Materiales de Construcción Vol. 16, nº 122
Abril, mayo, junio de 1966

680 - 38

consideraciones sobre los contenidos nominal y real de materiales hidráulicamente activos en los conglomerados

J. CALLEJA, Dr. en Ciencias Químicas

resumen

Gran parte de las deficiencias y fallos de los conglomerados, además de las inherentes a defectos de ejecución no considerados en este trabajo, se deben, bien sea a dosificaciones bajas de conglomerante, o a empleo de conglomerantes inadecuados por su baja calidad.

Por conglomerantes inadecuados se entiende aquí, no los que se ajustan por los valores de sus resistencias a la categoría más baja del P.C.C.H. 64, puesto que con los requisitos a ella exigidos ya cumplen, sino los obtenidos por "dilución" de clínkeres de buena o excelente calidad con materiales "inertes".

Es mucho más nocivo y peligroso, desde el punto de vista de la calidad del conglomerado en todos los órdenes, emplear uno de estos conglomerantes "inadecuados" que utilizar una dosificación "real" menor que la "nominal", en condiciones comparables. Cuando se dan simultáneamente ambas circunstancias, los efectos perjudiciales pueden ser muy considerables.

1 generalidades

Son bien conocidas las influencias que en los más diversos aspectos, aparte del relativo a las resistencias mecánicas como más tenido en cuenta en general, ejerce en los hormigones el contenido de cemento de los mismos, es decir, su "dosificación". Entre tales aspectos merecen mención especial la estabilidad de volumen —en lo tocante a retracción causante de posibles fisuraciones— y la compacidad —como índice de resistencia frente a eventuales ataques químicos—. Algunos de estos aspectos se ven favorecidos, al menos en cierta medida, por dosificaciones elevadas, mientras que para otros son más propicias las dosificaciones normales o más bien algo bajas. En todo caso, y según las circunstancias, deberá aceptarse un compromiso entre los factores afectados favorable y desfavorablemente por las dosificaciones altas.

En vista de cuanto ha sido expuesto en otra ocasión y lugar, con motivo de unas observaciones acerca de la dosificación de cemento en morteros y hormigones fraguados, y par-

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

ticularmente por lo que atañe a los métodos para determinarla (1), hay que distinguir entre dosificación *nominal* y dosificación *real,* así como entre material "conglomerante" y "cemento". La dosificación, ya se trate de la nominal o de la real, puede referirse, bien sea al material "conglomerante", o bien al "cemento". Y para usar correctamente de estos conceptos, sin lugar a posibles equívocos, nada mejor que definirlos con precisión.

1. 1 definiciones

Se entiende a todos los efectos por dosificación *nominal* la que figura en el proyecto de una obra, es decir, la que el proyectista exige o, dicho de otro modo, la que el constructor emplea, dice que emplea o debe de emplear en dicha obra.

Se entiende por dosificación *real* la que efectivamente ha sido empleada de hecho, o la que se determina y encuentra por métodos analíticos, cuando éstos son aplicables con el máximo de garantías y el mínimo de error.

Se entiende por "conglomerante" *C* el material que, contenido en bolsas procedentes de fábrica o de almacén, o de silos o "containers" cuando es suministrado a granel, se añade al hormigón convencionalmente en concepto de material causante de la trabazón de éste, es decir, de su fraguado y endurecimiento.

Se entiende por "cemento" *c* el material hidráulico auténticamente cementante contenido en el conglomerante y que, en el caso ideal, debe constituir el 100 % de éste. Si se trata de cementos portland, "conglomerante" y "cemento", en dicho caso ideal, son una misma cosa, esto es, una mezcla de clínker y yeso en proporciones adecuadas; si se trata de cementos siderúrgicos o puzolánicos "conglomerantes" y "cementos" son también una misma cosa, pero en este caso están constituidos por una mezcla de clínker, escoria y yeso, o clínker, puzolana y yeso, en las proporciones adecuadas, respectivamente. Las escorias y las puzolanas son adiciones hidráulicamente activas en diversa forma y medida.

Si las adiciones son *hidráulicamente inactivas* o *inertes,* "conglomerante" y "cemento" no son una misma cosa, sino que el primero es una mezcla del segundo y un "diluyente", en diversa proporción.

1. 2 posibles defectos de los conglomerados

Aparte de las deficiencias inherentes al proyecto y/o a la ejecución, cuyo comentario no es de este lugar, los defectos de los conglomerados —morteros y hormigones—, debidos exclusivamente a la dosificación de "conglomerante" o de "cemento", puede obedecer fundamentalmente a tres razones:

a) la dosificación *real* de "cemento" es *menor* que la nominal;

b) la dosificación *real* de "conglomerante" es *igual* a la dosificación *nominal* del mismo, pero el "conglomerante" no es exclusivamente "cemento", sino que contiene, además de éste, una cierta proporción de adiciones diluyentes *inertes;*

c) la dosificación *real* de "conglomerante" es *menor* que la dosificación *nominal* del mismo, y además éste no consta exclusivamente de "cemento", sino que contiene también una cierta proporción de adiciones diluyentes *inertes.*

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc) http://materconstrucc.revistas.csic.es

2 discusión en torno a los citados posibles defectos de los conglomerados

De los tres casos a), b) y c) expuestos, evidentemente el c), que puede considerarse como suma de los a) y b), es por ello el más grave. Entre los casos a) y b) hay una cierta diferencia y en lo que sigue se trata de probar que la alternativa b), a igualdad de todo lo demás, por poco inmediato que ello pueda parecer, es bastante más perjudicial, en cuanto a la calidad y características de los conglomerados, que la alternativa a).

En efecto, si se designa por C el "conglomerante", por c el "cemento" o material auténticamente cementante contenido en él, por A el árido del conglomerado, de acuerdo con la dosificación total del mismo, y por a el material no hidráulicamente activo —inerte— eventualmente presente en el "conglomerante", se tiene que:

$$C = c + a \qquad \text{y que} \qquad I = A + a,$$

siendo I el contenido total de inertes del conglomerado, tanto por uno como por otro concepto. Cabe distinguir los siguientes casos:

1) La dosificación *real* coincide con la *nominal* y todo el "conglomerante" es hidráulicamente activo, es decir, "cemento" ($a = 0$). Entonces la relación entre "conglomerante" e inertes es igual a la relación entre material auténticamente cementante ("cemento") e inertes, en el conglomerado:

$$\frac{C}{I} = \frac{c}{I} \qquad \text{ó} \qquad \frac{C}{A} = \frac{c}{A} \qquad [I]$$

En este caso la cantidad de conglomerado está determinada, en primera aproximación, por la suma:

$$A + C = A + c, \text{ puesto que } a = 0 \text{ y } C = c$$

2) La dosificación *real* es menor que la *nominal* —por ejemplo el 85 % de ésta— y todo el "conglomerante" es hidráulicamente activo, es decir, "cemento" ($a = 0$). Entonces la relación entre "conglomerante" e inertes es igual a la relación entre material auténticamente cementante ("cemento") e inertes, en el conglomerado. Pero en este caso las relaciones tienen como valor el 85 % del valor de las anteriores:

$$\frac{0{,}85\ C}{I} = \frac{0{,}85\ c}{I} \qquad \text{ó} \qquad \frac{0{,}85\ C}{A} = \frac{0{,}85\ c}{A} \qquad [II]$$

En este caso la cantidad de conglomerado está determinada, en primera aproximación, por la suma:

$$A + 0{,}85\ C = A + 0{,}85\ c, \text{ puesto que } a = 0 \text{ y } C = c$$

Esta suma es menor que la correspondiente del caso 1), es decir, el "rendimiento" del conglomerado es menor en el caso 2) [II] que en el caso 1) [I].

3) Si se quisiera obtener el mismo "rendimiento" en el caso 2) que en el caso 1) habría que igualar las cantidades de conglomerado, añadiendo en el caso 2) la cantidad correspondiente de árido, que sería 0,15 C, para que:

$$A + C = A + 0{,}85\ C + 0{,}15\ C$$

o bien:

$$A + c = A + 0{,}85\ c + 0{,}15\ c$$

$$(a = 0;\ C = c),$$

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

con lo que, a igualdad de "rendimiento", la relación entre "conglomerante" e inertes, igual a la relación entre material auténticamente cementante ("cemento") e inertes en el conglomerado sería:

$$\frac{0{,}85\ C}{I} = \frac{0{,}85\ c}{I} \quad \text{ó} \quad \frac{0{,}85\ C}{A + 0{,}15\ C} = \frac{0{,}85\ c}{A + 0{,}15\ c} \qquad [III]$$

Las expresiones [I], [II] y [III] de los casos 1) y 2) cubren la alternativa a) del punto 1.2 y sus relaciones se ordenan así:

$$[III] < [II] < [I]$$

4) Si la dosificación *real* coincide con la *nominal*, pero el "conglomerante" tiene una parte de material hidráulicamente activo ("cemento") —por ejemplo, el 85 %— y el resto de material no hidráulico (inerte) —en tal caso el 15 %—, la relación entre "conglomerante" e inertes no es igual a la relación entre material auténticamente cementante ("cemento") e inertes, en el conglomerado. La primera sería:

$$\frac{C}{A} = \frac{c + a}{A} = \frac{0{,}85\ C + 0{,}15\ C}{A}, \text{ puesto que } C = c + a$$

La segunda sería:

$$\frac{c}{I} = \frac{0{,}85\ C}{A + 0{,}15\ C} \quad [IV], \text{ puesto que } I = A + 0{,}15\ C$$

En este caso —análogo al 2) [III]— no varía el "rendimiento" del conglomerado con relación al caso 1) [I], puesto que la cantidad de conglomerado está determinada por la suma:

$$0{,}85\ C + A + 0{,}15\ C = A + C$$

La expresión [IV] del caso 4) cubre la alternativa b) del punto 1.2, y las relaciones establecidas hasta el momento se ordenan así en función de sus valores:

$$[IV] = [III] < [II] < [I],$$

con lo que, si no hay compensación en el caso 2) [II]:

$$[IV] < [II] < [I]$$

La alternativa b) de 1.2 es tanto más perjudicial en sí misma, y en comparación con la a), cuanto mayor sea la cantidad de diluyentes inertes que contenga el "conglomerante", y menor, por lo tanto, su contenido de "cemento" —material hidráulicamente activo—, *aún a igualdad de resistencia mecánica* de los conglomerados. En efecto, la relación entre "cemento" e inertes en el "conglomerante" depende de la calidad del clínker utilizado para obtener dicho "cemento" o "conglomerante", cuando lo que se hace es diluir con tales inertes, para obtener materiales de una resistencia dada, un producto —el clínker— que, sin dilución alguna, proporcionaría un "cemento" de resistencias mucho más elevadas. Esta dependencia se establece en el sentido de que, cuanto mejor es la calidad del clínker, desde el punto de vista de la resistencia, mayor es la cantidad de inertes con que hay que "diluirlo" para obtener un "conglomerante" de una resistencia intermedia o baja determinada. Cuantitativamente puede razonarse el hecho como sigue.

5) Sean los clínkeres K_1 y K_2, de características tales que, para obtener con ellos "conglomerantes" de resistencias análogas a las de un cemento P-250, por ejemplo —según el Pliego P.C.C.H. 64—, sea preciso añadirles inertes en proporciones de 15 y de 25 %, respectivamente. Esto quiere decir que, a efectos de resistencia, el clínker K_2 es superior al K_1. El "conglome-

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc) http://materconstrucc.revistas.csic.es

rante" obtenido del clínker K_1 tendrá 85 % de material auténticamente cementante y 15 % de inertes, y el obtenido del clínker K_2 tendrá 75 y 25 %, respectivamente. Según los razonamientos anteriores, si la dosificación *real* coincide con la *nominal,* como en los casos 1) y 4), las relaciones entre "conglomerante" e inertes, distintas a las relaciones entre material auténticamente cementante ("cemento") e inertes, serían para los hormigones, en cada caso las siguientes:

Relación "conglomerante"/inertes:

$$\text{Caso } K_1: \frac{C}{A} = \frac{c + a}{A} = \frac{0{,}85\ C + 0{,}15\ C}{A}$$

pues $C = c + a$

$$\text{Caso } K_2: \frac{C}{A} = \frac{c + a}{A} = \frac{0{,}75\ C + 0{,}25\ C}{A}$$

Relación "cemento"/inertes:

$$\text{Caso } K_1: \frac{c}{I} = \frac{0{,}85\ C}{A + 0{,}15\ C} \quad [\text{IV}], \quad \text{pues } I = A + 0{,}15\ C$$

$$\text{Caso } K_2: \frac{c}{I} = \frac{0{,}75\ C}{A + 0{,}25\ C} \quad [\text{V}], \quad \text{pues } I = A + 0{,}25\ C$$

Es evidente que [V] < [IV]. El "rendimiento" del hormigón sería igual para los casos [IV] y [V] de 5) que para el caso [I] de 1).

Se tiene finalmente que:

$$[\text{V}] < [\text{IV}] = [\text{III}] < [\text{II}] < [\text{I}],$$

con lo cual se ve, en efecto, que la relación [V] es la más baja y peor situada, y que en tanto mayor medida sucedería esto, cuanto mejor fuese la calidad —a efectos de las resistencias mecánicas— del clínker de partida, a igualdad de las demás circunstancias.

La alternativa c) de 1.2, más perjudicial aún que la alternativa b), en cuanto a calidad y características de los conglomerados, puede considerarse como la suma de la a) y de la b), y puede darse aún con cierta probabilidad. En lo que sigue se trata de probarlo, haciendo uso de análogo método al utilizarlo en lo que antecede.

6) Si la dosificación *real* es menor que la *nominal* —por ejemplo el 85 % de ésta— y el "conglomerante" tiene una parte de material hidráulicamente activo ("cemento") —por ejemplo, el 85 %— y el resto de material no hidráulico (inerte) —en tal caso el 15 %; caso del clínker K_1— la relación entre "conglomerante" e inertes no es igual a la relación entre material auténticamente cementante ("cemento") e inertes, en el conglomerado. La primera sería:

$$\frac{0{,}85\ C}{A} = \frac{0{,}85\ (c + a)}{A} = \frac{0{,}85\ (0{,}85\ C + 0{,}15\ C)}{A} = \frac{0{,}7225\ C + 0{,}1275\ C}{A}$$

La segunda sería:

$$\frac{0{,}7225\ C}{I} = \frac{0{,}7225\ C}{A + 0{,}1275\ C} \quad [\text{VI}], \quad \text{puesto que } I = A + 0{,}1275\ C$$

Es inmediato que el valor de la relación [VI] es menor que el de la relación [IV] o el de [III]. En cuanto a la comparación de las relaciones [VI] y [V], de ella resultan las siguientes posibilidades:

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

$$\frac{0{,}7225\ C}{A + 0{,}1275\ C} \gtrless \frac{0{,}75\ C}{A + 0{,}25\ C}$$

es decir:

$$0{,}7225\ C\ (A + 0{,}25\ C) \gtrless 0{,}75\ C\ (A + 0{,}1275\ C);$$

esto es:

$$0{,}0850\ C \gtrless 0{,}0275\ A$$

o sea:

$$3{,}09 \gtrless \frac{A}{C}$$

Como quiera que normalmente en un hormigón 1 : 2 : 4 dosificado en volumen, con 200-250 kg de cemento por m³ de hormigón y áridos normales, la relación A/C suele ser, en promedio, del orden de 8, quiere decirse que de las tres alternativas anteriores la que se da en la realidad es la tercera, es decir:

$$3{,}09 < \frac{A}{C},$$

con lo que [VI] < [V]. Esto es, las anteriores relaciones se sitúan así:

$$[VI] < [V] < [IV] = [III] < [II] < [I]$$

En el caso [VI] la cantidad de conglomerado está determinada por la suma:

$$0{,}7225\ C + A + 0{,}1275\ C = A + 0{,}85\ C,$$

es decir, el "rendimiento" es el mismo que en el caso 2) [II] y menor que en el caso 1) [I].

7) Si se quisiera obtener el mismo "rendimiento" que en dicho caso, habría que añadir la cantidad correspondiente de árido, que sería 0,15 C, con lo que, a igualdad de "rendimiento", la relación entre "conglomerante" e inertes sería también distinta de la relación entre material auténticamente cementante e inertes, en el conglomerado. La primera sería:

$$\frac{0{,}85\ C}{I} = \frac{0{,}85\ C}{A + 0{,}15\ C}$$

caso análogo a los 2) [III] y 3) [IV]. La segunda sería:

$$\frac{0{,}7225\ C}{I} = \frac{0{,}7225\ C}{A + 0{,}1275\ C + 0{,}15\ C} = \frac{0{,}7225\ C}{A + 0{,}2775\ C} \qquad [VII]$$

El valor de la relación [VII] es aún menor que el de la relación [VI], con lo que se tendría la siguiente secuencia de valores de todas las relaciones establecidas hasta el momento:

$$[VII] < [VI] < [V] < [IV] = [III] < [II] < [I]$$

8) Si la simultaneidad de las alternativas a) y b) se diese con un "conglomerante" obtenido de un clínker de las características del K_2 anterior, en lugar de un clínker K_1, al que corresponden los casos 5) y 6) acabados de exponer, las relaciones "conglomerante"/inertes y "cemento"/inertes no serían iguales, y la segunda sería aún menor que la relación [V] de 5). En efecto, la relación "conglomerante"/inertes sería:

$$\frac{0{,}85\ C}{A} = \frac{0{,}85\ (c + a)}{A} = \frac{0{,}85\ (0{,}75\ C + 0{,}15\ C)}{A} = \frac{0{,}6375\ C + 0{,}2125\ C}{A},$$

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

y la relación "cemento"/inertes sería:

$$\frac{0{,}6375\ C}{I} = \frac{0{,}6375\ C}{A + 0{,}2125\ C} \quad [\text{VIII}], \quad \text{puesto que } I = A + 0{,}2125\ C$$

Es inmediato que el valor de la relación [V II] es menor que el de la relación [VI]. En cuanto a la comparación de las relaciones [VII] y [VIII] resultan las siguientes posibilidades:

$$\frac{0{,}7225\ C}{A + 0{,}2775\ C} \gtreqless \frac{0{,}6375\ C}{A + 0{,}2125\ C},$$

es decir:

$$0{,}7225\ C\ (A + 0{,}2125\ C) \gtreqless 0{,}6375\ C\ (A + 0{,}2775\ C);$$

esto es:

$$0{,}085\ A \gtreqless 0{,}023\ C$$

o sea:

$$\frac{A}{C} \gtreqless 0{,}27,$$

y como, dado lo indicado anteriormente acerca de los hormigones normales 1 : 2 : 4, A/C suele ser en promedio del orden de 8, de las tres alternativas se da en la realidad la primera, es decir:

$$\frac{A}{C} > 0{,}27,$$

con lo que [VII] > [VIII], o bien [VIII] < [VII]. Esto es, las anteriores relaciones se sitúan así:

$$[\text{VIII}] < [\text{VII}] < [\text{VI}] < [\text{V}] < [\text{IV}] = [\text{III}] < [\text{II}] < [\text{I}]$$

En el caso [VIII] la cantidad de conglomerado está determinada por la suma:

$$0{,}6375\ C + A + 0{,}2125\ C = A + 0{,}85\ C,$$

es decir, el "rendimiento" es el mismo que en el caso 2) [II] y menor que en el caso 1) [I].

Si se quisiera obtener el mismo "rendimiento" que en dicho caso, habría que añadir la cantidad correspondiente de árido, que sería 0,15 C, con lo que, a igualdad de "rendimiento", la relación entre "conglomerante" e inertes sería también distinta de la relación entre material auténticamente cementante e inertes en el conglomerado. La primera de dichas relaciones sería:

$$\frac{0{,}85\ C}{I} = \frac{0{,}85\ C}{A + 0{,}15\ C},$$

caso análogo a los 2) [III], 3) [IV] y 6) [VI]. La segunda sería:

$$\frac{0{,}6375\ C}{I} = \frac{0{,}6375\ C}{A + 0{,}2125\ C + 0{,}15\ C} = \frac{0{,}6375\ C}{A + 0{,}3625\ C} \qquad [\text{IX}]$$

El valor de la relación [IX] es aún menor que el de la relación [VII] y que el de la relación [VIII], con lo cual la secuencia de valores de todas las relaciones obtenidas es la siguiente:

$$[\text{IX}] < [\text{VIII}] < [\text{VII}] < [\text{VI}] < [\text{V}] < [\text{IV}] = [\text{III}] < [\text{II}] < [\text{I}],$$

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

con lo que queda probado lo que se quería demostrar, a saber: que la alternativa c), como suma de las a) y b) —dosificación real *menor* que la nominal y "conglomerado" diluido con *inertes*— es más perniciosa que las a) y b) por separado; y, sobre todo, que la alternativa b) —"conglomerante" diluido con *inertes*— es más perniciosa que la a) —dosificación real *menor* que la nominal— aun cuando ambas alternativas, para determinados casos, pudieran parecer a primera vista equivalentes en cuanto a sus efectos.

3 interpretación

Las anteriores consideraciones y cálculos, cuyo resumen se da en el cuadro 1, tienen un sentido físico, así como una repercusión real en la práctica, fáciles de interpretar. Esta interpretación es tan inmediata en el caso de las dosificaciones "reales" menores que las "nominales", que no requiere especial comentario. Sí conviene hacerlo, en cambio, en el caso de los "conglomerantes" con diluyentes *inertes*.

Es evidente que si se aplica a un conglomerado una relación "nominal" agua/"conglomerante" dada, y el "conglomerante" es mezcla de "cemento" (portland) y adiciones, la relación "efectiva" agua/"cemento", que en definitiva es la que interesa, resulta *mayor*, con todos sus inconvenientes. En el caso de conglomerantes de tipo siderúrgico o de tipo puzolánico, estos inconvenientes iniciales, en su totalidad o en su mayor parte quedan ampliamente neutralizados, ya que, dado el carácter hidráulico potencial de las escorias y de las puzolanas, el exceso de agua correspondiente a la mayor relación agua/"cemento" queda enjugado y fijado, al menos en gran parte, por las reacciones de formación de los compuestos hidráulicos a que dan lugar tales adiciones. Por ello estos conglomerantes pueden proporcionar conglomerados de buena plasticidad en fresco, y bien colmatados y compactos, una vez fraguados y endurecidos; con las ventajas consecutivas de una buena estabilidad de volumen, una buena durabilidad y buenas resistencias a plazos medianos y largos.

En el caso de "conglomerantes" cuyas adiciones sean *inertes*, tales compensaciones y ventajas no existen. En primer lugar, el agua de amasado excedente no se enjuga y queda como tal, dando lugar a conglomerados porosos y poco compactos, y de bajas resistencias; con los inconvenientes adicionales de ser posiblemente más retractivos y fisurables, y ciertamente más débiles frente a eventuales agresivos químicos. Por otra parte, la interposición entre las partículas de "cemento", de otras partículas de materias *inertes* molidas a la misma finura que aquél, dificultan el normal desarrollo de las fases cristalinas hidratadas y de los geles, así como la continuidad y la trabazón entre ellos. Esto perjudica considerablemente a la adherencia entre la pasta cementante y los áridos o las armaduras del hormigón, lo que contribuye a su vez a afectar desfavorablemente a las resistencias, a la estabilidad de volumen y a la durabilidad.

Cuando a la presencia de inertes en el "conglomerante" se une una dosificación "real" menor que la "nominal", los efectos citados se agravan, y aún más, en cualquier caso, si para obtener el mismo "rendimiento" en conglomerado se incrementa la cantidad de áridos.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc) http://materconstrucc.revistas.csic.es

Lo expuesto no es mera teoría, por cuanto que ha sido inspirado por casos reales de los que es consecuencia y hay constancia, y en los que ha podido apreciarse toda una gama de calidades en los conglomerados, desde las casi normales, hasta las ínfimas, que han hecho peligrar las estructuras o incluso han producido el colapso de las mismas, con los perjuicios y daños de todo orden que cabe suponer.

4. conclusiones

1.ª La calidad de los conglomerados hidráulicos, determinada por las características de todo orden relativas a los mismos, depende fundamentalmente —a igualdad de otros factores— de la cantidad y calidad de los conglomerantes con que estén confeccionados. La dependencia de la cantidad —"dosificación"— es inmediata y evidente. La dependencia de la calidad, también, en principio; sin embargo, presenta esta dependencia aspectos dignos de estudio, como los que se han considerado en este trabajo.

2.ª La calidad de un conglomerado se afecta más desfavorablemente en todos los aspectos por empleo de un "conglomerante" que contiene materiales *inertes*, que por empleo de una dosificación "real" inferior a la "nominal", en condiciones comparables. Cuando ambas circunstancias se dan simultáneamente el efecto perjudicial es, naturalmente, mayor.

3.ª A igualdad de características mecánico-resistentes intrínsecas de dos "conglomerantes" que contienen distintas proporciones de adiciones *inertes*, se comporta peor y es más peligroso en todos los aspectos aquél cuyo contenido de tales adiciones es mayor.

4.ª Como consecuencia de la conclusión anterior, la práctica de obtener "conglomerantes" de unas resistencias dadas, por dilución con materiales inertes de clínkeres que por si darían "cementos" de resistencias bastante mayores, es tanto más peligrosa cuanto mayor es la proporción de la adición inerte, es decir, cuanto mejor es la calidad, en cuanto a resistencias, del clínker utilizado. En otras palabras, el clínker de alta calidad *no es apto* para obtener cementos de categoría intermedia, y menos aún de baja categoría.

5.ª El empleo racional de adiciones activas del tipo de escorias siderúrgicas, cenizas volantes o puzolanas idóneas no supone, en base a lo anteriormente expuesto, obtener cementos *diluidos*, sino conglomerantes de características especiales reconocidos y sancionados por el Pliego español y por las Normas extranjeras.

6.ª En virtud de lo anterior, todo material no hidráulicamente activo de un modo u otro (*inerte*), por el hecho de serlo, *es nocivo* como adición hecha al clínker y contenida en los cementos.

bibliografía

(1) CALLEJA, J.: "Observaciones acerca de la dosificación de cemento en morteros y hormigones fraguados". (Véase 121 de esta revista.)

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

Caso núm.	Dosificación	Expresión	Conglomerante C*	Cemento c	Inertes a	Aridos del hormigón A	Aridos totales
1 a)	real = nominal	[I]	$C = c$	$c = C$	$a = 0$	$A = I$	$I = A$
2 a)	real < nominal	[II]	$C \neq c$	$c = 0{,}85C$	$a = 0$	$A = I$	$I = A$
3 a)	real < nominal	[III]	$C \neq c$	$c = 0{,}85C$	$a = 0$	$A \neq I$	$I = A + 0{,}1$
4 b)	real = nominal	[IV]	$C \neq c$	$c = 0{,}85C$	$a > 0$	$A \neq I$	$I = A + 0{,}1$
5 b)	real = nominal	[V]	$C \neq c$	$c = 0{,}75C$	$a > 0$ *****	$A \neq I$	$I = A + 0{,}2$
6 a) + b)	real < nominal	[VI]	$C \neq c$	$c = 0{,}7225C$	$a > 0$	$A \neq I$	$I = A + 0{,}1$
7 a) + b)	real < nominal	[VII]	$C \neq c$	$c = 0{,}7225C$	$a > 0$	$A \neq I$	$I = A + 0{,}2$
8 a) + b)	real < nominal	[VIII]	$C \neq c$	$c = 0{,}6375C$	$a > 0$ *****	$A \neq I$	$I = A + 0{,}2$
9 a) + b)	real < nominal	[IX]	$C \neq c$	$c = 0{,}6375C$	$a > 0$	$A \neq I$	$I = A + 0{,}3$

* "Conglomerante" mezcla de cemento c e inertes a : $C = c + a$.

** Aridos totales del hormigón I : $I = A + a$.

*** "Rendimiento" del hormigón ρ : $\rho = A + C = I + c$.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

Rendimiento ***	Relaciones R = C/A y r = c/I		
	R = C/A	r = c/I	r ⩽ R
$\rho_1 = A + C$	$R_1 = C/A$	$r_1 = C/A$	$r_1 = R_1$
$\rho_2 = A + 0{,}85C$	$R_2 = 0{,}85C/A$	$r_2 = 0{,}85C/A$	$r_2 = R_2$
$\rho_3 = A + 0{,}85C + 0{,}15C = A + C$ ****	$R_3 = 0{,}85C/A + 0{,}15C$	$r_3 = 0{,}85C/A + 0{,}15C$	$r_3 = R_3$
$\rho_4 = A + 0{,}85C + 0{,}15C = A + C$	$R_4 = 0{,}85C + 0{,}15C/A = C/A$	$r_4 = 0{,}85C/A + 0{,}15C$	$r_4 < R_4$
$\rho_5 = A + 0{,}75C + 0{,}25C = A + C$	$R_5 = 0{,}75C + 0{,}25C/A = C/A$	$r_5 = 0{,}75C/A + 0{,}25C$	$r_5 < R_5$
$= A + 0{,}7225C + 0{,}1275C = A + 0{,}85C$	$R_6 = \dfrac{0{,}7225C + 0{,}1275C}{A} = 0{,}85C/A$	$r_6 = \dfrac{0{,}7225C}{A + 0{,}1275C}$	$r_6 < R_6$
$A + 0{,}7225C + 0{,}1275C + 0{,}15C = A + C$ ****	$R_7 = \dfrac{0{,}7225C + 0{,}1275C}{A + 0{,}15C} = 0{,}85C/A + 0{,}15C$	$r_7 = \dfrac{0{,}7225C}{A + 0{,}2775C}$	$r_7 < R_7$
$= A + 0{,}6375C + 0{,}2125C = A + 0{,}85C$	$R_8 = \dfrac{0{,}6375C + 0{,}2125C}{A} = 0{,}85C/A$	$r_8 = \dfrac{0{,}6375C}{A + 0{,}2125C}$	$r_8 < R_8$
$A + 0{,}6375C + 0{,}2125C + 0{,}15C = A + C$	$R_9 = \dfrac{0{,}6375C + 0{,}2125C}{A + 0{,}15C} = 0{,}85C/A + 0{,}15C$	$r_9 = \dfrac{0{,}6375C}{A + 0{,}3625C}$	$r_9 < R_9$

**** "Rendimiento" igual al del caso 1, corregido por adición de árido.

***** "Conglomerante" más diluido, obtenido de un clínker de mayores resistencias intrínsecas.

$$r_9 < r_8 < r_7 < r_6 < r_5 < r_4 = r_3 < r_2 < r_1$$

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es