

Caracterización de agregados pétreos de las Sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires



P. Pérez Marfil¹
C. Priano²
F. Locati³
S. Marfil^{1,4}

¹ CGAMA (CIC-UNS).

² Dpto. de Ingeniería. Instituto de Ingeniería (CIC-UNS). Av. Alem 125. Bahía Blanca.

³ CICTERRA (CONICET-UNC). Av. Vélez Sarsfield 1611, Córdoba.

⁴ Dpto. de Geología - UNS, San Juan 670, Bahía Blanca.

Resumen

En este estudio se realizaron diferentes ensayos físicos en triturados pétreos de canteras ubicadas en las Sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires. A fin de efectuar una evaluación integral del desempeño de esos agregados para su uso en hormigón, se compararon los resultados de los ensayos físicos con estudios petrográficos previos (IRAM 1649). Se evaluaron siete canteras ubicadas en cercanías a las ciudades de Olavarría, Azul y Balcarce. Se realizaron análisis de densidad a granel y espacios vacíos (IRAM 1548), densidad relativa real, aparente y absorción de agua (IRAM 1533), granulometría (IRAM 1505) y se determinó la resistencia a la fragmentación (IRAM 1532). Los agregados presentan en general buenas características físicas, sin embargo, es indispensable efectuar comparaciones con el análisis petrográfico del material, ya que un buen desempeño en determinadas propiedades físicas puede no significar un buen comportamiento frente a la reacción álcali-sílice.

Abstract

In this study different physical characterization tests were performed in aggregates from quarries located in the Sierras Septentrionales of the province of Buenos Aires. In order to carry out a comprehensive evaluation of the performance of those aggregates for use in concrete, results of physical tests were compared with previous petrographic studies (IRAM 1649). Seven quarries located near Olavarría, Azul and Balcarce cities were evaluated. Bulk density and voids (IRAM 1548), relative real and apparent density, water absorption (IRAM 1533), granulometry (IRAM 1505) and fragmentation resistance (IRAM 1532) were determined. The aggregates generally present good physical characteristics; however, it is essential to compare with the petrographic analysis of the material, since a good performance in certain physical properties may not mean a good behaviour against alkali-silica reaction.

Palabras clave

agregados, ensayos físicos, migmatitas, reacción álcali-sílice

Key words

aggregates, physical tests, migmatites, alkali-silica reaction

Introducción

La importancia de fabricar hormigones de excelente calidad hace indispensable conocer en detalle las características de sus componentes, ya que tanto su durabilidad como la resistencia dependen de las propiedades fisicoquímicas y mineralógicas de esos constituyentes. Requiere particular atención la evaluación del desempeño de los agregados pétreos ya que un hormigón convencional posee aproximadamente 78% de agregados en masa [1]. Para ello, es necesario llevar a cabo estudios de detalle que aporten información sobre el comportamiento de estos materiales, cumpliendo con los requisitos de las normas IRAM vigentes.

Los procesos que afectaron a las rocas durante su historia geológica, imprimen en las mismas una serie de características que son distintivas para cada proceso (textura, mineralogía, tamaño de grano, etc.). Estas características influyen notablemente en el comportamiento físico y mecánico de los agregados [2,3]. Para evaluar estos parámetros, existen ensayos de aceptación y de caracterización. Los primeros permiten definir la aptitud de un determinado yacimiento o frente de explotación. La frecuencia de realización es baja pero en general demandan mucho tiempo para obtener resultados y están muy vinculados a la durabilidad del hormigón. Los ensayos de caracte-

rización están relacionados con el control de calidad que se realiza durante la producción y evalúan propiedades que al fluctuar, modifican el comportamiento del hormigón en estado fresco. Su frecuencia es alta y los resultados se obtienen rápidamente [4].

Algunas de las características de los agregados dependen de su origen mineralógico pero la forma de extracción y trituración influye principalmente en la granulometría, forma y limpieza de los agregados. Es por esto, que el estudio de los agregados para hormigón no debe limitarse a uno u otro aspecto del material, sino que debe ser un estudio integral e interdisciplinario.

Si bien estas propiedades tienen un gran impacto en el comportamiento del hormigón en estado fresco, en estado endurecido y en el desempeño en servicio, usualmente se presta poca consideración al ensayo de los agregados con la anterioridad suficiente a su utilización en una obra. Las características de los agregados locales debe ser materia de estudio desde el proyecto de una estructura de hormigón de manera tal de permitir la ejecución de los ensayos que demandan mayor tiempo para la obtención de resultados. La realización de estos estudios en forma preventiva permite generar una base de datos con información actualizada de las características de los agregados de distintos yacimientos [4].

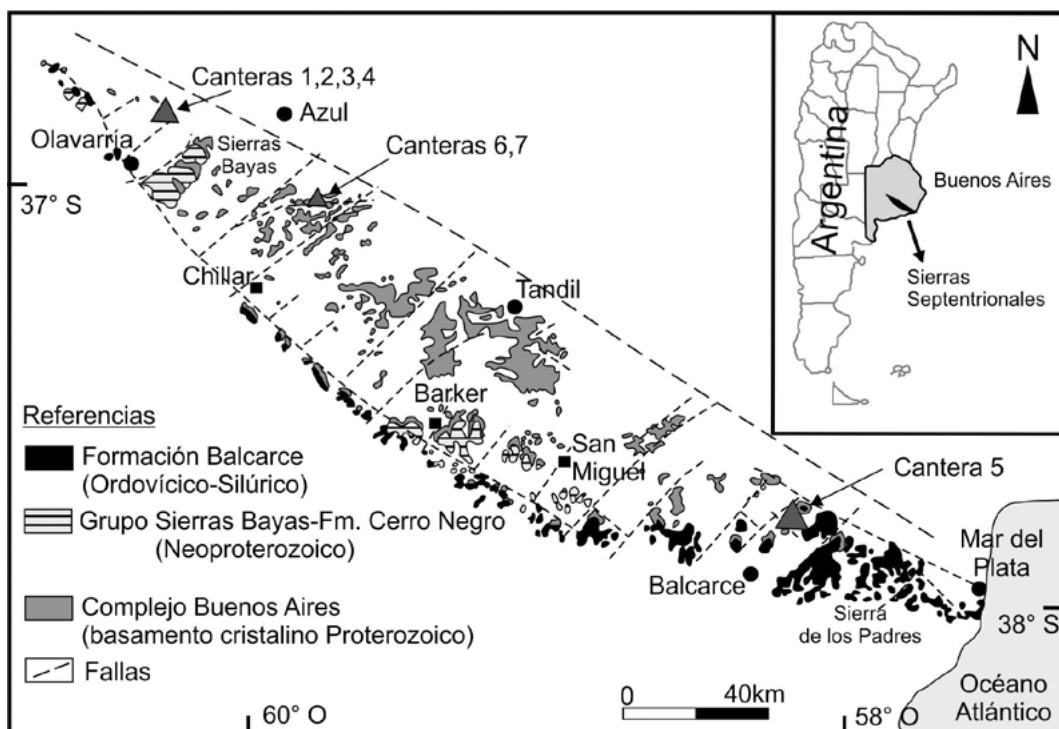


Figura 1. Ubicación de las canteras estudiadas (modificado de Cingolani, 2010 [9]).

En este trabajo se presentan resultados de análisis de densidad a granel y espacios vacíos (IRAM 1548 [5]), densidad relativa real y aparente, absorción de agua (IRAM 1533 [6]), granulométricos (IRAM 1505 [7]), y de resistencia a la fragmentación (IRAM 1532 [8]) de agregados gruesos de siete canteras de las Sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires. Se analizan los resultados y se comparan con resultados de análisis petrográficos obtenidos en un trabajo previo [13], a fin de efectuar una evaluación integral del desempeño de esos agregados.

Materiales y Métodos

El material que se utilizó corresponde al triturado de tamaño nominal 6-20 mm, extraído de las pilas de acopio de siete canteras, ubicadas en cercanías a las localidades de Olavarría, Azul y Balcarce (Fig.1).

Se realizaron los siguientes ensayos: determinación de la densidad a granel y de los espacios vacíos [5], densidad relativa real, densidad relativa aparente y absorción de agua para agregado grueso [6], análisis granulométrico [7], y determinación de resistencia a la fragmentación por el método "Los Ángeles" [8].

Resultados y discusión

En la Tabla 1 se detallan los resultados de los ensayos de densidad a granel y espacios vacíos [5], y de densidad relativa real, aparente y absorción de agua [6] para cada una de las muestras estudiadas.

Teniendo en cuenta los valores del peso unitario o densidad a granel y los de densidad relativa, todos los agregados estudiados clasifican por peso y masa específica, como agregados normales. Los valores de absorción resultaron muy bajos en todas las muestras.

El porcentaje de espacios vacíos de un material granular aumenta con la aspereza y angulosidad de las partículas. Todas las muestras estudiadas se componen de agregados ásperos y de forma poliédrica debido al propio proceso de trituración.

En la Tabla 2 figura el análisis granulométrico [7] de cada una de las muestras estudiadas.

Tabla 2. Análisis granulométrico [7].

Tamiz mm	Retenido Acumulado (%)						
	Cantera						
	1	2	3	4	5	6	7
25	----	----	----	----	----	----	----
19	11	4	3	----	4	----	5
12,5	79	53	66	26	75	43	78
9,5	97	80	97	57	97	73	96
6,35	100	92	100	74	99	90	99
4,75	100	98	100	92	100	96	100

En la Figura 2 se grafican las curvas granulométricas correspondientes a los agregados de las canteras N° 1, 3, 5 y 7. Se observa que las muestras están compuestas por abundante proporción de un tamaño determinado (mayoritariamente partículas retenidas en los tamices 1/2" y 3/8"), generando una granulometría uniforme. La falta de diversidad de tamaños genera una baja compacidad del agregado y un elevado contenido de espacios vacíos. Hormigones elaborados con agregados de granulometría discontinua, son más propensos a la segregación y/o exudación, sobre todo en mezclas muy fluidas [10]. Además

Tabla 1. Resultados de ensayos físicos [5,6].

Cantera	1	2	3	4	5	6	7
PU _{c,s} (kg/m ³)	1510	1600	1520	1630	1550	1540	1520
PU _{s,s} (kg/m ³)	1360	1380	1290	1430	1310	1360	1300
d ₁	2,79	2,73	2,73	2,75	2,68	2,71	2,71
d ₂	2,79	2,72	2,72	2,74	2,67	2,71	2,70
d ₃	2,79	2,72	2,72	2,74	2,67	2,71	2,71
A (%)	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2
Ev (%)	46	41	44	41	46	43	44

PU_{c,s}: Peso unitario compactado y en estado seco. PU_{s,s}: Peso unitario suelto y en estado seco. d₁: Densidad relativa real. d₂: Densidad relativa aparente en estado seco. d₃: Densidad relativa aparente en estado saturado superficie seca. A: Absorción. EV: Espacios Vacíos.

no se ajustan a las curvas límites establecidas por la IRAM 1627 [11] para su correspondiente tamaño nominal.

En la Figura 3 se grafican las curvas granulométricas correspondientes a los agregados de las canteras N° 2, 4 y 6. Presentan una mejor distribución de tamaño que las anteriores y se encuadran

dentro de las curvas límites establecidas por la IRAM 1627 [11] para su correspondiente tamaño nominal.

En la Tabla 3 se indican los valores obtenidos en el ensayo de resistencia a la fragmentación por el método "Los Ángeles" [8].

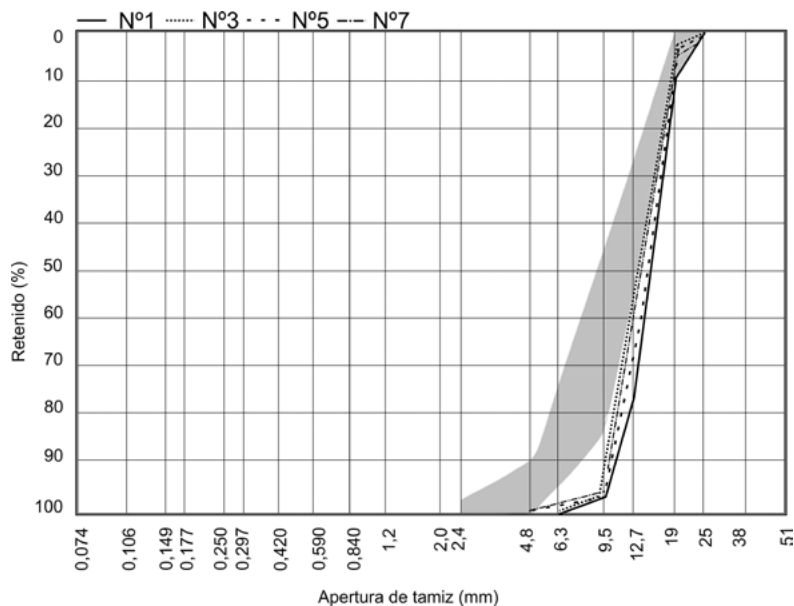


Figura 2. Granulometría de los agregados de las canteras 1, 3, 5 y 7. El área sombreada corresponde a los límites indicados en la norma IRAM 1627 [11] para el tamaño nominal 19 mm – 4,75 mm.

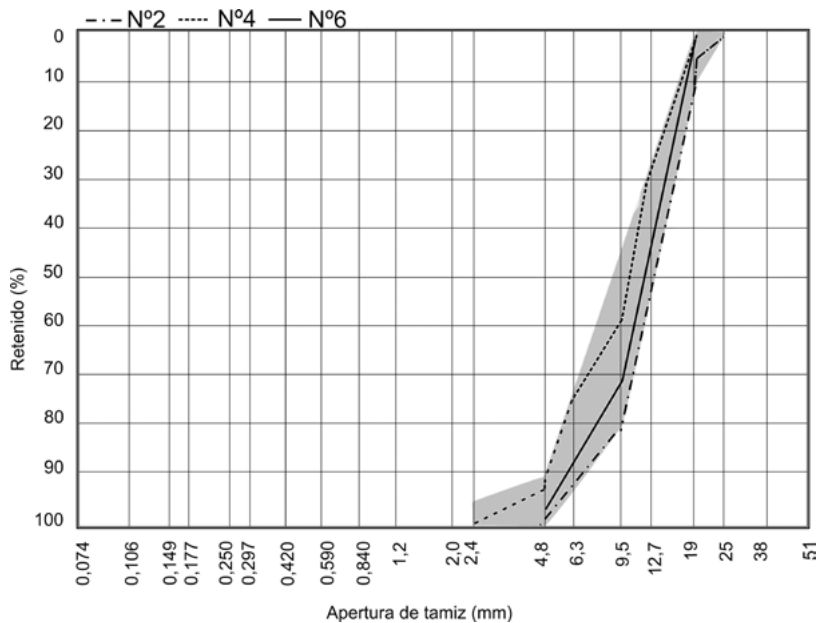


Figura 3. Granulometría de los agregados de las canteras 2, 4 y 6. El área sombreada corresponde a los límites indicados en la norma IRAM 1627 [11] para el tamaño nominal 19 mm – 4,75 mm.

Tabla 3. Resultados del ensayo “Los Ángeles” [8].

Cantera	1	2	3	4	5	6	7
Pérdida (%)	23,8	23,1	19,1	23,8	22,9	14,3	21,1

Los valores de pérdida para todos los agregados resultaron menores al 50%, límite establecido por la norma IRAM 1531 [12] e inclusive inferior al 30%, límite para el caso de hormigones expuestos a una fuerte abrasión.

En un trabajo previo [13] se realizó la caracterización petrográfica de estos agregados según la norma IRAM 1649 [14], y se las calificó siguiendo los requerimientos de la norma IRAM 1531 [12] para evaluar su potencial reactividad frente a la reacción álcali-sílice (Tabla 4).

Según estos resultados, todas las muestras se califican como no reactivas a excepción de la Cantera 6 que corresponden a milonitas. Estas rocas se caracterizan por tener porfiroclastos redondeados y levemente orientados de feldespato potásico, plagioclasa, cuarzo, y hornblenda principalmente, en una matriz de grano fino (< 62µm) de cuarzo, feldespatos y biotita.

La disminución en el tamaño de grano de la matriz de la roca debido a procesos de deformación, puede influir positivamente en la resistencia a la fragmentación y desgaste [15]. Este proceso es el que se manifiesta en los agregados de la Cantera 6 donde se registra el valor más bajo de los desgastes medidos (14,3%). Sin embargo, este proceso también generó un alto porcentaje de cuarzo microcristalino (21,2%), calificándola como potencialmente reactiva desde el punto de vista petrográfico.

Es importante remarcar entonces que la caracterización de los agregados pétreos para hormigón, debe indefectiblemente integrar no solo datos de ensayos físicos y/o químicos, sino también petrográficos, ya que la composición mineralógica de las rocas, así como su grado de alteración y características texturales, impactan directamente en los resultados.

Tabla 4. Características petrográficas y calificación de las muestras estudiadas según normas IRAM 1649 [14] y 1531[12]. AEO: ángulo de extinción ondulante. (modificado de [13])

Cantera	Tipos de roca	Minerales principales	Análisis modal		Calificación según IRAM 1531 [12]
			AEO promedio (°)	Cuarzo microcristalino <62 µm (% análisis modal)	
1	Migmatitas	Cuarzo, hornblenda, biotita, feldespato potásico y plagioclasa.	12	1,6	No reactiva
2	Granitoides	Cuarzo, hornblenda, biotita, feldespato potásico y plagioclasa.	14	<0,1	No reactiva
3	Migmatitas	Cuarzo, hornblenda, biotita, feldespato potásico y plagioclasa.	15	1,9	No reactiva
4	Migmatitas	Cuarzo, hornblenda, biotita, feldespato potásico y plagioclasa.	12	2,7	No reactiva
5	Migmatitas	Cuarzo, biotita, granate, feldespato potásico y plagioclasa.	11	3,6	No reactiva
6	Milonitas	Cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, hornblenda y biotita de grano fino.	5	21,2	Potencialmente reactiva
7	Migmatitas	Cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y hornblenda.	8	0,5	No reactiva

Conclusiones

Todos los agregados estudiados clasifican por peso y masa específica, como normales, con valores de absorción muy bajos en todas las muestras.

Según su granulometría se observan dos grupos contrastados. Uno con falta de diversidad de tamaños que genera una baja compacidad del agregado y un elevado contenido de espacios vacíos (muestras N° 1, 3, 5 y 7), y otro con una mejor distribución de tamaños, encuadrándose dentro de las curvas límites establecidas por norma (muestras N° 2, 4 y 6).

En cuanto a la pérdida por desgaste, todas las muestras dieron valores por debajo del 30%.

Los procesos de deformación que afectan las rocas pueden impactar positivamente en la resistencia de los agregados, por ejemplo por una disminución en el tamaño de grano. Sin embargo, es indispensable comparar los resultados de ensayos físicos con análisis petrográficos, ya que estos procesos pueden producir un porcentaje de cuarzo microcristalino superior al permitido por norma.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la UNS, al CICTERRA (CONICET-UNC), y al CGAMA-CIC por el apoyo brindado. A las empresas Loma Negra, Piatti, Guerrico, Yaraví, Dos Arroyos y Marengo por permitirnos el ingreso para realizar los trabajos de campo. Al personal de las canteras que nos recibió y acompañó, por su excelente disposición para la realización relevamiento y muestreo. Al Dr. Julio del Río por su valiosa colaboración. Este trabajo fue financiado por un subsidio de la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires.

Referencias

- [1] L. P. Traversa, "Introducción". En: N.G. Maldonado y M.F. Carrasco (Eds) Ese material llamado hormigón, AATH, Capítulo 1, pp. 1-18 (2012).
- [2] B. Brattli, "The influence of geological factors on the mechanical properties of basic igneous rocks used as road surface aggregates". *Engineering Geology*, Vol 33, pp. 31-44 (1992).
- [3] W. Sun, L. Wang, Y. Wang, "Mechanical properties of rock materials with related to mineralogical

characteristics and grain size through experimental investigation: a comprehensive review". *Front. Struct. Civ. Eng.*, Vol 11, N° 3, pp. 322-328 (2017).

[4] E. Souza, D. Caló, "Influencia de las características del agregado en el comportamiento del pavimento de hormigón". 1° Congreso Argentino de Áridos, Mar del Plata, Tomo I, pp. 341-349 (2008).

[5] IRAM 1548, "Agregados. Determinación de la densidad a granel y de los espacios vacíos". Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 11 pp. (2003).

[6] IRAM 1533, "Agregados gruesos. Método de laboratorio para la determinación de la densidad relativa real, de la densidad relativa aparente y de la absorción de agua". Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 11 pp. (2002).

[7] IRAM 1505, "Agregados. Análisis granulométrico". Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 12 pp. (2005).

[8] IRAM 1532. "Agregados. Determinación de la resistencia a la fragmentación por el método Los Ángeles". Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 14 pp. (2009).

[9] C.A. Cingolani, "The Tandilia System of Argentina as a southern extension of the Río de la Plata craton: an overview". *International Journal of Earth Science*, Vol 100, N° 2-3, pp. 221-242 (2010).

[10] D. Bascoy, "Tecnología del hormigón fresco". Asociación Argentina de Tecnología del hormigón, Ed. Biblos 344 pp. (1992).

[11] IRAM 1627, "Agregados. Granulometría de los agregados para hormigones". Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 23 pp. (1997).

[12] IRAM 1531, "Agregado grueso para hormigón de cemento". Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 33 pp. (2016).

[13] P. Pérez Marfil P., F. Locati, S. Marfil, L. Lescano, P. Maiza, "Estudio petrográfico de migmatitas del sistema de tandilia utilizadas como agregados para hormigón en la provincia de Buenos Aires". 3er Congreso Argentino de Áridos, Córdoba, pp. 154-160 (2017).

[14] IRAM 1649, "Examen petrográfico de agregados para hormigón", Instituto Argentino de Racionalización de Materiales 13 pp. (2008).

[15] B. Brattli, "The influence of cataclasis on abrasion resistance of granitic rocks used as road surface aggregates". *Engineering Geology*, Vol 37, pp. 149-159 (1994).