

FORMA Y TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS Y SU INCIDENCIA EN EL RESULTADO DEL MÉTODO DE ENSAYO ASTM C-1260

José M. Cosentino¹, Jorge D. Sota^{1,2}, Fabián A. Avid¹

RESUMEN

Se analizan diferentes metodologías de trituración y su incidencia en los resultados de expansión medida con el método presente en la Norma ASTM C-1260. Se evalúa la moda y forma de las partículas obtenidas en dos tipos de metodología de trituración, a mandíbula y a martillo. Con macro y micro observaciones, así como con ensayos complementarios, queda establecido que el tipo de trituración influye en las medidas de expansión. Las experiencias permiten recomendar que se debería especificar el método de trituración (a martillo) para obtener valores trazables en los ensayos interlaboratorios, y medir la máxima expansión para cuantificar el grado de reactividad de los agregados.

Palabras clave: trituración, mandíbula, martillo, expansión, ASTM C-1260, forma de partícula, ensayos interlaboratorios, reactividad, RAS.

ABSTRACT

Different grinding methods and its influence on expansions measured by ASTM C-1260 are evaluated. Modes and particle shape obtained in two types of crushing equipment, a jaw crusher and a hammer mill are analyzed. Through macro and micro observations and additional testing, it can be established that the comminution procedure influence the expansion measures. Results shown in this paper suggest that the grinding method (hammer crushing) should be specified to obtain traceable results in interlaboratory testing, as well as measuring the maximum expansion to quantify the degree of reactivity of aggregates.

Keywords: grinding, jaw, hammer, expansion, ASTM C-1260, particle shape, interlaboratory testing, reactivity, ASR.

RESUMO

Analizam-se as diferentes metodologias de trituração e sua incidência nos resultados da expansão medida pelo método da norma ASTM C-1260. Avalia-se a moda e forma das partículas obtidas em dois tipos de metodologias de trituração, a saber: a mandíbula e a martelo. Com macro e micro observações, e ensaios complementários, fica estabelecido que o tipo de trituração influi nas medidas de expansão. As experiências permitem recomendar que se deveria especificar o método de trituração (a martelo) para obter valores rastreáveis nos ensaios interlaboratórios, e medir a máxima expansão para quantificar o grau de reatividade dos agregados.

Palavras-chave: trituração, mandíbula, martelo, expansão, ASTM C-1260, forma das partículas, ensaios interlaboratórios, reatividade, RAS.

INTRODUCCIÓN

La Facultad Regional Concordia de la Universidad Tecnológica Nacional lleva a cabo un estudio integral de los agregados regionales utilizados en la industria de la construcción. Éstos están representados por sedimentos aluvionales de las cuencas hídricas de los ríos Paraná y Uruguay, así como por rocas basálticas de la Formación Serra Geral^{1,2}, todos ubicados geográficamente en la Mesopotamia Argentina.

La tarea encarada, que comprende ensayos de caracterización y aptitud apoyados por determinaciones mineralógicas, petrográficas y químicas, pone especial énfasis en el análisis y evaluación de potenciales reacciones deletéreas

¹ Grupo GIICMA-Facultad Regional Concordia, Universidad Tecnológica Nacional, Entre Ríos, Argentina.² Facultad Regional La Plata, Universidad Tecnológica Nacional. Buenos Aires, Argentina.

como consecuencia de la reacción álcali sílice (RAS), que se determina mediante el ensayo acelerado de la barra de mortero (EABM) de acuerdo con ASTM C-1260 y el ensayo de prismas de concreto según procedimiento RILEM AAR-4.1.

Un hallazgo de la investigación, que constituye el objetivo de esta presentación, pone de manifiesto la importancia del método de molienda de los agregados en relación con los resultados obtenidos en el EABM. Los ensayos acelerados se llevaron a cabo simultáneamente en el Laboratorio de Materiales de la Facultad Concordia y en el Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario LEMIT. El objetivo de este procedimiento fue sumar a la caracterización de los agregados, la trazabilidad de los resultados en base a la metodología de ensayos interlaboratorios³. Las muestras procesadas en ambas instituciones –con el mismo sistema de molienda (trituradora a mandíbula)– verificaron una dispersión de los resultados de expansión ajustada a los parámetros estadísticos normalizados. En cambio, cuando uno de los laboratorios incorporó un sistema de molienda a martillos para procesar las muestras, algunos de los resultados comparativos se alejaron fuertemente de dichos parámetros⁴. Con el objeto de comprobar si estas diferencias eran propias de los materiales hasta ese momento analizados se estudiaron agregados de otras características petrográficas y mineralógicas, de diferentes zonas geológicas del país.

En este trabajo se establecen comparativamente las variables que llevan a tener en cuenta la molienda como factor importante en el EABM. Se demuestra que el tipo de trituración condiciona las modas granulométricas y la morfología de las partículas, factores que inciden significativamente en el resultado de los ensayos de expansión.

Tabla 1. Características generales de los agregados utilizados en el EABM.

Agregado	Procedencia	Petrografía / mineralogía
Granito rojo	Prov. de Buenos Aires	Migmatita granítica. Cuarzo con extinción ondulante parcialmente recristalizado. Abundante feldespato potásico y poca plagioclasa. Biotita en láminas arqueadas y escaso piroxeno.
Granito gris	Prov. de Buenos Aires	Migmatita granítica. Cuarzo con extinción ondulante, parcialmente recristalizado, feldespato potásico y plagioclasas moderadamente argilitizadas. Abundante mica y escaso piroxeno (augita).
Basalto M1	Prov. de Entre Ríos Formación Serra Geral	Basalto tholeítico (plagioclasa, piroxeno, magnetita). Hasta 4% de vidrio volcánico devitrificado.
Basalto MP2	Prov. de Corrientes Formación Serra Geral	Basalto tholeítico (plagioclasa, piroxeno, magnetita). Hasta 4% de vidrio volcánico devitrificado.
Canto rodado	Cordillera de los Andes Región de Cuyo	Rocas ígneas ácidas: riolitas y granitos poco alterados, andesitas, basaltos alterados, cuarcitas, cuarzo hidrotermal y areniscas.
Canto rodado	Depósitos terrazados del Río Uruguay	Rodados de: ópalo 20%-30%, calcedonia 15%-25%, cuarzo 25% -35%, arenisca 15%.

La influencia de las características microestructurales y texturales de los agregados en relación con la reacción álcali sílice ha sido analizada por algunos autores ^{5,6,7}. Estas propiedades de la matriz rocosa, que tienen un papel importante en el proceso de expansión, pueden ser alteradas en mayor o menor medida en función del método de molienda utilizado. Asimismo, la relación entre la expansión de los agregados reactivos y el tamaño de grano del agregado ha sido estudiada por numerosos investigadores ^{8,9,10,11}. Si bien se observan algunas discrepancias en cuanto a los resultados obtenidos, los ensayos de laboratorio indican que para un mismo agregado, a menor tamaño de grano mayor resulta la expansión.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el desarrollo de ensayos interlaboratorios, se pusieron de manifiesto diferencias significativas en las expansiones medidas en el ensayo acelerado de la barra de mortero entre muestras procesadas en diferentes laboratorios. Revisados los procedimientos, se identificó el empleo de dos métodos diferentes de molienda para obtener las granulometrías requeridas. Los equipos utilizados fueron en un caso una trituradora a martillos y en el otro una de mandíbulas.

Para estudiar la influencia del tipo de molienda en la reacción álcali sílice, se seleccionaron seis agregados integrados por rocas plutónicas, volcánicas y sedimentos aluvionales por ser éstos representativos de la mayor demanda de agregados para hormigones de cemento portland. En la Tabla 1 quedan indicados los materiales utilizados, así como su procedencia y características petrográficas.

El agregado extraído de las pilas de acopio, fue cuarteado en el laboratorio hasta obtener dos muestras representativas a fin de proceder a su trituración en cada uno de los equipos a comparar, según las siguientes características:

1) Una trituradora de mandíbulas, donde la muestra se repasa tantas veces como resulte necesario hasta obtener las cantidades que conforman la curva para realizar el ensayo acelerado de la barra de mortero. Con este sistema siempre queda un remanente de muestra retenido por el tamiz con abertura nominal de 4,75 mm.

2) Una trituradora a martillos fijos donde la muestra es triturada en su totalidad a pasante del tamiz con abertura nominal de 4,75 mm.

Antes de preparar las fracciones para los ensayos de expansión se determinó la granulometría resultante del triturado, obteniéndose las modas correspondientes a cada tipo de molienda. Para ello se dispuso de una secuencia de 13 tamices comprendidos entre 10 mm y 75 mm.

Posteriormente, se realizaron los rendimientos por fracciones, se confeccionó la curva correspondiente a la norma del EABM, se moldearon las probetas y obtuvieron los valores de expansión a las edades especificadas. Todos los procedimientos, en correspondencia con los dos tipos de triturado para cada muestra, fueron ejecutados simultáneamente por el mismo operador utilizando el mismo instrumental de laboratorio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Antes de proceder al análisis de los resultados y teniendo en cuenta la metodología comparativa enunciada, resulta recomendable fijar los criterios de evaluación del material pétreo a ser utilizado para la elaboración de concreto de cemento portland. Dicho agregado debe cumplimentar determinados parámetros relacionados con sus propiedades físicas y químicas, entre las cuales se encuentran la forma de las partículas, su granulometría y el contenido de material deletéreo y/o blando.

Forma de la partícula: Debe ser lo más cúbica posible, con un mínimo de formas planas o trozos elongados, consecuencia de la presencia de clivaje cuando se somete al agregado a los aparatos de reducción de tamaño. Esta propiedad se evalúa determinando el cociente entre la dimensión máxima y la mínima en agregados gruesos.

Granulometría: La granulometría permite conocer los rangos de tamaño de las partículas trituradas con miras a la obtención de agregado grueso y/o fino, y determinar si cumplen con las especificaciones de tamaño requeridas según ensayos normalizados.

Material deletéreo: Se determina el contenido de materia orgánica, arcilla, carbón y partículas blandas en el agregado. Dependiendo de su mineralogía y composición resultará el tamaño de grano obtenido, la forma de las partículas y distribución mineralógica.

En atención a lo expuesto precedentemente, y teniendo en cuenta la falta de definición en cuanto a la forma y equipos para la trituración de los agregados gruesos utilizando la metodología de la Norma ASTM C-1260, es que pueden hacerse las siguientes consideraciones sobre la base de los resultados obtenidos.

Tamaño de grano y tipo de trituración

Los intervalos granulométricos de los agregados especificados para el EABM y su masa porcentual se indican en la Tabla 2.

Tabla 2. Granulometría especificada para el EABM.

Abertura del tamiz		Masa
Pasante	Retenido	%
4,75 mm (malla 4)	2,36 mm (malla 8)	10
2,36 mm (malla 8)	1,18 mm (malla 16)	25
1,18 mm (malla 16)	600 μ m (malla 30)	25
600 μ m (malla 30)	300 μ m (malla 50)	25
300 μ m (malla 50)	150 μ m (malla 100)	15

Cuando se analiza la misma, se observa que el límite superior de cada intervalo granulométrico duplica la abertura de malla del tamiz correspondiente al límite inferior.

Asumiendo que el triturado posea buena cubricidad, una partícula cuyo tamaño fuera de 4,75 mm de lado tendría un área superficial de 135 mm². En cambio, si la granulometría de dicha partícula se encontrara más cerca del extremo inferior del intervalo (2,36 mm), para mantener la misma relación de masa se tendrían 8 partículas de 2,36 mm de lado. En este caso el área superficial total sería de 267 mm². Ello representa casi el doble de área superficial expuesta a la reacción álcali sílice. Para examinar con más detalle las derivaciones del tipo de molienda, se realizaron análisis granulométricos comparativos de los diferentes agregados, obteniéndose las modas correspondientes a cada tipo de

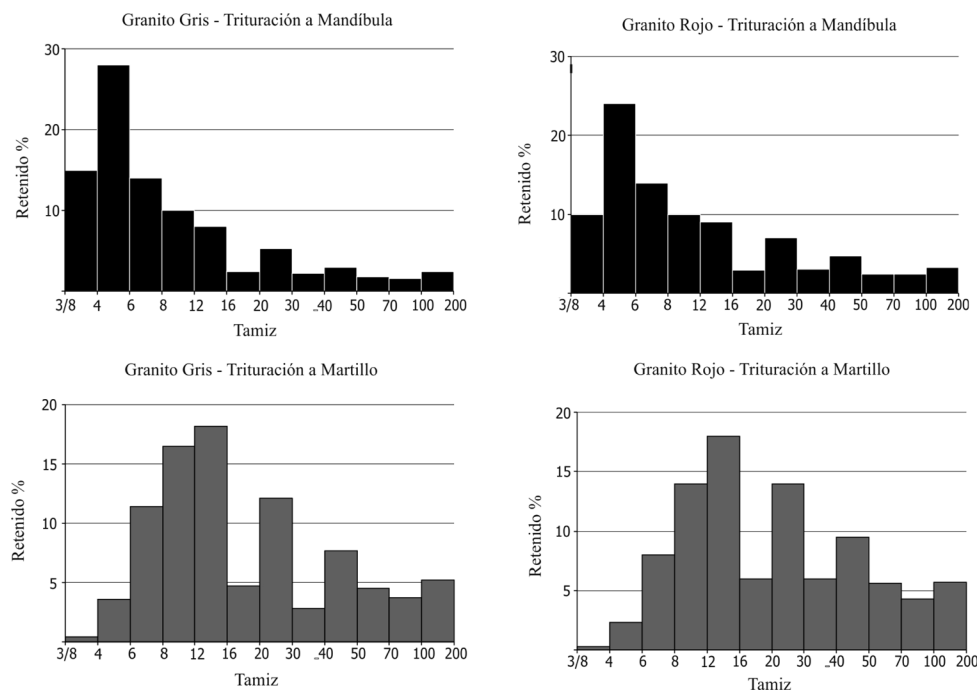


Fig. 1. Distribución granulométrica comparativa para molienda a mandíbula y martillo de agregados graníticos.

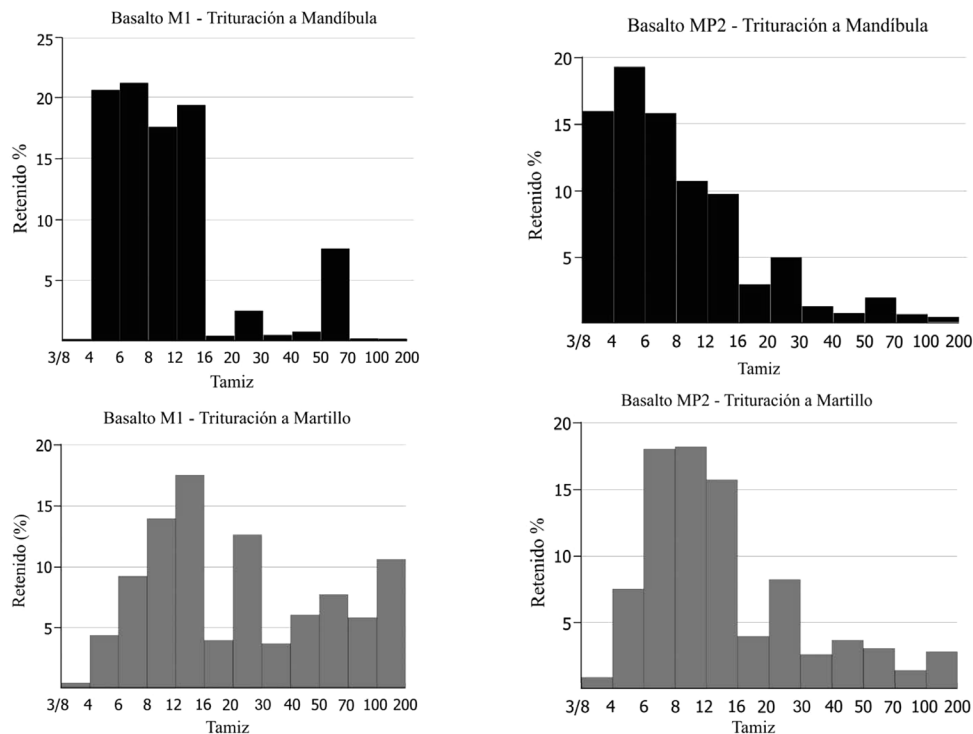


Fig. 2. Distribución granulométrica comparativa para molienda a mandíbula y martillo de agregados basálticos.

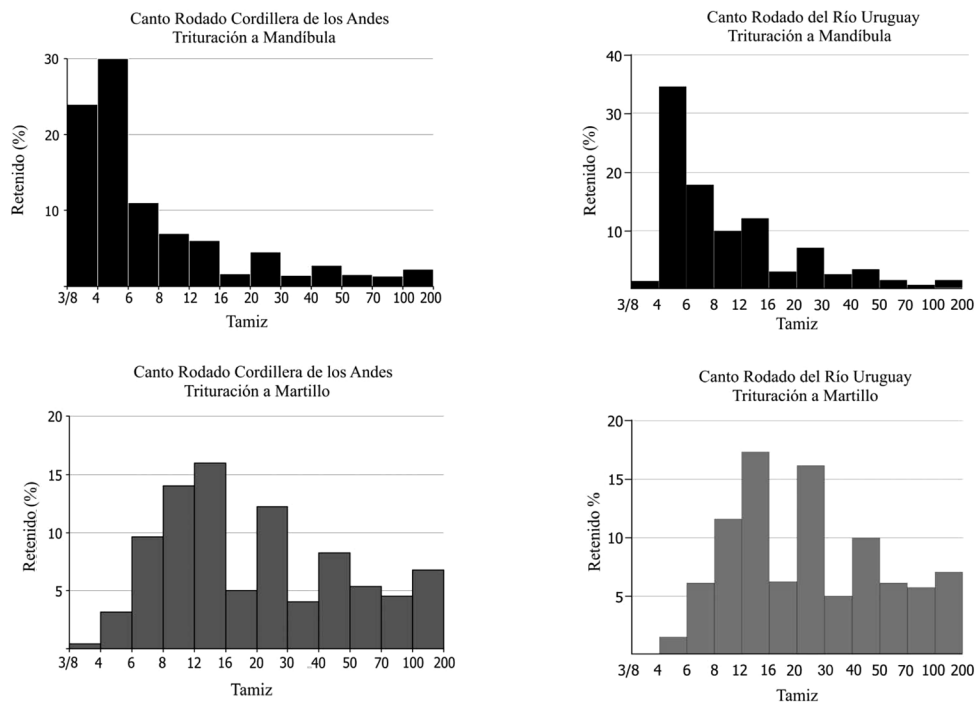


Fig. 3. Distribución granulométrica comparativa para molienda a mandíbula y martillo de agregados aluvionales.

trituration para un rango de tamices comprendidos entre 10 mm y 150 μ m. Las Figuras 1 y 2 y 3 muestran, mediante histogramas, las modas obtenidas en las distintas litologías.

Las distribuciones granulométricas en la trituration a mandíbula muestran mayoritariamente un sesgo positivo, con modas ubicadas en el rango de los tamices 4,75 mm-2,36 mm, y baja a muy baja generación de finos menores a 300 μ m. Por el contrario, en los triturados a martillo la moda se ubica fundamentalmente en el rango de tamices 1,70 mm-1,18 mm, con abundante producción de finos pasantes tamiz 300 μ m.

Cuando se compara la distribución porcentual de los triturados a martillo y mandíbula con los intervalos definidos en la Tabla 2, se observa que los primeros contienen mayor porcentaje de retenidos en el extremo de granulometría más fina de cada intervalo, a la inversa que los triturados a mandíbula que lo hacen en el más grueso. Ello significa que para la misma masa, los triturados a martillo contienen mayor cantidad de partículas y por consiguiente mayor superficie total expuesta a la reacción química de los álcalis del cemento con la sílice reactiva de los agregados.

Forma de grano y tipo de trituration

Otro parámetro estudiado se vincula con la forma de las partículas de los agregados triturados. Aparte de las características texturales propias de los materiales pétreos, la morfología del triturado depende del método de molienda utilizado. En el equipo a martillos, la reducción de tamaño se consigue por impacto contra el cuerpo del mismo y por atrición entre las partículas. La salida de la trituradora contiene una placa perforada con aberturas acordes al máximo tamaño

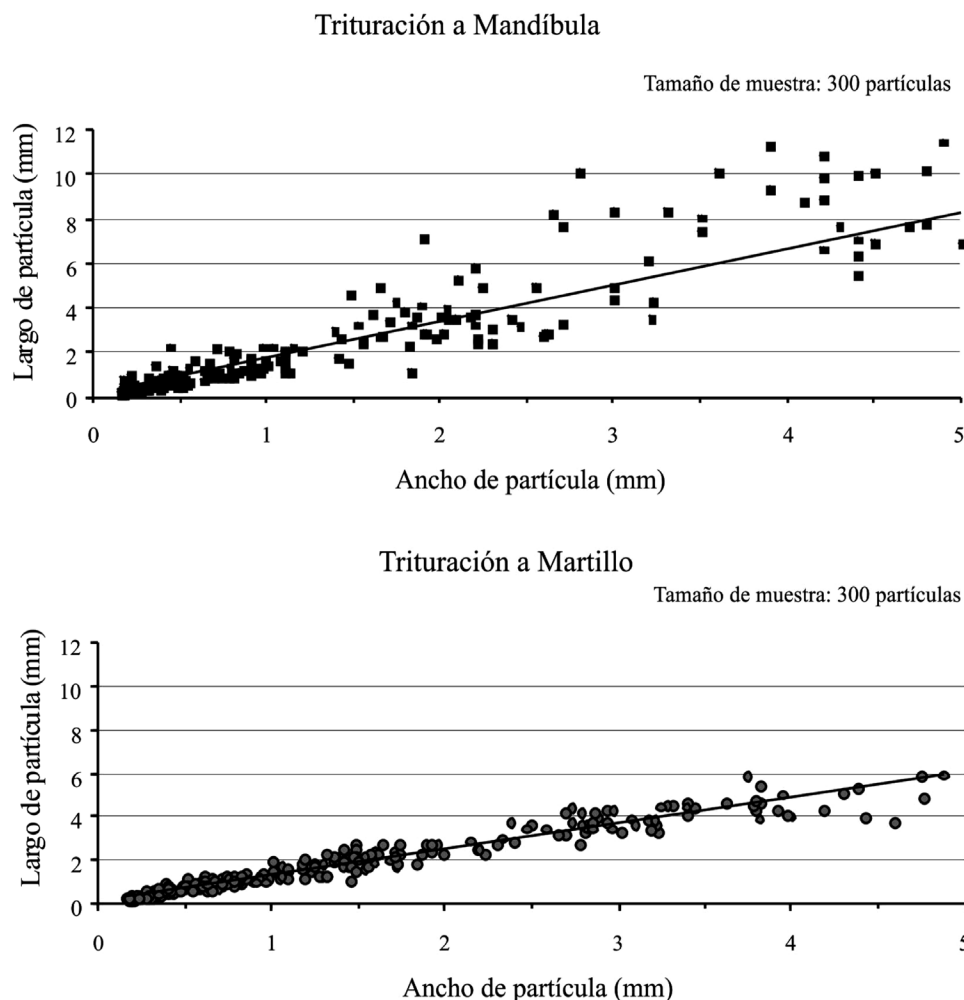


Fig. 4. Gráficos de dispersión de medidas de largo y ancho de partículas en agregados triturados.

deseado. Por ello, toda partícula mayor que dicha abertura es retenida en la cámara y lanzada nuevamente por el rotor hasta reducir su tamaño. Este tipo de máquina está diseñada para imprimir a las partículas velocidades similares a la de los martillos, consecuentemente la fractura del material se produce por la severidad del impacto con los martillos o con la cámara del rotor además del choque entre partículas, generándose una alta proporción de finos. Otra resultante de este proceso de molienda es la obtención de granos con buena cubicidad¹².

En la trituradora a mandíbulas, la reducción de tamaño se consigue por compresión entre una placa fija y otra con movimiento excéntrico. La granulometría de salida depende de la distancia fijada en el extremo inferior del par de mandíbulas. El ensayo acelerado de la barra de mortero especifica granulometrías comprendidas entre 4,75 mm y 150 μ m, resultando el límite inferior de difícil obtención con este tipo de equipo, tal como puede apreciarse en los histogramas de las Figuras 1, 2 y 3. La rotura por compresión tiende a producir mayor cantidad de partículas elongadas.

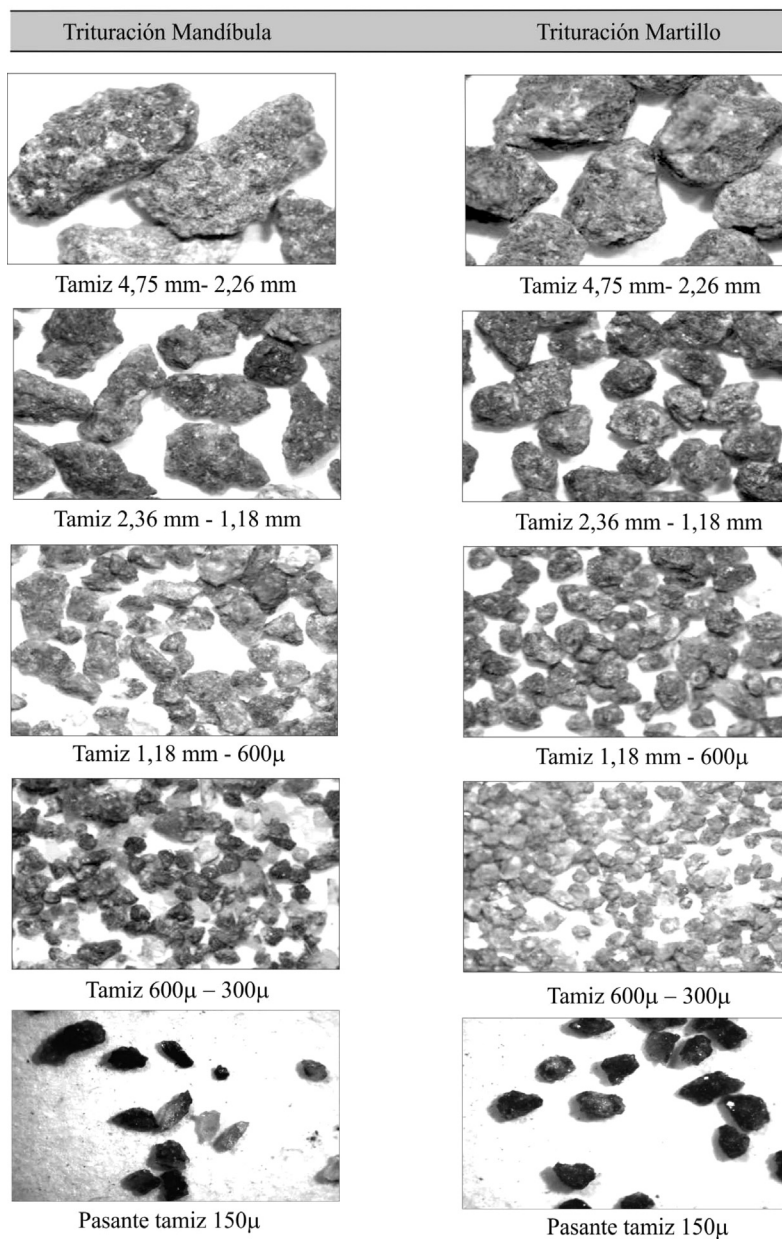


Foto 1. Granito rojo.

Para analizar esta situación, se procedió a segregar bajo lupa binocular 10 partículas de cada uno de los rangos granulométricos, correspondientes a cada tipo de triturado de las seis litologías evaluadas. Se midió el largo y ancho de cada una, representando los valores en los diagramas de dispersión que se muestran en la Figura 4.

La ecuación de las rectas y el coeficiente de correlación para cada tipo de trituración resultan:

$$y = 1,1734 x + 0,1542, \text{ con } R^2 = 0,9464 \text{ (molienda a martillo).}$$

$$y = 1,6233 x + 0,1944, \text{ con } R^2 = 0,8247 \text{ (molienda a mandíbula).}$$

La menor pendiente de la recta correspondiente a la molienda a martillo indica el predominio de partículas equidimensionales y el coeficiente de correlación verifica su poca dispersión, aún en las de tamaños mayores. Los producidos por el equipo a mandíbula tienden a ser elongados, en especial los tamaños mayores a tamiz 1,18 mm. En la Fotografía 1 se observa el material obtenido con los dos sistemas de trituración en los distintos tamaños. Entre los tamices 4,75 mm–600 μm resulta claro el contraste morfológico entre los triturados. Si bien la diferencia de formas se presenta en todas las fracciones se hace menor a medida que disminuye su tamaño.

Probablemente en relación con la forma de los granos, puedan formularse consideraciones similares a las anteriormente expuestas con respecto a su tamaño. Una partícula elongada, cuyo largo duplique el ancho, tendrá menos superficie de área que dos partículas equidimensionales con el mismo ancho. En este último caso, la superficie expuesta a una reacción química se incrementa significativamente.

Absorción de los morteros y tipo de trituración

Se realizaron determinaciones de absorción en trozos de los morteros resultantes con las mezclas utilizadas para la realización de los ensayos de durabilidad. La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 3. Absorción de los morteros.			
Agregado	Procedencia	Mandíbula Absorción %	Martillo Absorción %
Granito rojo	Prov. de Buenos Aires	7,7	7,1
Granito gris	Prov. de Buenos Aires	8,4	7,6
Basalto M1	Prov. de Entre Ríos Formación Serra Geral	9,1	8,8
Basalto MP2	Prov. de Corrientes Formación Serra Geral	8,8	8,6
Canto rodado	Depósitos terrazados Río Uruguay	9,9	9,6

Los valores que se indican no guardan una relación porcentual constante, sino que quedan diferenciados según el tipo de agregado ensayado. Un análisis preliminar permite deducir, en principio, que la porosidad de los morteros es en todos los casos mayor cuando el agregado se tritura con el equipo a mandíbula. Ello podría ser indicativo de un volumen mayor de vacíos donde se pueden alojar los productos de la reacción, disminuyendo la tracción dentro de los morteros. Esta acción derivaría en menores valores de expansión medidos en la metodología de la norma utilizada.

Ensayos de expansión y tipo de trituración

El comportamiento de los triturados en relación con la reacción álcali sílice fue evaluado mediante el Ensayo Acelerado de la Barra de Mortero (EABM), de acuerdo con ASTM C-1260. Este ensayo, que mide la reactividad potencial de un agregado a los 14 días de inmersión en una solución 1 N de NaOH a 80 °C, establece un comportamiento inocuo si la expansión es inferior a 0,10%, y un perfil potencialmente reactivo si la expansión supera 0,20%. Expansiones com-

prendidas entre 0,10% y 0,20% pueden representar comportamientos inocuos o deletéreos, requiriéndose información suplementaria para su tipificación. El EABM requiere triturar el material a granulometrías muy finas (entre 2,36 mm y 150 μ m), tamaños en los cuales se pierden parte de las características texturales y microestructurales de la matriz de la roca que constituye el agregado.

En la Figura 5 se muestran los resultados comparativos de expansión en el EABM para las diferentes litologías y métodos de trituración. La expansión a 14 días corresponde al valor medido el día 16 en el eje de abscisas, puesto que los dos primeros días corresponden a la etapa de curado e inmersión en agua de las barras de mortero.

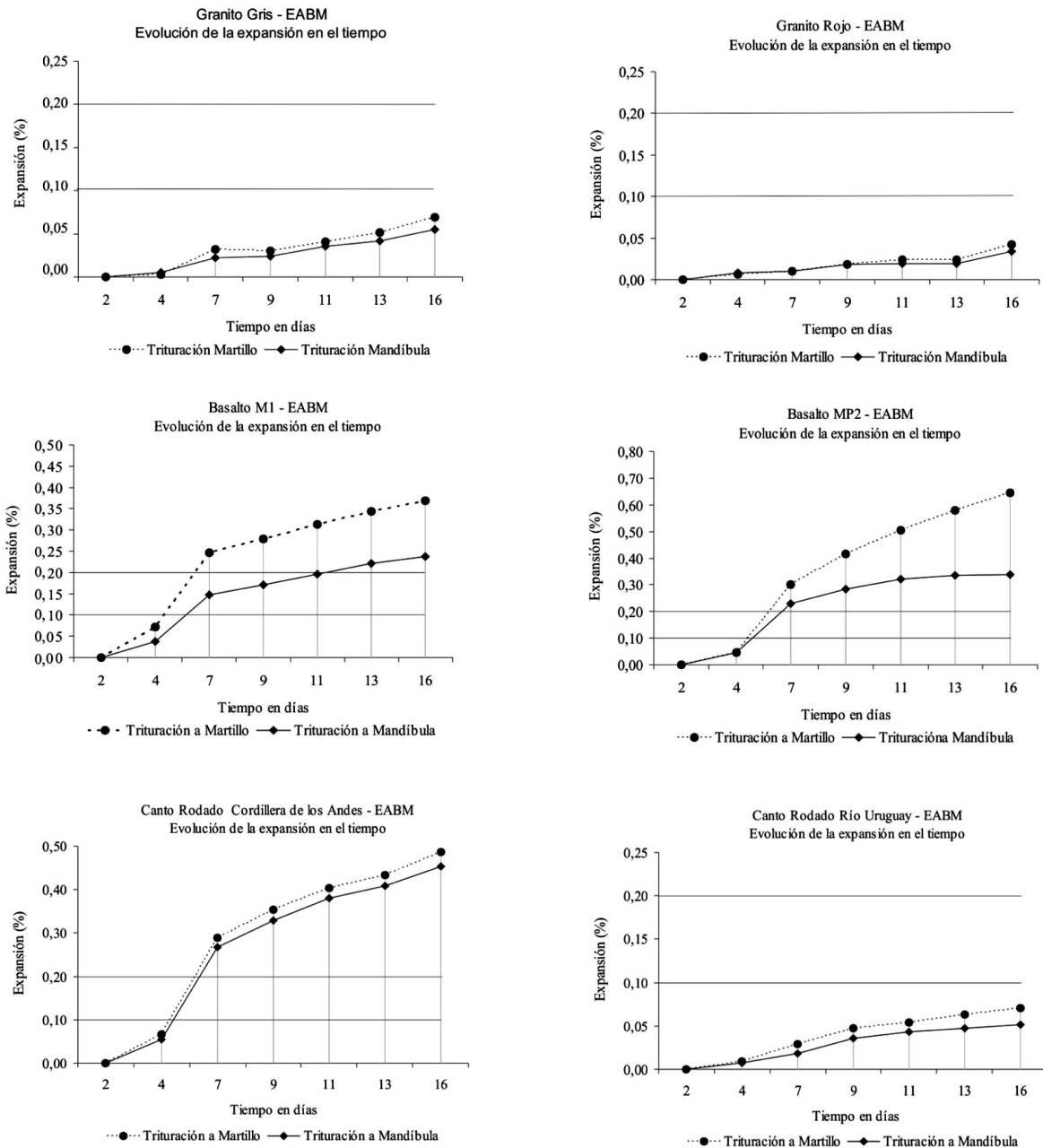


Fig. 5. Ensayo acelerado de la barra de mortero comparación de triturados a mandíbula y martillo.

Las rocas graníticas que muestran un comportamiento inocuo en el ensayo acelerado, acusan una diferencia de 20% en los valores de expansión entre ambos tipos de triturados. Las mayores expansiones corresponden siempre a las barras elaboradas con agregado triturado a martillo. La presencia de cuarzo tensionado en granitos resulta con frecuencia indicativo de agregados que exhiben una reacción lenta con los álcalis en el concreto^{13,14}. Para verificar este comportamiento, se efectuaron ensayos de expansión empleando la variante australiana del EABM según el método RTA T363^{15,16}. Los resultados obtenidos, con expansiones de 0,23% para el granito rojo y 0,21% para el gris para las edades normalizadas en el ensayo, confirman la reactividad de estos agregados. En este caso, también se prepararon triturados con ambos métodos de molienda (Fig. 6), verificándose una diferencia de 14%, correspondiendo las mayores expansiones a los triturados con el método a martillo.

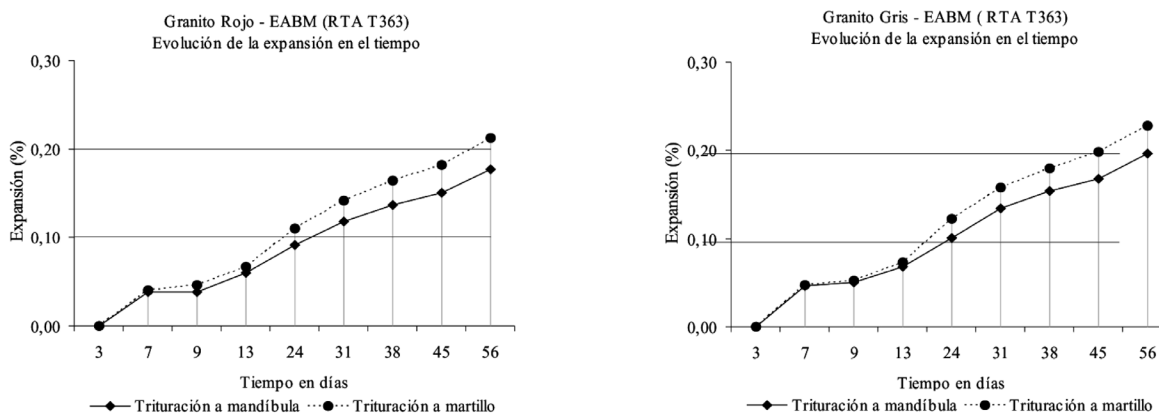


Fig. 6. EABM - RTAT363 comparación de triturados a mandíbula y martillo.

En el caso de los basaltos, cuya reactividad supera el límite de expansión de 0,20%, la diferencia entre ambos triturados se hace más significativa y está comprendida entre 36% en la muestra MP1 y 52% en la muestra MP2. En este caso también, las mayores expansiones corresponden a la trituración a martillo. Los agregados de origen aluvial exhiben respuesta disímil, con marcada reactividad para los originarios de la Cordillera de los Andes y comportamiento inocuo para los del Río Uruguay (Mesopotamia Argentina). Las diferencias entre ambos triturados son de 7% y 30%, respectivamente.

CONCLUSIONES

Sobre la base de los resultados obtenidos aplicando el método de ensayo ASTM C-1260 en agregados de distinta composición mineralógica (basaltos tholeíuticos, migmatitas graníticas, rodados líticos, rodados silíceos), procesados mediante dos tipos de trituración (mandíbula y martillo), se concluye lo siguiente:

Tipo de trituración

- El sistema de molienda influye de manera directa en los valores de expansión siguiendo la metodología de la referida Norma.
- El método de trituración incide significativamente en las modas obtenidas así como en la forma y tamaño de las partículas.
- El material procesado con molino a mandíbula exhibe una moda discontinua, con partículas lajosas y elongadas. La trituración a martillo, por el contrario presenta una moda continua y partículas redondeadas.

Composición mineralógica

- La forma de las partículas por efecto del tipo de trituración, tiene relevancia en la distribución de las fracciones deleterias y su exposición frente a la RAS, con mayor o menor incidencia según sea la textura y composición mineralógica del agregado estudiado.

b) No todos los agregados tienen una correlación similar en la diferencia de los valores de expansión, al cambiar el tipo de trituración. Las diferencias aumentan en la misma dirección que los valores crecientes de expansión.

Teniendo en cuenta las consideraciones precedentes, se debería especificar en la metodología de la Norma ASTM C-1260 el sistema de trituración utilizado. Esto disminuiría las diferencias en los valores de expansión de un mismo agregado en los ensayos realizados por diferentes laboratorios.

Referencias

1. Cosentino, JM.; Avid, FA.; Saad, E.; Voscoboinik, L.; Sota, JD. "Agregados aluvionales de la provincia de Entre Ríos. Su comportamiento frente a la RAS", en *Revista Hormigón*, H47, Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, pp. 7-17, 2009.
2. Avid, FA.; Cosentino, JM.; Saad, E., "Análisis de agregados regionales para el diseño de mezclas de pavimentos de hormigón en la nueva autopista mesopotámica (ex Ruta Nacional núm. 14)", en *III Congreso Internacional de Tecnología del Hormigón*, Córdoba-Argentina, pp. 553-560, 2008.
3. Cosentino, JM.; Avid, FA.; Machado, P.; Saad, E.; Sota, JD., "Estudio de los agregados aluvionales en explotación de la provincia de Entre Ríos frente a la RAS. Estudios interlaboratorios", en *III Congreso Internacional de Tecnología del Hormigón*, Córdoba-Argentina, pp. 233-240, 2008.
4. Sota, JD.; Cosentino, JM.; Avid, FA.; Saad, E. "La influencia de la trituración de los agregados basálticos en el ensayo de la barra de mortero IRAM 1674/97 y en el RTA T363 (Sayan). *IV Congreso Internacional de Tecnología del Hormigón*. Mar del Plata, Argentina, 2010.
5. Rivard, P.; Fournier, B.; Ballivy, G. "The damaging rating index method for ASR affected concrete. A critical review of the petrographic features of deterioration and evaluation", en *Cement, Concrete and Aggregates*, vol.24 (2), pp. 11, 2002.
6. Lu Duyou; Xu Zhongzi; Tang Mingshu, "ASR model for aggregates with different microstructure and texture", en *Journal of the Chinese Silicate Society*, vol. 30, (2), 2002.
7. Lu Duyou; Fournier, B.; Grattan-Bellew, PE. "Evaluation of accelerated test methods for determining alkali-silica reactivity of concrete aggregates", en *Cement & Concrete Composites*, 28, pp. 546-554, 2006.
8. Stanton, TE. "The expansion of concrete through reaction between cement and aggregate", en *Proceedings American Society for Civil Engineers*, vol. 66, pp. 1781-1810, 1940.
9. Diamond, S.; Thaulow, N., "A study of expansion due to alkali-silica reaction as conditioned by the grain size of the reactive aggregate", en *Cement and Concrete Research*, vol. 4 (4), pp.591-607, 1974.
10. Hobbs, D.W.; Gutteridge, W.A., "Particle size of aggregate and its influence upon the expansion caused by the alkali-silica reaction", en *Magazine of Concrete Research*, vol. 31 (109), pp. 235-242; 1979.
11. Zhang, C; Wang, M.; Tang, B; et. al., "Influence of aggregate size and aggregate size grading on ASR expansion", en *Cement and Concrete Research*, vol. 29, pp. 1393-1396; 1999.
12. Wills, BA. "Mineral processing technology", en *International Series on Materials Science and Technology*, vol. 29, Pergamon Press, 1979.
13. Hooton, RD. & Rogers, CA. "Development of the NBRI Rapid Mortar Bar Test leading to its use in North America" en *Construction and Building Materials*, 7, pp. 145-148, 1993.
14. Batic, O. R. y Sota, J.D. "Reacciones deletéreas internas" en *Durabilidad del hormigón estructural*, publicación de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, pp. 157-216, 2001.
15. Shayan, A.; Diggins, R.G.; Ivanusec, I.; Westgate, P.L. "Accelerated testing of some australian and overseas aggregates for alkali-aggregate reactivity" en *Cement and Concrete Research*, vol.18 (6) pp. 843-851, 1988.
16. Shayan, A. and Morris, H. "A comparison of RTA T363 and ASTM C1260 accelerated mortar bar test methods for detecting reactive aggregates" en *Cement and Concrete Research*, vol. 31 (4), pp. 655-663, 2001.