

existencia, es probable que haya precipitado el fallecimiento de nuestro querido amigo, por el incansable afán de reorganizar y perfeccionar la marcha de aquel importante Centro, cuya dirección tomó con particular cariño.

Al ejercer actos del servicio, falleció repentinamente nuestro querido amigo, lejos de su idolatrada familia.

Gran entusiasta de su carrera, modelo de padres y esposos, afectuoso y consecuente amigo, deferente y servicial para los extraños; su prematura muerte ha sido una gran pérdida para nuestro Cuerpo, ha causado la desolación en el seno de su familia, y ha llenado de desconsuelo á sus numerosos amigos.

Descanse en paz nuestro querido compañero. La memoria de sus bellas cualidades se conservará indeleble á los que compartimos con él, por muchos años, sus penas y alegrías.

6 Marzo 1900.

ALEJANDRO RUBIÓ.

ESTABILIDAD

de las construcciones de hormigón de cemento armado ⁽¹⁾.

(CONTINUACIÓN)

La media de los valores de r es igual á 494.000 kgs. por metro cuadrado cuando se aplica la fórmula (33) y á 446.000 kgs. si se opera con la (31). Estos resultados nada tienen de inverosímiles; los ensayos hechos en los laboratorios prueban que la carga necesaria para aplastar el hormigón de cemento, constituido como el que emplea M. Hennebique, alcanza frecuentemente una resistencia de 2.500.000 kgs. por metro cuadrado y excede á veces de esta cifra. Nuestro mayor valor de r , 650.000 kgs., que no pasa de la cuarta parte de 2.500.000, y ha sido determinado aplicando la fórmula (33) á la viga B, es, pues, todavía admisible.

Los valores más pequeños, que son los relativos á la viga A', se explican probablemente por el hecho de tener la armadura de esta viga una sección relativamente muy pequeña y de haberse el intradós agrietado bajo una carga poco considerable; las grietas, abriéndose cada vez más, debieron de propagarse hacia la parte comprimida del hormigón, y determinaron, sin duda, el aplastamiento.

A pesar de esto, el caso de la viga A parece invalidar nuestra afirmación. El hormigón de esta viga, que tenía una armadura exagerada, se aplastó bajo una carga unitaria sensiblemente inferior á la que fué necesaria para romper la viga B. Mas como es improbable que una armadura fuerte pueda disminuir la resistencia de una viga de hormigón armado, se puede admitir que la pequeñez de los valores r correspondientes á la viga A, en comparación con las cifras relativas á la viga B, proviene de que el hormigón era de calidad inferior. Creemos recordar haber oído decir que la viga A fué construida con un cemento inferior; pero no habiendo tomado ninguna nota en que conste el hecho, no podemos garantizar la exactitud de esta suposición.

Sea de ello lo que quiera, parece resultar de los experimentos de M. Hennebique y de las precedentes consideraciones, que la resistencia práctica del hormigón de cemento comprimido podría ser valuada en 446.000 kgs. por metro cuadrado, cifra igual á la media de los resultados obtenidos por la aplicación de la fórmula (31).

Pero debemos recordar que la rotura de cada una de las vigas fué obtenida por una carga concentrada en el centro de la viga, y que, por consiguiente, la sección media resistió á un esfuerzo cortante, cuyos efectos se añadieron á los de las presiones, para las cuales habían sido calculadas.

Estimamos que, teniendo en cuenta este esfuerzo cortante, se reconocerá que el trabajo real del hormigón bajo la carga práctica resulta por término medio de más de 500.000 kgs. por metro cuadrado.

Esta última cifra es solamente el tercio de 1.500.000 kgs. que dan muchos autores para carga de rotura por aplastamiento del hormigón de cemento; pero es la quinta parte del valor 2.500.000 kgs., que numerosos experimentos atribuyen á dicha carga de rotura por aplastamiento.

Parece, pues, en vista de esto, que la cifra 500.000 kgs. representa con bastante exactitud (mejor dicho, con aproximación suficiente) la cuarta parte de la carga de rotura por compresión, y creemos que esta cifra puede ser adoptada como valor medio de la resistencia práctica del hormigón de cemento con dosis de 300 kgs.

Si se admite que este valor de r es susceptible de asegurar á las obras un coeficiente de seguridad igual á 4, se podrá, valuando r' como la décima parte de r , hacer $r' = 50.000$ kgs. por metro cuadrado.

Falta determinar ρ . Según los cálculos resumidos más arriba, la media de los valores de ρ relativos á las tres vigas consideradas llega á 9.261.000 kgs. por metro cuadrado. Esta cifra parece elevada, si se compara con la de 6.000.000 fijada por la Administración como límite del trabajo del hierro en las obras metálicas. No es, sin embargo, exagerada. Las barras de hierro de las vigas A, A' y B estaban algo alargadas y encorvadas al aplastarse el hormigón, pero se hallaban aún lejos de la rotura, lo cual se explica, sin duda, por el hecho de que el hormigón extendido trabaja más de lo que suponen los cálculos, y que los esfuerzos impuestos á los hierros son inferiores á las cifras de nuestros cuadros.

Por estos motivos estimamos que se puede fijar sin peligro, para ρ , el valor 9.375.000 kgs. por metro cuadrado. Es una cifra poco diferente de 9.000.000 de kgs. que es la admitida por M. Hennebique y por otros constructores.

10. *Fórmulas prácticas.*—Introduciendo en las fórmulas (12) y (23) los valores que acabamos de fijar para las resistencias de los materiales, á saber: $r = 500.000$ kgs., $r' = 50.000$ kgs. y $\rho = 9.375.000$, resulta

$$M = \frac{500.000 b h^2}{6} = 83.333 b h^2 \quad (34)$$

$$b h^2 = 0,000.012 M \quad (35)$$

y

$$\omega = 0,02 b h \quad (36)$$

Estas fórmulas tan sencillas son muy fáciles de manejar. Pero parecerá, á primera vista, temerario imponer á los materiales de las vigas de hormigón armado esfuerzos de 9 kgs. por milímetro cuadrado de hierro, de 50 kgs. por centímetro cuadrado de hormigón comprimido y, sobre todo, de 5 kgs. por centímetro cuadrado de hormigón sujeto á tensión. Esta última cifra parece, en efecto, excesiva.

Si las hipótesis que constituyen la base de nuestros cálculos son juzgadas como verosímiles y admisibles, bastará, para dar satisfacción á los escrúpulos de los constructores que no quieran imponer tales esfuerzos á los materiales, reducir los valores que hemos atribuido á los coeficientes r , r' y ρ . Es lo que hacemos nosotros mismos más adelante.

Pero cuando se trata de aplicar nuestras fórmulas (34), (35) y (36), se observa que conducen á dar á las vigas dimensiones superiores á las adoptadas en muchas obras que hoy prestan servicio y que han resistido perfectamente á pruebas muy fuertes. Parece, pues, que nuestros coeficientes deberían ser disminuidos y no aumentados.

Damos en el párrafo 12 fórmulas con coeficientes reducidos para obras provisionales. Respecto á las definitivas, opinamos que las relaciones (34), (35) y (36) no son, por ahora, susceptibles de ninguna reducción. A nuestro juicio, conviene ser muy

(1) Véase el número 1.274

cultos, porque no se sabe lo que ocurrirá con el hormigón armado bajo la acción del tiempo y de las trepidaciones que ocasiona el tránsito de los carruajes por los puentes.

Como hemos dicho ya, se debe evitar repetir con el hormigón armado la lamentable experiencia realizada á principios del siglo XIX con los puentes colgados contruidos á precios excesivamente bajos.

Creemos, por otra parte, que, aun aplicando las fórmulas (34), (35 y (36), el hormigón armado permitirá realizar economías, en comparación con el coste de los puentes metálicos y los de fábrica, si los inventores de los diversos sistemas consienten en admitir precios razonables, es decir, precios remuneradores, pero no exagerados. Es lo que nos proponemos demostrar más adelante.

11. *Fórmulas prácticas para construcciones que exigen gran solidez.*—Con el objeto de aumentar el coeficiente de seguridad, se puede tomar $r = 400.000$ kgs. $r' = 40.000$ kgs. y $\rho = 7.500.000$ kgs. En este caso las fórmulas (12) y (23) dan

$$M = \frac{400.000 b h^2}{6} = 66.667 b h^2 \quad (37)$$

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

$$\omega = \frac{1.200.000 b h}{60.000.000} = 0,02 b h \quad (39)$$

El empleo de estas tres fórmulas aseguraría una gran resistencia á las vigas de hormigón armado. Pero resultaría de ello un aumento sensible del peso y del precio de las obras, aumento que no parece necesario, según los datos adquiridos en los experimentos de 1893. Se han construido recientemente en París muchas vigas de hormigón armado que han resistido bien á pruebas muy fuertes, y cuyas dimensiones son inferiores á las que daría la fórmula (38). Creemos, pues, que esta fórmula sólo deberá emplearse para el cálculo de obras que por circunstancias especiales exijan mucha solidez.

En general, bastará aplicar las fórmulas (34), (35) y (36) del párrafo 10. Pero será conveniente valuar ampliamente el momento flector y exigir que el hormigón sea fabricado con materiales excelentes y preparado con gran esmero por buenos operarios. Esto será mejor que aumentar las dimensiones. Si no hubiera posibilidad de asegurarse de que la ejecución de las obras ha de ser casi perfecta, será prudente desistir de la construcción de vigas de hormigón armado.

12. *Fórmulas para construcciones provisionales.*—Se acaba de construir, para los diversos servicios de la Exposición Universal de 1900, gran número de obras provisionales, y la comparación de las dimensiones de estas obras con las que resultan de la aplicación de las fórmulas (35) y (36), demuestra que es posible aumentar notablemente los valores atribuidos á los coeficientes r y ρ , cuando la duración que se exige á las vigas es limitada.

Las construcciones citadas resisten bien á las pruebas que se les imponen, y una de ellas, constituida por una plataforma de muy pequeño espesor, que descansa sobre vigas muy separadas entre sí, no ha experimentado á consecuencia de la caída de las armaduras que sostenía, más que desperfectos locales en las partes directamente atacadas. Esta prueba imprevista ha demostrado que la resistencia del cemento armado es muy grande, aun cuando las dimensiones de las obras sean de las más reducidas.

Creemos que no sería conveniente reducir en las obras definitivas las secciones tanto como en la plataforma de que se trata. La prudencia exige, á nuestro juicio, que se espere á conocer antes los efectos de la acción del tiempo y de las trepidaciones que provienen del tránsito de carruajes. Sólo después de haber observado estos efectos durante algunos años, podrán los constructores apreciar con verdadero conocimiento si será conveniente reducir las dimensiones de las obras hasta las cifras pequeñas que algunos entusiastas admiten desde ahora.

Pero las reservas que acabamos de formular se refieren úni-

camente á las obras definitivas. Hay derecho á ser más atrevido en las obras provisionales, en las cuales creemos que se puede disminuir considerablemente el coeficiente de seguridad, escribiendo: $r = 750.000$ kgs. y $\rho = 18.750.000$ kgs. Adoptando esta última cifra para una obra que esté destinada á durar, el trabajo de los materiales alcanzaría casi el límite peligroso. Bajo un esfuerzo de 18.750.000 kgs. por metro cuadrado, el hierro adquiriría, en efecto, un alargamiento tal, que el hormigón tendido se agrietaría ó se hallaría muy próximo á agrietarse. Pero el agrietamiento del hormigón (que importa evitar en absoluto en las obras definitivas, en las cuales puede, con el tiempo, favorecer el aplastamiento del hormigón comprimido), no parece que ofrezca iguales inconvenientes cuando se trata de obras provisionales.

Los experimentos realizados en 1898 en los talleres de monsieur Hennebique han demostrado, en efecto, que las vigas, á pesar de las grietas que se formaron en ellas desde las primeras pruebas, pudieron soportar cargas considerables en los ensayos ulteriores. Es evidente que el hormigón, una vez agrietado, no presenta ya ninguna resistencia á los esfuerzos de tensión que se desarrollan en las vigas; pero estas grietas no se extienden inmediatamente á las partes comprimidas, y el hormigón continúa resistiendo bien á las presiones. En cuanto á las tensiones, quedan entonces equilibradas exclusivamente por la armadura metálica, la cual obra probablemente como un tirante, mejorándose las condiciones de resistencia de los hierros.

Haciendo $r = 750.000$ kgs. y $\rho = 18.750.000$ kgs., las fórmulas (12) y (23) dan

$$M = \frac{r b h^2}{6} = \frac{750.000 b h^2}{6} \text{ y } \omega = \frac{3 r b h}{8 \rho} = \frac{3}{8} \times \frac{750.000 b h}{18.750.000}$$

de donde se deduce:

$$M = 125.000 b h^2 \quad (40)$$

$$b h^2 = 0,000.008 M \quad (41)$$

$$\text{y} \quad \omega = 0,015 b h \quad (42)$$

Tales son las fórmulas que proponemos para determinar las secciones y las armaduras de las vigas de hormigón de cemento armado, cuando se trata de obras provisionales.

13. *Aplicación de las fórmulas prácticas.*—Aunque las fórmulas de los tres párrafos precedentes son muy sencillas, puede ser útil indicar el modo de aplicarlas, estudiando algunos ejemplos que permitirán además efectuar algunas comparaciones con otros métodos de cálculo actualmente en uso.

Con este doble objeto, hemos determinado, por medio de las fórmulas (35) y (36) por una parte, las (38) y (39) por otra, y, finalmente, con las (41) y (42), las dimensiones que conviene asignar á seis vigas $A_1, A_2, A_3, A'_1, A'_2, A'_3$, para que cada una de ellas ofrezca una resistencia igual á la que M. Hennebique atribuía respectivamente á las vigas A y A' de los experimentos de 1898.

Según los datos consignados en el párrafo 8, estas dos últimas vigas eran consideradas como capaces de soportar, además de su propio peso, 300 kgs. por metro lineal, cargas concentradas en el centro de la viga, que podían llegar á 3.950 kgs., para la viga A y 1.650 kgs. para la A' . Por consiguiente, sus momentos resistentes eran nominalmente iguales á los siguientes momentos flectores:

$$\text{Viga } A: \quad M_f = \frac{300 \times 5 \times 5}{8} + \frac{3.950 \times 5}{4} = 5.890 \text{ kgm.}$$

$$\text{Viga } A': \quad M_f = \frac{300 \times 5 \times 5}{8} + \frac{1.650 \times 5}{4} = 3.000 \text{ kgm.}$$

La luz de estas vigas era de 5 metros.

Viga A_1

Datos: $b = 0 \text{ m. } 30; \quad M = 5.790 \text{ kgm.}$

La fórmula (35) da:

$$b h^2 = 0,000012 M = 0,07068,$$

de donde se saca

$$h = \sqrt{\frac{0,07068}{0,30}} = 0,485$$

Por otra parte, con la fórmula (36) se encuentra

$$\omega = 0,02 bh = 0,02 \times 0,30 \times 0,485 = 0,002.910 \text{ m.}^2$$

Se debería hacer, según esto,

$$b = 0,30; h = 0,485; \omega = 0,002.910 \text{ m.}^2$$

Viga A'

Datos: $h = 0,40; M = 3.000 \text{ kgm.}$

La fórmula (35) da:

$$bh^2 = 0,000.012 M = 0,036$$

de donde se deduce:

$$b = \frac{0,000012 M}{h^2} = \frac{0,036}{0,16} = 0,225$$

Por otra parte, con la fórmula (36) se encuentra

$$\omega = 0,02 bh = 0,02 \times 0,225 \times 0,40 = 0,001800 \text{ m.}^2$$

Luego se deberán adoptar:

$$b = 0,225; h = 0,40; \omega = 0,001.800 \text{ m.}^2$$

Apliquemos ahora las fórmulas del § 11.

Viga A₁

Datos: $h = 0,50; M = 5.890 \text{ kgm.}$

La fórmula (38) $bh^2 = 0,000015 M$ da:

$$bh^2 = 0,000015 \times 5.890 = 0,0883$$

de donde se saca

$$b = \frac{0,08835}{0,5 \times 0,5} = 0,353$$

Con la fórmula (39) se encuentra:

$$\omega = 0,2 bh = 0,003530 \text{ m.}^2$$

Se deberá adoptar:

$$b = 0,353; h = 0,50; \omega = 0,003530 \text{ m.}^2$$

Viga A₂

Datos: $b = 0,25; M = 3.000 \text{ kgm.}$

La fórmula (38) da:

$$bh^2 = 0,000015 M = 0,045$$

Para $b = 0,25$ se obtiene $h^2 = \frac{0,045}{0,25} = 0,18$;

de donde se saca

$$h = \sqrt{0,18} = 0,424$$

Por otra parte, de la fórmula (39) se deduce

$$\omega = 0,02 bh = 0,002120 \text{ m.}^2$$

Se deberá, pues, adoptar

$$b = 0,25; h = 0,424; \omega = 0,002120 \text{ m.}^2$$

Apliquemos, finalmente, las fórmulas del § 12:

Viga A₃

Datos: $b = 0,25; M = 5.890 \text{ kgm.}$

La fórmula (41) da:

$$bh^2 = 0,000.008 M = 0,04712$$

de donde se deduce:

$$h = \sqrt{\frac{0,000008 M}{b}} = 0,434$$

y se encuentra con la fórmula (42)

$$\omega = 0,15 bh = 0,001.628 \text{ m.}^2$$

Se deberá adoptar

$$b = 0,25; h = 0,434; \omega = 0,001628 \text{ m.}^2$$

Viga A₃

Datos: $h = 0,35; M = 3.000 \text{ kgm.}$

La fórmula (41) da:

$$bh^2 = 0,000.008 M = 0,024$$

de donde se saca

$$b = \frac{0,000.008 M}{h^2} = \frac{0,024}{0,1225} = 0,196$$

Por otra parte, se deduce de la fórmula (42)

$$\omega = 0,015 bh = 0,00129 \text{ m.}^2$$

Se deberá adoptar:

$$b = 0,196; h = 0,35; \omega = 0,001029 \text{ m.}^2$$

Se puede observar que, en los cálculos que preceden, hemos admitido que una de las dimensiones figura como uno de los datos del problema. Es lo que se hace casi siempre en la práctica, porque la altura es generalmente impuesta por circunstancias independientes de la voluntad del constructor. En ciertos casos, el ancho es la dimensión impuesta; estos casos, muy raros en los puentes metálicos, serán más frecuentes cuando se emplee el hormigón armado; la plataforma ó forjado de los tableros de hormigón y cemento constituye efectivamente una viga rectangular cuyo ancho resulta casi siempre de las disposiciones generales de la obra, y no puede ser fijado exclusivamente con arreglo á la resistencia que se debe oponer á los esfuerzos.

Sin embargo, las dimensiones impuestas por las circunstancias no están siempre determinadas con tanta precisión que no sea posible modificarlas en algunos centímetros, y el constructor tendrá que examinar frecuentemente si conviene ó no corregir los resultados de un primer cálculo.

Así, por ejemplo, se observa que la anchura de 0m,353 determinada precedentemente para la viga A₁ es relativamente grande, puesto que la viga tiene solamente 0m,50 de altura, según los datos del problema. Y la sección, el precio y el peso de las vigas varían inversamente á su altura, conforme á la fórmula (12).

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

de la cual se deduce:

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

Por consiguiente, hay gran interés en aumentar la altura h , á cambio de reducir el ancho b , el cual puede, sin inconveniente, limitarse á la mitad de la altura como en el caso de la viga B de los experimentos de 1898 (y aun á la tercera parte, según otras vigas que actualmente están prestando servicio).

En lo tocante á la viga A₁, cuya luz es de 5 metros, se podría, en caso de necesidad, fijar su altura en $\frac{5,00}{8}$ ó sea 0m,625. Si las circunstancias impusieran la altura 0m,50, no se podría adoptar $h = 0,625$; pero, salvo en condiciones excepcionales, se podrá siempre admitir

$$h = 0,52 \text{ ó } 0,53.$$

Los datos serán entonces:

$$h = 0\text{m},53; \quad M = 5.890 \text{ kgm.}$$

y se deducirá de la fórmula (38)

$$b h^2 = 0,000315 M = 0,08835.$$

$$y \quad b = \frac{0,000315 M}{h^2} = \frac{0,08835}{0,2809} = 0\text{m},314.$$

Además, la fórmula (39) dará

$$\omega = 0,02 b h = 0,003328 \text{ m}^2.$$

La viga tendrá las siguientes dimensiones:

$$b = 0\text{m},314, \quad h = 0\text{m},53, \quad \omega = 0,003328 \text{ m}^2.$$

Esta ligera modificación permitirá realizar una economía de

$$\frac{0,17650 - 0,16642}{0,17650}$$

ó sea próximamente 6 por 100 en el hormigón, y otra equivalente en el hierro, puesto que la sección de la armadura es proporcional á la del hormigón.

Se ve que importa mucho dar á las vigas una altura tan grande como sea posible. Pero no es posible reducir indefinidamente su ancho. Es necesario, en efecto, que esta dimensión sea tal que puedan quedar convenientemente distanciadas las barras de la armadura, é importa que las vigas tengan base suficiente para conseguir su estabilidad. ¿Cuál es el número necesario? Lo ignoramos. Es otro punto que no se podrá resolver más que como consecuencia de nuevos experimentos. Los efectuados hasta ahora no suministran ninguna indicación respecto á este particular.

14. *Valuación del precio de las obras de hormigón armado.* Según el Ingeniero M. Considère (*Génie civil* del 11 de Febrero de 1899), el hormigón formado de 300 kgs. de cemento de fraguado lento por 500 decímetros cúbicos de arena y 750 decímetros cúbicos de gravilla, como el que se usa generalmente para construir las vigas armadas, vale 45 francos por m.³, incluso la mano de obra y los gastos accesorios que exige la construcción de esta clase de obras; pero sin incluir las barras de hierro, que M. Considère tasa en 20 francos los 100 kilogramos.

Este precio sería hoy insuficiente, y también el primero parece algo pequeño. La Compañía de ferrocarriles del Oeste, que acaba de ejecutar obras importantes de hormigón armado en la línea de Courcelles al Campo de Marte, ha pagado á 60 francos el metro cúbico de hormigón y á 0,35 francos el kilogramo de hierro.

El hormigón costará generalmente más barato en provincias; mas para tener en cuenta los gastos generales, que á veces pueden ser considerables, creemos que los precios de la Compañía del Oeste pueden servir para la apreciación del coste medio de las vigas de hormigón armado. A fin de facilitar los cálculos, valuiremos el metal por metros cúbicos, siendo el precio 7.800 $\times 0,35$ francos = 2.730 francos, y sumaremos á esta cifra una décima parte para representar el valor de los herrajes accesorios, tales como los estribos de M. Hennebique; dicho de otro modo, admitiremos que el precio del metro cúbico de hierro sea próximamente 3.000 francos.

Calculando la sección de la armadura por medio de la fórmula $\omega = 0,015 b h$, se podrá valuar el precio total del hormigón armado en 101 francos el metro cúbico, á saber:

	Francos.
Hormigón: 1 metro cúbico, á 60 francos.....	60
Armadura: 0,015 m ³ , á 3.000 idem.....	45
Total.....	105

Si se calcula la armadura con la fórmula $\omega = 0,02 b h$, el precio del metro cúbico llegará á 102 francos, como se ve á continuación:

	Francos.
Hormigón: 1 metro cúbico, á 60 francos.....	60
Armadura: 0m ³ ,020, á 3.000 idem.....	60
Total.....	120

Estos dos precios son ampliamente remuneradores, y se podría obtener ciertamente alguna rebaja abriendo un concurso entre los inventores de los diversos sistemas de hormigón armado que se han empleado en París el año 1899.

Fijados los precios elementales del hormigón armado, será fácil apreciar los gastos que exige la construcción de las vigas calculadas más arriba, con las fórmulas de los párrafos 10, 11 y 12. Las operaciones efectuadas con este objeto se hallan resumidas en el siguiente cuadro:

Vigas calculadas por las fórmulas.									
De M. Hembieque.	Núms. (35) y (36) del § 10.			Núms. (38) y (39) del § 11.		Núms. (41) y (42) del § 12.			
	A	A'	A ₁	A' ₁	A ₂	A' ₂	A ₃	A'	A ₃
Momento resistente.....	5890	3000	5890	3000	5890	3000	5890	3000	3000
Ancho.....	0m,30	0m,30	0m,30	0m,225	0m,353	0m,25	0m,25	0m,196	0m,196
Altura.....	0,400	0,400	0,455	0,400	0,500	0,424	0,434	0,350	0,350
Sección.....	0,120 m ²	0,120	0,1455	0,090	0,1765	0,1060	0,1085	0,0655	0,0655
del hormigón: }	0,004530	0,001062	0,002910	0,001800	0,003530	0,002120	0,001628	0,001029	0,001029
de la armadura: }									
hormigón: 60 Ω = 60 bh	7,20 fr.	7,20	8,73	5,40	10,59	6,36	6,51	4,12	4,12
hierros: 3.000 ω	13,59	3,19	8,73	5,40	10,59	6,36	4,88	3,09	3,09
Precios de las vigas.....	20,79	10,39	17,46	10,80	21,18	12,72	11,39	7,21	7,21
Total por metro lineal.....	31,18 fr.								
Precio total por metro lineal de las dos vigas de cada grupo.....	33,90 fr.								
	18,60 fr.								

pleando las fórmulas (41) y (42) del párrafo 12, y un exceso de gasto si se aplican las (38) y (39) del párrafo 11.

No sucederá lo mismo con las fórmulas (35) y (36), las cuales darán ya una economía, en casos análogos al de la viga A, ya un aumento en los casos análogos al de la viga A'. Esto proviene de que el tanto por ciento de metal de las vigas de M. Hennebique es en extremo variable. La razón $n = \frac{\omega}{b h}$ que llega á

$$\frac{0,004530}{0,120} = 0,03775$$

en la viga A, se reduce en la A' á

$$\frac{0,001062}{0,120} = 0,00385$$

y hemos examinado un proyecto formado por uno de los concesionarios de M. Hennebique, en el cual esta razón era solamente 0,00287; es decir, algo menos de tres milésimas.

No es posible, á consecuencia de esta variabilidad extrema del tanto por ciento de metal de las vigas construidas por M. Hennebique, apreciar el precio medio de estas vigas sin recurrir á cálculos muy largos y enojosos. Pero hemos comprobado que los precios de las vigas rectangulares de M. Hennebique son unas veces mayores y otras menores que las calculadas por medio de las fórmulas del párrafo 10. Por consiguiente, se puede admitir que la media de los precios de estas últimas es próximamente igual á la media de los precios de las vigas de M. Hennebique. Volveremos á insistir sobre este punto en el párrafo 16.

Es fácil, por el contrario, comparar sin cálculos numéricos los precios de las vigas cuyas dimensiones se ajustan á las fórmulas de los párrafos 10, 11 y 12, como vamos á demostrar.

Según las explicaciones dadas más arriba, se puede escribir, designando, por π el precio de la viga por metro lineal,

$$\pi = 60 b h + 3000 \omega \quad (43).$$

Sustituyendo en vez de ω , $n b h$, se obtiene:

$$\pi = 60 b h (1 + 50 n) \quad (44).$$

La expresión (12) $M = \frac{r b h^3}{6}$, designando por γ la razón

$$\frac{b h^3}{M} = \frac{6}{r},$$

es decir, haciendo en ella

$$\gamma = \frac{6}{r} = \frac{b h^3}{M}, \quad (45)$$

dará

$$b h = \gamma \left(\frac{M}{h} \right) = \frac{6 M}{r h} \quad (46).$$

Introduciendo este valor en la relación (44), se encuentra

$$\pi = 60 (1 + 50 n) \gamma \frac{M}{h} \quad (47)$$

de donde se saca

$$\frac{\pi}{M} = \frac{60 (1 + 50 n) \gamma}{h} \quad (48)$$

fórmula que expresa el valor del coeficiente que se obtiene dividiendo por el momento resistente de una viga el precio por metro lineal de la misma; es decir, que expresa el precio de la viga por metro lineal y por kilogrametro.

La relación (47) demuestra que, á igualdad de las demás condiciones, el precio por metro lineal de las vigas que deben presentar el mismo momento resistente es inversamente proporcional á su altura; la relación (48) establece que lo mismo sucede

con el precio p r metro lineal y por kilogrametro. Estas relaciones confirman lo que hemos dicho en el párrafo precedente, á saber: que hay interés en dar á las vigas una altura tan grande como sea posible.

(Continuará.)

VENTILACION DE TUNELES ⁽¹⁾

(CONTINUACIÓN)

Si en el túnel del Mont-Cenis el tráfico aumentase mucho, entonces si que sería preciso pensar en hacer algo. Desgraciadamente, como nada se hizo al construir el túnel, sería ahora bien difícil obtener un resultado satisfactorio. En efecto, hemos visto que los únicos medios racionales y eficaces son, ó pozos accionados por hogares, ó ventiladores que actúen sobre la masa de aire del túnel con galerías intermedias paralelas á aquél. Pero, la perforación de pozos en los puntos de la montaña donde sería preciso situarlos, resultaría una obra difícil y costosa, y en algunos puntos completamente imposible; de la misma manera la construcción de galerías para los ventiladores, que será siempre posible, resultaría, sin embargo, mucho más costosa que si dichas galerías hubiesen sido ejecutadas simultáneamente con el túnel.

Pero fácil ó difícil, barato ó caro, el día que la necesidad lo imponga, la obra deberá irremisiblemente hacerse.

Estas consideraciones tienen una importancia tan grande que podemos afirmar que es, no solamente útil, sino necesario, preocuparse de la ventilación, y estudiar los medios de producirla de la mejor manera al mismo tiempo que se estudia el proyecto del túnel.

Si el perfil de la montaña permite la construcción de pozos para acelerar el trabajo de la perforación, será preciso dar á estos pozos las situaciones racionales indicadas por la teoría, situaciones que permitirán que los pozos más tarde puedan servir eficazmente para la ventilación.

Si los pozos no son posibles á causa de la gran altura del macizo encima del túnel, convendrá á medida que se vaya avanzando en la perforación y construcción de éste, construir debajo de su solera una galería de suficiente sección para que al propio tiempo que recoja las aguas de filtración del túnel, pueda más tarde, cuando la necesidad se presente, ser utilizada como tubería de aspiración para la ventilación.

En el Simplón, por ejemplo, cualquiera que sea el trazado que se escoja, de 16 ó 20 kilómetros, será un error imperdonable no preocuparse inmediatamente de las futuras exigencias de la ventilación. A lo que parece, los pozos no serán practicables en los puntos del túnel en que sería preciso instalarlos. La única solución posible para garantizar una buena y constante ventilación, será, pues, la de los ventiladores, cuyas instalaciones deberán colocarse en las dos bocas. Será, por consiguiente, preciso construir á todo lo largo del túnel, debajo de su solera ó detrás de los estribos, una galería cuya sección máxima de 3^m,00 X 3^m,00 en las bocas descienda hasta un minimum de 1^m,50 X 1^m,50 en el centro. En estas condiciones será siempre posible, cuando las circunstancias lo impondrán, producir artificialmente en el túnel la ventilación que se quiera, sin obliarse por esto á un gasto muy grande para poner en marcha los ventiladores. En efecto, con las dimensiones indicadas para la galería de aspiración, bastaría que la velocidad de aire en ella sea próximamente igual á la de la corriente en el túnel, lo que significa que su valor podrá ser de 8 metros por segundo poco más ó menos; y entonces, teniendo en cuenta la relación relativamente pequeña del perimetro al área de la sección en dicha galería, resulta que la altura de carga consumida por las resistencias pasivas no será extra-

(1) De «El Túnel del Argentera.»