

$$P = J \left(\frac{c}{e+v} - 0,1 \right),$$

que evita el empleo de potencias fraccionarias.

Otra fórmula bastante sencilla y que puede aplicarse en la mayoría de los casos, es:

$$P = K \left[\frac{\left(\frac{c}{e+v} \right)}{1 + \left(\frac{c}{e+v} \right)} \right]^2 = K \left(\frac{c}{1-s} \right)^2$$

Esta es la que nosotros hemos adoptado. Como ejemplo, la figura 8, deducida de la experiencia dada á conocer en el cuadro B, da una comprobación de ella.

En esta fórmula, el coeficiente K es una constante que caracteriza la energía del cemento en los morteros en la época que se ha procedido á los ensayos de rotura, cualquiera que sea la composición de estos últimos. En rigor, un sólo mortero cualquiera bastaría para la determinación de esta incógnita, pero, en razón á los inevitables errores de experimentación, es preferible, para medir la energía intrínseca K de un cemento después de un tiempo fijo de conservación de los morteros, componer con este cemento y arenas inertes varios morteros distintos, en los cuales se midan los volúmenes elementales en estado reciente, y que se ensayen por compresión en la época elegida. La media aritmética de los valores encontrados por las relaciones

$$\frac{P}{\left(\frac{c}{1-s} \right)^2}$$

relativas á los diversos morteros, da el parámetro buscado. Se puede todavía, para eliminar errores accidentales demasiado grandes, construir un diagrama tomando para abscisas los valores de $\left(\frac{c}{1-s} \right)^2$ relativos á los diversos

morteros de ensayo y para ordenadas los valores de P encontrados para estos morteros, y trazar por el origen de las coordenadas una recta que se aproxime lo más posible á los puntos obtenidos; el valor de K es entonces el coeficiente angular de esta recta. Esto es lo que se hizo en la figura 8, que da para el experimento correspondiente $K = 1965$.

Inversamente, conociendo K se puede deducir las resistencias que hubieran dado todos los morteros posibles del cemento considerado y de arenas inertes, á condición que se hubieran medido los volúmenes elementales de estos morteros recientes.

En total, una fórmula semejante tiene la gran ventaja de establecer, para cada producto hidráulico, un parámetro que da una medida absoluta de su energía específica después de una duración cualquiera de endurecimiento, independientemente de toda consideración sobre la naturaleza y la composición de los morteros.

Vamos á dar á conocer el partido que se podría sacar

de ella para la elección de los ensayos normales de resistencia.

(Se continuará.)

FERNANDO G. ARENAL.

PROYECTO PARA LA SUSTITUCIÓN DEL TRAMO METÁLICO ⁽¹⁾ DEL PUENTE SOBRE EL RÍO LLOBREGAT POR OTRO NUEVO

Para mayor sencillez expresaremos todos los momen-

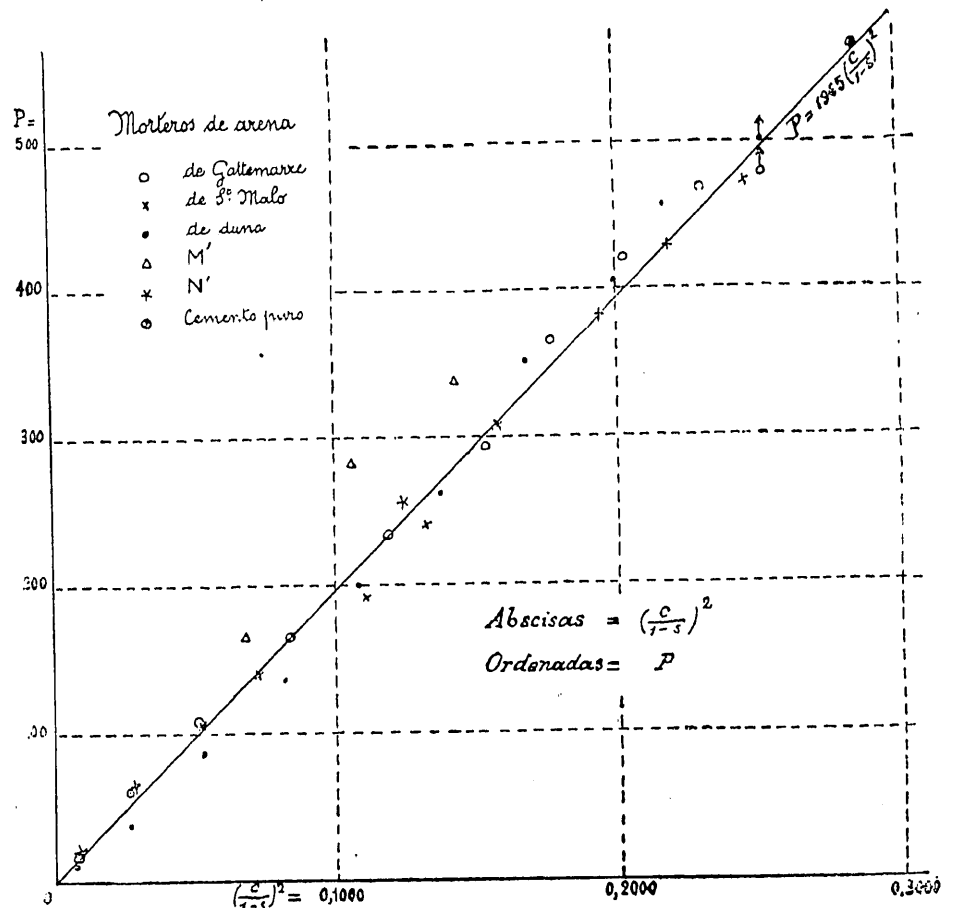


Fig. 8.

tos en función de pl_1^2 , lo cual no altera los valores hallados para los tramos cargados, puesto que $l_2 = l_3 = l_4 = l_5 = l_1$, excepto para el primero, que podemos transformar fácilmente, recordando que $l_1 = \frac{l_2}{1,6}$ del modo siguiente:

$$M' = 0,052397 pl_1^2 = \frac{0,052397}{1,6^2} pl_2^2 = 0,020468 pl_2^2$$

Con estos elementos podemos entrar de lleno en el estudio de los momentos que determina la carga permanente y los máximos y mínimos de la sobrecarga haciendo las combinaciones convenientes de tramos enteros cargados, cuyos efectos se obtendrán sumando los efectos debidos á las cargas de tramos aislados.

Momentos debidos á la carga permanente.—Los momentos sobre las pilas debidos á la carga permanente se obtendrán, según lo que acabamos de decir, sumando los que determina sobre cada una la carga aislada de todos los tramos del puente. Estando todos los momentos en función de pl_1^2 , que en este caso se convierte en ql_1^2 , el momento total M_k sobre la pila de orden k podrá expresarse

(1) Véase el número 1.196.

por

$$M_k = m_{k1} q l_1^2 + m_{k2} q l_2^2 + \dots + m_{ki} q l_i^2 - \sum m_k q l_i^2$$

siendo m_{ki} el coeficiente del valor que expresa el momento producido en la pila k por la carga del tramo número 1, m_{k2} el que corresponde en la misma pila a la carga del tramo núm. 2, y así sucesivamente.

Para expresar los valores de los coeficientes m se han empleado las fórmulas (IV), (V) y (VI), sustituyendo las M por las m , lo cual da lugar a las siguientes expresiones:

$$m_{kk} = \frac{m_{kk}}{\alpha_k l_i}$$

$$m_{ik} = m_{kk} \frac{\alpha_i}{\alpha_k}$$

$$m_{(n-i)k} = m_{(n-k)(n-k)} \frac{\beta_{n-i}}{\beta_{n-k}}$$

Los momentos positivos sobre las pilas, debidos a la carga permanente valdrán, por lo tanto,

$$M_1 \sum m_1 q l_1^2 = 0,0689152 \times 1000 \times 27,186^2 = 50934 \text{ kilográmetros.}$$

$$M_2 \sum m_2 q l_2^2 = 0,0872081 \times 1000 \times 27,186^2 = 64454 \quad -$$

$$M_3 \sum m_3 q l_3^2 = 0,0822963 \times 1000 \times 27,186^2 = 60823 \quad -$$

$$M_4 \sum m_4 q l_4^2 = 0,0836036 \times 1000 \times 27,186^2 = 61790 \quad -$$

$$M_5 \sum m_5 q l_5^2 = 0,0832970 \times 1000 \times 27,186^2 = 61563 \quad -$$

Conocidos estos valores, podemos escribir fácilmente las ecuaciones de momentos debidos a la carga permanente que son, tomando como origen de coordenadas el apoyo de la izquierda del tramo considerado:

Para el tramo núm. 1:

$$M = -\frac{qx}{2} (l_1 - x) + \frac{M_1 x}{l_1} = -\frac{1000 x}{2} (16,99125 - x) + \frac{50934 x}{16,99125} \quad (\text{VII})$$

Para el tramo núm. 2:

$$\begin{aligned} M &= -\frac{qx}{2} (l_2 - x) + M_1 + \frac{(M_2 - M_1) x}{l_2} \\ &= -\frac{1000 x}{2} (27,186 - x) + 50934 + \frac{64454 - 50934}{27,186} x \\ &= -500 x (27,186 - x) + 50934 + \frac{13,520}{27,186} x \quad (\text{VIII}) \end{aligned}$$

Para el tramo núm. 3:

$$\begin{aligned} M &= -\frac{qx}{2} (l_3 - x) + M_2 + \frac{(M_3 - M_2) x}{l_3} \\ &= \frac{1000 x}{2} (27,186 - x) + 64454 + \frac{60823 - 64454}{27,186} x \\ &= -500 x (27,186 - x) + 64454 - \frac{36,31}{27,186} x \quad (\text{IX}) \end{aligned}$$

Para el tramo núm. 4:

$$\begin{aligned} M &= -\frac{qx}{2} (l_4 - x) + M_3 + \frac{(M_4 - M_3) x}{l_4} \\ &= -\frac{1000 x}{2} (27,186 - x) + 60823 + \frac{61790 - 60823}{27,186} x \\ &= -500 x (27,186 - x) + 60823 + \frac{967}{27,186} x \quad (\text{X}) \end{aligned}$$

Para el tramo núm. 5:

$$\begin{aligned} M &= -\frac{qx}{2} (l_5 - x) + M_4 + \frac{(M_5 - M_4) x}{l_5} \\ &= -\frac{1000 x}{2} (27,186 - x) + 61790 + \frac{61563 - 61790}{27,186} x \\ &= -500 x (27,186 - x) + 61790 - \frac{227}{27,186} x \quad (\text{XI}) \end{aligned}$$

Para el tramo núm. 6:

$$M = -\frac{qx}{2} (l_6 - x) + M_5 = -\frac{1000 x}{2} (27,186 - x) + 61563 \quad (\text{XII})$$

Momentos debidos a la sobrecarga.—Partiendo del principio de que el tren tipo circule sobre el puente sin descomponerse, habremos de suponer que la sobrecarga uniforme equivalente no tiene solución de continuidad y, por lo tanto, todas las hipótesis que nos han de dar en cada sección los máximos positivos y negativos, se reducirán a estar extendida la sobrecarga sobre un sólo tramo ó sobre dos tramos adyacentes. En el primer caso, se obtendrán los máximos negativos hacia el centro del tramo cargado, así como en la proximidad de las pilas opuestas a las del tramo cargado en los dos inmediatos a derecha é izquierda, y además los máximos positivos hacia el centro de dichos tramos inmediatos. En el segundo caso, se obtendrán los máximos positivos sobre la pila común a los tramos cargados.

Para la determinación de los momentos sobre pilas en cada caso, servirán los coeficientes $M = 0$ y m_{ki} , y el valor constante pl^2 se convertirá en

$$p_1 l_1^2 = 3201 \times 27,186^2 = 2365792$$

para los efectos de la carga del primer tramo, y en

$$p_2 l_2^2 = 2629 \times 27,186^2 = 1943778$$

para los demás.

Sumando los momentos de cada pila, tendremos el momento positivo sobre la misma; de este modo se han obtenido los siguientes valores:

Pila núm. 1:

$$M_{1 \text{ max.}} = 48423 + 119292 = 167715 \text{ kilográmetros.}$$

Pila núm. 2:

$$M_{2 \text{ max.}} = 98244 + 103884 = 202128 \quad -$$

Pila núm. 3:

$$M_{3 \text{ max.}} = 102373 + 102777 = 205150 \quad -$$

Pila núm. 4:

$$M_{4 \text{ max.}} = 102669 + 102698 = 205367 \quad -$$

Pila núm. 5:

$$M_{5 \text{ max.}} = 102698 + 102693 = 205391 \quad -$$

Hallados estos valores, podemos escribir las ecuaciones de momentos que dan máximos en cada tramo referidos a su apoyo de la izquierda en todas las hipótesis de cargas consideradas, que son las siguientes:

Caso de estar cargado solamente el primer tramo:

Ecuación en el primer tramo:

$$\begin{aligned} M &= -p_1 \frac{x}{2} (l_1 - x) + M_1 \frac{x}{l_1} = -\frac{3201 x}{2} (16,99125 - x) \\ &\quad + 48423 \frac{x}{1699125} \quad (\text{XIII}) \end{aligned}$$

Idem en el segundo tramo:

$$M = M_1 + \frac{M_2 - M_1}{l_2} x = 48423 + \frac{12950 - 48423}{27,186} x \\ = 48423 - \frac{61373}{27,186} x \quad (\text{XIV})$$

Idem en el tercer tramo:

$$M = M_2 + \frac{M_3 - M_2}{l_2} x = -12950 + \frac{3476 + 12950}{27,186} x \\ = -12,950 + \frac{16426}{27,186} x \quad (\text{XV})$$

Caso de estar cargado solamente el tramo segundo:
Ecuación en el tramo primero:

$$M = M_1 \frac{x}{l_1} = \frac{119292}{1699135} x \quad (\text{XVI})$$

Idem en el tramo segundo:

$$M = -p_2 \frac{x}{2} (l_2 - x) + M_1 + \frac{M_2 - M_1}{l_2} x - \frac{2629}{2} x (27186 - x) \\ + 119292 + \frac{98244 - 119292}{27,186} x = -1314,5 x (27186 - x) \\ + 119292 - \frac{21048}{27,186} x \quad (\text{XVII})$$

Idem en el tramo tercero:

$$M = -M_2 + \frac{M_3 - M_2}{l_2} x = 98244 + \frac{26324 - 98244}{27,186} x \\ = 98244 - \frac{124568}{27,186} x \quad (\text{XVIII})$$

Idem en el tramo cuarto:

$$M = M_3 + \frac{M_4 - M_3}{l_2} x = -26324 + \frac{7054 + 26324}{27,186} x \\ = -26324 + \frac{33378}{27,186} x \quad (\text{XIX})$$

(Se continuará.)

EDUARDO MARISTANY.

REVISTA EXTRANJERA

Propiedades de los cementos y de los morteros ¹.

(Conclusión.)

En los hormigones debe preocupar, no sólo la calidad del mortero, sino también la de la grava ó piedra machacada. La importancia de la piedra es tanto mayor cuanto menor es la proporción de cemento, porque los huecos son más grandes y las piedras en contacto tienen tendencia á romperse.

Se deben, pues, preferir los hormigones en que entra el cemento en cantidad suficiente para evitar ó atenuar el inconveniente que acabamos de indicar. Así, no hay temor de que existan huecos en el interior, todos los fragmentos de piedra se hallan rodeados de mortero y la masa puede ser considerada como continua; la compacidad y la homogeneidad son satisfactorias.

El material empleado para la fabricación del hormigón debe ser lavado, para limpiarlo de toda materia extraña, arcillosa ú orgánica, que pueda ser perjudicial para su adherencia. Otras condiciones se imponen también en circunstancias especiales. En los países fríos, se debe evitar dejar las piedras heladizas en

las partes expuestas á las acciones atmosféricas; en las obras de puertos, las que son atacadas por el agua del mar, etc.

En cuanto á la densidad, los materiales ligeros tienen la ventaja de ser más económicos por la facilidad de su transporte y manipulación. Cuando la estabilidad de la obra depende del peso del material, como en los bloques artificiales de los puertos ó los muros de sostenimiento, convendrá elegir materiales pesados.

El tamaño de las piedras depende de la clase de construcción de que se trate. Para obras de poco espesor, como tubos, cubiertas, enlosados, pisos, etc., convienen, naturalmente, las piedras menudas. En general, la piedra debe poder pasar por un anillo de 6 centímetros y no por uno de 2 centímetros; si los muros son de mucho espesor, se pueden admitir sin inconveniente dimensiones mayores, hasta de 8 ó de 10 centímetros. En este caso conviene emplear, además, piedras de menor tamaño que ocupen los huecos comprendidos entre las mayores. La no uniformidad en el tamaño de las piedras es favorable á la homogeneidad y la compacidad; es, además, económica, porque facilita la adquisición del material y porque proporciona mayor resistencia á igualdad de peso de mortero, y, por consiguiente, de cemento.

Respecto á la forma de las piedras, parece ser que la piedra machacada produce hormigones de mayor resistencia que la grava; esto consiste en que la grava exige menos mortero á causa de su forma redondeada. Pero si se emplean morteros más ricos, se puede, en definitiva, obtener mejor hormigón con grava que con piedra machacada, sin aumento de gastos, porque, si bien se emplea un mortero más costoso, la proporción que entra en un metro cúbico es menor.

La grava es generalmente más barata que la piedra machacada, no exige ninguna preparación, es más fácil de colocar en obra, se comprime mejor, se introduce mejor en la masa, y, finalmente, no presenta puntas ni aristas, que en ciertos casos pueden ocasionar algunos inconvenientes.

En resumen; aunque el hormigón de piedra machacada ofrezca más resistencia á la compresión que el de grava, á igualdad de cemento por metro cúbico de mortero, éste ofrece, en cambio, ciertas ventajas que le hacen preferible al de piedra machacada.

Respecto á la resistencia de estas dos clases de hormigones á la tensión, carecemos de experimentos importantes y decisivos, y tampoco poseemos datos acerca de la influencia de la naturaleza más ó menos rugosa de la superficie de las piedras, influencia que no carece de alguna importancia.

Los experimentos realizados para averiguar la resistencia de los hormigones no ofrecen tanto interés como las relativas á los morteros, porque, aun cuando la homogeneidad del hormigón es bastante grande, considerado en masas de importancia, no es suficiente en los ejemplares de ensayo de los laboratorios. Los coeficientes varían mucho, además, según la naturaleza y la composición de los hormigones.

En general, se puede decir que el hormigón resiste más que el mortero á igualdad de cantidad de cemento, y que la resistencia á la compresión es de 6 á 10 veces mayor que la correspondiente á la extensión. Los ensayos usuales se realizan por compresión y con las dosificaciones corrientes; la resistencia del hormigón varía de 100 á 250 kilogramos por centímetro cuadrado al cabo de un mes. Se sabe, sin embargo, que esta resistencia aumenta mucho con el tiempo.

La resistencia á la tensión, con dosificaciones suficientemen-

(1) Véase el número anterior.