

Se ha admitido que 574 vehículos podrán fácilmente ser transportados, al principio, de una a otra orilla en catorce horas de trabajo, y que este número podrá ser doblado después de algún tiempo de ponerse en explotación la obra.

La ejecución de los pozos se hará de la manera siguiente: la zanja se abrirá en una cierta profundidad, después las fábricas se irán construyendo gradualmente en el contorno de un cajón sin fondo; éste no se instalará más que cuando la afluencia de las aguas sea muy fuerte. La perforación se continuará después por el aire comprimido.

Para la perforación de las galerías del túnel se seguirá el método ordinario haciendo uso de escudos.

A fin de desagregar lo menos posible las tierras por el aire comprimido que penetrará por delante de los escudos y reducir el peligro de hundimientos, el trabajo de avance no será el mismo en las dos galerías, y la segunda no será emboquillada más que cuando la primera haya sido terminada 100 metros próximamente de longitud.

Los trabajos han sido adjudicados a la firma Philippe Holzmänn y C.<sup>a</sup> por la suma de 9.808.000 marcos.

Según los cálculos, el túnel podrá abrirse a la explotación en 1911.—O.

## ENSAYOS DE COLUMNAS DE HORMIGÓN

Y DE

### HORMIGÓN ARMADO

(CONCLUSIÓN)

Pero si se trata de un material plástico, en el que las deformaciones son proporcionales a las cargas solamente para valores de éstas que sean una fracción muy pequeña de la de rotura, hay que considerar la influencia de su falta de homogeneidad, de las deformaciones producidas, de la repetición de las cargas, etcétera.

Existen varias circunstancias que obligan a aceptar valores pequeños para el coeficiente de trabajo de las construcciones de hormigón, entre las cuales figuran la posibilidad de que las cargas sean mayores que lo previstas, o dinámicas en lugar de estáticas, además de las tres siguientes, en el supuesto de que las cargas sean las debidas.

(1) Al hacer los cálculos de resistencia de una construcción cualquiera se supone que las cargas se distribuyen entre sus diferentes elementos de cierta manera, distribución que en la realidad puede alterarse, tanto por la naturaleza de los materiales y por su mano de obra, como por otras varias causas que es imposible prever al hacer un proyecto.

(2) El asiento del cimientto de una columna, las diferencias entre la rigidez, porosidad y sección de unas y otras, son circunstancias que influyen notablemente en la repartición de las cargas; de manera que cuanto más uniformes sean las dimensiones y las propiedades físicas de los elementos de una construcción más regular será la distribución de las cargas, y será posible aceptar coeficientes de trabajo alto.

(3) Las constantes que generalmente se emplean son valores medios deducidos de ensayos hechos en condiciones favorables, con probetas unas veces demasiado grandes y otras demasiado pequeñas. Ahora bien; como las partes débiles de una obra ejercen una influencia preponderante sobre su resistencia, de emplear los valores medios de aquellas constantes hay que aumentar el del coeficiente de seguridad. Es decir, que cuando una columna ó una viga están mal fabricadas, la carga que recibe

está más próxima de la de rotura que lo que se podía esperar dado el valor de la carga media de rotura y el del coeficiente de trabajo adoptado.

Se ha dicho bastante para demostrar que las fuerzas que se supone que actúan sobre los diferentes elementos de una construcción no son las efectivas, y que la relación entre el coeficiente de trabajo y la carga media de rotura es una cuestión que debe estudiarse muy detenidamente, y por consecuencia el diagrama correspondiente hasta un límite que sea bastante mayor que el coeficiente de trabajo, cuyo valor se fijará teniendo en cuenta la desigual repartición de las cargas, los efectos de su repetición, la falta de homogeneidad de los materiales, etc.

25. Fórmulas.—En las columnas de hormigón con las dimensiones que generalmente se les da en las aplicaciones, tiene muy poca importancia la relación entre las de su longitud y sección transversal, desde que la primera es igual a pocas veces las segundas; lo corriente es que la altura de las columnas no pase de doce ó quince veces su diámetro, y aun en este último caso se deduce de los resultados de las fórmulas así como de las deformaciones laterales observadas en los ensayos, que las diferencias entre las resistencias de columnas cuyas alturas son respectivamente quince y cinco veces su diámetro, son menores que las comprobadas entre columnas de la misma altura. Los efectos de la excentricidad de las cargas son, por regla general, independientes de la altura de aquéllas.

Las fórmulas para la resistencia de las columnas corrientes de hormigón y de hormigón armado no contienen la relación de su altura a la dimensión lateral, y suponen que las cargas se aplican en el eje de aquéllas.

Es evidente que con columnas de hormigón sin armar se aplicará la fórmula

$$P = Ac \quad (3)$$

en la cual  $P$  es la carga,  $A$  el área de la sección transversal (de la cual se suele descontar una pequeña fracción para prever la acción de un fuego) y  $c$  el coeficiente de trabajo.

Si en una columna de hormigón armado  $P$ ,  $A$  y  $c$  tienen la misma significación que en el párrafo anterior, y además se representa por  $p$  la relación del área de la sección de la armadura a la de la columna y por  $n$  la relación entre la compresión del acero y la del hormigón,  $pA$  será el área de la sección del primero y  $nc$  su coeficiente de trabajo, mientras que  $A(1 - p)$  será el área del segundo. La compresión total del acero tendrá por expresión  $pAnc$  y la del hormigón  $Ac(1 - p)$ , luego

$$P = Ac \{1 + p(n - 1)\} \quad (4)$$

fórmula que es preferible a la que contiene la relación de los coeficientes de elasticidad, sobre cuya exactitud no hay completa seguridad. Si se representa por  $A'$  el área de la sección de la armadura,

$$P = \{A + A'(n - 1)\} c.$$

Es preciso elegir el valor de  $n$  que se ha de emplear, para lo cual hay que discutir qué parte del diagrama se utilizará para adoptar la fuerza de compresión que ha de servir de base para determinar el coeficiente de trabajo.

Ahora bien; como es muy probable que la fuerza efectiva sobre un elemento cualquiera de una construcción sea mayor que la calculada para una repartición de cargas determinada, y como en los elementos más débiles que los que les rodean el punto más alto del diagrama se acerca al correspondiente a la carga de rotura, se elegirá la última parte de aquél para fijar la fuerza que determinará el coeficiente de trabajo, con lo cual también se tendrá en cuenta la influencia de muchas circunstancias que es imposible prever. Es evidente que la gran alteración que sufre el hormigón al tiempo de romperse aconseja eliminar las com-

presiones inmediatas á la que produce la rotura, á la cual corresponden, además, deformaciones muy grandes, que crecen con la repetición de las cargas y con la permanencia de las mismas. Parece que no tiene nada de irracional fijar el coeficiente de trabajo tomando por base una compresión mayor que la que produce una deformación igual á la mitad de la máxima del hormigón ( $q = \frac{1}{2}$ ), cuando sea muy remota la probabilidad de que tal compresión pueda producirse una sola vez; la fuerza que corresponde á esta deformación en el diagrama parabólico, es los  $\frac{3}{4}$  de la carga máxima. Con objeto de tener en cuenta los efectos de la repetición de las cargas, de la incertidumbre en su repartición, de la calidad de los materiales, de su mano de obra, etcétera, se debe elegir una compresión más pequeña ó aumentar el coeficiente de seguridad. Hay que advertir que la discusión anterior se aplica exclusivamente á las columnas, porque las vigas armadas en la forma corriente se rompen generalmente por tensión del metal ó por el alma, nunca por compresión del hormigón.

El factor  $n$  que entra en la fórmula (4) tiene mucha importancia, y es una cantidad variable, función de la deformación, cuyo valor es el siguiente, con diagrama parabólico:

$$n = \frac{1}{1 - \frac{1}{2} q} \frac{E_s}{E_c} \tag{6}.$$

$E_s$  representa el coeficiente de elasticidad del acero,  $E_c$  el inicial del hormigón y  $q$  la relación de la deformación actual á la correspondiente á la carga máxima. Cuando las cargas son pequeñas,  $n$  se diferencia muy poco de  $\frac{E_s}{E_c}$ ; además se consig-  
nan á continuación cuatro valores de  $n$  para otros tantos de  $q$ :

|                   |       |                     |                   |
|-------------------|-------|---------------------|-------------------|
| $q = \frac{1}{6}$ | ..... | $n = \frac{12}{11}$ | $\frac{E_s}{E_c}$ |
| $q = \frac{1}{4}$ | ..... | $n = \frac{8}{7}$   | $\frac{E_s}{E_c}$ |
| $q = \frac{1}{2}$ | ..... | $n = \frac{4}{3}$   | $\frac{E_s}{E_c}$ |
| $q = 1$           | ..... | $n = 2$             | $\frac{E_s}{E_c}$ |

Si  $E_c = 1.757$  kilogramos por  $\text{mm}^2$ , el valor inicial de  $n$  es 12, y para

$$q = \frac{1}{2} \qquad n = 16$$
  
$$q = 1 \qquad n = 24.$$

Si el valor de  $E_c$  fuera 1.405 kilogramos por  $\text{mm}^2$ , los correspondientes de  $n$  serían 15, 20 y 30.

Los valores de  $n$  se han deducido de las deformaciones observadas, admitiendo que la repartición de las cargas entre el hormigón y la armadura se verifica en la forma antes explicada. El Cuadro IX contiene los resultados obtenidos, representando en él con  $\epsilon'_c$  la deformación por unidad de longitud cuando es un máximo la compresión del hormigón, el valor que corresponde á  $q = 0$  se ha obtenido tomando por base el coeficiente inicial de elasticidad.

Si se admite que el hormigón más resistente que el corriente tiene un coeficiente de elasticidad mayor que el medio de este último, y que, por el contrario, el hormigón más débil tiene también menor coeficiente de elasticidad, será recomendable el empleo de un valor de  $n$  mayor que su valor medio, porque los menores que éste dan lugar á que aumente la carga de la armadura

y los mayores permiten que la carga de la columna sea más grande que la que corresponde al valor medio de  $n$ .

CUADRO IX

Relación entre las compresiones de la armadura y del hormigón.

Valores de  $n$ :

$\epsilon'_c$  = deformación por unidad de longitud correspondiente á la compresión máxima del hormigón.

| Número de la columna | $q = 0$ | $q = \frac{1}{6} \epsilon'_c$ | $q = \frac{1}{4} \epsilon'_c$ | $q = \frac{1}{2} \epsilon'_c$ | $q = \epsilon'_c$ | Observaciones.                          |
|----------------------|---------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------------------------------|
| 1                    | 11,7    | 12,2                          | 13,7                          | 16,0                          | 24,8              |                                         |
| 2                    | 12,9    | 13,9                          | 14,9                          | 17,8                          | 25,7              |                                         |
| 3                    | 12,8    | 13,2                          | 14,2                          | 17,4                          | 26,4              |                                         |
| 6                    | 14,3    | 15,5                          | 16,4                          | 19,6                          | 29,0              |                                         |
| 7                    | 11,7    | 13,1                          | 13,7                          | 15,5                          | 23,8              |                                         |
| 10                   | 16,7    | 17,3                          | 18,6                          | 23,0                          | 33,9              | Una barra se apoyaba sobre el platillo. |
| 11                   | 12,3    | 12,3                          | 13,4                          | 16,2                          | 24,7              |                                         |
| 12                   | 12,0    | 12,7                          | 13,3                          | 16,0                          | 24,2              |                                         |
| 14                   | 15,0    | 14,8                          | 16,5                          | 20,0                          | 29,4              | Las barras penetran en el yeso.         |
| 16                   | 15,8    | 16,0                          | 7,3                           | 21,2                          | 32,2              |                                         |
| 17                   | 15,8    | 20,4                          | 20,0                          | 20,1                          | 27,2              |                                         |
| Medias.              | 13,7    | 14,7                          | 15,6                          | 18,4                          | 27,3              |                                         |

Si se elige la compresión que produce una deformación igual á la mitad de la relativa á la carga máxima para fijar el coeficiente de trabajo, los valores medios de  $n$  que podrán emplearse en la ecuación (4) son respectivamente 18,4 y 17,1. Con un hormigón de las condiciones del empleado en los ensayos pueden considerarse como valores medios de  $n$  los números 17 y 18, y adoptarse para emplearlos en las fórmulas los 18 á 21.

El valor de  $n$  que corresponde á cada hormigón depende de su densidad y de su rigidez; cuando aquél es rico, el coeficiente de elasticidad inicial aumenta, pero la abscisa del vértice de la parábola disminuye, circunstancias que contribuyen á que el valor de  $n$  sea menor que el del hormigón ensayado, disminuyendo, por el contrario, aquel coeficiente y aumentando aquella abscisa cuando el hormigón es pobre, y, por lo tanto, el valor de  $n$  será mayor.

26. Es muy conveniente llamar la atención sobre las razones que hay para considerar á las columnas como un punto débil de las construcciones de hormigón armado, así como indicar algunas de las precauciones que hay que observar en su disposición general y en su fabricación.

Tal como se ejecutan las obras hoy día, resulta muy difícil ejercer sobre ellas una inspección eficaz, siendo muy probable que existan grandes deficiencias en la confección de los hormigones y en su colocación en obra, especialmente en lo que se refiere al apisonado, circunstancias que, unidas á la inseguridad que hay en la repartición de las cargas y á los efectos que pueden producir los asientos parciales de los cimientos y entramados de los pisos, aconsejan la adopción de coeficientes de trabajo pequeños, una construcción esmeradísima y hormigones confeccionados con dosis altas de cemento de excelente calidad.

Hay que procurar que las resistencias de probetas cúbicas no sirvan de base para calcular las de las columnas, porque hay bastante diferencia entre unas y otras.

También tiene gran influencia en el éxito de una construcción de hormigón armado el tiempo que se tarda en desmoldar, sobre todo en épocas frías; lo conveniente es desmoldar cuando el hormigón ha fraguado por completo, y entonces es cuando se cargarán las columnas.

#### 27. Conclusiones.

1. Las columnas ensayadas, á pesar de que se construyeron con toda clase de precauciones para conseguir que fueran completamente uniformes, presentaron grandes diferencias entre sí, las cuales, naturalmente, serán mucho mayores cuando se comparen las columnas que forman parte de las construcciones ordinarias.

2. Tanto los cubos como toda clase de probetas pequeñas se confeccionan en condiciones tales, que la resistencia y la densidad del hormigón que los constituye son mayores que las correspondientes al que de una manera corriente se emplea en las obras, á cuyo efecto contribuye no poco la influencia favorable de los platillos de la máquina. Es sabido que las probetas rotas en los ensayos consignados en las publicaciones técnicas poseen condiciones especiales por lo que se refiere á la calidad de los materiales, mano de obra, fraguado, etc., las cuales contribuyen á que los resultados de aquéllos sean altamente favorables, por cuya razón es preciso tener muy en cuenta todas estas circunstancias, así como el procedimiento seguido para hacer los ensayos cuando hay que elegir el coeficiente de trabajo y demás constantes mecánicas de un material de construcción.

3. Los valores de las compresiones del hormigón y de la armadura, cuando ésta está constituida por barras longitudinales, se determinan partiendo de la hipótesis de que la compresión del acero es proporcional á la deformación de las columnas siempre que la adherencia entre los dos materiales tiene el valor conveniente.

4. Con el procedimiento de cálculo adoptado resulta que la resistencia del hormigón de las columnas armadas es un 15 por que no 100 menor que la del que entra en las no armadas, conclusión debe aceptarse como definitiva, pero que demuestra el cuidado que hay que tener al elegir los coeficientes de trabajo. La resistencia total de las columnas de hormigón armado es mucho mayor que la de las ordinarias.

5. Las curvas que representan la ley de variación de las cargas y deformaciones pueden sustituirse con mucha aproximación por parábolas, cuyas tangentes en el origen de coordenadas representan los coeficientes iniciales de elasticidad. La recta del metal es muy útil para determinar las compresiones respectivas del hormigón y del acero.

6. Se hace uso de las deformaciones totales y no de las elásticas, porque al aplicar los diagramas á las columnas y vigas, las primeras facilitan la determinación de las fuerzas interiores del metal de la armadura.

7. El hecho de que durante la retirada de las cargas la curva correspondiente no sea una parábola, sino una línea que se aproxima mucho á la recta, no es razón para rechazar la parábola en el estudio analítico de una viga ó columna. Cuando una viga se ha cargado hasta un cierto límite, la parte de su sección superior á la fibra neutra se ha comprimido, sin que en ninguno de sus puntos se haya producido una deformación mayor que la que existe con la carga entonces aplicada, ni la compresión correspondiente haya sido anteriormente más grande.

La repetición de una carga por incrementos sucesivos aumenta las deformaciones de cada sección con una curva parabólica y con un coeficiente inicial de elasticidad menos que el obtenido con la primera aplicación de la carga.

8. Los ensayos verificados en el Arsenal de Watertown confirman los resultados y las conclusiones de los de la Universidad de Illinois.

9. El valor medio del coeficiente de elasticidad inicial obtenido como resultado de los ensayos hechos con columnas en la Universidad de Illinois es 1.582 kilogramos por  $\text{mm}^2$ , y el del correspondiente á las columnas ensayadas en el Arsenal de

Watertown 1.757 tanto uno como otro pueden aceptarse como buenos para hormigones de  $1 \times 2 \times 4$ , de sesenta á ciento cinco días de edad y cuando la carga se ha aplicado una sola vez. Dicho coeficiente aumenta con la edad y disminuye con la repetición de las cargas, ignorándose los efectos que produce la acción simultánea de estas circunstancias, en los cuales ha de influir la calidad de los materiales, el número de veces que se repiten las cargas y la edad á que se aplica la primera.

Si se admite que el coeficiente de elasticidad es constante, su valor será menor que el del inicial antes mencionado. Los grandes valores que para aquel coeficiente se consignan en libros y revistas proceden, sin duda alguna, de ensayos hechos con probetas cortas, de excelente calidad, de tomar por base las deformaciones elásticas, etc.

10. La elección del coeficiente de trabajo que se ha de emplear en los cálculos de resistencia de una construcción cualquiera tiene más importancia de la que generalmente se le concede.

Las condiciones particulares de las cargas, su repartición, la falta de uniformidad de la construcción, etc., son elementos que contribuyen á que las fuerzas interiores de los elementos de una obra sean mayores que las previstas. Para el acero se elegirá el coeficiente de trabajo, tomando por base su límite elástico, mientras que para el hormigón se partirá de una compresión bastante inferior á la que produce la rotura, por ejemplo, la que da lugar á una deformación igual á la mitad de la correspondiente á la carga máxima, que es los  $\frac{3}{4}$  de ésta cuando se usa el diagrama parabólico. Elegidas las cargas para fijar el coeficiente de trabajo, se reducirán prudentemente para tener en cuenta los efectos de circunstancias que es muy difícil prever, como son las alteraciones en la repartición de las cargas, la calidad de los materiales, su mano de obra, la naturaleza de la carga, forma en que se aplica, etc.

11. En las columnas de hormigón armado con barras longitudinales, la relación entre la compresión de la armadura y la del hormigón crece cuando la carga aumenta, como era de esperarse dada la forma del diagrama.

En los ensayos descritos, dicha relación varió desde 12 al empezar á aplicar la carga en una columna hasta 34 en el momento de romperse otra. Con un hormigón, cuyo coeficiente de elasticidad inicial era igual al valor medio antes citado, dicha relación crece desde 13,33 con la carga *cero* hasta 26,66 con la de rotura, siendo mayores estos valores con hormigones pobres que con ricos.

12. Si para determinar el coeficiente de trabajo se toma por base la compresión que corresponde á una deformación igual á la mitad de la que produce la carga máxima, el valor de  $n$  está comprendido entre 17 y 18, cuando la dosis y la calidad del hormigón son las del empleado en los ensayos descritos. Ahora bien; como en las columnas de menor resistencia que la media de las ensayadas dicha relación es mayor que el valor medio encontrado, y en las más resistentes el aumento de resistencia del hormigón sustituirá á la compresión de la armadura, habrá que adoptar para  $n$  un valor comprendido entre 18 y 21.

13. En las construcciones corrientes las columnas constituyen un elemento débil, razón por la cual la elección del coeficiente de trabajo será objeto de un estudio detenido y se tomarán toda clase de precauciones para que tanto los materiales como su mano de obra sean de excelente calidad.—Ω.

## ACCIDENTE EN LA COLOCACIÓN DE UN SIFÓN EN DRESDE

Los diarios alemanes han dado cuenta de un accidente ocurrido el verano último en Dresde con motivo de la colocación