

Caracterización Mineralógica y Química de Áridos Ofíticos Sometidos a Ensayos Normalizados de Durabilidad

/ JOAN MARTÍNEZ-BOFILL (1, 3*), ALBERT SOLER (2), NEUS OTERO (2), EDUARD SALVADO (2)

(1) Departament d'Enginyeria del Terreny. Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya. C. Jordi Girona, sn. Barcelona (España)

(2) Grup de Mineralogia Aplicada i Medi Ambient, Departament de Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals. Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona. C/Martí Franquès, sn. Barcelona (España)

(3) Geomar Enginyeria del Terreny, SLP. C. València, 1 subsòl local 12. 08015. Barcelona (España)

INTRODUCCIÓN

Este trabajo surge a raíz de la problemática derivada del uso de áridos ofíticos en firmes asfálticos de carreteras, donde la capa de rodadura presenta problemas generados por la alterabilidad y degradabilidad del árido. Este hecho tiene una incidencia sobre el mantenimiento de la red viaria y en la seguridad de los vehículos, debido a la pérdida de adherencia del firme.

Los áridos ofíticos proceden de la extracción y machaqueo de ofitas. El término ofita no está reconocido como nombre oficial de roca por la International Union of Geological Sciences (Le Maitre, 2002). Según Riba (1997), las ofitas se definen como una roca ígnea subvolcánica de tipo dolerítico, formada por piroxenos, plagioclasas y en ocasiones cuarzo, con una textura marcada por grandes cristales de piroxeno envueltos por una matriz fina de plagioclasa. Estos minerales a menudo muestran el desarrollo de alteración con la formación de minerales secundarios como serpentina, anfíboles, clorita, epidota, y prehnita, entre otros.

El término "áridos ofíticos" se ha usado para designar aquellos áridos que se emplean en capas de rodadura, independientemente de su origen, no obstante según la norma UNE 146901:2008 los áridos deben ser denominados según su naturaleza.

Para garantizar la calidad del árido, se exigen unas especificaciones geométricas, de resistencia, durabilidad y composición, que se comprueban mediante la realización de una serie de ensayos. Dichas especificaciones y valores se detallan en el PG3 (Ministerio de Fomento, 1976) y en la norma UNE-EN 13043:2003.

El objetivo del presente trabajo es proponer ensayos índice que permitan determinar el grado potencial de alterabilidad de los materiales, y su adecuación para el uso en capas de rodadura.

METODOLOGÍA

La zona de muestreo y aplicación han sido cinco canteras numeradas de C-1 a C-5 proveedoras de árido de capa de rodadura, para la Red de Carreteras de la Diputación Foral de Guipúzcoa. Se ha realizado una campaña de campo (2010) obteniendo 26 muestras que han sido ensayadas y analizadas.

La cantera C-1 se localiza en la "Formación Volcanosedimentaria de la Unidad de Oiz, del Cretácico Superior. La roca explotada corresponde a "pillow lavas" de composición basáltica. La cantera C-2 explota rocas ígneas hipoabisales de carácter básico (ofitas) que intruyen en los materiales sedimentarios arcillosos de la Facies Keuper, del Triásico superior. La cantera C-3 explota rocas subvolcánicas basáltico-andesíticas intruidas en calizas semimasivas del límite Triásico-Jurásico. La explotación de la cantera C-4 está situada en un cinturón de corneanas que bordean por el sur el plutón de granito adamelítico de Aldeavieja-Villacastín. La cantera C-5 explota una unidad de andesitas en el enlace entre el Sistema Central Español y la Cordillera Ibérica.

Se ha caracterizado la durabilidad de las muestras utilizando el ensayo de envejecimiento Sonnenbrand, con el objetivo de valorar la degradabilidad de los áridos desde un punto de vista químico cuando está expuesto a la agresión medioambiental de las inclemencias meteóricas. Este ensayo ha sido realizado de acuerdo con la

norma UNE-EN 1367-3. Como modificación del ensayo estándar, antes y después de finalizar el ensayo de durabilidad, se ha realizado un análisis químico de los áridos y del agua usada en el ensayo mediante espectrometría de Fluorescencia de rayos X (XRF) y Espectroscopia Emisión Óptica/Plasma Acoplamiento Inductivo (ICP-OES), respectivamente. El objetivo de estos análisis ha sido buscar variaciones en la composición química que pudieran correlacionarse con los procesos de alteración.

Las muestras han sido caracterizadas mineralógicamente mediante difracción de rayos X (XRD) y microscopia de luz transmitida (OM), para estudiar la presencia de fases minerales de alteración, así como observar el grado de alteración de cada fase mineral. El contenido en agua y carbonato ha sido determinado mediante la pérdida al fuego y calcinación (UNE-EN 196-2).

RESULTADOS

La caracterización petrográfica muestra que no todos los áridos se clasifican de forma adecuada según su naturaleza de acuerdo a la norma UNE 146901:2008. Así, C-2 y C-3 corresponden a rocas ofíticas en sentido petrológico. Los áridos de C-1 y C-5 deberían clasificarse como B y V. Los áridos de C-4 corresponden a una mezcla de rocas metamórficas (metacuarcitas y metagrauvas), basaltos y andesitas.

La Tabla 1 muestra los resultados de la caracterización mineralógica mediante XRD. Se han indicado los minerales de alteración meteórica (clorita, calcita y sericita), y los minerales que por su estructura no son beneficiosos para el árido. Así, la presencia de filosilicatos, ya sean minerales primarios de la roca o formados por alteración, son un

palabras clave: Mineralogía, Durabilidad, Arido, Ofita, Carretera.

key words: Mineralogy, Durability, Aggregate, Ophite, Road.

MINERALES %	Código de las CANTERAS				
	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
Albita-Anortita	33.5	56	42	5	32
Augita (Px) ¹	-	17	-	4	2
Hornblenda (Anf) ²	-	-	31	-	-
Micas (Ms, Bi)	25.5	-	-	26	30
Epidota	-	-	17	-	-
Calcita	12	-	-	-	-
Cuarzo	14	21	2	46	23
Clorita	15	6	8	4	6
∑ penalizantes	52,5	6	8	30	36

Tabla 1. Porcentaje de los minerales principales que constituyen cada muestra, Calculado mediante el software PANalytical X'Pert HighScore a partir de una valoración semicuantitativa de las distintas fases presentes en la muestra. 1 Px: Piroxeno, 2 Anf: Anfíbol

	Fe ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O
C-2	0,77	0,00	0,05	-0,52	0,02	0,02	0,72	0,11	0,17	0,26
C-1	0,40	0,00	0,11	-0,05	0,04	0,04	0,63	0,80	-0,34	0,94
C-4	0,00	0,00	-0,10	0,35	-0,32	0,17	1,71	-0,45	-0,01	0,24
C-5	0,12	0,01	0,01	0,17	0,04	0,00	0,98	0,30	0,08	0,46
C-3	0,42	0,01	-0,09	0,98	-0,07	-0,01	0,15	-0,53	0,19	0,05

Tabla 1. Diferencia de masa para los distintos elementos mayoritarios relacionada con el envejecimiento Sonnenbrand. Se indican los cambios de masa > 0.3%

penalizante para el árido a emplear en capas de rodadura debido a su exfoliación perfecta, al igual que la calcita por su baja dureza y facilidad de desgaste y pulido. La epidota, que puede estar relacionada con procesos de alteración no ha sido considerada como penalizante debido a su alta resistencia, y su origen hidrotermal. En percentual acumulado de minerales penalizantes se observa que las canteras C-2 y C-3 son las que presentan valores más bajos. Por el contrario la cantera C-1 presenta cerca del 50% de penalizantes y C-5 y C-4 casi una tercera parte. A pesar de tratarse de un cálculo semicuantitativo, que posiblemente exagera la concentración de filosilicatos, los valores relativos entre canteras son comparables y por tanto evidencian una mayor problemática para los áridos de las canteras C-4, C-5 y C-1.

La Tabla 2, muestra la diferencia de masa entre el árido antes y después del ensayo Sonnenbrand. Los valores positivos indican pérdida de masa y los negativos ganancia de masa relativa por la pérdida de masa de otros elementos. Se observa que Ti, Mn y P son elementos inmóviles. Por otro lado, Fe, Ca, Al, Si y Na son los elementos con un comportamiento más móvil. El hierro muestra variaciones significativas, sin embargo no es un buen trazador debido a que en estado reducido Fe²⁺ es soluble, pero éste precipita rápidamente en condiciones oxidantes (Fe³⁺). Al haberse realizado los ensayos en atmósfera oxidante, hay que ser muy

prudentes con este dato. El contenido en Na se relaciona con la alteración de las plagioclasas. Si bien las variaciones de Ca, deberían relacionarse con la hidrólisis y alteración de los feldespatos tipo plagioclasa, la posibilidad de precipitación del Ca como carbonato, o la disolución de la calcita presente, desvirtúa la posible interpretación de los resultados. No obstante, sea cual sea su origen, las pérdidas de Ca deberían relacionarse con áridos poco durables. Los contenidos en SiO₂, deben ser relacionados con la hidrólisis de los silicatos (feldespatos, etc.).

El análisis del agua posteriormente al ensayo Sonnenbrand muestra la presencia de elementos como Fe, Ca, K, Na, Mg y Si, de manera coherente con los resultados de XRF. La presencia de Na, K y Ca en el lixiviado del agua corresponde al intercambio de cationes de los procesos de alteración de los feldespatos y aporta información del grado de susceptibilidad a la alteración de las muestras. Los resultados muestran que el mejor comportamiento corresponde a los áridos de C-3, que sería la muestra que sufre menos alteración, seguida por los áridos de la cantera C-4. En un segundo lugar tendríamos los áridos de las canteras C-2 y C-5, y en último lugar estarían los áridos de la cantera de C-1 los cuales muestran un elevado grado de alteración. Este mal comportamiento de los áridos de la cantera C-1 es coherente con las observaciones de lámina delgada, de XRD y del contenido en

agua y carbonato obtenidos por pérdida al fuego.

El análisis mediante XRD combinado con microscopía de luz polarizada permite estudiar la presencia de minerales de alteración, y su desarrollo. Los estudios texturales, ponen de manifiesto texturas orientadas o en trabazón que dan una mayor resistencia al árido. Los áridos de C-2 y C-3 son rocas ofíticas o similares en sentido petrológico. Los áridos de C-1 y C-5 corresponden a basalto y andesita, respectivamente. Los áridos de C-4 corresponden a rocas metamórficas (metacuarcitas y metagrauvascas), basaltos y andesitas.

CONCLUSIONES

Se propone una nueva metodología para predecir el comportamiento evolutivo de los áridos, basada en el análisis químico y mineralógico antes y después del ensayo Sonnenbrand. Los resultados indican que el mejor comportamiento corresponde áridos de las canteras de C-2, C-4 y C-3, seguidos de los áridos de C-5. Los áridos con los peores resultados corresponden a C-1. Los resultados también indican que la presencia de minerales secundarios de alteración en el árido juega un papel fundamental en la resistencia del árido ya que las muestras más alteradas tienen peores resultados geomecánicos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Diputación Foral de Gipuzkoa la financiación de los trabajos expuestos y a la Generalitat de Catalunya por la ayuda 2009SGR-00103 a los grupos de investigación.

REFERENCIAS

- Le Maitre, R. W. (2002): *Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks, 2nd ed.* Cambridge University Press, Cambridge, 236 p.
- Ministerio de Fomento (1976): PG-3. *Pliego de Prescripciones Técnica Generales para Obras de Carreteras y Puentes.* Orden Ministerial. Gobierno de España. Madrid
- Riba, O. (1997): *Diccionari de Geologia.* Enciclopèdia Catalana. Barcelona, 1407 p.