

- 53 -

11 - PROBLEMAS ELEMENTALES SOBRE CEMENTO Y HORMIGÓN (Continuación)

Anónimo

De "CEMENT, LIME & GRAVEL", 314, marzo 1949.

- III -

Se quiere fabricar un hormigón de las siguientes características:

Cemento	334 kg/m ³
Agua	177 "
Arena	770 "
Agregado grueso	1065 "

La arena de que se dispone tiene un poder de absorción de 1 % y un contenido en humedad total de 6 %, con respecto al peso de material seco. El agregado grueso posee una absorción de 0,5 % y un contenido en agua de 2 %.

¿Qué peso de materiales debe utilizarse, en kg/m³, para la composición de dicho hormigón?

Puesto que la arena tiene una absorción del 1 %, la cantidad de arena seca contenida en 770 kg de arena superficialmente doseada será:

$$\frac{770}{1,01} = 763 \text{ kg.}$$

La cantidad de arena húmeda que deberá emplearse es:

$$763 \times 1,06 = 806 \text{ kg.}$$

Para el agregado grueso tendremos:

$$\frac{1.065 \times 1.02}{1,005} = 1.080 \text{ kg.}$$

El agua de amasado será, la contenida en el hormigón menos la aportada por la arena y el árido grueso. O sea:

Agua en la arena:

$$806 - 770 = 36 \text{ kg.}$$

Agua en el árido grueso:

$$1.080 - 1.065 = 15 \text{ kg.}$$

Agua total de amasado:

$$177,6 - (36 + 15) = 126,6 \text{ kg.}$$

El peso de cemento, por supuesto, no varía. Por tanto, la mezcla se dosificará así:

Cemento	334 kg/m ³
Agua de amasado	126,6 "
Arena (con 6 % de humedad)	806 "
Agregado grueso (2 % de agua) .	1080 "

Total 2346,6 kg

=====

Hallar la resistencia probable de un hormigón fabricado con agregados redondeados (cantos) de un tamaño máximo de 25 mm sabiendo que el asiento de este hormigón es 76 - 101 mm y que contiene 334,6 kg de cemento por m³.

La cantidad de agua de amasado necesaria para obtener el asiento ("slump") dado y la resistencia en función de la relación agua:cemento, deben hallarse en las tablas (Exercises in Design of Concrete Mixtures - de la National Ready-Mix Concrete Ass., ú otras análogas).

La tabla 2 de dichos "Exercises" indica que se necesitan 178,2 litros de agua por m³, para obtener un asiento de 76 - 101 milímetros en las condiciones dadas. La relación agua:cemento será: $178,2/334,6 = 0,535$, para la cual, la tabla 1 del mismo trabajo da dos resistencias a la compresión, una probable y otra de seguridad. La resistencia probable, a los 28 días es 281,2 kg/m² lo cual constituye una cifra razonable y de seguridad para cementos modernos.

Resistencia a la compresión (28 d.) ... 281,2 kg/cm²

Encontrar la dosificación, por m³, de un hormigón que posea un asiento de 25-50 mm y que contenga 334,6 kg de cemento

por m^3 , utilizando agregados redondeados (cantos) de un tamaño máximo de 50 mm. El hormigón ha de ser adecuado para la construcción de pavimentos. Los restantes datos son:

Peso específico del cemento	3,15
Peso específico aparente del agregado ...	2,65
Peso específico aparente de la arena	2,6
Módulo de finura de la arena	2,7
Módulo de finura del agregado	7,5
Peso de agregado en un m^3 de hormigón ...	1.714,0 kg

Resolver el problema por los tres métodos siguientes:

a) Metodo simplificado (aproximación de volúmenes absolutos) dado en el folleto "Exercises in Design of Concrete Mixtures" citado anteriormente.

b) Utilizando el módulo de finura (Tabla B del "Extending Application of the Fineness Modulus").

c) Método b/b_0 del "The Proportioning of Concrete", de A. T. Goldbeck.

a) De la tabla 2 del "Exercises" se saca que la cantidad de agua necesaria es 148,5 litros/ m^3 . La tabla 3 del mismo libro recomienda el empleo de 30 % de arena para una mezcla rica y de 40 % para una pobre.

Si consideramos el valor 334,6 kg/m^2 , dado para la dosificación en cemento; como intermedio para los dos anteriores,

podremos tomar - aproximadamente - 35 % de arena. Este valor puede resultar algo alto por lo que, en la práctica, serán precisas algunas correcciones.

Calculemos ahora los volúmenes verdaderos de cada ingrediente y los pesos de los diversos materiales a emplear.

Volumen absoluto del cemento y del agua existentes en un m³ de mezcla:

Cemento:

$$\frac{334,6}{3,15} = 106,5 \text{ dm}^3$$

Agua:

$$148,5 \text{ dm}^3$$

Volumen de la pasta de cemento: $106,5 + 148,5 = 255 \text{ dm}^3$

Por tanto, el volumen absoluto de los agregados finos y gruesos será:

$$1.000 - 255 = 745 \text{ dm}^3$$

Como la mezcla contiene 35 % de arena, la cantidad de dicha arena será:

$$745 \times 0,35 = 261 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

Y la de agregado grueso:

$$745 - 261 = 484 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

Los pesos pueden calcularse a partir de los valores anteriores:

Cemento	334,5	kg/m ³
Agua	148,5	"
Arena: $261 \times 2,6$	679,0	"
Agregado grueso: $484 \times 2,65$	1280,0	"

teniéndose, así, la dosificación del hormigón.

b) El módulo de finura permite determinar la relación de árido fino o grueso con mayor exactitud que en el método anterior. De la tabla B mencionada se deduce que el módulo de finura máximo es 6,3 para la dosificación en cemento prevista. Este módulo es el conveniente para paymentos de hormigón. Para este máximo permisible, el porcentaje de arena necesario para producir un módulo de finura de 6,3 para un agregado mixto, puede determinarse según la ecuación:

$$P = 100 \frac{M_c - M}{M_c - M_f}$$

M_c = módulo de finura del agregado grueso.

M = módulo de finura del agregado mixto.

M_f = módulo de finura del agregado fino.

P = porcentaje de agregado fino.

O sea:

$$P = 100 \frac{7,5 - 6,3}{7,5 - 2,7} = 25 \% \text{ de arena.}$$

Como en la parte a) de este problema hemos visto que el volumen absoluto de los agregados era 484 dm^3 .

El de la arena será:

$$0,25 \times 745 = 186 \text{ dm}^3$$

Y el del agregado grueso:

$$0,75 \times 745 = 560 \text{ dm}^3$$

La dosificación de la mezcla será entonces:

Cemento	334,5	kg/m ³
Agua de amasado	148,5	"
Arena: 136 x 2,6	484,0	"
Arido grueso: 560 x 0,25	1485,0	"

Estas proporciones representan un "máximo permisible" para los módulos de finura. Es de observar que una variación de -0,25, en el módulo de finos del agregado mixto daría lugar a que el porcentaje de arena fuese:

$$100 \frac{7,5 - 6,05}{7,5 - 2,7} = 30 \%$$

c) Método b/b_0 . - Este procedimiento fué explicado por Goldbeck en "The Proportioning of Concrete" y utiliza el porcentaje de huecos del agregado grueso y el módulo de finura de la arena para determinar las cantidades que deben emplearse de cada árido. En la tabla III del trabajo citado puede verse que el valor recomendado para b/b_0 , cuando se utilizan agregados de hasta 50 mm con arena de módulo de finura 2,7, es 0,8. El término b/b_0 viene definido como el volumen de agregado grueso soco que contiene un m³ de hormigón.

Tenemos pues que en un m³ de hormigón habrá 0,8 m³ de árido grueso (soco). Como el peso de agregado empleado es 1.714 kg/m³, el peso de árido grueso será:

$$0,8 \times 1.714 = 1.371 \text{ kg}$$

Esto representa un volumen absoluto de:

$$\frac{1,371}{2,65} = 517 \text{ dm}^3$$

Los volúmenes absolutos de cemento y arena ya se han determinado en la parte a) (106,5 y 148,5 dm³). Para un hormigón sin aire la única incógnita será, por tanto, el volumen de arena, que puede hallarse por diferencia:

$$1.000 - (106,5 + 148,5 + 517) = 228 \text{ dm}^3.$$

La dosificación del hormigón se determina entonces fácilmente:

Cemento	334,5 kg/m ³
Agua de amasado	148,5 "
Arena: 228 x 2,6	592,5 "
Arido grueso: 517 x 2,65	1370,0 "

Puede ser interesante comparar el porcentaje de arena (con respecto al agregado total) deducido por este método, con los porcentajes anteriormente hallados:

$$\frac{\text{arena}}{\text{arena} + \text{árido grueso}} = \frac{228}{228 + 517} = 30,6 \%$$

Vemos que los porcentajes de arena son diferentes según el método seguido en la resolución del problema:

- a) 35 %
- b) 25 %
- c) 30 %

Estas diferencias pueden explicarse teniendo en cuenta que el valor tomado en e), algo excesivo, ha sido deducido experimentalmente utilizando las más variadas clases de mezclas

para hormigón. Es un valor de seguridad.

Las cifras 25 y 30 % para b) y c) se han determinado de un modo racional que permite evaluar las distintas propiedades del agregado. La experiencia ha mostrado que el procedimiento b/b_0 que emplea el volumen de huecos del árido grueso y el módulo de finura de la arena puede dar lugar a hormigones con exceso de arena para mezclas ricas y con defecto para mezclas pobres. Por el contrario, el máximo permisible del módulo de finos (procedimiento b) fué determinado tomando como base la resistencia a la compresión del hormigón y, generalmente, puede originar mezclas pobres en arena con vista a una fácil puesta en obra.

Parece lógico que el verdadero valor (que puede deducirse sobre la marcha) esté comprendido entre los dados por b) y c), es decir, entre 25 y 30 % de arena.