

los cuales 3.620 están situados debajo el río; el túnel es de dos vías y tiene una sección de 40 metros cuadrados. Las dos bocas se hallan próximamente al mismo nivel, y la temperatura media interior siendo sensiblemente igual a la exterior, ya que el punto más bajo del túnel dista sólo 43 metros del nivel de estiaje del río, se comprende que ninguna ventilación natural fuese posible. Ha sido, por consiguiente, necesario sustituir ésta por la artificial, lográndolo con la instalación de un gran ventilador de aspiración, sistema Guibal, de 12^m,20 de diámetro, capaz de proporcionar 114 m.³ de aire por segundo, lo que permite que la columna de aire del túnel pueda ser completamente renovada en 42 minutos; y como la boca para la aspiración del aire se ha fijado próximamente en el centro del túnel, resulta que cada uno de los trozos de aquél se halla recorrido por una corriente de 1^m,425 por segundo. En estas condiciones, suponiendo que el consumo de combustible por cada kilómetro de tren sea de 14 kilogramos, y si se exige que la proporción de los productos irrespirables, como el ácido carbónico, no exceda de 2 litros por cada metro cúbico de aire (comprendiendo naturalmente en éstos los $\frac{5}{10.000}$

de ácido carbónico que ordinariamente contiene el aire atmosférico) el túnel de la Severn se halla en condiciones de dar paso a 92 trenes próximamente cada veinticuatro horas, sin que su atmósfera resulte perjudicial a la respiración.

Se puede, por consiguiente, afirmar que la instalación hecha para el túnel de la Severn, es suficiente para garantizar una excelente ventilación, aun cuando el movimiento de los trenes tomase una importancia excepcional.

Ejemplo de otra poderosa instalación de ventilación artificial, es la del túnel bajo el río Mersey. Este túnel situado entre Liverpool y Birkenhead tiene una longitud de 1.206 metros debajo el río propiamente dicho, y una longitud total de 4.000 metros próximamente. Las bocas se hallan sensiblemente al mismo nivel, y el punto más bajo dista 39 metros del nivel ordinario de las aguas. El túnel es para dos vías, con una sección de 39 m.²

En estas condiciones, lo mismo que en el túnel bajo la Severn, no es posible ninguna ventilación natural. Por otra parte, este túnel (1), tan pronto como fuese abierto a la explotación, debía hallarse en condiciones de luchar victoriosamente, como medio de transporte de viajeros, con los vapores de la Mersey que hacían un excelente servicio. Era preciso, por consiguiente, que el túnel se estableciera en condiciones higiénicas tales, que no sufrieran una comparación desventajosa con la travesía en vapor, que permite al viajero disfrutar del aire libre y puro; era, pues, preciso evitar las filtraciones, humedades, malos olores, humo, etc. Eliminar todos estos inconvenientes y dar al túnel la mejor de las ventilaciones posible, fué el problema que se propusieron los autores del proyecto, y lo resolvieron en las condiciones siguientes:

Suponiendo los trenes espaciados de cinco en cinco minutos durante todo el día, se fijó la cantidad de combustible consumido en 12 kilogramos por minuto, lo que da lugar a un desprendimiento de 19,50 m.³ de gases irrespirables, y para diluirlos han encontrado que era preciso introducir en el túnel 13.000 m.³ de aire puro exterior. Para llegar a este resultado, se han construido dos instalaciones de ventilación en la proximidad de los dos muelles. En cada instalación se colocaron dos ventiladores sistema Guibal, con obturador Walcker, de 12^m,20 de diámetro y 3^m,34 de ancho el uno, y 9^m,15 y 3^m,04 el otro.

Cada ventilador se halla afecto al servicio de un trozo de túnel, con el que se comunica por medio de una tubería circular de 2^m,13 de diámetro, paralela al túnel, y que penetra en éste por las bocas de aspiración convenientemente distribuidas en diferentes puntos.

Cada ventilador se pone en movimiento por dos motores sis-

temo Compoun, una máquina horizontal de condensación y como reserva una vertical de alta presión, acopladas directamente sobre el eje del ventilador, de suerte que la sustitución de una máquina a otra puede hacerse con un intervalo muy pequeño. Así se evita todo el peligro de interrupción en la ventilación.

Después de numerosas experiencias hechas en varias circunstancias para ver la manera de funcionar las dos instalaciones, se ha encontrado que el cubo de aire viciado extraído por los cuatro ventiladores es de 16.400 m.³ por minuto. Lo que prueba que se ha alcanzado sobradamente el objeto que los autores del proyecto se propusieron.

No conocemos ni en Europa ni en América ninguna otra aplicación grandiosa de ventilación artificial completa de túneles para ferrocarriles, que sea comparable a los dos ejemplos de que acabamos de dar una ligera idea, y que prueban de una manera concluyente, que sea cualquiera el caso que se presente, con una ó varias instalaciones de ventiladores convenientemente proporcionados, será siempre posible producir una ventilación tan activa como sea necesaria.

Felizmente, la necesidad de la ventilación artificial no resulta verdaderamente imperiosa y absoluta sino cuando se trata de túneles muy largos, que deben dar diariamente paso a un crecido número de trenes. Pero los túneles muy largos recorridos por considerable número de trenes, son muy raros. En el Mont-Cenis, en el San Gotardo, y en el Arlberg, que hoy por hoy son los más largos del mundo, el número diario de trenes no excede en ninguno de 35. En estas condiciones, una ventilación artificial completa en todo el túnel, que ciertamente sería útil, sobre todo en el Mont-Cenis, no es todavía absolutamente necesaria.

(Se continuará.)

ESTABILIDAD

de las construcciones de hormigón de cemento armado,

POR

C. BONCORPS (1).

Fórmulas aproximadas para el cálculo de las vigas rectas simplemente apoyadas por sus extremos y provistas de una sola armadura colocada cerca del intradós.

1.º *Objeto de esta nota.*—El hormigón de cemento está a la orden del día. Unos afirman que este material permite construir económicamente obras muy sólidas. Muchos lo ponen en duda.

Encargado de examinar ciertas proposiciones presentadas para la ejecución de construcciones de cemento armado, me he visto en la necesidad de estudiar esta cuestión. Habiendo observado desde un principio que las disposiciones proyectadas se justificaban por cálculos cuyas bases parecían poco admisibles, procedí a algunas investigaciones. De ellas ha resultado que las fórmulas empleadas por los autores de los cálculos citados, han sido criticadas hasta por los más apasionados propagadores del hormigón armado. (*Ciment.*, 1897, pág. 234, y 1898, páginas, 10, 74, etc.)

Por otra parte, un sabio de gran autoridad, el Ingeniero Jefe M. Considère, ha publicado recientemente en el *Génie civil* una Memoria en la cual declara que las fórmulas a que hemos aludido se fundan en dos errores teóricos: la uniformidad de la presión en toda la superficie comprimida, y la igualdad de los momentos de las tensiones y de las presiones tomadas con relación al eje neutro (18 de Febrero de 1899, pág. 245), los cálculos

(1) Este túnel constituye la principal vía de comunicación entre la ciudad de Liverpool, que tiene 550.000 habitantes y 30 kilómetros de longitud de muelles sobre el río, y su arrabal de Birkenhead, que tiene 85.000 habitantes y 15 kilómetros de muelles.

(1) *Annales des Chemins vicinaux.*

efectuados por medio de estas fórmulas no ofrecen, según esto, las garantías necesarias.

Pero los Ingenieros que han establecido otras fórmulas no están tampoco de acuerdo; algunos opinan que las vigas rectas deben siempre hallarse dotadas de dos armaduras simétricas, colocadas, una en la región sometida á esfuerzos de tensión, y otra en la región comprimida. Otros, por el contrario, estiman que lo racional es armar solamente la región extendida. Según éstos, el hormigón resiste perfectamente á los esfuerzos que tienden á aplastarlo, y la armadura de la región comprimida no tendría utilidad.

Después de haber vacilado, hemos aceptado esta última opinión; el estudio de algunos experimentos realizados en 1898 en los talleres del conocido inventor M. Hennebique, nos ha demostrado que una viga recta de hormigón de cemento, provista de una sola armadura situada cerca del intradós, puede resistir cargas considerables, apoyándose simplemente por sus extremos; es decir, sin que estos extremos estén empotrados.

La presente nota tiene por objeto estudiar las condiciones de una viga de esta clase y deducir fórmulas empíricas que, á nuestro juicio, permitirán determinar, con aproximación suficiente para las necesidades de la práctica, las dimensiones que conviene asignar al hormigón y á la armadura de una viga de este género.

Como no ignoramos las dificultades del problema, reconocemos que las fórmulas que vamos á dar son necesariamente imperfectas. Mas ¿no sucede lo mismo con la mayor parte de las que emplean los constructores? Además, entretanto que los sabios puedan hallar una solución irreproachable, á los prácticos toca tratar de establecer, prescindiendo de las dificultades que por ahora no se pueden vencer, fórmulas aproximadas que permitan determinar las dimensiones que se deben atribuir á las vigas para asegurar suficientemente su estabilidad.

El coeficiente de seguridad, á condición de que se fije como consecuencia de experimentos bien hechos, corregirá los errores que resulten de las omisiones intencionales ó involuntarias, y dejará margen suficiente de resistencia para evitar cualquier fracaso.

Las fórmulas que proponemos son sencillas y se pueden justificar por consideraciones elementales. Las hemos hallado asimilando la viga recta de hormigón armado á una bóveda de fábrica cuyo empuje está equilibrado por un tirante.

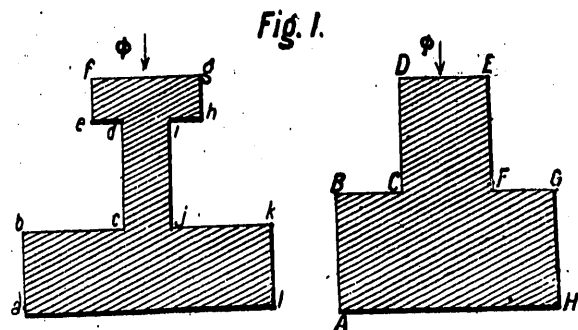
Esta asimilación constituye, explícita ó implícitamente, la base de algunas de las fórmulas hoy en uso. Así, M. Hennebique comprueba la estabilidad de los arcos de hormigón armado, considerando estos arcos como vigas rectas y admitiendo que la resistencia de los estribos desempeña el mismo papel que las cabezas inferiores de las vigas rectas. En el fondo, es la misma hipótesis.

Mostraremos, por otra parte, que las fórmulas obtenidas por medio de esta asimilación son idénticas á las que resultan de suponer que la armadura metálica de la viga esté invariablemente unida al hormigón, y que estos materiales tan heterogéneos forman una pieza, cuyos elementos son perfectamente solidarios y no pueden sufrir flexión independientemente unos de otros.

2. *Origen del hormigón armado.*—*Composición.*—*Propiedades.*—Se sabe que, bien preparado el hormigón árido que contiene próximamente 300 kg. de cemento por 0m³,50 de arena y 0m³,75 de gravilla, resiste perfectamente á la compresión, y que para aplastarlo es necesaria una carga de 150 á 300 kg. por centímetro cuadrado. Pero el mismo hormigón resiste mucho menos cuando se le somete á la tensión, y según ciertos experimentos, su resistencia, en este caso, no puede ser valuada en más de una décima parte de la carga de rotura por aplastamiento. Algunos ensayos han dado como resultado un quinto, pero éstos son poco numerosos, y los autores más competentes recomiendan que se adopte más bien la primera relación, es decir, un décimo.

Por consiguiente, una viga constituida exclusivamente de hormigón, es decir, sin armadura, debería tener un perfil *A B C*

D E F G H (figura 1), análogo al de las vigas de fundición *a b c*



d e f g h, cuya región tendida tiene una sección notablemente mayor que la de la región comprimida.

Constructores experimentados han observado que el hierro embebido en el hormigón de cemento adhiere perfectamente á este material y se dilata del mismo modo que él. Han deducido de ello que la adherencia entre el hierro y el hormigón podría subsistir á pesar de los cambios de temperatura, y que colocando barras metálicas α , β , γ en la parte tendida de una viga de hormigón, se aumentan la resistencia de esta parte á la extensión en la proporción necesaria para poder dar á la viga la sección rectangular *A B C D* (fig. 2).

Hoy está demostrado que esta idea era exacta. Las vigas así dispuestas resisten bien á pruebas muy fuertes. Parece ser que los experimentos realizados por M. Considère, el sabio Ingeniero ya citado, demuestran que las barras de hierro que constituyen la armadura de una viga ejercen sobre el hormigón una influencia tal, que éste puede resistir, sin agrietarse ni desagregarse, alargamientos muy superiores á los que se pueden imponer al hormigón desprovisto de armadura (*Génie civil*, números de Febrero de 1899, págs. 213 á 263).

El Ingeniero Jefe Harel de la Noe ha expuesto en los *Annales des Ponts et Chaussées*, primer trimestre de 1899, págs. 4 á 21, experimentos realizados por él, los cuales le han conducido á iguales resultados.

Además, M. Planat, que había estudiado anteriormente esta cuestión (*Construction moderne*, 1893-1894, *Génie civil*, 10 de Diciembre de 1893, pág. 87), expresó igualmente la opinión de que el cemento, en las piezas armadas, resiste mejor á la extensión que en las piezas sin esqueleto metálico.

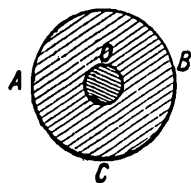
Es cierto que estas apreciaciones aparecen en contradicción con algunos experimentos. Pero, como lo explica muy bien M. Harel de la Noe, es posible que los resultados de los ensayos invocados, que contradicen las opiniones expuestas, no sean muy concluyentes.

La gran resistencia de las numerosas vigas de hormigón armado, construidas y probadas estos últimos años, no se podría explicar sin admitir que el hormigón de estas vigas haya sufrido, sin romperse, esfuerzos de tensión tales, que el hormigón desprovisto de armadura metálica hubiera sido incapaz de soportar.

Cierto es que los constructores no pueden aún considerarse autorizados para tener en cuenta en los cálculos esta resistencia suplementaria que la presencia del hierro comunica al parecer, al hormigón; es prudente esperar á que los experimentos citados sean repetidos y confirmados; habría además que apreciar hasta qué distancia *A o*, *B o*, *C o*, se ejerce la influencia del hierro *o* sobre el hormigón que le rodea (figura 3.^a)

Pero parece posible admitir, sin peligro de la estabilidad, que el hierro de la armadura de una viga per-

Fig. 3.



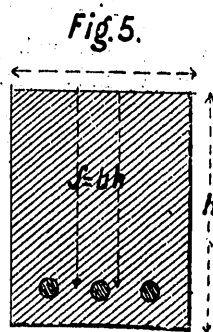
manece adherente al hormigón, aun cuando las tensiones que se desarrollan en la viga impongan al hierro alargamientos a los cuales el hormigón sólo no se prestaría.

Esto no es cierto, ya se sobreentiende, más que en tanto que los alargamientos impuestos a las barras de hierro de las armaduras no excedan de los límites de las cargas que las vigas experimentadas han podido resistir sin agrietarse. Cuando las cargas aumentan; se producen grietas, y ya no es posible admitir que el hormigón y el hierro trabajan solidariamente. Pero, atendiendo a nuestro objeto, no necesitamos preocuparnos de lo que ocurre cuando se cargan las vigas hasta que se rompan. Nos basta considerarlas durante el período de estabilidad, y estimamos que las numerosas experiencias verificadas estos últimos años autorizan a creer que, a pesar de la gran diferencia entre los coeficientes de elasticidad de estas dos materias, el hierro permanece adherido al hormigón cuando los esfuerzos exigidos a estos materiales no pasan de ciertos límites bastante considerables. No es más que una hipótesis, ciertamente, pero parece suficientemente justificada por la experiencia para poder servir de base a fórmulas empíricas.

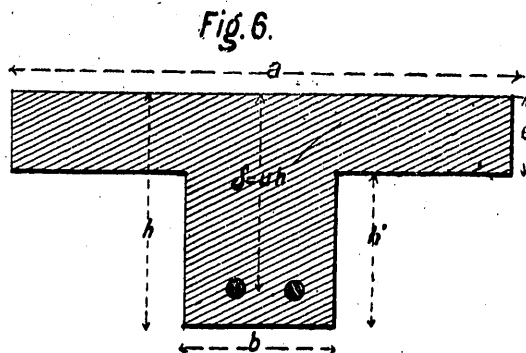
3. *Notaciones.*—Sea $A F D S D' F' A'$ la viga cuyas condiciones de estabilidad queremos estudiar. Esta viga es recta, apoyada simplemente en sus extremos $A A'$ y provista de una sola armadura $T T'$, situada cerca del intradós.

Consideraremos en primer lugar la viga como una bóveda de fábrica, y admitiremos que la curva de presiones $E H C$ pase por el punto E situado en la vertical del apoyo A y por el punto C a la mitad de la luz. Por lo demás, siendo nuestro objeto más bien explicar los fenómenos que tratan de dar una demostración rigurosa, consideraremos únicamente el caso en que las fuerzas exteriores, peso propio y sobrecarga, se hallan repartidas uniformemente en toda la longitud de la viga (figura 4.^a)

El ancho de la viga de perfil rectangular por..... b (figura 5.^a)



El ancho de la cabeza superior de la viga en T por a (figura 6.^a)

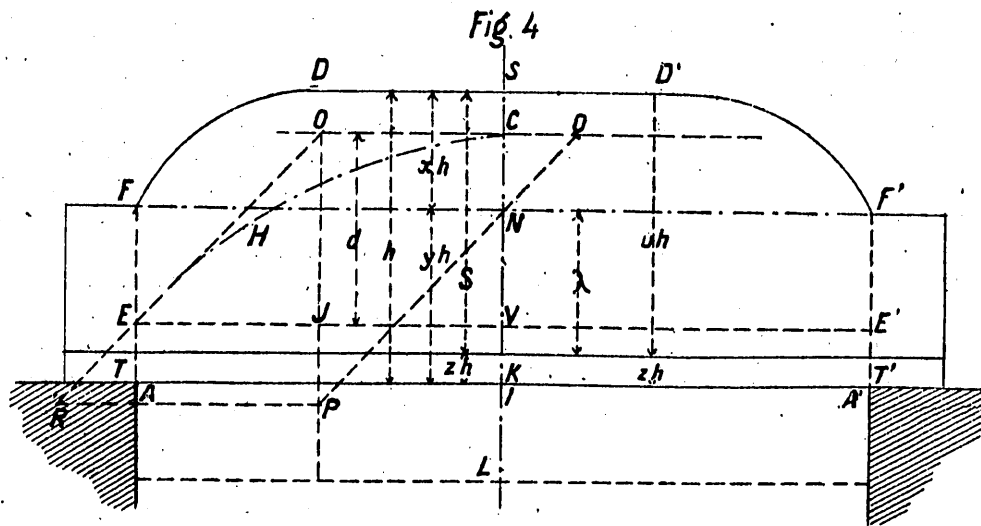


El espesor de dicha cabeza por..... $e = \varepsilon h$.

La altura del nervio vertical de las vigas en T por..... h_1 .

El espesor de dicho nervio por..... b .

La altura total de la viga en T por..... $h = h_1 + e$.



Designaremos la luz $A A'$ de la viga por..... L .

El peso total por metro lineal, peso propio y sobrecarga, por..... p .

El empuje de la bóveda, presión ejercida en C , por..... Q .

La altura $S I$ de la viga a la mitad de la luz, por..... h .

La diferencia de nivel $O J = C V$ entre los extremos E y C de la curva de presiones por..... d .

La diferencia de nivel $S K$ entre el vértice del trasdós de la viga y el eje $T K$ de la armadura por..... uh ó por..... S .

La diferencia de nivel $N K$ entre la fibra neutra $F N$ y el eje $T K$ de la armadura, por..... λ .

La altura $S N$ de la parte comprimida del hormigón por..... xh .

La altura $N I$ de la parte tendida del hormigón por..... yh .

La diferencia de nivel $K I$ entre el eje de la armadura y el punto medio I del intradós de la viga por..... zh .

El área total de los hierros de la armadura por..... ω .

El área de la sección transversal de la viga por..... Ω .

La razón $\frac{\omega}{b h}$ de la sección de los hierros de la armadura a la sección $b h$ del cuerpo de la viga que se llama el tanto por ciento de metal, por..... n .

El momento flector desarrollado por las fuerzas exteriores en el centro de la viga por..... M_f ó simplemente por..... M .

El momento resistente de una viga por..... M_r , ó cuando sea igual al momento flector de las fuerzas exteriores por..... M .

El esfuerzo ó trabajo que el Hormigón comprimido, se puede imponer prácticamente al metro cuadrado de:

Hormigón comprimido, por..... r .

Hormigón tendido, por..... r' .

Metal, por..... p .

(Se continuará.)