

## LA RELACIÓN AGUA CEMENTO <sup>1</sup>

La relación agua / cemento constituye un parámetro importante de la composición del hormigón. Tiene influencia sobre la resistencia, la durabilidad y la retracción del hormigón.

La relación agua / cemento <sup>2</sup> (a/c) es el valor característico más importante de la tecnología del hormigón. De ella dependen la resistencia y la durabilidad, así como los coeficientes de retracción y de fluencia. También determina la estructura interna de la pasta de cemento endurecida.

La relación agua cemento es el cociente entre las cantidades de agua y de cemento existentes en el hormigón fresco. O sea que se calcula dividiendo la masa del agua por la del cemento contenidas en un volumen dado de hormigón.

$$R = \frac{a}{c}$$

R Relación agua / cemento

a Masa del agua del hormigón fresco

c Masa del cemento del hormigón

La relación agua / cemento crece cuando aumenta la cantidad de agua y decrece cuando aumenta el contenido de cemento. En todos los casos, cuanto más baja es la relación agua / cemento tanto más favorables son las propiedades de la pasta de cemento endurecida.

La importancia de la relación agua / cemento fue descubierta hace 60 años por Duff A. Abrams especialista de EE. UU. Después de haber estudiado un gran número de hormigones de diferentes composiciones, anunció la ley que expresa que con un agregado dado, la resistencia depende sólo de la relación agua / cemento del hormigón fresco. Este descubrimiento ha provocado desarrollos importantes puesto que otras propiedades de gran valor del hormigón, también dependen de la relación agua / cemento.

Los trabajos realizados posteriormente por T.C. Powers, han permitido comprender las causas de esta fuerte influencia de la relación agua / cemento.

---

<sup>(1)</sup> Traducción del Bulletin du Ciment N° 7 - Julio 1978 - Suiza

<sup>2</sup> Se lo llama también "factor agua/cemento" o "coeficiente agua/cemento".

Estas razones están ligadas al endurecimiento del cemento portland, el que como se sabe se debe a la absorción química de agua por los constituyentes del cemento, especialmente por  $3 \text{ CaOSiO}_2$  y el  $2 \text{ CaOSiO}_2$ . La pasta de cemento se endurece entonces formando un gel progresivamente más estable. Como en la mayoría de las transformaciones químicas, las cantidades de elementos que participan en esta relación están en proporción fija. La hidratación completa de 100 g de cemento portland requiere 20 g de agua, aproximadamente, lo que corresponde a una relación agua / cemento = 0,2. En los minúsculos intersticios<sup>3</sup> del gel en formación se fijan por, por adsorción, otras moléculas de agua, a razón también de 20 g de agua por 100 g de cemento, aproximadamente, al final del proceso.

En consecuencia el cemento portland fija, para su endurecimiento, una cantidad de agua correspondiente a una relación agua / cemento = 0,4.

El agua suplementaria no está fijada y ocupa en la pasta de cemento endurecido cierto volumen en forma de poros capilares<sup>4</sup>.

Cuanto mayor sea la existencia de agua en exceso habrá mayor cantidad de capilares en la pasta de cemento. Cuando la cantidad total de capilares corresponde a una relación a/c = 0,7, los capilares son tan numerosos que están unidos entre sí formando una red permeable. La proporción de capilares con relación a la materia sólida será 1:2 (fig. 3).

En consecuencia, si se agregan 70 g de agua a 100 g de cemento (a/c = 0,7)

- Los primeros 20 g son fijados químicamente.
- Los 20 g siguientes son fijados por adsorción
- Los 30 g restantes quedan libres en la red de capilares

Esta representación simple de la formación de la pasta de cemento endurecido suscita las constataciones siguientes:

1. La influencia de la relación agua / cemento sólo concierne a la pasta de cemento endurecida y no depende ni del tenor en cemento ni de las propiedades de los agregados del hormigón.
2. La disminución de la resistencia del hormigón debida al aumento de la relación agua / cemento se explica por la disminución de la compacidad de la pasta de cemento.

---

<sup>3</sup> Estos intersticios se denominan poros de gel. Su volumen es constante y es equivalente al 28%. Su diámetro es de  $2 \times 10^{-6}$  mm

<sup>4</sup> Los poros capilares tienen un diámetro de  $10^{-3}$  mm a  $10^{-5}$  mm

3. La porosidad incrementada debido a un aumento de la relación agua / cemento acarrea una disminución de la compacidad y en consecuencia de la resistencia química del hormigón.
4. La cantidad suplementaria de agua, libre y móvil en la pasta de cemento endurecida, provoca un aumento del coeficiente de retracción del hormigón.

## **APLICACIONES**

### **1. Modificación de las mezclas**

Se puede modificar la relación agua / cemento de un hormigón variando tanto su contenido de agua como el de cemento. Ambos métodos producen el mismo resultado sobre la calidad de la pasta de cemento endurecida, pero no sobre las propiedades del hormigón fresco. Hay pues posibilidades de modificar una mezcla de hormigón para adaptarla a una exigencia particular. Véanse estos dos ejemplos:

- a) Un hormigón  $M_1$  tiene resistencias probables satisfactorias, pero es poco trabajable teniendo en cuenta las condiciones de su puesta en obra.

#### $M_1$ - Composición

Agregados *	1950 kg/m <sup>3</sup>
Cemento Portland	300 kg/m <sup>3</sup>
Agua	120 kg/m <sup>3</sup>

#### Propiedades

Consistencia	débilmente plástico
Asentamiento	1,0 cm
Relación agua/cemento	0,47 a 0,48 **
Resistencia promedio a la Compresión a 28 días	49,0 N/mm <sup>2</sup> (490 kg/cm <sup>2</sup> )

La mezcla ser corregirá aumentando a la vez el contenido de cemento y el de agua, sin modificar la relación a/c.

#### $M_2$ - Composición

---

\* Agregado 0 - 32 mm; humedad : 1,1 a 1,3 %

\*\* Incluye humedad de los agregados.

Agregados	1950 kg/m <sup>3</sup>
Cemento portland	330 kg/m <sup>3</sup>
Agua	133 kg/m <sup>3</sup>

#### Propiedades

Consistencia	Plástica
Asentamiento	3 cm a 4 cm
Relación a/c	0,47 a 0,48
Resistencia promedio a la compresión a 28 días	48,5 N/mm <sup>2</sup> (485 kg/cm <sup>2</sup> )

b) El hormigón N<sub>1</sub> tiene una consistencia conveniente pero su resistencia probable no alcanza los 40 N/mm<sup>2</sup> prescritos.

#### N<sub>1</sub> - Composición

Agregados *	1950 kg/m <sup>3</sup>
Cemento portland	300 kg/m <sup>3</sup>
Agua	150 kg/m <sup>3</sup>

#### Propiedades

Consistencia	muy plástica
Relación a/c	0,57 a 0,58 **
Resistencia promedio a la compresión a los 28 días	36,0 N/mm <sup>2</sup> (360 kg/cm <sup>2</sup> )

La mezcla se corrige aplicando la siguiente regla empírica:

La misma cantidad de agua da aproximadamente la misma consistencia.

Una disminución de la relación a/c de 0,10 provoca un aumento de resistencia de aproximadamente + 10 N/mm<sup>2</sup> (100 kg/cm<sup>2</sup>).

#### Nueva Mezcla N<sub>2</sub>

#### Composición

---

\* 0-32 mm - Humedad 1,1 a 1,3 %

\*\* Incluye humedad de los agregados

Agregados *	1950 kg/m <sup>3</sup>
Cemento portland	335 kg/m <sup>3</sup>
Agua	150 kg/m <sup>3</sup>

### Propiedades

Consistencia	muy plástica
Relación agua/cemento	0,51 a 0,52 **
Resistencia promedio a la compresión a los 28 días	42 N/mm <sup>2</sup> (420 kg/cm <sup>2</sup> )

En los dos ejemplos se han podido modificar ciertas propiedades del hormigón **aumentando el contenido de cemento** sin modificar otras características (Las cifras consignadas son solamente ejemplos y no se les debe atribuir un valor general).

## **2.- Mejoramiento de la durabilidad del Hormigón**

La resistencia química del hormigón está relacionada con su porosidad. Un material compacto que absorba pocos gases o líquidos agresivos debe naturalmente ser más estable. En consecuencia la relación agua / cemento también tiene una influencia determinante en este aspecto. La resistencia y la durabilidad están pues íntimamente correlacionadas. Una modificación de una de ellas implica también una modificación de la otra. Es necesario tomar en cuenta esta concomitancia.

Cuando se pretenda, por ejemplo, disminuir una resistencia, que parece excesiva, reduciendo el contenido de cemento. Las adaptaciones propuestas en los dos ejemplos del punto b) pueden ser aplicadas con el mismo espíritu a la durabilidad del hormigón.

## **3.- Influencia sobre el coeficiente de retracción**

El mejoramiento de la resistencia y de la durabilidad por el aumento del tenor de cemento tiene en principio por consecuencia un aumento de la retracción debido al más alto contenido de finos del hormigón. Se puede aceptar, por otra parte, que la disminución de la relación agua / cemento provoca la reducción del coeficiente de retracción. El problema consiste en saber si esos efectos antagónicos se compensan.

La figura 4 muestra que eso es así con los hormigones convencionales a condición de que la relación agua / cemento sea

---

\* 0 - 32 mm - Humedad 1,1 a 1,3 %  
 \*\* Incluye humedad de los agregados

modificada, como en el ejemplo b). En casos semejantes la elevación del contenido de cemento no causa un aumento apreciable del coeficiente de retracción. En cambio si se aumentan simultáneamente las cantidades de cemento y de agua sin modificar la relación agua / cemento, es necesario esperar una retracción más importante.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- D.A. Abrams, Design of Concrete Mixtures, Structural Materials Research Laboratory – Chicago 1918
- T.C. Powers, Structure and Physical Properties of Hardened Portland. Cemento – Paste, RCA – Research Bull. N° 94 – Chicago 1959
- L. Vironnaud, Importance relative des erreurs de dosage Annales Inst. Tech. N° 147, 313 – 1960
- D.F. Orchard, Concrete Technology – Londres 1973
- SIA – Fachgruppe für Beton – und Eisenbetoningenieure, Bestimmung von Beton – mischungen (Übersetzung der Publikation D.A. Abrams) – 1922
- H.J. Gilkey, Water – Cement – Ratio versus Strength, J. Am. Concr. Inst. Proc. 57, 1287 – 1961
- M. Vénuat, Doit – on craindre les forts dosages en ciment? Revue Mat. Constr. N° 629, 59 – 1968





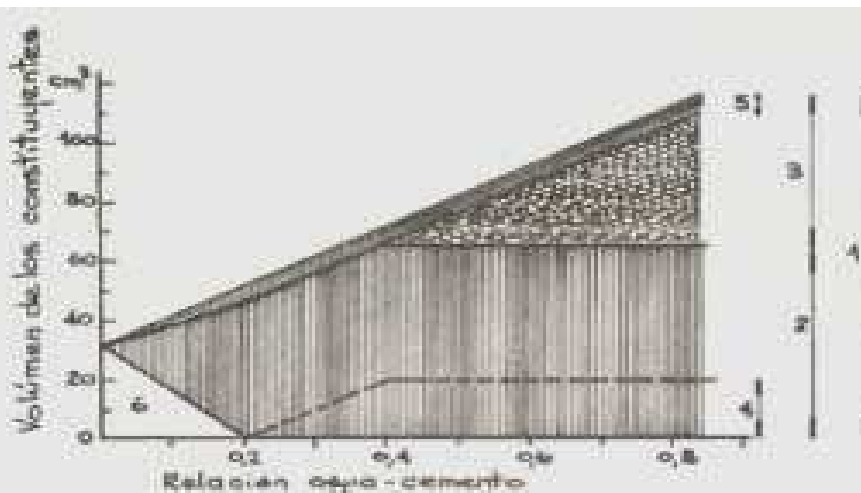


FIG. 3 - Repartición de los volúmenes constituyentes de la pasta de cemento endurecida para diferentes relaciones a/c.

- 1- Volumen total de la pasta de cemento endurecida.
- 2- Volumen del gel incluidos sus poros.
- 3- Volumen de los poros capilares y de retracción.
- 4- Volumen del agua adsorbida por los poros del gel.
- 5- Volumen de los poros de retracción (retracción química  $6\text{cm}^3/100\text{gr}$  de cemento).
- 6- Volumen de cemento no hidratado.

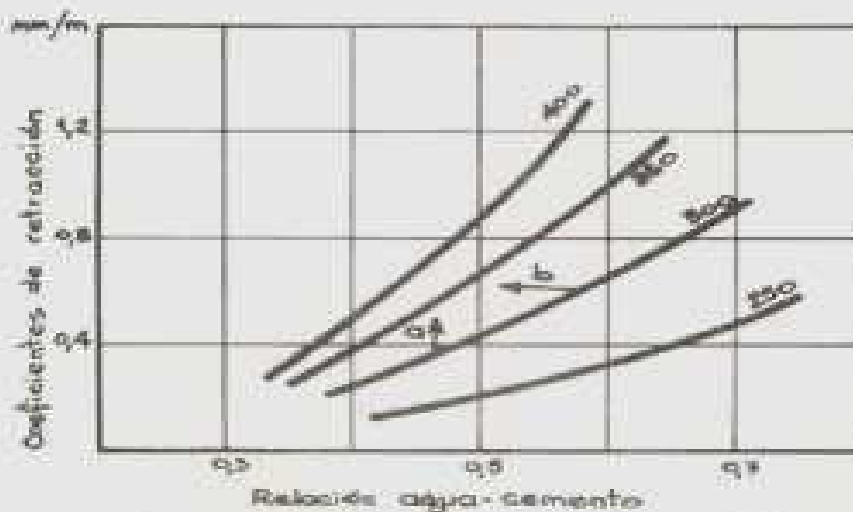


FIG. 4 - Influencia de la relación a/c y del tenor en cemento, sobre el coeficiente de retracción según D.F. Orchard (ver bibliografía). Las flechas indican las direcciones efectuadas en los ejemplos a y b (280 a 400 kg de cemento/m<sup>3</sup>).