02} = 446.000 \text{ kgs.}$$

Así, el hormigón comprimido de las vigas calculadas por medio de nuestras fórmulas (212) a (214) experimentaría en el caso en que la fibra neutra ocupase la posición que le asigna el método de cálculo de M. Considère, un esfuerzo superior en 46.000 kilogramos, es decir, 12 por 100, al de 400.000 kgs. que supone nuestro método de cálculo.

(Concluirá.)

REVISTA EXTRANJERA

Fabricación de los carbones eléctricos.

La fabricación de los carbones para las lámparas de arco y para los hornos eléctricos, comprende tres operaciones principales:

1.ª Preparación de la primera materia.