

Estudio comparativo de la relación existente entre resistencia media y concentración en hormigones fabricados con portland y portland con adiciones activas

ANTONIO GARRIDO HERNANDEZ

Director del Laboratorio del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Murcia

RESUMEN

Este trabajo pretende mostrar las diferencias encontradas entre la resistencia media a 28 días obtenidas en laboratorio y la prevista cuando la relación C/A había sido calculada con la fórmula general de De la Peña. Esta diferencia se considera suficiente como para justificar la modificación del contenido de la fórmula, aunque no de su estructura. Se sugiere que la diferencia pueda deberse a la utilización de cemento PA, cuando la fórmula tenga su origen en la experimentación con cemento portland puro. Si ello es así, el tema quedaría reducido a una generalización de la fórmula a otro tipo de cemento.

SUMMARY

This study attempts to show the differences found between average resistance, after 28 days, obtained in the laboratory and that predicted when the C/A relationship has been calculated using the general De la Peña formula. This difference is considered to be sufficient to justify modifying the content of the formula, though not that of its structure. It is suggested that the difference may be due to the use of PA cement, when the formula originates from the tests with pure portland cement. If this is the case, it would simply be a question of generalizing the formula to another type of cement.

JUSTIFICACION

En un trabajo de confección de tablas para dosificar con cemento PA realizado en el laboratorio del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Murcia se observó que las resistencias medias obtenidas a los 28 días no alcanzaban las previstas cuando la relación C/A había sido calculada con la fórmula general de De la Peña. Estas diferencias superaban lo que podrían considerarse desviaciones no previsibles propias de, por ejemplo, el cambio de la categoría real del cemento, sino que afectaban de modo más profundo al contenido de la mencionada fórmula. Para comprobarlo se analizó, primero la estructura de la fórmula, para, después proceder a su reconstrucción con los datos empíricos en nuestro poder.

ANALISIS DE LA FORMULA DE DE LA PEÑA

Es conocido, empíricamente, que la resistencia media de un hormigón es proporcional a la concentración o relación C/A del mismo. Una fórmula que expresa esta relación es la muy conocida de De la Peña (1):

$$C/A = R_m \cdot K + 0.5$$

siendo:

C/A = Relación cemento-agua en peso.

R_m = Resistencia media del hormigón en kp/cm^2 .

K = Un coeficiente que depende del tipo de árido y la categoría nominal del cemento.

Esta fórmula presenta la forma general algebraica siguiente: $Y = aX + b$ que es la de una recta de origen $(0, b)$ y pendiente a . Por tanto la fórmula de De la Peña representa la ecuación de una recta que relaciona la variable dependiente (C/A) y la variable independiente (R_m) .

La pendiente de esta recta viene dada por el coeficiente K que, como queda dicho, es función del tipo de árido y la categoría del cemento.

De la Peña presenta el siguiente cuadro para los distintos valores de K (2):

CUADRO 1
Valores de K

Conglomerante	Aridos rodados	Aridos machacados
Categoría 250	0.0072	0.0046
Categoría 350	0.0054	0.0035
Categoría 450	0.0045	0.0030
Categoría 550	0.0038	0.0026

Como consecuencia la pendiente de la recta presenta distintos valores para hormigones, que elaborados con un mismo tipo de árido (rodado o machacado), se dosifiquen con distintas categorías de cemento portland. (Figura 1).

La relación entre los valores de K (pendiente de la ecuación general) y la categoría del cemento la proporcionan las siguientes ecuaciones (3).

$$K = 0,4 \cdot r + 40 \text{ (árido rodado)}$$

$$K = 0,6 \cdot r + 60 \text{ (árido machacado)}$$

Estas ecuaciones son del mismo tipo que la ecuación general. Tanto una como la otra expresan, no relaciones lógicas, sino empíricas y son, por tanto rectas de regresión de una variable sobre otra. De este modo las relaciones entre:

- La concentración C/A y resistencia media.
- La pendiente de la recta y la categoría del cemento se determinan mediante la elaboración de hormigones de referencia y variantes que midan la influencia de las variables.

GENERALIZACION DE LA ECUACION GENERAL DE DE LA PEÑA

Realizado el análisis de la ecuación de De la Peña del que se deduce su carácter de recta de

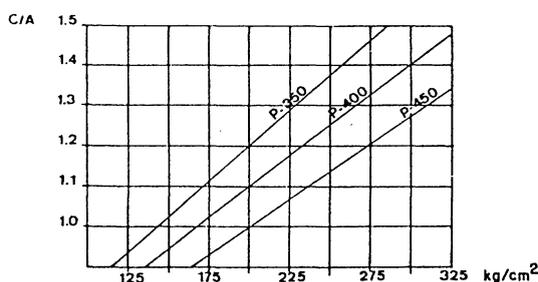


Fig. 1.—Rectas que representan la relación entre C/A y R_m para distintas categorías del mismo tipo de cemento.

regresión de la relación C/A sobre la resistencia media se puede plantear su reconstrucción desde supuestos distintos si fuera necesario.

Las variables consideradas relevantes por De la Peña son:

- Categoría del cemento.
- Tipo de árido.

Pero todo ello en el marco general del cemento portland puro. Dado que el cemento habitualmente utilizado en la actualidad es PA-350, creemos que se puede intentar reconstruir la ecuación general con los datos de los trabajos realizados en el laboratorio del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Murcia. Con ello se comprobaría si la ecuación se modifica y en qué cuantía lo haría con el nuevo tipo de cemento.

En estos trabajos la fórmula de partida fue la general de De la Peña en su aplicación para árido machacado y categoría nominal del cemento 350.

$$C/A = R_m \cdot 0,0035 + 0,5$$

Como se elaboraron hormigones tipo H-150 y H-175 y dos condiciones de ejecución previsibles resultan cuatro valores de resistencia media esperada.

$$\begin{array}{ll} H-150 \text{ y } V = 0,10 & R_m = 189 \text{ kp/cm}^2 \\ H-175 \text{ y } V = 0,10 & R_m = 219 \text{ kp/cm}^2 \end{array} \qquad \begin{array}{ll} H-150 \text{ y } V = 0,20 & R_m = 243 \text{ kp/cm}^2 \\ H-175 \text{ y } V = 0,20 & R_m = 280 \text{ kp/cm}^2 \end{array}$$

CUADRO 2

Relación C/A	Designación hormigón	Agua l/m ³	Cemento kg/m ³	Resistencia S/UNE 7240 y UNE 7242 kp/cm ²	Resistencia media (1) kp/cm ²	Resistencia prevista (2) kp/cm ²	Relación (2)/(1)
1,16	150/P/40-0,10	184	213	163	162	189	1,166
	150/B/40-0,10	198	230	166			
	150/P/20-0,10	203	235	157			
	150/B/20-0,10	211	244	162			
1,27	175/P/40-0,10	184	233	174	189	219	1,158
	175/B/40-0,10	186	236	193			
	175/B/40-0,10	209	266	196			
	175/B/20-0,10	220	269	194			
1,35	150/P/40-0,20	178	240	222	217	243	1,119
	150/P/20-0,20	197	266	230			
	150/B/40-0,20	198	268	217			
	150/B/20-0,20	211	285	222			
1,48	175/P/40-0,20	178	264	251	258	280	1,096
	175/B/40-0,20	192	284	260			
	175/P/20-0,20	197	291	278			
	175/B/20-0,20	204	302	243			

Como se puede observar en ninguno de los casos de relación C/A se ha alcanzado la resistencia media prevista. Cada valor de resistencia del cuadro corresponde a la media de dos parejas de probetas provenientes de dos amasadas distintas de cada designación de hormigón. La edad del ensayo fue de 28 días.

Las bajas de resistencia respecto de la prevista disminuyen cuando aumenta la relación C/A . Se mueven entre el 9,6 % y el 16,6 %, si a ello se añade que la categoría real del cemento empleado es 390 kp/cm² (11 % superior a la nominal), el error en la predicción de la resistencia en un ensayo previo puede llegar al 28 % desde el 21 %. Esta diferencia es excesiva para dejarla sin explicación. Dado que la única diferencia entre el trabajo realizado y los supuestos de la fórmula general es el empleo de cemento PA en vez de portland puro, cabe atribuir, en principio a este factor las diferencias observadas. Si esto es así, debe existir otra relación entre la resistencia media y la relación C/A . Procedemos a buscarla.

Recta de regresión: (Figura 2)

Parámetros:

$$C/A = 1,315$$

$$f_{cm} = 206 \text{ kp/cm}^2$$

$$B = 0,00328$$

$$C/A = 0,0033 \cdot R_m + 0,64$$

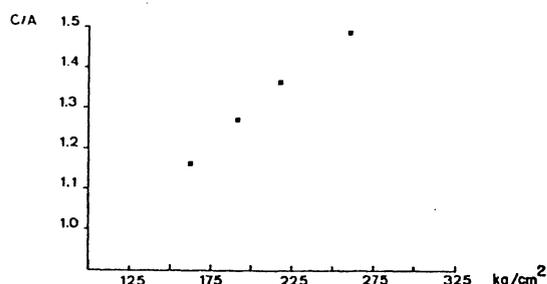


Fig. 2.—Diagrama de dispersión de las parejas (R_m , C/A).

Siendo el coeficiente de correlación $R_0 = 0,998$.

La ecuación encontrada:

$$C/A = 0,0033 \cdot R_m + 0,64$$

lo es para el cemento PA-350. Si como es razonable esperar, cuando cambie la categoría dentro del mismo tipo de cemento el valor 0,0035 será sustituido por otro. Con precisión, este valor, sería el propio de la categoría del cemento empleado (390 kp/cm²). Para completar, por tanto, el panorama con los cementos PA es preciso realizar ensayos que proporcionen los valores de la pendiente de la ecuación encontrada en su forma más general:

$$C/A = K \cdot R_m + 0,64$$

Se sugiere que para hacer más operativa la fórmula se encuentre la dispersión posible para el valor de K correspondiente a una misma categoría nominal del cemento.

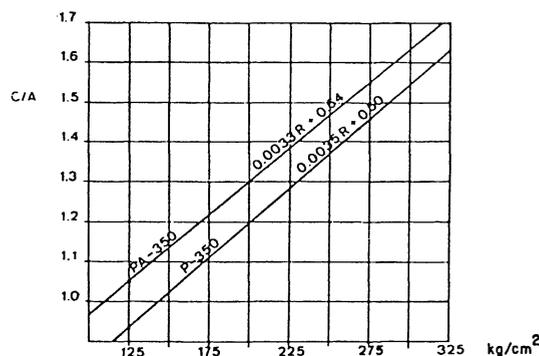
Por otra parte, vista la experiencia con el cemento PA, queda pendiente resolver el valor que tomaría el término independiente de la ecuación con otro tipo de cemento. Con lo visto se puede sugerir que la ecuación de De la Peña es un caso particular de una más general que tomaría la forma:

$$C/A = K \cdot R_m + J$$

En la que K depende del tipo de árido y la categoría real del cemento empleado y J depende del tipo de cemento utilizado.

Por último mostramos en el gráfico de la figura 3 la diferencia entre la, que llamaremos ecuación del cemento P-350 y la del cemento PA-350.

Fig. 3.—Representación gráfica de la ecuación que relaciona C/A con R_m para el cemento PA-350 y P-350.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) JIMENEZ MONTOYA, P.; GARCIA MESEGUER, A. y MORAN CABRE, F.: 1981. *Hormigón Armado*. Edición 11.ª Madrid.
- (2) ARREDONDO, F.: 1977. *Dosificación de Hormigones*. 5.ª Edición. Madrid.
- (3) A.E.C.C.: *Técnicos de control de obras de hormigón*.

NOTA:

El autor es consciente de que la conclusión que se deriva de su trabajo es particular para un tipo de cemento determinado y que se requeriría una campaña de ensayos más amplia que permitiera generalizar o no, a todos los PAs, lo que apunta el cemento utilizado en este trabajo. El presentar los resultados obtenidos tiene por finalidad explícita el invitar, a aquellos que pudiesen estar interesados en el problema planteado, a que contribuyan a su resolución.

* * *

publicacion del i.e.t.c.c.



Manuel Fernández Cánovas Dr. Ingeniero de Construcción

Este libro, el primero en lengua castellana sobre **resinas epoxi** aplicadas a la construcción, está dirigido a arquitectos, ingenieros, constructores y aplicadores. En él, sobre una reducida base teórica imprescindible, se asienta toda una extensa gama de aplicaciones de gran interés.

El autor trabaja desde hace muchos años en el campo de la investigación, especialmente en el estudio de refuerzos y reparaciones estructurales realizados con **resinas epoxi**.

Con un lenguaje sencillo se tocan todos los problemas que pueden presentarse en la construcción y en los que la solución puede radicar en el correcto empleo de las **resinas epoxi**.

Se estudian los componentes de las formulaciones **epoxi**, sus propiedades físicas y químicas, y aplicaciones, deteniéndose, detalladamente, en las siguientes:

Unión de hormigón fresco a hormigón endurecido.—Unión de hormigones entre sí.—Inyecciones de fisuras y grietas.—Unión de acero a hormigón.—Barnices y pinturas.—Las combinaciones breas-epoxi.—Revestimientos de depósitos alimenticios.—Sellado de superficies cerámicas.—Protección de tubos.—Los suelos epoxi en sus diferentes variantes.—Terrazo epoxi.—Reparación de baches.—Reparación de desperfectos en estructuras.—Reparación de carreteras de hormigón.—Juntas elásticas.—Guardacantos de tableros de puentes.—Refuerzos de pilares, vigas, forjados y zapatas, etc.—Consolidación de suelos.—Anclajes.—Protección de aceros en pretensado.

Se termina con unos capítulos dedicados a la limpieza y preparación de las superficies según los materiales a unir; al control del estado superficial de éstos; a las condiciones de temperatura de aplicación; limpieza de los útiles de trabajo; precauciones en el manejo de los sistemas; almacenaje, mezcla y manejo de las formulaciones epoxi y métodos de ensayo de sistemas y aplicaciones epoxidicas.

Un volumen encuadernado en cartón plastificado con lomo de tela, de 17 x 24 cm, compuesto de 334 páginas y 158 figuras y fotografías.

Madrid, 1981.

Precios: España, 1.700 ptas.; extranjero, \$ USA 34.00.