

MUY POCO MÁS SOBRE DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES

POR JACINTO MARTÍN PALANCA, INGENIERO DE CAMINOS

Propone el autor el empleo de un ábaco nuevo para evitar el inconveniente que presenta el de Abrams de dar en volumen la dosificación del cemento y de no dar directamente la cantidad de agua, y recomienda la práctica de una serie de ensayos de laboratorio de acuerdo con nuestro criterio oficial de medida de las docilidades.

Existe en todos los estudios de dosificación teórica de hormigones que conozco, una lengua, al llegar a la parte de aplicación fácil de las hipótesis establecidas. Tal vez Abrams sea el único que lleva la cuestión hasta el final, presentando sus tan conocidos ábacos. Pero, hecho el estudio hace muchos años, da la dosificación del cemento en volumen, hoy cada vez menos empleada, y no ofrece directamente la cantidad de agua a mezclar, sino que hay que deducirla de la relación agua-cemento por un cálculo aparte.

Me ha parecido interesante dar a conocer un ábaco que no tiene de propio sino el trabajo de haberlo calculado, pues las hipótesis y funciones empíricas en que se basa son las ya conocidas. Trato de salvar los dos inconvenientes apuntados, dando el peso de cemento y la cantidad de agua por metro cúbico de hormigón terminado, para obtener con un cierto árido una masa de docilidad y resistencia prefijadas.

Y advierto desde ahora que carece en absoluto de comprobaciones experimentales, tan necesarias para poder confiar en los datos que de él se obtengan.

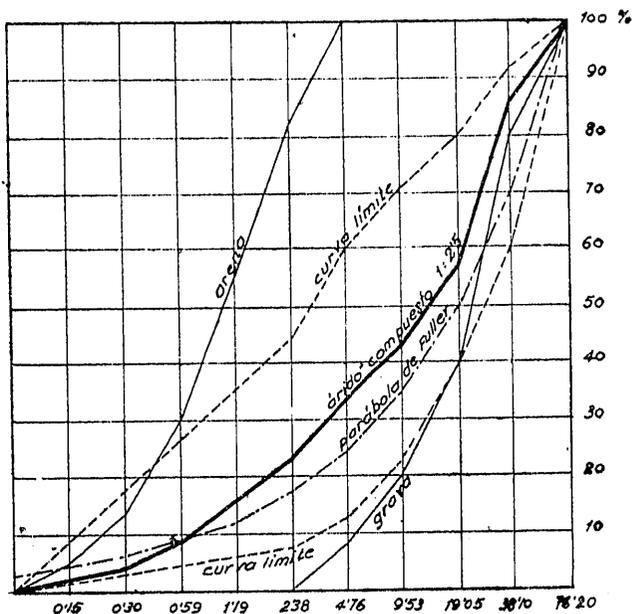
Dosificación del árido. — Dejando a un lado los procedimientos de Feret y de Graf, resulta más cómoda la dosificación por las curvas de Fuller, Bolomey o Ros, o aun mejor, por las zonas de dosificación conveniente que figuran en las Instrucciones alemana y española. El procedimiento es, desde luego, empírico, pero está avalado por los ensayos de esos tres experimentadores.

La manera de operar es dibujar primero, separadamente, las curvas granulométricas de los distintos áridos de que se disponga, e interpolar, tomando distintas proporciones de cada árido, una que se adapte lo mejor posible a la ley empírica. Si hay varios áridos finos y varios gruesos, conviene componer, primero, los finos, y después, los gruesos, y por último, el fino compuesto con el grueso compuesto.

De todos modos, en la mayoría de los casos en que sólo se disponga de una grava y una arena, suele obtenerse un buen resultado con la proporción 1 : 2,

con lo que esta primera etapa puede eludirse, si no se trata de afinar demasiado.

Dosificación del agua. — Hay, según Saliger, dos partidas distintas: el agua de fraguado, que viene a ser siempre el 0,23 del peso del cemento, y el agua de amasado, que es la necesaria para dar al árido la fluidez conveniente a la manera de poner en obra que vayamos a adoptar.



Dosificación del árido.

El agua de amasado depende, fundamentalmente, de la docilidad del hormigón y de la calidad del árido, y ésta influye por el rozamiento de los granos entre sí, que hay que suavizar humedeciendo la superficie. Así, pues, depende de la superficie total de los granos.

Edwards abordó el problema de frente, determi-

nando para cada tamaño su superficie por unidad de volumen del árido, resultado que expuso en unos ábacos. Y de ahí sacaba la cantidad de agua a emplear.

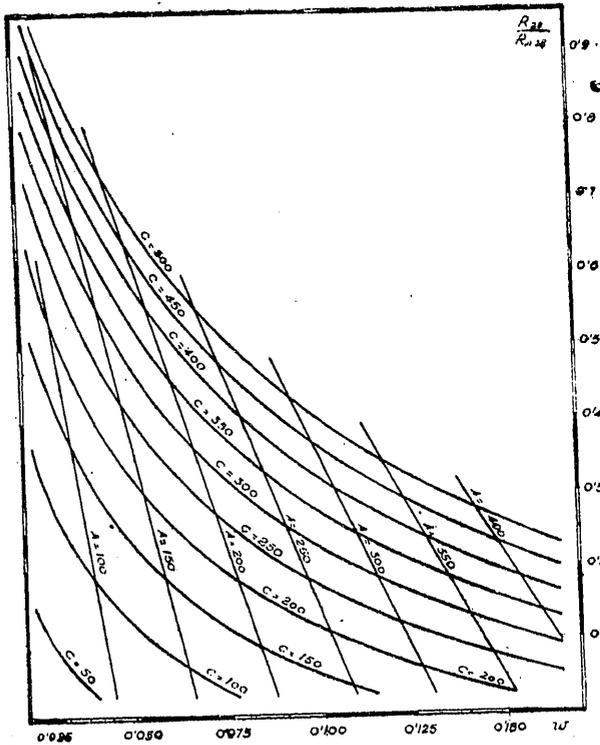
Más fácilmente aplicable resulta la fórmula de Bolomey:

$$w = \frac{\omega}{d^{1/3}}$$

que da la cantidad de agua por unidad de peso de árido, en donde d es el diámetro, y ω , un coeficiente que depende sólo de la docilidad. Si hay varios tamaños de áridos, naturalmente:

$$w = \Sigma p \frac{\omega}{d^{1/3}}$$

siendo p el tanto por uno de cada tamaño.



Abaco que nos da las cantidades de cemento y agua a emplear en un hormigón, dada la resistencia exigida (R_{28}), y el valor (w), función de la calidad del árido y la docilidad que se desea obtener.

El coeficiente ω vale, según Gómez Navarro, con áridos rodados:

- Para hormigón seco $\omega = 0,080$
- " plástico $\omega = 0,090$
- " líquido $\omega = 0,105$

y con machacados, un 12 por 100 mayor.

El inconveniente de esta fórmula es que sólo re-

sulta aplicable para granos mayores de 0,2 mm., pues para los menores aparecen fenómenos de capilaridad que obligan a tratar la cuestión de otra manera. Pero puede salvarse esta dificultad, teniendo en cuenta que el fino arcilloso viene a necesitar el 0,38 de su peso para adquirir la docilidad plástica, según Gómez Navarro.

Llegaremos, en resumen, a una expresión que nos dará la cantidad de agua necesaria por metro cúbico de hormigón terminado, que es:

$$A = 0,23 C + 2000 w,$$

apareciendo el coeficiente 2000 al poner el agua por volumen de árido, en vez de por peso, tomando este valor como peso medio del árido que entra en el metro cúbico de hormigón.

Puede calcularse una tabla de los valores de la fórmula de Bolomey en función del diámetro, para los tamaños correspondientes a la serie de cribas Tyler Standard, y para los tres tipos de docilidad, teniendo en cuenta para el más fino la modificación de la fórmula que se ha señalado.

Tabla para la determinación de los valores de la fórmula de Bolomey, con los diámetros de granos de la serie Tyler:

w EN LOS ÁRIDOS RODADOS.			
Diámetro mm.	Seco $\omega = 0,080$	Plástico $\omega = 0,090$	Líquido $\omega = 0,105$
76,20	0,004	0,005	0,006
38,10	0,007	0,008	0,009
19,05	0,011	0,013	0,015
9,25	0,018	0,020	0,023
4,76	0,028	0,032	0,037
2,38	0,045	0,050	0,059
1,19	0,071	0,080	0,094
0,59	0,114	0,129	0,150
0,30	0,179	0,202	0,235
0,15	0,337	0,380	0,442

En los machacados, un 12 por 100 mayor.

Abrams da otro procedimiento aún más cómodo para el cálculo de la w en función del módulo de finura, por la fórmula:

$$w = \frac{b}{M}$$

en donde el coeficiente b vale, con áridos rodados:

- Para hormigón seco $b = 0,340$
- " plástico $b = 0,385$
- " líquido $b = 0,430$

y con machacados, un 12 por 100 mayor.

También esta fórmula tiene la limitación de no ser aplicable sino para módulos comprendidos entre 3 y 7. Pero en la mayoría de los casos usuales, estamos dentro de estos límites.

Resistencia en función de los componentes. — Desde que, allá hacia 1918, expuso Abrams que era función de la relación agua : cemento, se han propuesto multitud de fórmulas para expresar esta ley.

Aceptando la de Bolomey, que tiene la ventaja de su sencillez, y de depender de la calidad del cemento por medio del coeficiente R_{n28} (resistencia del mortero normal a los veintiocho días), estableceremos:

$$R_n = \frac{R_{n28}}{2,7} \left(\frac{C}{A} - 0,5 \right)$$

Si ahora entramos aquí con la cantidad de agua que se determinó anteriormente:

$$A = 0,23 C + 2000 w,$$

eliminando la A , llegaremos a:

$$\frac{R_{28}}{R_{n28}} = \frac{0,885 \cdot C - 1000 w}{0,620 \cdot C + 5400 w}$$

y eliminando la C :

$$\frac{R_{28}}{R_{n28}} = 1,43 - 3230 \frac{w}{A}$$

Estas fórmulas permiten calcular el ábaco adjunto, en que se toman como abscisas las w y como ordenadas las $R_{28} : R_{n28}$, apareciendo dos familias de curvas: la una, con parámetro A , y la otra, con C .

Ejemplo de aplicación. — Tenemos dos áridos rodados, definidos por su dosificación, según la serie Tyler Standard, en la forma siguiente:

Tamaño del tamiz (mm.)	Grava	Arena
76,20	0	0
38,10	20	0
19,05	60	0
9,52	80	0
4,76	92	0
2,38	100	18
1,19	100	45
0,59	100	70
0,30	100	86
0,15	100	95
	752	314

Queremos fabricar con ellos un hormigón de consistencia plástica, que resista 40 kg./cm.² a los veintiocho días, con un coeficiente de seguridad 4, siendo

el cemento tal que su mortero normal, a los veintiocho días, resiste 400 kg./cm.².

Dibujando las curvas granulométricas (con abscisas logarítmicas, para mayor claridad), y en la misma figura los límites recomendados por la Instrucción española y la parábola de Fuller, encontramos una buena dosificación para la proporción 1 : 2,5.

La ordenada del ábaco será:

$$\frac{R_{28}}{R_{n28}} = \frac{4 \times 40}{400} = 0,4.$$

Por la fórmula de Abrams, empezaremos por hallar el módulo de finura de la mezcla, que será:

$$M = \frac{3,14 \times 1 + 7,52 \times 2,5}{1 + 2,5} = 6,3,$$

y tomando el coeficiente 0,380 que corresponde al hormigón plástico:

$$w = \frac{0,380}{6,3} = 0,060,$$

y del ábaco saldremos con $C = 300$, $A = 180$.

Por la fórmula de Bolomey, tomaremos, bien analítica, bien gráficamente, las ordenadas del árido compuesto para cada tamiz, y escribiremos:

d en mm.	Ordenadas
76,20	1,00
38,10	0,86
19,05	0,57
9,52	0,43
4,76	0,34
2,38	0,23
1,19	0,16
0,59	0,08
0,30	0,04
	0,14 . 0,008 = 0,0011
	0,29 . 0,013 = 0,0038
	0,14 . 0,020 = 0,0028
	0,09 . 0,032 = 0,0029
	0,11 . 0,050 = 0,0055
	0,07 . 0,080 = 0,0056
	0,08 . 0,129 = 0,0103
	0,04 . 0,202 = 0,0081
	0,04 . 0,380 = 0,0152
	0,0553

y con este valor de w se obtiene del ábaco $C = 275$, $A = 175$.

Comentario. — Como se ve, la divergencia de resultados entre uno y otro método no es considerable, aunque habría sido mayor si el árido no hubiese tenido granos que pasasen por el último tamiz.

Analizando sus causas, puede muy bien provenir de los coeficientes adoptados, ya que en ellos es fundamental el concepto que se tenga de un hormigón seco, plástico o líquido, que probablemente no sería el mismo para Abrams y Bolomey, ni tal vez el que nosotros adoptemos como consecuencia de la prueba con el docilímetro Iribarren.

Puede también provenir de que los criterios seguidos por Abrams y Bolomey para establecer sus fórmulas no son iguales cuantitativamente, aunque, desde luego, sí cualitativamente.

En efecto: si en la fórmula

$$w = \sum p \frac{\omega}{d^{2/3}}$$

suponemos las p correspondientes a la serie Tyler:

$$w = \omega \left[\frac{p_1}{d_m^{2/3}} + \frac{p_2}{\left(\frac{d_m}{2}\right)^{2/3}} + \frac{p_3}{\left(\frac{d_m}{2^2}\right)^{2/3}} + \dots + \frac{p_{10}}{\left(\frac{d_m}{2^9}\right)^{2/3}} \right] = \frac{\omega}{d_m^{2/3}} [p_1 + 1,6 p_2 + 2,5 p_3 + \dots + 64 p_{10}]$$

Si sustituimos la cantidad entre paréntesis por la

$$\frac{k}{10 p_1 + 9 p_2 + 8 p_3 + \dots + 2 p_9 + p_{10}}$$

podemos escribir:

$$w = \frac{k R}{d_m^{2/3}} \frac{1}{10 p_1 + 9 p_2 + 8 p_3 + \dots + p_{10}}$$

o bien:

$$w = \frac{b}{p_1 + (p_1 + p_2) + (p_1 + p_2 + p_3) + \dots + (p_1 + p_2 + \dots + p_{10})}$$

y el denominador es el módulo de finura; luego hemos llegado a la fórmula de Abrams:

$$w = \frac{b}{M}$$

Puede haber, por tanto, divergencia entre una y otra manera de enfocar la misma cuestión, ya que:

$$p_1 + 1,6 p_2 + 2,5 p_3 + \dots + 64 p_{10} \neq \frac{k}{10 p_1 + 9 p_2 + 8 p_3 + \dots + p_{10}}$$

aunque es de esperar que no sea grande la diferencia dentro de los límites usuales.

Sin embargo, creo que donde debe de estar la causa fundamental de error es en los coeficientes, y sería conveniente que, para determinarlos de acuerdo con nuestro criterio oficial de medida de las docilidades, se emprendiese una serie de ensayos de laboratorio, que diese como resultado el aportar un grano más a la dosificación teórica de hormigones.



Embalse en el río Arago con capacidad de 76×10^6 m.³. — Extensión de la zona regable a crear: 11 000 Has. — Idem íd. íd. actual: 300 Has. — Presa de tipo vertedero, formada por parte central Creager con colchón o balsa disipadora de energía, y laterales triangular de gravedad. — Fábrica de la presa: Hormigón en masa: 56 000 m.³. — Altura de la presa sobre enrase de cimientos: 24,40 m. — Longitud total a la altura de la coronación: 223 m. — Desagüe máximo previsto para el aliviadero: 1 200 m.³/s. — Longitud y profundidad del colchón de agua: 30 y 3,20 metros, respectivamente. — Espesor máximo normal de lámina de agua: 4 m. — Desagüe de fondo por compuerta-tapa en embocadura y de deslizamiento detrás de aquélla. — Toma de agua por tubería de 0,80 m. y obturación con válvula de compuerta, y otra, de nuez.