COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE LA MEZCLA DE ARENAS PARA SU USO EN HORMIGÓN EN EL ENSAYO DE EXPANSIÓN ACELERADO ÁLCALI-SÍLICE

P. VILA, B. EPIFANIO, M. N. PEREYRA

Departamento de Construcción, Instituto de Estructuras y Transporte, Facultad de Ingeniería,
Universidad de la República, web: <https://www.fing.edu.uy/iet>

RESUMEN

En Uruguay es habitual que el agregado fino en el hormigón esté constituido por una mezcla de arenas naturales, una de granulometría gruesa y otra fina. Sin embargo, en el ensayo acelerado de la barra de mortero para la evaluación de la reactividad álcali-sílice las arenas deben ser ensayadas por separado, lo que no se considera representativo para su posterior uso. El objetivo fue analizar el procedimiento para la preparación previa de la mezcla en este ensayo. Se consideró la influencia del tamaño de grano y se estudiaron distintos procedimientos para la composición de la mezcla. Dado la influencia del tamaño de grano en la expansión, lo sencillo en la preparación previa y lo representativo del material en estudio, se concluyó que se debe ensayar la mezcla según las proporciones a ser utilizadas en el hormigón, no siendo necesario triturar el material o componer en las proporciones indicadas por norma. Para el estudio se utilizó arenas de origen silíceo cuarzosas-feldespáticas, que no presentan efecto pessimun.

Palabras clave: Reacción álcali-agregado. Mezcla de agregados. Composición granulométrica. Ensayo de expansión acelerado.

ABSTRACT

In Uruguay the fine aggregate for the concrete is usually composed by a mixture of natural sands, coarse and fine particle size. However, in the accelerated test of the mortar bar for the evaluation of the alkali-silica reaction the sand should be tested separately, which is not considered representative of their later use. The aim of this work was to analyze the procedure for the previous preparation of the mixture in the accelerated expansion test. The influence of the grain size was considered, and different procedures were studied for the composition of the mixture. For the simplicity in the previous preparation and the representativity of the material under study, the mixture should be tested according to the proportions to be used in the concrete, it isn't necessary to crush the material or compose it in the standard proportions. The study was carried out on quartz-feldspathic sands of siliceous origin, which don't have pessimun effect.

Keywords: Alkali-aggregate reaction. Mix of aggregates. Granulometric composition. Accelerated expansion test.

1. INTRODUCCIÓN

El hormigón es un material de construcción que está sujeto a numerosas manifestaciones patológicas durante su vida en servicio. El origen de estas patologías comúnmente está relacionada a sus componentes y su interacción con el medio ambiente.

Entre estas patologías, la reacción álcali-sílice (RAS) se da entre ciertos minerales considerados “reactivos” de los agregados (cuarzo conteniendo sílice reactiva, ftanita, chert, calcedonia, tridimita, cristobalita, ópalo y vidrio volcánico) y los álcalis provenientes principalmente del cemento portland (identificados como iones de sodio y de potasio). Para su desarrollo es necesario un medio alcalino, habitual en la solución presente en la porosidad del hormigón. A consecuencia de la reacción y en presencia de humedad, los productos formados se expanden, generando agrietamiento y reduciendo significativamente la vida útil de la estructura afectada. Además, estos productos pueden generar manchas por lixiviados en la superficie del hormigón (Nixon y Sims, 2016).

Grandes esfuerzos se han realizado para desarrollar métodos de ensayo que permitan evaluar la reactividad del agregado, así como el grado deletéreo de la reacción. Hoy en día existen varios ensayos normalizados reconocidos internacionalmente, como son: el ensayo acelerado de la barra de mortero (ASTM C1260, 2014; IRAM 1674, 1997; ABNT NBR 15577-4, 2009; AENOR UNE 146508 EX, 1999), el ensayo semi-acelerado en prisma de hormigón (IRAM 1700, 2013; Nixon y Sims, 2016) y el ensayo en prisma de hormigón a largo plazo (1 año o más de duración) (ASTM C1293, 2015; IRAM 1700, 2013). En todos estos ensayos, el criterio para definir la reactividad del agregado surge de la expansión obtenida luego de haber sometido las barras de mortero u hormigón a un ambiente agresivo por un período predeterminado de tiempo.

En particular, el ensayo acelerado de expansión en barra de mortero, si bien tiene sus limitaciones (Falcone, Milanese, 2012) tiene la ventaja de que los resultados se obtienen a corto plazo (de 16 a 30 días de fabricadas las barras), y más aún si se compara con el ensayo tradicional en prisma de hormigón el cual dura de 1 a 2 años. Por lo tanto, el ensayo de expansión acelerado en barra de mortero sigue siendo utilizado para analizar la reactividad potencial de los agregados.

En Uruguay, dado la disponibilidad de arenas naturales, habitualmente la fracción fina que constituye el esqueleto granular del hormigón (material granular pasante tamiz 4,75 mm) se conforma a partir de dos arenas, una denominada “arena fina” y la otra “arena gruesa”. La arena gruesa presenta tamaño de grano mayor, generalmente la mayor proporción de estas queda retenida en los tamices de 2,36 mm a 0,30 mm y la arena fina es común que presente tamaño de grano comprendido entre 0,30 mm y 0,15 mm. Esto a su vez, da mayor flexibilidad al productor de hormigón para conformar la curva granulométrica según el caso.

El procedimiento normativo para el ensayo de expansión acelerado indica que el agregado sometido al ensayo debe tener una composición granulométrica específica, en donde todo el material debe ser pasante tamiz 4,75 mm y retenido 0,150 mm (10% retenido en tamiz 2,36 mm, 25% en tamiz 1,18 mm, 0,6 mm y 0,3 mm, y 15 % en tamiz 0,15 mm). Cuando se desea evaluar la reactividad de la mezcla de arena fina y gruesa para ser utilizadas en el hormigón, se presenta la dificultad para conformar esta composición granulométrica (dado que la arena fina no contiene tamaños grandes y la arena gruesa no contiene finos).

Si bien la norma UNE 83968 EX (AENOR, 2016) permite evaluar la expansión en barras de mortero de mezclas de áridos reactivos y no reactivos, el procedimiento para obtener la composición granulométrica de la mezcla es difícil (laborioso) de aplicar cuando se trata de una mezcla de fina y gruesa y, además no se considera representativo de la composición granulométrica de su uso posterior en el hormigón.

El objetivo del trabajo es analizar la influencia del procedimiento de mezcla y del tamaño de partícula en el comportamiento expansivo de la mezcla de arenas, una de granulometría fina y otra gruesa. Como resultado del trabajo se podrá indicar cuál es el procedimiento más representativo para el estudio de la reactividad de mezclas de arenas para su uso en hormigón. En todas las mezclas se utilizó una arena no reactiva y otra potencialmente reactiva sin efecto pessimum.

2. ENSAYO DE EXPANSIÓN ÁLCALI-SÍLICE EN BARRAS DE MORTERO.

El ensayo de expansión acelerada en barra de mortero permite evaluar la potencialidad reactiva álcali-sílice del agregado para su uso en hormigón. Es un método de ensayo de validez internacional (ASTM C1260, 2014; IRAM 1674, 1997; ABNT NBR 15577-4, 2009; AENOR UNE 146508 EX, 1999).

Este método consiste en evaluar la variación de longitud de barras de mortero sumergidas en una solución agresiva de hidróxido de sodio (NaOH) a $(80 \pm 2) ^\circ\text{C}$ por un período de 14 a 28 días. Las barras de mortero tienen una sección de 25 mm x 25 mm y un largo nominal de 250 mm.

La dosificación del mortero utilizado para la fabricación de las barras es de 1:2,25 (cemento: agregado) en peso y una razón agua/cemento de 0,47. Las cantidades necesarias para cada uno de los componentes para la fabricación de tres barras, así como la composición granulométrica del agregado se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición de los morteros para fabricar las barras sometidas a la expansión por álcalis.

Componente	Peso (g)		
Cemento	440		
Agua	206,8		
Agregado	990		
Distribución granulométrica del agregado			
Pasa tamiz (mm)	Retiene tamiz (mm)	% en masa	Peso (g)
4,75	2,36	10	99,0
2,36	1,18	25	247,5
1,18	0,6	25	247,5
0,600	0,3	25	247,5
0,300	0,15	15	148,5

Inmediatamente luego de fabricadas las barras los moldes se colocan en cámara húmeda a $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ durante (24 ± 2) h, luego se desmoldan, se efectúa una lectura preliminar y se sumergen en agua por 24 h a $(80 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Luego de este período se registra la lectura de cada barra, previo a ser sumergidas en la solución agresiva (la cual se considera la longitud inicial de las barras). Posteriormente y hasta los 14 o 28 días de inmersión (dependiendo de la norma que sea considerada y del comportamiento durante los primeros 14 días) se determina la expansión en cada barra a intervalos regulares de tiempo.

La expansión al tiempo t se calcula como la diferencia entre la lectura inicial y a tiempo t de la barra, expresado como porcentaje respecto a su longitud nominal. En la Figura 1 se muestran imágenes del proceso de fabricación, almacenamiento y registro de longitud de las barras.

Figura 1. Etapas del ensayo de expansión acelerado álcali-sílice en barras de mortero.

Como resultado el ensayo permite determinar el carácter reactivo o inocuo del agregado frente a la solución agresiva en álcalis. Para esto, el límite depende de los días de inmersión en la solución agresiva que a su vez depende de la norma considerada. La norma argentina IRAM 1531 (IRAM, 2016) e IRAM 1512 (2013) adoptan el límite a los 14 días de inmersión (de 0,1%). La norma americana ASTM C33 (2016) adopta el límite a los 14 días. Sin embargo, la norma del procedimiento del ensayo, la ASTM C 1260 (2014) indica que en los casos que el resultado de expansión esté comprendido entre 0,1 % y 0,2 % (a los 14 días) se debe continuar con el ensayo hasta los 28 días. La normativa española UNE 146508 EX (AENOR, 1999) es similar a la americana. La norma brasilera ABNT NBR 15577-1 (2008) indica el límite de expansión a los 28 días (0,19%). La norma australiana AS 1141601 (2014) el límite lo fija a los 21 días.

Otro criterio para la interpretación del resultado del ensayo es el análisis cinético indicado por el Comité Técnico 219-ACS del RILEM (Nixon y Sims, 2016). En este es recomendable tener resultados de expansión hasta los 28 días.

El ensayo de expansión acelerado debe ser acompañado de un análisis petrográfico para identificar los componentes (minerales) potencialmente reactivos en el agregado. Cuando el agregado este constituido por minerales de elevada reactividad (como ser ópalo o calcedonia) se deberá considerar el efecto pessimum. Este fenómeno se presenta cuando la magnitud de la expansión no es directamente proporcional al contenido de material reactivo, o sea, el máximo nivel de expansión se presenta para determinado porcentaje de mezcla del material reactivo con otro no reactivo (IRAM 1512).

3. COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE LA MEZCLA DE ARENAS DE USO EN HORMIGON EN URUGUAY.

La mayor producción de hormigón de Uruguay se realiza en plantas dosificadoras de hormigón premezclado. El agregado fino (material pétreo pasante tamiz 4,75 mm) en su mayoría está conformado por una mezcla de arenas (denominadas arenas finas y arenas gruesas) de origen silíceo natural. En la Tabla 2 se muestra la distribución granulométrica (retenidos en cada tamiz) de algunas de estas muestras representativas de la producción nacional. En la Figura 2 se muestran las curvas granulométricas (porcentaje pasante vs tamaño de abertura de tamiz) junto a las curvas límites que definen el huso normativo para el empleo en hormigón.

Tabla 2. Porcentaje retenido según tamiz en muestras de arena fina y gruesa.

Tamiz (mm)	Arena Fina					Arena Gruesa						
	1AFHA	1AFJ	2AFJ	2AFT	3AFT	1AGHA	1AGB	1AGR1	1AGPP	2AGP	1AG33	1AGLC
4,75	0,0	0,3	0,0	0,1	0,6	9,6	1,1	7,6	4,6	0,2	1,6	6,5
2,36	0,0	1,5	0,0	1,7	2,2	33,7	6,8	30,1	17,3	2,0	8,6	18,8
1,18	0,0	6,9	0,0	6,8	6,2	25,8	30,1	37,3	31,3	15,9	27,0	24,2
0,600	2,5	11,0	0,6	11,3	16,5	28,3	37,3	16,4	33,6	47,5	36,7	19,3
0,300	25,9	42,4	18,5	28,9	41,3	2,5	16,4	3,0	11,5	32,8	22,1	15,7
0,150	64,2	33,9	74,1	44,7	24,7	0,0	3,0	5,0	0,5	1,5	1,9	9,5
MF	1,25	1,88	1,13	1,72	1,96	3,19	2,74	3,09	3,71	2,84	3,31	3,28

Figura 2. Curvas granulométricas de diversas muestras de arenas nacionales.

Las arenas finas presentan un módulo de finura (MF) menor a 2, retenido en los tamices 1,18 y 2,36 menor al 10% y alguna de ellas presentan un retenido en el 0,600 mm también menor al 10 %. La mayor parte del material queda en el tamiz 0,300 mm y 0,150 mm.

Por el contrario, las arenas gruesas presentan un módulo mayor de 2,7, retenido en el tamiz 0,150 mm menor al 10%, algunas presentan el retenido en el tamiz 0,300 mm también menor al 10%, siendo que la mayoría del material se encuentra en los tamices 1,18 mm y 0,600 mm.

Por lo tanto, para cumplir con una distribución granulométrica adecuada del material fino en el hormigón, la arena fina debe ser mezclada con una arena gruesa para confeccionar una distribución comprendida en el huso granulométrico (Figura 2). Habitualmente en un hormigón convencional, el agregado fino representa un 40 % en peso del total de agregado y en este 40 %, de un 20 % a 40 % es arena fina.

Para evaluar la potencialidad reactividad de la mezcla de arenas, la norma (IRAM 1512, 2013) indica que cada agregado debe ser ensayado por separado. Por lo tanto, alcanza con que una de ella sea reactiva para imposibilitar el uso de la mezcla.

El presente trabajo evalúa diferentes procedimientos para conformar la distribución granulométrica de la mezcla de arena fina y arena gruesa que permitirá evaluar la expansión frente a los álcalis de mezclas para su uso en obra (mezcla en donde una de las arenas es reactiva sin efecto pessimun y la otra es inocua). A su vez, dado el carácter de arenas finas y arenas gruesas en el medio se analiza la influencia del tamaño de grano en la expansión.

4. PROCEDIMIENTO

4.1 Materiales

En el estudio experimental fueron empleadas dos arenas, una fina identificada como AFC y una gruesa identificada como AGP (Tabla 3). En Uruguay, habitualmente ambas arenas son utilizadas en mezcla para producir hormigón. La arena fina no presenta minerales reactivos y presenta una expansión menor de 0,08%, por lo tanto, se considera un material de carácter inocuo frente a la reacción álcali-sílice. La arena gruesa presenta mineral reactivo (cuarzo microfracturado) y una expansión mayor de 0,1%, por lo tanto, se considera potencialmente reactiva, sin efecto pessimun.

Tabla 3. Datos de las arenas utilizadas en el estudio.

	Arena fina	Arena gruesa
identificación	AFC	AGP
Origen	Playa Pascual, San José	Aguas Corrientes, Canelones
Descripción resumida	Arena muy fina, cuarzosa con feldespatos	Arena gruesa, cuarzosa con feldespatos.
Presencia de minerales reactivos	No presenta minerales reactivos.	Presenta cuarzo microfracturado.
Expansión (IRAM 1674)	0,071% (14d)	0,128% (14d) – 0,197% (28d)
Distribución granulométrica		
Retenido tamiz 4,75 mm (%)	0,0	1,5
Retenido tamiz 2,36 mm (%)	0,4	6,1
Retenido tamiz 1,18 mm (%)	0,6	26
Retenido tamiz 0,600 mm (%)	3,0	36,0
Retenido tamiz 0,300 mm (%)	71,0	27,7
Retenido tamiz 0,150 mm (%)	25,0	2,0
fondo	1,0	0,5

Dado el carácter de fina y de gruesa de cada una de las arenas la composición granulométrica para el ensayo de expansión acelerado debió ser modificado a lo que indica la norma del ensayo (IRAM 1674) según Tabla 1. De los 990 g de agregado, la arena fina (AFC) se compuso de 85% retenido tamiz 0,300 mm y 15 % en el 0,150 mm. La arena gruesa (AGP) se compuso de 10% en el tamiz 2,36 mm, 25 % en el 1,18 mm, 25% en el 0,300 mm y 40 % en el 0,300 mm.

4.2 Conformación de la mezcla de arenas para el ensayo de expansión

En el estudio de expansión de la mezcla de arena AFC y AGP se analizaron tres procedimientos para confeccionar la distribución granulométrica del mortero para fabricar las barras. Todo el material está comprendido entre el tamiz 4,75 y 0,150 mm.

Una mezcla (denominada mezcla de obra MO) se obtuvo pesando cada una de las arenas en su granulometría natural, un 40% de la arena fina AFC y un 60% de la arena AGP para conformar los 990 g necesarios para fabricar un mortero para tres probetas. En la Tabla 4 se indica la cantidad en porcentaje (referido al total de 990 g) sobre cada tamiz de cada arena y de la mezcla entre ambas.

Otra mezcla (identificada como MT) se obtuvo aplicando los porcentajes de la norma sobre un material que previamente fue mezclado en un 40% de arena fina AFC y 60% arena gruesa AGP.

Y una tercera mezcla fue propuesta adoptando lo indicado en la norma UNE 83968 con una modificación por el carácter fino y grueso de las arenas (identificado como UNE mod). La arena Fina AFC (el 40% de la mezcla) se conformó un 85% retenido en el tamiz 0,300 mm y un 15% retenido en el 0,150 mm. La arena gruesa AGP (el 60 % de la mezcla) se conformó con un 10% retenido en el 2,36mm, 25% retenido en el 1,18, 25% retenido en el 0,600mm y un 40% retenido en el 0,300 mm.

En la tabla 4 se muestra los retenidos en cada tamiz para cada una de las mezclas y para ambas arenas. Para cada mezcla (o muestra de agregado) fueron fabricados dos morteros de tres barras cada uno.

Tabla 4. Distribución granulométrica de las mezclas evaluadas.

Abertura de tamiz (mm)	Granulometría de origen (% retenido)		Mezcla Obra (MO)			Mezcla T (MT)			Mezcla UNE modificado (UNE Mod)		
	AFC	AGP	AFC	AGP	Mezcla O	AFC	AGP	Mezcla T	AFC	AGP	Mezcla UNE mod
2,36	0,4	6,2	0,2	3,7	3,9	0,4	9,6	10,0	0,0	6,0	6,0
1,18	0,6	26,7	0,2	16,0	16,3	0,4	24,6	25,0	0,0	15,0	15,0
0,6	3,0	36,7	1,2	22,0	23,2	1,3	23,7	25,0	0,0	15,0	15,0
0,3	71,5	28,3	28,6	17,0	45,6	15,7	9,3	25,0	34,0	24,0	58,0
0,15	24,5	2,0	9,8	1,2	11,0	13,3	1,7	15,0	6,0	0,0	6,0
Total (%)	100	100	40	60	100	31	69	100	40	60	100
MF	1,8	3,1	0,7	1,8	2,6	0,5	2,4	2,9	0,7	1,8	2,6

La norma UNE 83968 evalúa la expansión para la mezcla de un agregado potencialmente reactivo y uno no reactivo. En ésta, el huso granulométrico lo deben cumplir ambos agregados por separado y luego, para cada tamaño se debe mantener constante la proporción entre los agregados (en este caso 40/60). Considerando que la arena fina no tiene tamaños de grano grandes y que la arena gruesa no tiene finos (y que a su vez se desea ensayar sin triturar) no es posible generar el huso según la norma. Por lo tanto, se realiza una modificación al huso normativo. Esta modificación surge de la granulometría de origen de cada una de las mezclas y del peso acumulado sobre los tamices donde haya material suficiente, considerando un proceso de tamizado que no sea excesivamente laborioso (o sea que no se deba tamizar una cantidad de material excesivo).

En la Tabla 5 se indican los porcentajes acumulados que se deberían considerar cuando no se tiene material suficiente de alguno/s de los tamices (mayores para arena fina y menores para arena gruesa). En la Tabla 6 se estimó cuándo material debería ser tamizado según su granulometría de origen, para una cantidad del 40% de arena fina y 60% de arena gruesa en 990 g total.

En la arena fina AFC no sería posible tamizar para obtener material suficiente en el 2,36, ni material suficiente acumulado en el 0,6 mm, por lo tanto, se adopta un peso acumulado del 85% sobre el tamiz 0,3 mm y del 15% sobre el tamiz 0,15 mm. Para este último será necesario tamizar una muestra de arena fina de aproximadamente 500 g para fabricar un mortero de tres probetas.

La arena gruesa no presenta material fino (0,150 mm), por lo tanto, se consideró el peso acumulado en el tamiz 0,3 mm (40 %) ya que de esta forma la cantidad de material a tamizar no es excesiva, aproximadamente 840 g para la fabricación de un mortero. Las demás combinaciones de pesos acumulados no se consideran ya que las cantidades que se deberían tamizar son excesivas (celdas en rojo en Tabla 6).

Tabla 5. Porcentajes de peso acumulado sobre tamiz donde haya material suficiente.

	Normativo	Materiales finos (sin fracciones grandes)				Materiales gruesos (sin fracciones finas)			
Abertura de tamiz (mm)	todos los tamices	sin 2,36	sin 2,36 ni 1,18	0,3 y 0,15	solo 0,15	sin 0,15	sin 0,15 ni 0,3	2,36 y 1,18	solo 2,36
2,36	10	-	-	-	-	10	10	10	100
1,18	25	35	-	-	-	25	25	90	-
0,6	25	25	60	-	-	25	65	-	-
0,3	25	25	25	85	-	40	-	-	-
0,15	15	15	15	15	100	-	-	-	-
Total (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabla 6. Calculo del material necesario por tamiz según porcentajes acumulado y granulometría de origen de cada arena (en g).

	Teórico	Material sin fracciones grandes (arenas finas)					Material sin fracciones chicas (arena gruesa)				
Abertura de tamiz (mm)	todos los tamices	AFC (%)	sin 2,36	sin 2,36 ni 1,18	0,3 y 0,15	solo 0,15	AGP (%)	sin 0,15	sin 0,15 ni 0,3	2,36 y 1,18	solo 2,36
								0			
2,36	10	0,4	-	-	-	-	6,2	954	954	954	9.543
1,18	25	0,6	23.100	-	-	-	26,7	555	555	2.000	-
0,6	25	3,0	3.300	7.920	-	-	36,7	404	1.051	-	-
0,3	25	71,5	138	138	471	-	28,3	841	-	-	-
0,15	15	24,5	242	242	242	1.616	2,0	-	-	-	-
Total (%)	100	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-

4.3 Expansión en barras fabricadas con un único tamaño de grano.

Se evaluó la expansión de las barras fabricadas con la arena gruesa AGP en morteros fabricados con un único tamaño de grano (retenido en 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6mm y 0,3mm) según Tabla 7.

Tabla 7. Morteros fabricados con la arena AGP con un único tamaño de grano.

		Composición AGP	Composición único tamaño			
Pasa tamiz (mm)	Retenido tamiz (mm)	% en masa	M236	M118	M600	M300
4,75	2,36	10	100	-	-	-
2,36	1,18	25	-	100	-	-
1,18	0,6	25	-	-	100	-
0,6	0,3	40	-	-	-	100
0,15	fondo	-	-	-	-	-

5. RESULTADOS

5.1 Expansión para las distintas mezclas de arenas.

A partir del registro de expansión de cada una de las barras a diferentes edades hasta los 28 días de inmersión, se calculó el promedio en cada mortero para cada mezcla de arenas (mezcla MO, Mezcla T y mezcla UNE Mod, según Tabla 4) En el grafico Figura 3 se observa la evolución de la expansión de todas las mezclas, incluyendo los resultados de cada una de las arenas (AFC y AGP). En la Tabla 8 se indican los valores promedio de expansión para cada mezcla y para cada arena.

Figura 3. Gráfico de evolución de la expansión con la edad de inmersión en NaOH de cada mortero.

Tabla 8. Resultados de expansión por muestra (mezcla) ensayada. Promedio de dos morteros (M1 y M2).

Id. Muestra	Expansión (%)					
	0 días	3 días	7 días	14 días	21 días	28 días
AFC	0	0,011	0,036	0,071	sr	sr
AGP	0	0,041	0,079	0,143	0,175	0,198
MO	0	0,014	0,054	0,108	0,129	0,150
MT	0	0,031	0,080	0,148	0,178	0,197
UNEMod	0	0,032	0,058	0,096	0,134	0,164

Nota: SR significa sin resultado a esa edad de ensayo.

La arena Fina AFC es no reactiva, ambos morteros presentaron una expansión por debajo del 0,1% a los 14 días de inmersión, con un promedio de 0,071. La arena AGP es reactiva, el promedio de ambos morteros fue de 0,143% a los 14 días.

La mezcla de Obra (MO) dio una expansión similar a la muestra UNE Mod. Ambas están muy cercano al límite de aceptación de 0,1% a los 14 días. A los 28 días, ambas están por debajo del límite de 0,19%. La mezcla MT dio valores de expansión similares a la muestra de arena reactiva AGP, ambas superaron el límite de 0,1% a los 14 días y de 0,19% a los 28 días.

De la Tabla 4 se observa que, de las tres mezclas, la MT presentó el mayor contenido de la arena reactiva, cerca de un 70%. Si embargo, las mezclas MO y UNE Mod presentaron un contenido menor, del 60%. La reactividad alcalina de esta arena viene dada por el cuarzo microfracturado, por lo tanto, presentará un comportamiento en la expansión que es proporcional a la cantidad de material utilizado en la mezcla (sin efecto pessimum).

5.2 Expansión en barras fabricadas con un único tamaño de grano.

En la Figura 3 se muestra el gráfico de evolución de la expansión para cada uno de los morteros fabricados con un único tamaño de grano con la arena reactiva AGP. En la Tabla 9 se indica el valor promedio de expansión para dos morteros en los días evaluados.

Del registro fotográfico del ensayo se observaron eflorescencias posiblemente asociadas al gel de la reacción en todos los casos (Figura 4). En mayor proporción se observó en la AGP236 y AGP 118 y en menor proporción en las barras AGP300.

Las barras fabricadas con AGP 236 si bien presentaron una baja expansión la observación de los geles en la superficie indicaría que la reacción tuvo lugar. La muestra al estar fabricada con un único tamaño de grano de 2,36 permite que el gel pueda desplazarse más fácilmente hacia el exterior de las barras, con lo cual no causa un cambio significativo de su largo.

En los morteros fabricados con AGP 118 y AGP 600 se dio una combinación de los dos efectos; si bien se observó gel en la superficie de las barras, éste generó expansión.

Sin embargo, las barras fabricadas con AGP300 presentaron una menor expansión, similar a AGP236, pero se observó escasa cantidad geles (Figura 4). Dado que la arena no fue triturada y los tamaños de grano ensayados son de la arena natural, el tamaño de grano más chico de la arena debió presentar menor contenido de mineral reactivo. Esto fue confirmado por un técnico geólogo quién observó diferencias mineralógicas entre ambos tamaños de grano (muestra AGP 236 y AGP 300).

Figura 4. Evolución de la expansión en barras fabricadas con un único tamaño de grano de AGP.

Tabla 9. Resultados de expansión en barras fabricadas con un único tamaño de grano.

Id. Muestra	Expansión (%)					
	0 días	3 días	7 días	14 días	21 días	28 días
AGP	0	0,041	0,079	0,143	0,175	0,206
AGP 236	0	0,016	0,039	0,072	0,093	0,100
AGP 118	0	0,018	0,055	0,107	0,128	0,152
AGP 600	0	0,020	0,052	0,114	0,143	0,167
AGP 300	0	0,025	0,042	0,072	0,092	0,112

Figura 5. Imagen de las barras fabricadas con distinto tamaño de grano inmersas en la solución agresiva.

Por lo tanto, para la muestra de arena natural AGP se observó que el comportamiento en la expansión depende de la composición granulométrica con la que se fabrique el mortero. Tamaños únicamente mayores producen una expansión baja porque el gel tiende a lixiviar a la superficie de la barra y no genera expansión dentro de ésta, tamaños menores presentan menor cantidad de mineral reactivo y por lo tanto menos reacción. La muestra que incluye una distribución continua de granos presentó la mayor expansión (AGP).

6. CONCLUSIONES

El trabajo permitió observar la influencia de la composición granulométrica de la muestra de agregado sometida al ensayo de expansión acelerado en barras de mortero. En una muestra de arena reactiva, sin efecto pessimum y usada sin triturar, la expansión en morteros con un único tamaño de grano fue menor a la expansión de la muestra conteniendo una distribución uniforme de granos. Para evaluar la reactividad de una mezcla de arenas naturales (mezcla de arena fina y arena gruesa) sin triturar, la composición granulométrica en el ensayo acelerado deberá ser lo más similar a su posterior uso en el hormigón. Esto se debe a la sencillez en la preparación y a lo representativo de la mezcla estudiada. En el estudio solo se consideraron dos tipos de arenas. Para una mayor validez de los resultados se debería continuar el trabajo experimental incluyendo otras arenas sin efecto pessimum.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al laboratorio del Dpto. de Construcción (IET, Facultad de Ingeniería) donde fueron realizados los ensayos, a la CSIC y Concrexur S.A. por el financiamiento en el marco del proyecto Modalidad Vinculación Universidad-Sector Productivo y las empresas del medio que suministraron materiales para el estudio.

8. REFERENCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009). ABNT NBR 15577-4: *Agregados – Reatividade álcali-agregado. Parte 4: Determinação de expansão em barras de argamassa pelo método acelerado*. Rio de Janeiro, Brasil. www.abnt.org.br
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009). ABNT NBR 15577-1: *Agregados – Reatividade álcali-agregado. Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto*. Rio de Janeiro, Brasil. www.abnt.org.br
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (1999). *AENOR UNE 146508 EX: Ensayos de áridos. Determinación de la reactividad potencial álcali-sílice y álcali-silicato de los áridos. Método acelerado en probetas de mortero*. España. www.aenor.com.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2016). *AENOR UNE 83968 EX: Durabilidad del hormigón. Evaluación de la expansión de probetas de mortero utilizando mezclas de áridos potencialmente reactivos y no reactivos, frente a la reacción álcali-sílice y álcali-silicato. Método acelerado en probetas de mortero*. España. www.aenor.com.
- ASTM International. (2014). *ASTM C1260: Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)*. West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org.
- ASTM International. (2015). *ASTM C1293-08b: Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction*. West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org.
- ASTM International. (2016). *ASTM C 33: Standard Specification for Concrete Aggregates*. West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org.
- Falcone D., Milanesi, C. (2012). *Método acelerado del prisma de hormigón. Evaluación de la RAS con agregados de diversas regiones de la Argentina*. V Congreso Internacional y 19º Reunión Técnica de la AATH, Bahía Blanca, Argentina.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (1997). *IRAM 1674: Agregados. Determinación de la Reactividad Alcalina Potencial Método Acelerado de la Barra de Mortero*. Argentina. www.iram.org.ar
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2013). *IRAM 1700: Agregados. Método para la determinación del cambio de largo en prismas de hormigón, debido a la reacción álcali-agregado*. Argentina. www.iram.org.ar
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2013). *IRAM 1512: Agregados fino para hormigón de cemento. Requisitos*. Argentina. www.iram.org.ar
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2016). *IRAM 1512: Agregado grueso para hormigón de cemento. Requisitos*. Argentina. www.iram.org.ar
- Nixon, P y Sims, I. (2016). *RILEM: Recommendations for the Prevention of Damage by Alkali-Aggregate Reactions in New Concrete Structures, State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee 219-ACS*.
- Instituto Uruguayo De Normas Técnicas. (2017). *UNIT 20: Cemento pórtland para uso general. Definiciones y requisitos*. Montevideo, Uruguay. www.unit.org.uy
- Standar Australia. (2014). *AS 1141.60.1: Methods for sampling and testing aggregates Potential alkali-silica reactivity - Accelerated mortar bar method*. Australia.