

COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

LA PREVENCIÓN DE PROBLEMAS EXPANSIVOS POR REACCIÓN ÁLCALI-SÍLICE: LIMITACIONES DE LAS TÉCNICAS ACTUALES DE ESTUDIO.

Víctor D. Lanza¹, Pilar Alaejos², Miguel A. Bermúdez²

RESUMEN: Existen diferentes técnicas para la detección de áridos con reactividad álcali-sílice. Todas las técnicas de estudio presentan limitaciones, por tanto, un sólo ensayo no es suficiente para la detección de áridos reactivos y es necesario desarrollar una metodología para la identificación de éstos.

Cada país ha creado una metodología propia para la detección de sus áridos, adaptada a las peculiaridades propias de su geología. La estructura general que siguen la mayor parte de las metodologías es la misma: estudio petrográfico como ensayo previo para evaluar la potencial reactividad de los áridos y ensayo acelerado de probetas de mortero y/o ensayo de prismas de hormigón para la clasificación de áridos como reactivos o inocuos.

La metodología española que se describe en la actual EHE-08 presenta esta misma estructura pero muestra varias carencias: El estudio petrográfico es el ensayo previo para la identificación de áridos reactivos pero no existe norma que describa el procedimiento a seguir para la identificación y cuantificación de componentes reactivos; y el ensayo acelerado de probetas de mortero y el ensayo químico-cinético (eliminado en la EHE-08) han sido válidos para identificar áridos reactivos de naturaleza silíceo pero no de naturaleza granítica.

¹ Ing. Químico. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX). M. de Fomento.

² Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos. Laboratorio Central de Est. y Materiales (CEDEX). M. de Fomento.

1. INTRODUCCIÓN.

Existen gran número de técnicas para detectar la reactividad álcali-sílice de los áridos. Las peculiaridades geológicas de cada país obligan a que la metodología que se normalice en cada uno tenga que ser adaptada a los áridos reactivos que éste tiene.

En la siguiente ponencia se describen los ensayos más importantes para identificar áridos reactivos y las limitaciones que presenta cada uno de ellos. Posteriormente se analiza cómo se ordenan estos ensayos en la metodología que cada país ha desarrollado para la identificación de sus áridos y se compara la situación real de los países estudiados con la actual metodología presente en la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08).

Por último se evalúan los dos ensayos normalizados en España que dan resultados en un periodo corto de tiempo para detectar áridos reactivos. Se ha realizado el ensayo acelerado de probetas de mortero y el ensayo químico-cinético, incluido en este estudio por dar resultados en un corto periodo de tiempo, de 8 áridos de los que es conocida su reactividad.

2. MÉTODOS DE ENSAYO PARA LA DETECCIÓN DE ÁRIDOS REACTIVOS.

Existe un gran número de ensayos para la detección de áridos reactivos. En la tabla siguiente se describen los más importantes recogidos en la bibliografía:

Tabla 1. Ensayos para la detección de áridos reactivos

Ensayo	Descripción	Normas de referencia
Petrografía	Conteo por partículas.	-ASTM C295 -BS 812-104
	Conteo por puntos en láminas de arena (D_{max} . 4 mm) obtenida del árido objeto de estudio.	-RILEM-AAR1 -TI B52
Ensayo acelerado de probetas de mortero	Medida de la expansión de barras de mortero (285x25x25 mm) en NaOH 1N a 80°C durante 14 y 28 días.	-ASTM C1260 -UNE146508EX
	Mismo procedimiento que en ASTM y UNE, pero las probetas de mortero tienen dimensiones 160x40x40 mm. El límite de expansión para los dos tamaños de probeta es el mismo.	-RILEM AAR-2
Ensayo de prismas de Hormigón	Medida de la expansión de prismas de hormigón (275x75x75 mm) fabricados con alto contenido en álcalis a 38°C y 100% humedad durante un año.	-UNE146509EX -ASTM C12931 -RILEM AAR-3
Ensayo químico	Medida de la sílice disuelta y disminución de alcalinidad (OH ⁻) en muestra de árido atacada durante 24 h por disolución NaOH 1N a 80°C.	-ASTM C289
Ensayo químico-cinético	Medida de la sílice disuelta y sodio en disolución en muestra de árido atacada durante 24/48/72 h por disolución NaOH 1N a 80°C.	-UNE1465071EX
GEL-PAT	Ataque de áridos embutidos en pastilla de pasta de cemento por disolución alcalina durante 14 días a temperatura ambiente. Detección visual de geles formados.	-BS 7943

3. LIMITACIONES DE LOS MÉTODOS DE ENSAYO.

Todos los ensayos anteriormente expuestos han presentado problemas para la detección de áridos reactivos que han quedado recogidos en la bibliografía [1]. A continuación se exponen las limitaciones más importantes que presenta cada uno de estos ensayos.

El **estudio petrográfico** debe ser realizado por un petrógrafo experimentado en reacción álcali-sílice y reconocimiento de sus minerales reactivos [2]. No existen criterios uniformados para la identificación y cuantificación de componentes reactivos, lo que hace que los resultados, según el laboratorio que realiza el ensayo, puedan diferir en gran medida, tal como se demuestra en el ensayo interlaboratorio realizado para la norma RILEM AAR-1 [3].

En España la única norma de referencia para la realización de **la petrografía** es UNE-EN-932-3. Esta norma no desarrolla ningún sistema cuantitativo para la descripción petrográfica. Tampoco se han fijado en España límites para los componentes reactivos identificados. Este trabajo sí ha sido desarrollado en otros países.

El **ensayo acelerado de probetas de mortero** se recomienda que no se use como ensayo único para evaluar un árido. Se debe emplear como anticipo de los resultados del ensayo de prismas de hormigón [4].

El porcentaje de expansión en el **ensayo acelerado de probetas de mortero** varía con las proporciones de las probetas, por lo que no son comparables resultados cuando el tamaño de la probeta varía, por ejemplo, el caso de ASTM (2,5x2,5x25 cm) y RILEM (4x4x16 cm) [4,5].

El **ensayo de prismas de hormigón** es un método más realista que el ensayo acelerado de probetas de mortero, pero tiene un tiempo de duración excesivo (**1 año**).

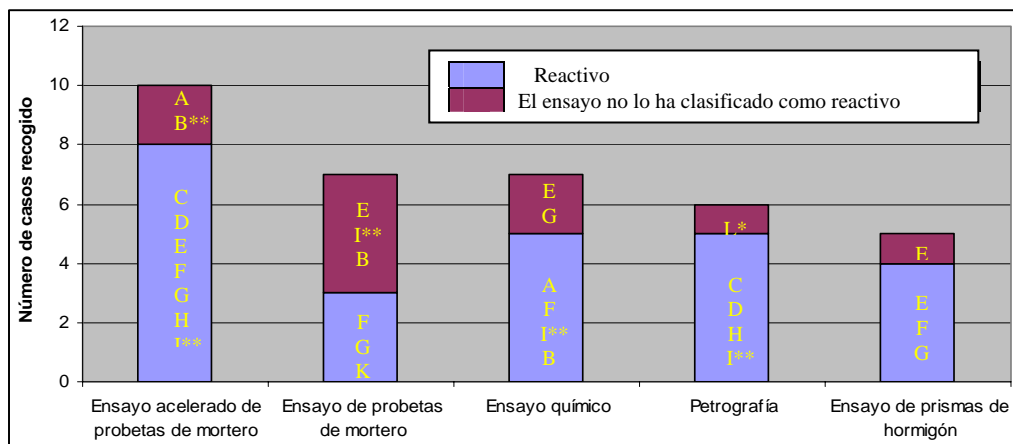
Los **ensayos químicos** sólo deberían utilizarse como método secundario, y sometidos a unas limitaciones de uso estrictamente definidas [4]. Dan sólo una indicación de la reactividad del árido pero no son precisos sobre el grado de agresividad cuando son utilizados, sobre todo en materiales que se encuentran cercanos a los umbrales de reactividad [6].

El **gel-pat** sólo es válido para detectar ópalos, sílice opalina u otras formas altamente reactivas de sílice [7].

4. ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO DE FALLOS EN ENSAYOS DE REACTIVIDAD.

Adicionalmente a las limitaciones antes expuestas, la bibliografía recoge fallos para todos los métodos de ensayos de áridos reactivos habitualmente utilizados. Así, en la bibliografía queda reflejado que las técnicas de ensayo antes expuestas pueden presentar problemas en el estudio de áridos de reacción lenta [8]. Los fallos con áridos de reacción rápida son menos frecuentes. En la

gráfica 1 se recogen estudios realizados a distintos áridos de reacción rápida y los ensayos que, para cada árido estudiado, han dado falsos negativos.



Gráfica 1. Ensayos de comportamiento de áridos de reacción rápida recogidos en la bibliografía. Positivos y falsos negativos.

Tabla 2. Observaciones de la gráfica 1.

Para la realización de la gráfica, si un ensayo ha dado positivo el árido se ha considerado reactivo y los ensayos negativos se consideran falsos negativos.

La letra sobre el gráfico indica el árido estudiado.

Referencias:

ÁRIDO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
REF.	9	10	11	12	13	13	13	14	10	10	15	3	16

*Los negativos en petrografía son difíciles de identificar, ya que en la bibliografía no se suele cuantificar y cuando se hace no se detalla el método de ensayo ni los límites máximos fijados para ese método de cuantificación. Se ha cuantificado como negativo en petrografía el estudio interlaboratorio recogido en las referencias y realizado para la norma RILEM, ya que cuando se consideran todos los laboratorios que han estudiado cada árido, la dispersión en algunos áridos reactivos estudiados es muy elevada. En este estudio se reflejan todas las limitaciones expuestas en el apartado anterior para la realización de la petrografía.

** El ensayo químico empleado no es el ASTM C289 sino la norma japonesa JIS A 1145:2001. No se especifica en el artículo del que se recogen los datos la metodología del ensayo pero si los límites de reactividad, los cuales son muy similares a los del ensayo ASTM.

De la gráfica anterior se puede concluir que los ensayos antes expuestos no sólo presentan problemas en áridos de reacción lenta sino que también presentan falsos negativos en áridos de reacción rápida. Por tanto, **ninguna técnica presenta una efectividad total para el estudio de áridos reactivos.**

5. METODOLOGÍAS PARA LA DETECCIÓN DE ÁRIDOS REACTIVOS.

5.1. NORMATIVA INTERNACIONAL.

Las limitaciones propias de los métodos de ensayo para la detección de áridos reactivos, así como las peculiaridades geológicas de cada zona, han

hecho que cada país desarrolle una metodología para la detección de áridos reactivos adaptada a sus áridos.

A partir de la bibliografía publicada entre 2004 y 2007 [17,18], se realiza un estudio de los ensayos empleados en diferentes países. Esta recopilación de ensayos se compara con las realizadas entre los años 1995 y 1996 [19,20]. De esta forma se ha reflejado en la *gráfica 2* los ensayos más empleados actualmente para el estudio de la reactividad de los áridos, así como la evolución que han sufrido las distintas metodologías en los últimos 10 años.

Japón*					
Islandia*					
Dinamarca	Dinamarca				
Portugal	Portugal				
Canadá	Canadá				
Francia	Francia		Nueva Zelanda**	Japón*	Italia**
Italia	Italia	Holanda*	Portugal**	Francia*	Islandia**
Holanda	Holanda	Noruega	Noruega	Noruega*	Portugal**
N. Zelanda	Nueva Zelanda	Francia	Francia	Dinamarca	Dinamarca
Noruega	Noruega	Reino Unido	Reino Unido	Canadá	Canadá
Reino Unido	Reino Unido	Canadá	Canadá	EEUU	EEUU
EEUU	EEUU	EEUU	EEUU	N. Zelanda	Nueva Zelanda
Estudio petrográfico		Ensayo de prismas de Hormigón		Ensayo acelerado de probetas de mortero	
Italia*		Islandia*		1995-1996	2004-2007
Portugal*		Italia*		* Retiran el ensayo de su metodología	
Canadá*		Holanda*		** Incorporan el ensayo a su metodología	
EEUU*	Francia**	Portugal*			
Islandia	Islandia	Francia	Francia		
N. Zelanda	Nueva Zelanda	N. Zelanda	Nueva Zelanda		
Japón	Japón	Japón	Japón		
Ensayo de probetas de mortero		Ensayo químico			

Gráfica 2. Ensayos empleados en distintos países para la detección de áridos reactivos. Evolución de las metodologías.

En la gráfica se observa que el ensayo preponderante para la evaluación de la reactividad de los áridos es el **estudio petrográfico**. Sólo Japón e Islandia prescinden de este ensayo para la evaluación de la reactividad del árido. El caso más genérico es el de las metodologías que consideran la petrografía el ensayo previo para evaluar la potencial reactividad del árido. Si existen indicios de que pueda ser reactivo, se realizan otra serie de ensayos para evaluar la potencial reactividad.

Los siguientes ensayos más empleados son el de **prismas de hormigón** y el **acelerado de probetas de mortero**. El **ensayo químico** y el **ensayo de probetas de mortero** son de menor uso y tienden a eliminarse de las metodologías.

Se aprecia una tendencia a simplificar las metodologías reduciendo el número de ensayos.

Actualmente, la metodología más extendida para el estudio de áridos reactivos es:

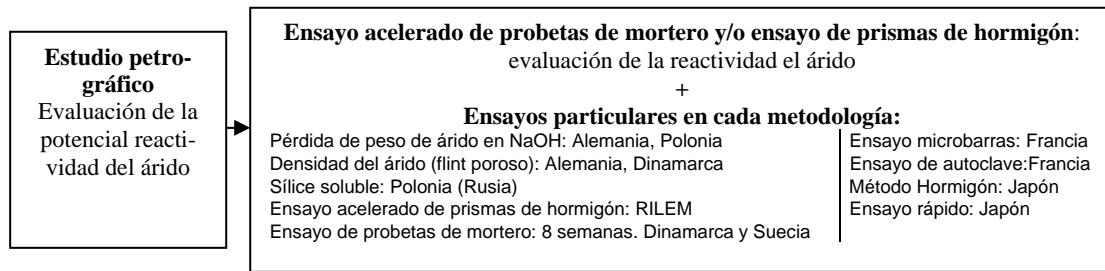


Figura 1. Metodología general para la detección de áridos reactivos

RILEM [21] es la única metodología existente con carácter internacional y también sigue la estructura expuesta.

5.2. NORMATIVA ESPAÑOLA.

La nueva Instrucción de hormigón estructural (EHE-08) [22] en el artículo 28 establece:

*Los áridos no presentarán reactividad potencial con los compuestos alcalinos del hormigón, ya sean procedentes del cemento o de otros componentes. Para su comprobación se realizará, en primer lugar, un **estudio petrográfico**, del cual se obtendrá información sobre el tipo de reactividad que, en su caso, puedan presentar. Si del estudio petrográfico del árido se deduce la posibilidad de que presente reactividad álcali-sílice o álcali-silicato, se debe realizar el ensayo descrito en la UNE 146508 EX (**método acelerado en probetas de mortero**).*

*Si a partir de los resultados de algunos de los ensayos prescritos para determinar la reactividad se deduce que el material es potencialmente reactivo, el árido no se podrá utilizar en condiciones favorables al desarrollo de la reacción álcali-árido, de acuerdo con el apartado 37.3.8. En otros casos, se podrá emplear el árido calificado a priori como potencialmente reactivo sólo si son satisfactorios los resultados del ensayo de reactividad potencial a largo plazo sobre **prismas de hormigón**, según UNE 146509 EX, presentando una expansión al finalizar el ensayo menor o igual al 0,04%.*

Por tanto, la metodología española mantiene la misma estructura que las metodologías más generalizadas internacionalmente. Siguiendo la tendencia general del resto de países, la metodología española se ha simplificado, eliminando el ensayo químico-cinético, que aparecía en la EHE-98 [23]. Los casos identificados en España hasta hace pocos años eran de reacción lenta, y el ensayo químico cinético no ofrece buenos resultados en este tipo de áridos, lo que ha llevado a la eliminación de este ensayo de la actual Instrucción.

6. COMPORTAMIENTO DE LOS ÁRIDOS REACTIVOS ESPAÑOLES. LIMITACIONES DE LA NORMATIVA ESPAÑOLA.

La primera de las limitaciones, ya expuesta en apartados anteriores, de la metodología española es la falta de normativa que describa un procedimiento normalizado para la realización del estudio petrográfico. Éste es el ensayo previo para la detección de la reactividad, según la actual EHE, y la falta de normativa que lo describa, deja en manos de laboratorio que lo realiza, la evaluación de la reactividad del árido.

Se analizarán a continuación cómo se comportan distintos áridos reactivos españoles en dos ensayos sí normalizados, el ensayo acelerado de probetas de mortero (UNE 146508 EX) vigente en la EHE-08 y el ensayo químico-cinético (UNE 146507-1 EX), eliminado de la EHE-08 pero presente en la anterior Instrucción.

El ensayo químico-cinético se incluye en este estudio ya que ofrece resultados a corto plazo y éste ha resultado fallido en áridos de reacción lenta, pero puede ser eficaz en áridos de reacción rápida.

6.1. MUESTRAS OBJETO DE ENSAYO.

Se han estudiado 8 áridos diferentes procedentes de obras hidráulicas (se ha extraído el árido grueso de testigos de hormigón) que han mostrado reactividad álcali-sílice o áridos no empleados en obra, pero de los que es conocida su reactividad.

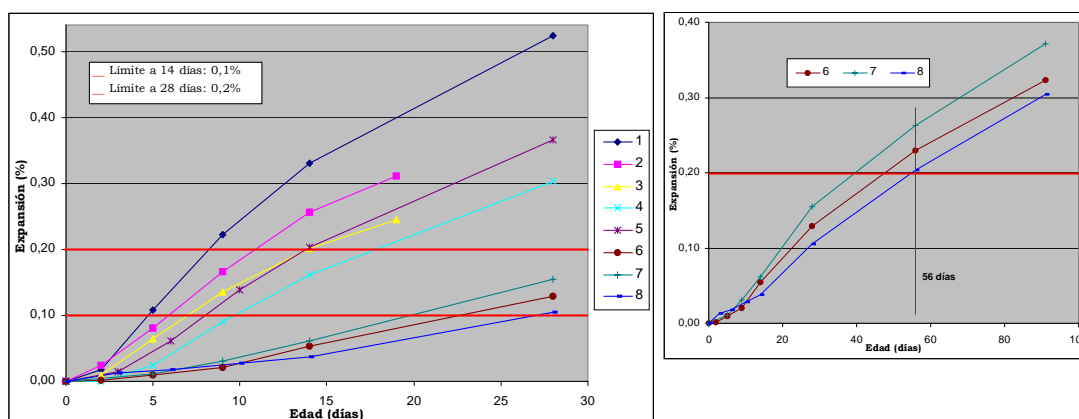
A continuación se describe cada árido analizado:

Tabla 3. Áridos ensayados.

Árido	Descripción	Origen
1	Cuarcita	Obra hidráulica.
2	Cuarcita	Árido reactivo descartado para la construcción de obra hidráulica.
3	Cuarcita	Árido reactivo descartado para la construcción de obra hidráulica.
4	Arena silícea	Árido reactivo.
5	Cuarcita	Obra hidráulica.
6	Granodiorita	Obra hidráulica.
7	Granodiorita	Obra hidráulica.
8	Granito	Obra hidráulica.

6.2. ENSAYO ACELERADO DE PROBETAS DE MORTERO.

En la siguiente gráfica se muestran las expansiones obtenidas en el ensayo acelerado de probetas de mortero de los 8 áridos estudiados.

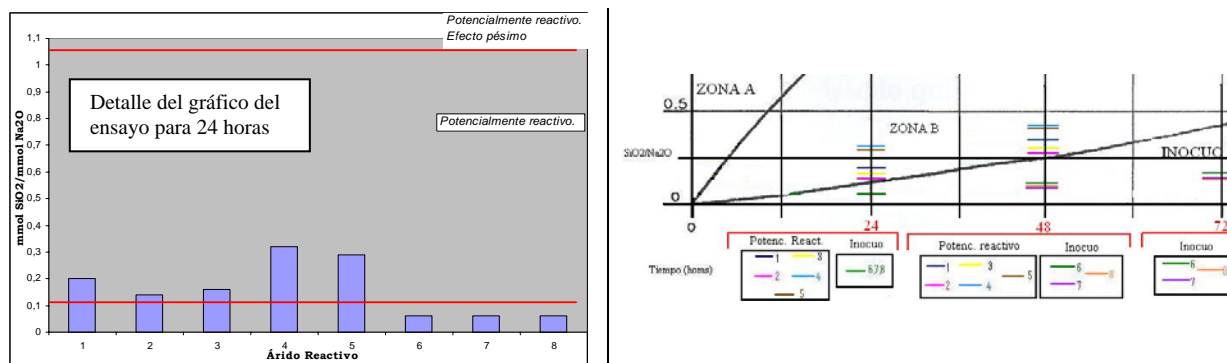


Gráfica 3. Ensayo acelerado de probetas de mortero (UNE 146508 EX)

Todos los áridos de naturaleza silíceo (de 1 a 5) se clasifican como reactivos. Los áridos 6 a 8 (granito y granodioritas) han sido clasificados como inocuos (gráfica 2 izquierda). A 56 días, los áridos de reacción lenta (6 a 8) han superado el 0,2% de expansión (gráfica 2 derecha).

6.3. ENSAYO QUÍMICO-CINÉTICO.

En la siguiente gráfica se muestran los resultados obtenidos en el ensayo químico cinético.



Gráfica 4. Ensayo Químico cinético. (1465071EX)

Todos los áridos de naturaleza silíceo (de 1 a 5) se clasifican como potencialmente reactivos (zona B). Los áridos 6 a 8 (granito y granodioritas) han sido clasificados como inocuos. Las medidas a 48 y 72 horas no aportan información adicional, ya que las medidas a tiempos superiores a 24 horas deberían detectar áridos de reacción lenta, pero los áridos 6 a 8 se clasifican como inocuos para las tres edades de ensayo. Por tanto, el ensayo no ha sido válido para áridos de reacción lenta (6, 7, 8).

6.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Para la detección de **áridos reactivos de naturaleza silíceo**, tanto el ensayo acelerado de probetas de mortero como el ensayo químico cinético han sido efectivos para detectar la reactividad de éstos.

La mayor ventaja del ensayo químico es que se puede obtener un resultado a 24 horas. Sin embargo presenta el inconveniente, como ya se había recogido en las limitaciones de los ensayos, de que da sólo una indicación de la reactividad del árido pero no es preciso sobre el grado de agresividad cuando se utilice. Es conocido el comportamiento altamente reactivo en obra de algunos de los áridos de naturaleza silíceo estudiados, sin embargo, en el ensayo químico-cinético los resultados quedan cerca del límite entre inocuo y potencialmente reactivo, lo que puede llevar a una interpretación errónea.

En el caso del Ensayo acelerado de probetas de mortero el tiempo para obtener un primer resultado es de 14 días y, para obtener un resultado del ensayo definitivo, en algunos casos (árido 4) es necesario esperar a 28 días. Los resultados obtenidos tienen mayor concordancia, en el caso de áridos silíceos, con el comportamiento que posteriormente han mostrado los áridos en obra.

También presentan la ventaja de que por microscopía electrónica de barrido es posible identificar la reacción álcali-sílice como causa de la expansión del mortero.

En el caso del **granito y granodioritas**, ninguno de los dos ensayos ha sido efectivo para la identificación de la reactividad del árido. Ya que es conocida la reactividad de las muestras estudiadas, los métodos de ensayo disponibles actualmente para la identificación de áridos reactivos que den resultados a corto plazo, podrían no ser válidos para detectar este tipo de rocas reactivas. El ensayo de prismas de hormigón sólo se realizará, según la Instrucción actual, si es positivo el ensayo acelerado de probetas de mortero. Por tanto, la metodología española podría no reconocer este tipo de áridos reactivos.

La reactividad de áridos de naturaleza granítica, y en general de áridos de reacción lenta, está actualmente en estudio en distintos países. No existen ensayos en la bibliografía que hayan dado buenos resultados en un periodo corto de tiempo para este tipo de áridos, por tanto, el problema que presenta la normativa española es un problema genérico de todos los países que tienen este tipo de áridos y está actualmente en estudio. Así se refleja en la evaluación de las normas europeas para reactividad álcali-sílice realizada por el "EU Partner Project"[8] en el que concluyen que los ensayos RILEM pueden identificar con éxito la mayor parte de los áridos estudiados y han sido efectivos con áridos reactivos e inocuos "comunes", pero con áridos que presentan una reacción muy lenta podría ser necesario **ampliar el tiempo de ensayo** de algunos de los métodos propuestos por RILEM. A esta misma conclusión se llega con los áridos españoles según los resultados aquí expuestos ya que, como se observa en los gráficos de los resultados experimentales, para los áridos de 6 a 8, se alcanza el 0,2% de expansión en el ensayo acelerado de probetas de mortero a 56 días.

7. CONCLUSIONES.

- Existen gran número de ensayos para la detección de áridos con reactividad álcali-sílice. Todos los ensayos tienen limitaciones por lo que no es posible, con un sólo ensayo, determinar la reactividad de cualquier árido.
- Las metodologías adoptadas por los diferentes países presentan una estructura general común: estudio petrográfico como ensayo previo para detección de potencial reactividad del árido y ensayo de prismas de hormigón y/o ensayo acelerado de probetas de mortero para analizar la reactividad del árido. Algunas metodologías suman a éstos ensayos otros de uso menor.
- La metodología española descrita en la EHE-08 presenta la misma estructura que la adoptada por la mayoría de los países analizados.
- El estudio petrográfico aunque es el ensayo inicial para la detección de la reactividad del árido, no tiene una norma española que describa cuales son los componentes que dan reactividad al árido, el método a seguir para su cuantificación y el límite máximo admisible.
- El ensayo acelerado de probetas de mortero y el ensayo químico-cinético han sido efectivos para detectar la reactividad de áridos silíceos, con la ventaja en este último caso de disponer de resultados a 24 horas. No han sido efectivos

para detectar la reactividad en un granito y dos granodioritas. Por tanto, no existe en la metodología actual un ensayo normalizado capaz de detectar áridos de tipo granítico reactivos. Este mismo problema se presenta fuera de España y actualmente está siendo objeto de estudio.

- Una ampliación del tiempo de duración del ensayo acelerado de probetas de mortero hasta los 56 días de edad podría ser una solución para evitar falsos negativos en el caso de áridos de reacción lenta.

REFERENCIAS

- [1] ALAEJOS, P., BERMÚDEZ, M.A. (2003) *Durabilidad y procesos de degradación del hormigón de presas. Estudio bibliográfico*. Madrid: CEDEX. Ministerio de Fomento.
- [2] MALVAR, L.J., CLINE, G.D. ET.AL. (2002) Alkali-silica reaction mitigation: State of the Art and Recommendations. *ACI Materials Journal*. Title no. 99-M49. PP 480-489.
- [3] HAUGEN, M., LINDGÅRD, J., ÅKESSON, U., SCHOUENBORG, B. (2008). Experience from using the RILEM AAR-1 petrographic Method among European petrographers – part of the Partner project. *Proceedings of 13th International conference on Alkali-aggregate reaction in concrete*.
- [4] NIXON, P.J. (Chairman) (2000) RILEM TC 106-AAR: Aggregates for alkali-aggregate reaction. International assessment of aggregates for alkali-aggregate reactivity. *Materials and Structures*, Vol. 33, No. 226, PP 288-293.
- [5] E.C. *Standard Test for Alkali-reactive Rocks. Star-Project. Final Report*. European Commission, DG XII, contract no. SMT4-CT96-2128.
- [6] SPANCOLD. (1991) *Reacción álcali árido en presas de hormigón. Ideas generales y recomendaciones*. Ed. Comité español de grandes presas. Boletín 79.
- [7] BRITISH STANDARD. (1999). *Guide to The interpretation of petrographical examinations for alkali-silica reactivity* (BS 7943:1999).
- [8] NIXON, P.J., LINDGARD, J., BROCHERS, I.(2008). The EU Partner Project - European Standard test to prevent alkali reactions in aggregates. Final results and recommendations. *Proceedings of 13th International conference on Alkali-aggregate reaction in concrete*.
- [9] MLADENOVIC, A., SUPUT, J.S., DUCMAN, V., SKAPIN, A.S.(2004). Alkali-silica reactivity of some frequently used lightweight aggregates. *Cement and concrete research*. Vol. 34. PP. 1809-1816.
- [10] SUZUKI, H., NAKAYAMA, K., MIYANAFU, K., ET.AL. (2004) Study on evaluation method for alkali-silica reactivity of aggregates. *Proceedings of the 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*. PP. 413-420.
- [11] HASPARYK, N.P., MONTEIRO, P.J.M., CARASEK, H. (2000). Effect of Silica Fume and Rice Husk ash on Alkali-Silica reaction. *ACI Material Journal*. Vol. 97. PP. 486-491.
- [12] BERRA, M., MANGIALARDI, T., PAOLINI, A.E. (2005). Alkali-silica reactivity criteria for concrete aggregates *Materials and structures*. Vol. 38. PP.373-380.
- [13] LEE, C., LIU, C.C., WANG, W.C. (2004) An accelerated concrete prism soaking test for evaluating the alkali-reactivity of aggregates. *Proceedings of the 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*. Vol. 1. PP. 273-281.
- [14] ZI-YUN, W., QI, Y., ZHI-QIANG, L., ET.AL. (2004) Probe into the alkali activity of quartz-feldspar arenite and its restraining measures. *Proceedings of the 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*. Vol. 1. PP. 427-435.
- [15] KAWAMURA, M., KOIKE, M., NAKANO, K. (1989). Release of alkalis from reactive andesitic aggregates and fly ashes into pore solution in mortars. *Eight International Conference on Alkali-aggregate Reaction*. PP. 271-278
- [16] BERRA, M., MANGIALARDI, T., PAOLINI, A.E. (2005) Use of fan ultra-accelerated concrete prism expansion test for alkali-silica reactivity assessment. *Cement and concrete research*. Vol 57. PP 39-47
- [17] WIGUM, B.J., PEDESEN, L.T., LINDGARD, J. (2007) *State of the art report: Key parameters influencing the alkali aggregate reaction*. Ed. SINTEF Report 2.1 (Partner Project GRD12-CT-2001-40103).
- [18] CHAK, Y.H., CHAN, Y.C. (2005). *Review on prevention of alkali silica reaction in concrete*. GEO REPORT No. 167. Geotechnical engineering office, Civil Engineering and development department. The government of The Hong Kong.
- [19] CEN/TC104. *Regional Specifications and Recommendations for the avoidance of damaging alkali-silica reactions in concrete*. European committee for Standardization. CR 1901:1995.
- [20] GARCIA DEL AMO, D. (2000). *Investigación y control mineralógico de la reacción álcali-árido en áridos para hormigón*. Tesis Doctoral. Escuela Superior de Ingenieros de Minas. U.P.M. Madrid.
- [21] SIMS, I., NIXON, P.J., MARION, A.M. (2004) International collaboration to control alkali-aggregate reaction: the successful progress of RILEM TC 106 and TC 191-ARP. *Proceedings of the 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*. PP. 41-50.
- [22] MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA. (2008). *Instrucción de Hormigón estructural (EHE-08)*
- [23] M. FOMENTO (1998). *Instrucción de Hormigón Estructural (EHE)*. Madrid. Ed: Secretaría General Técnica. Ministerio de Fomento.