

Dosificación de los morteros i concretos

POR

P. H. IPSEN

Administrador de la Fábrica de Cemento «El Melon»

En una de las revistas técnicas europeas de Ingeniería, se lee que en el último Congreso reunido con el objeto de tratar sobre el exámen de los materiales, se habló de la necesidad de recomendar el mayor cuidado posible en las mezclas para los morteros i concretos.

Hoi vemos que las proporciones de las mezclas indicadas se hacen sin tomar en consideracion los diferentes materiales que se usan. En diversos puntos del país se toman las mismas proporciones, sin examinar la calidad de estos materiales. A continuacion trataremos de los morteros i concretos de cemento, entendiendo que (como en casi todo trabajo de cemento armado) se desea no dejar huecos entre los granos de arena i las piedras, es decir que nos pondremos en el caso de morteros i concretos *compactos*.

Para obtener una buena mezcla, es absolutamente indispensable conocer bien los materiales que se van a usar. Para conocer la calidad del cemento, es necesario tener diversos aparatos, i como estos son mui costosos i ademas seria difícil para los contratistas ejecutar ellos mismos los ensayes, la mayor parte de los países han terminado por mantener laboratorios oficiales para hacer estos ensayes.

La cantidad de cemento debe tomarse *al peso*, porque el volúmen jamas podrá dar resultados exactos. Pesar el cemento no presenta dificultad alguna, porque siempre se puede tomar como base un barril que pesa 170 kilos. (El cemento envasado en sacos de $\frac{1}{3}$ o $\frac{1}{2}$ barril, cuyo peso es de 57 i 85 kilos respectivamente, es mas práctico porque se puede hacer la mezcla en cantidad mas reducida). Cuando se toman los otros materiales en volúmen (piedras i arena), es necesario saber el peso aparente del cemento que se vá a usar, o mas bien dicho la cantidad de cemento que, despues de haberle agregado el agua necesaria, se necesita para componer un litro de cemento fraguado. El profesor Van der Kloes ha efectuado estos ensayes e indica que 1 000 g

de cemento mas 250 g de agua dan 0,579 litros de cemento fraguado; esto demuestra que 1 727 g de cemento mas 432 g de agua dan por resultado un litro de cemento fraguado. El peso aparente del cemento es entónces 1 727. En la práctica se nota que no es suficiente la cantidad de agua indicada: es necesario agregar hasta un 10% mas; esto no altera casi en nada la fórmula arriba indicada, porque la *densidad* (véase mas abajo) es mas que un 35%.

La calidad de la arena cambia mucho de un punto a otro. La mejor es la arena de cuarzo, limpia i de granos de tales dimensiones que los mas chicos pueden llenar los huecos que quedan entre los mas grandes. La densidad es mui distinta en las diferentes clases de arena. Por *densidad* se entiende la relacion entre los huecos de una unidad de volumen de arena seca golpeada, i la unidad de volumen; la densidad varia desde 24% hasta 45%, i se encuentra de la manera siguiente:

$$\text{Densidad} = 1 - \frac{\text{peso aparente en Kg}}{\text{peso específico.}}$$

Ménos exacto es determinar la densidad por medio del agua, por ser mui difícil estraer todo el aire. Si la densidad de la arena puede variar en tan enormes proporciones, es indudable que debe haber tambien una gran diferencia en la cantidad de cemento que se necesita para hacer con cierta cantidad de arena un mortero de determinada resistencia. Casi nunca sucede que el tamaño de los granos de arena sea tal que los mas chicos puedan llenar los huecos dejados por los grandes, i así se esplica que un mortero (cuando la cantidad de cemento no sube de cierto límite) dé mas resistencia si se le ha agregado un poco de greda molida. La greda no debe estar contenida en la arena, porque en este caso la resistencia del mortero dependeria en parte de la cohesion entre la greda i arena.

Cuando se mide la arena, no está nunca completamente seca, i tampoco llega a quedar lo suficientemente apretada en el molde que se usa para el objeto; estos dos puntos hacen que se emplee mas cemento que el calculado. En efecto cuando se llena una medida con arena mojada, puede observarse que disminuye de volumen al secarse. Es por otra parte, natural que la arena se mida despues de apisonarla, ya que el concreto de que va a formar parte debe sufrir este apisonamiento. Para corregir en lo posible estos defectos, es conveniente rebajar un poco el peso aparente, al calcular la cantidad de cemento que se debe usar, tomando, por ejemplo, como base 1 500 en vez de 1 727, lo que es mui recomendable.

De las piedras chancadas se puede decir lo mismo que de la arena: tambien es necesario conocer la densidad de este material si se desea hacer un concreto bueno i de un precio módico. La densidad de las piedras chancadas se encuentra fácilmente midiendo la cantidad de agua que llena los huecos de cierto volumen de piedras, porque aquí no es difícil estraer el aire, como en la arena. Se encuentra la densidad tomando la relacion entre el volumen de agua usado i el volumen de las piedras chancadas.

Las bases para calcular la cantidad de materiales necesarios se hallan en los cuatro párrafos siguientes:

1. El cemento debe llenar los huecos de la arena.
2. El mortero debe llenar los huecos de las piedras chancadas.

3. El volúmen del mortero resulta mayor que el de la arena empleada en su confeccion, de manera que la cantidad de cemento debe ser mayor que el volúmen de los huecos de la arena.

Esto se explica porque, cuando se mezcla el cemento con la arena, queda siempre una capa de cemento entre los granos de arena. Resulta entonces un poco mayor el volúmen del mortero i debe ser el cemento el que complete este mayor volúmen. La cantidad que debe emplearse de mas se denomina *por ciento sobrante*, i la designaremos con la letra q .

El valor de q depende del destino del concreto. Para trabajos sencillos $q = 15\%$; para cemento armado debe ser un poco mas subido.

Mientras mas pequeños sean los granos de arena, mayor debe ser q , porque la superficie de todos los granos de arena en un volúmen dado están en razon inversa del diámetro de los granos.

Cuando q pasa de un cierto límite, únicamente se consigue tener un concreto mas caro i mui fácil de agrietarse.

4. Por analogía con lo anterior, es necesario un poco mas de mortero que el calculado para llenar los huecos de las piedras chancadas.

El *por ciento sobrante* del mortero se indica con la letra m i casi siempre se puede hacer $m = q$.

El cálculo de la cantidad de los materiales no presenta dificultad alguna i se puede hacer de diversas maneras. Por ser mui práctico tener una fórmula, vamos a dar la siguiente que nos parece la mas fácil.

Sean C , A i P las cantidades de cemento, arena i piedra, en volúmen, para hacer 1 m^3 de concreto.

α los huecos de la arena i β los de la piedra, en %.

Ha los huecos de la arena i Hp los de la piedra, en volúmen.

Tendremos: (1) $Ha = \alpha A$, (2) $Hp = \beta P$

Si se han cumplido las condiciones estipuladas en el párrafo 1, debemos tener: $C = Ha$; pero cumpliendo con lo estipulado en el párrafo 3, tendremos:

$$C = Ha(1+q) \dots \dots \dots (3)$$

de (1) i (3) obtendremos: $C = (1+q)\alpha A \dots \dots \dots (4)$

La cantidad M de mortero para un metro cúbico de concreto será:

$$M = C + A - Ha = (1+q)\alpha A + A - \alpha A = (1+\alpha q) A \dots \dots \dots (5)$$

Segun la condicion del párrafo 2 se necesita que $M=Hp$; pero segun el párrafo 4, $M=(1+m)Hp$.

$$\text{si } m=q, \text{ tendremos: } M=(1+q)Hp \dots \dots \dots (6)$$

$$\text{De (2) i (6) obtendremos: } M=(1+q)\beta P \dots \dots \dots (7)$$

$$\text{de (4): } \frac{A}{C} = \frac{1}{(1+q)\alpha} \dots \dots \dots (8)$$

$$\text{de (5) i (7): } P = \frac{1+\alpha q}{(1+q)\beta} A \dots \dots \dots (9)$$

$$(9) \text{ dividido por (4) dá: } \frac{P}{C} = \frac{1+\alpha q}{\alpha\beta(1+q)^2} \dots \dots \dots (10)$$

La cantidad de 1 m³ de concreto se compondrá así:

$$1=M+P-Hp \dots \dots \dots (11)$$

$$\text{de (2), (7) i (11) tendremos: } -P = \frac{1}{1+\beta q} \dots \dots \dots (12)$$

$$\text{de (9) i (12) } A = \frac{(1+q)\beta}{(1+\alpha q)(1+\beta q)} \dots \dots \dots (13)$$

$$\text{i sustituyendo en (4): } C = \frac{(1+q)^2 \alpha \beta}{(1+\alpha q)(1+\beta q)} \dots \dots \dots (14)$$

Las ecuaciones (8) i (10) dan la proporcion cuando se conocen α , β i q ; i las (12), (13) i (14) indican las cantidades de arena, cemento i piedra por metro cúbico de concreto.

Si se considera en la ecuacion (8) $\frac{A}{C}$ i α como variables, i si se representan en un sistema de coordenadas rectangulares los valores de $\frac{A}{C}$ que corresponden a los posibles valores de α , se obtiene para cada valor de q , una curva que, para cada valor de α , dá la cantidad de arena que se necesita para cada volumen de cemento. Estas curvas son todas hipérbolas, con los ejes de coordenadas como asíntotas. Análogas observaciones se aplican a la ecuacion (10).

El cálculo que se ha elejido es por consiguiente susceptible de representacion gráfica.