

DESCRIPCIÓN DE LOS RASGOS PETROGRÁFICOS DE ALGUNOS ÁRIDOS DE LA CALDERA DE LOS FRAILES, EN EL SURESTE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA.

Área temática C (Aplicaciones de los áridos. Calidad de producción y de producto).

Jorge Luis Costafreda Mustelier¹; Domingo Alfonso Martín Sánchez¹; José Luis Parra y Alfaro¹ y Benjamín Calvo Pérez¹.

¹ Doctor Ingeniero Geólogo. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Calle de Ríos Rosas, 21. 28003. Madrid (+34 913367025) (costafreda@yahoo.es).

¹ Doctor en Ciencias Geológicas. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Calle de Ríos Rosas, 21. 28003. Madrid (+34 913365191) (domingoalfonso.martin@upm.es).

¹ Doctor Ingeniero de Minas. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Calle de Ríos Rosas, 21. 28003. Madrid (+34 913367069) (joseluis.parra@upm.es).

¹ Doctor Ingeniero de Minas y Catedrático de la Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Calle de Ríos Rosas, 21. 28003. Madrid (91 3367069) (benjamín.calvo.perez@gmail.com).

RESUMEN

El trabajo que se presenta tiene la finalidad de ofrecer una descripción sistemática de algunas variedades de áridos naturales que yacen en la parte central de la Caldera de Los Frailes, en el Sureste de la Península Ibérica. Con el estudio detallado de 22 muestras, se identificaron las especies minerales formadoras de rocas, rasgos texturales, abundancia modal, alteraciones secundarias y petrogénesis.

Los resultados obtenidos han permitido identificar varios tipos de áridos naturales en la Caldera de los Frailes, de acuerdo con sus propiedades petrográficas, representados, entre otros, por andesitas piroxénicas, dacitas y sus tobas, productos piroclásticos, zeolitas y bentonitas.

El grado de conocimiento aportado por esta investigación la convierte en una guía práctica para orientar a los interesados en el uso efectivo y racional de estos áridos.

INTRODUCCIÓN

Los resultados que se ofrecen en el presente trabajo, tienen su origen en las investigaciones realizadas en la parte central de la Caldera de Los Frailes, en el Sureste de la Península Ibérica, en el área que ocupa el yacimiento de zeolita denominado *San José-Los Escullos*.

Los estudios previos se centraron en el muestreo, caracterización detallada y aplicaciones prácticas de las rocas zeolíticas, que crearon las bases para la ampliación de las investigaciones hacia los litotipos adyacentes, con valor como áridos para la construcción.

Esta investigación recoge parte de los resultados de un minucioso estudio petrográfico efectuado sobre 22 muestras, recolectadas directamente de los afloramientos del área de los trabajos.

Las secciones delgadas fueron elaboradas y descritas en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid (Universidad Politécnica de Madrid) y en la Universidad de Miskolc (Hungria).

DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS. SISTEMÁTICA.

Dacitas:

Las muestras ensayadas (*Pet-1*, *Pet-11* y *Pet-17*) están constituidos por plagioclasa con una marcada composición anortítica (cerca del 50% An), anfíbol (hornblenda), piroxeno (en sus especies orto y clinopiroxeno, siendo el primero el más frecuente en el campo visual del microscopio), vidrio y opacos. Estos áridos presentan estructura masiva, uniforme y ocasionalmente vesicular.

Microscópicamente, destacan rasgos texturales muy variados, como las texturas merocrystalina, fanocrystalina (principalmente de granos medios a finos, donde los fenocristales son, mayormente, plagioclasa y anfíbol), glomeroporfidica y granular hipidiomórfica, con fuerte tendencia xenomórfica. La matriz es predominantemente vítrea, aunque son frecuentes los microfenocristales y microlitos de plagioclasa en la mesostasis.

La presencia de alteraciones secundarias en forma de limonitización, sericitización, cloritización y epidotización indica el efecto causado por procesos hidrotermales. Las aristas de los fenocristales están corroídas, testimonio de su fuerte reacción con la matriz, en la cual llegan incluso a disolverse, originando productos secundarios como sericita, argilita y óxido de hierro, que forman aureolas de colores claros, pálidos y translúcidos.

Las investigaciones *de visu* describen estos áridos como rocas duras y densas, en cuyas superficies, cubiertas visiblemente por costras de óxidos de hierro de color rojo-pardo, destacan abundantes vesículas vacías. Se presentan también como rocas brechosas que forman bloques de hasta 30 cm, unidos deficientemente por un material de granulometría fina y de igual composición. Posiblemente, se formaron en las partes apicales de domos dacíticos que se emplazaron en la superficie en estado prácticamente frío.

Con el estudio de la composición química de estos áridos, quedaron establecidos los compuestos mayores en los siguientes porcentajes: SiO₂ (60,4-61,9%), Al₂O₃ (15,8-15,9%), CaO (5,45-5,58%), Na₂O (2,67-3,08%), K₂O (1,72-2,16%), MgO (2,48-3,15%), Fe₂O₃ (4,70-5,10%), TiO₂ (0,49-0,50%), MnO (0,06-0,07%), P₂O₅ (0,13%) (Arribas, A. Jr., 1992) (Costafreda, J.L., 2008).

Tobas dacíticas:

El estudio de las muestras seleccionadas (*Pet-2*, *Pet-10*, *Pet-18* y *Pet-20*) estableció inicialmente la calidad de estos áridos tobáceos de composición dacítica, los cuales poseen, mayoritariamente, estructuras brechosas y piroclásticas, con poca cohesión, propiedades que las tornan friables y quebradizas. Los resultados identifican también una brecha tobácea piroclástica de granulometría fina, soldada por un material lapillítico de igual composición, donde aún persisten clastos de dacita tobácea, parcialmente silicificados por influencia hidrotermal. Sus diámetros oscilan entre

4 y 5 cm. Las partículas cementantes pueden variar entre 0,4- 0,2 cm. Otro rasgo importante es la proliferación de vetillas inyectadas de limonita, que infiere a la roca un color rojizo.

Las principales especies minerales detectadas en estas muestras son: plagioclasa, anfíbol, piroxeno, biotita, cuarzo, vidrio, esmectita, zeolita, epidota y opacos.

La textura es variable, llegando a ser brechosa, piroclástica, bandeada, tufítica, porfídica, glomeroporfídica y porfídico-seriada, destacando los rasgos cinerítico y vitrocrystalolítico.

Los fenocristales de anfíbol son sustituidos parcial y/o totalmente por material arcilloso, posiblemente bentonita y zeolita, que se emplazan en los espacios libres de los cruceros. Los fenocristales de mayor tamaño se ubican hacia la periferia del campo visual, mientras que los de menor diámetro se agrupan hacia el centro; es posible que esta disposición selectiva ocurriera a partir de una deposición gravitacional, donde los materiales de caída más pesados se depositaron en la parte inferior del depósito, mientras los finos lo hicieron más tarde, en las partes superficiales.

Los cristales muestran señales de roturas, astillamientos, redondeamientos y orientación, disponiéndose, comúnmente, en forma subparalela entre sí, siendo su eje longitudinal la dirección aparente del plano de estratificación.

Los fenocristales de anfíbol y piroxeno están fuertemente oxidados y sericitizados, y es fácil distinguir la impronta de la reacción de éstos con la matriz, manifestándose en forma de profundos golfos de corrosión, así como la disolución parcial y/o total de los cristales. Del mismo modo, los grandes cristales de plagioclasa, corroídos y parcialmente disueltos, son sustituidos pseudomórficamente por zeolita y esmectita. Los productos sericíticos están esparcidos por la matriz a consecuencia de la alteración de las plagioclasas.

La baja densidad ($2,43 \text{ mg.m}^3$), la capacidad de absorción de agua (12,03%), la superficie específica (8457 g/cm^2) y la composición química de estos áridos (SiO_2 : 62,46-65,99%, Al_2O_3 : 13,19-14,57%, CaO : 0,874-1,33%, Na_2O : 1,94-3,92%, K_2O : 1,36-3,03%, MgO : 1,85-3,56%, Fe_2O_3 : 1,4-2,17%, TiO_2 : 0,096-0,133%, MnO : 0,05-0,067% y P_2O_5 : 0,0159-0,0239%), determinadas en campañas de investigación anteriores (Costafreda, J.L., 2008), permitieron su empleo con éxito en la dosificación de cementos, morteros y hormigones (Diez, M.A., Costafreda, J.L., Parra y Alfaro, J.L. y Martín, D.A., 2011) (Costafreda, J.L., Calvo, B. y Parra y Alfaro, J.L., 2011).

La consistencia calculada (160 mm) durante el ensayo de los morteros dosificados con este tipo de árido, testimoniaron su capacidad para formar mezclas con buena trabajabilidad. Por otra parte, las resistencias mecánicas obtenidas arrojaron valores realmente positivos (44,9 Mpa a 28 días, 61,5 Mpa a 90 días y 68,8 Mpa a 365 días) (Costafreda, J.L., 2008), quedando establecidas, definitivamente, sus propiedades puzolánicas.

Tobas ignimbríticas y otros materiales piroclásticos de composición dacítica:

Los áridos identificados y agrupados en esta sección (muestras *Pet- 4* y *Pet-6*) poseen color verde pálido y gris claro a oscuro, con estructuras que reflejan bandeamientos, orientación y brechamiento.

Proceden de protolitos de ignimbrita alterada metasomáticamente por efecto de las disoluciones hidrotermales, y los minerales preexistentes acusan una fuerte mutación, provocando la disposición de éstos en forma de bandas orientadas de espesor variable (1,0 y 1,5 cm). Los fenocristales, representados por zeolita, hornblenda, biotita, vidrio desvitrificado, plagioclasa, zeolita pseudomórfica, xenolitos y opacos (pirita), se hallan orientados, determinando claramente la dirección del bandeamiento. Parece tratarse de una antigua roca tobácea de composición dacítica, predominantemente ignimbrítica, donde los cristaloclastos se depositaron por caída libre, experimentando roturas y deformaciones plásticas por el calor remanente del estrato, con posterior compactación; una prueba de ello es la frecuente aparición de cristaloclastos de biotita en disposición estratiforme, donde los especímenes de mayor tamaño se ubican en la parte inferior, yuxtapuestos por cristales de menor tamaño. Asimismo, los cristales de hornblenda y plagioclasa, visiblemente rotos y astillados, muestran una fuerte tendencia a formar bandas paralelas. Todos los cristaloclastos se encuentran rodeados por una matriz vítrea desvitrificada, donde el vidrio experimenta sustitución incipiente por zeolita, la cual sustituye también, pseudomórficamente, al piroxeno y a la plagioclasa.

Son rocas cuyos fragmentos soldados poseen textura merocristalina, glomeroporfídica y granular-xenomórfica, aunque, en ocasiones suelen ser granular-hipidiomórfica, fanerítica de granulometría media a fina y con matriz vítrea hialina, llegando a ser criptocristalina.

Vale destacar la presencia de otros áridos de origen piroclástico que representan fuentes de materias primas naturales no menos importantes. Se caracterizan por poseer estructura piroclástica, brechosa, bandeada y estratificada, con cierta tendencia a la foliación, la granulosidad y la orientación, rasgos que indican el movimiento del flujo piroclástico. Son, preferentemente, de color gris oscuro, con tonalidades pardo-pálidas y lustres verdosos, y una matriz predominantemente vítrea. Están constituidos por minerales relictos como plagioclasa, anfíbol y opacos (posiblemente pirita), así como por fragmentos de rocas muy finos. Exhiben texturas porfídica, granular-xenomórfica (raramente hipidiomórfica) y merocristalina.

Los cristales de plagioclasa se encuentran sericitizados, exhibiendo contornos rotos y aun completamente destruidos; sus fragmentos están dispersos en la matriz, con marcado aspecto xenomórfico. Su tamaño varía desde fenocristales de tamaño medio a microfenocristales con textura porfídico-seriada.

Los cristales de anfíbol han reaccionado vigorosamente con la matriz vítrea, tomando coloraciones pardo-rojizas y pardo-amarillentas. Se presentan alterados y cubiertos con frecuencia por una costra de óxido de hierro de color pardo amarillento a rojo carne. Sus contornos son irregulares, pero conservan, en escasas ocasiones, las aristas originales del cristal. Otras veces, están totalmente disueltos en la mesostasis, persistiendo los relictos de aspecto cuneiforme que se enmascaran en la matriz.

Los materiales opacos son muy escasos y tienen forma irregular y angulosa.

Los resultados de las investigaciones previas dejaron establecido el quimismo de estas rocas en las siguientes proporciones: SiO₂: 68,30%, Al₂O₃: 11,95%, CaO: 1,15%, Na₂O: 2,89%, K₂O: 1,38%, MgO: 1,27%, Fe₂O₃: 1,56%, TiO₂: 0,083%. Los contenidos en MnO y en P₂O₅ están por debajo del umbral de detección. Asimismo, el valor determinado para la pérdida por calcinación es de 11,9% (Costafreda, J.L., 2008).

Los resultados sobre las propiedades físicas demostraron que son áridos con gran superficie específica y baja densidad real (8466 g/cm^2 y $2,47 \text{ mg.m}^3$, respectivamente). Su capacidad de absorción de agua alcanzó el 20,38 %.

Los citados datos orientaron el estudio de estos materiales hacia su aplicación en la fabricación de morteros, obteniéndose como resultado pastas frescas con consistencia adecuada, según norma (UNE-EN 1015-3), donde el diámetro de escurrimiento alcanzó los 155,7 mm.

Las resistencias mecánicas, determinadas con el estudio de las probetas elaboradas con parte de estos áridos, ofrecieron los siguientes valores: 17,9 Mpa (2 días), 28,9 Mpa (a 7 días), 47,2 Mpa (a 28 días), 69,8 Mpa (a 90 días) y 72,5 Mpa (a 365 días) (Costafreda, J.L., Calvo, B. y Parra y Alfaro, J.L., 2011).

Andesitas:

Los áridos identificados como andesitas (*Pet- 5, Pet- 7, Pet- 12, Pet- 13 y Pet- 15*) son de estructura disyuntiva columnar, llegando a ser brechosa, bandeada, vesicular, masiva y uniforme. Los colores son variados, y van desde gris oscuro con tonalidades verdosas hasta pardo-rojizos, con pátinas amarillas y ocreas.

Su constitución mineral comprende plagioclasa (las variedades son predominantemente cálcicas, llegando a superar el An 80% en la componente anortítica), piroxeno (se han detectado en este estudio representantes de las especies monoclinica –augita- y rómbica –hiperstena-), vidrio, sericita y minerales opacos. Las texturas ofrecen una amplia variedad de estilos, que van desde porfídica, glomeroporfídica, poiquilítica, fluidal e inequigranular hasta granular-xenomórfica; raramente son pseudomórficas, granular-hipidiomórficas, merocristalinas y faneríticas de granos medios.

Los productos secundarios, como la limonita, que se inyecta en las grietas, la sericita, formada a partir de la transformación de las plagioclasas, la clorita, originada por alteración de los piroxenos, así como el carbonato, son el testimonio del efecto causado por los procesos hidrotermales que alteraron a estas formaciones. Estas rocas aparecen fuertemente metasomatizadas en algunas zonas de contacto directo con las formaciones zeolíticas (Costafreda, J.L., 2008).

Las plagioclasas forman aglomerados bien definidos en el centro de la sección. Sus tamaños varían desde grandes fenocristales hasta diminutos microlitos que raramente conservan el idiomorfismo original, y se transforman en individuos xenomórficos. Están parcial y/o totalmente sustituidas por sericita. La sericitización tiene lugar en los bordes, en los cruceros y en los agujeros que poseen los cristales, a través de los cuales se ha producido el ataque de la mesostasis.

Los piroxenos muestran pocos signos de disolución en la matriz, y están alterados a óxidos de hierro con coloraciones pardo rojizas, que constituyen los productos de reacción.

Los fragmentos de minerales opacos, de escasa ocurrencia, están dispersos en la matriz, y son más jóvenes que los fenocristales de plagioclasa. Poseen formas irregulares, sin contornos geométricos, y tamaños que van desde los cristales medianos hasta diminutos microlitos dispersos.

La matriz está constituida por material vítreo desvitrificado, parcialmente sustituido por zeolita, sobre la cual 'flotan' todos los materiales descritos anteriormente. Con nicoles paralelos, se observa una tendencia general a la orientación, es decir, una textura de flujo donde los fenocristales de plagioclasa se reorientaron, agrupándose, los de mayor tamaño, hacia el centro por su mayor peso, mientras que los de menor tamaño, más ligeros, fueron arrastrados y reubicados en torno a los cúmulos mayores. Posiblemente, la reorientación fue provocada por la alteración derivada del metasomatismo de contacto.

Las grietas formadas en la roca por efecto de los factores exógenos, han propiciado la percolación de disoluciones superficiales residuales activas que han oxidado gran parte de los componentes.

La composición química de estos áridos varía sensiblemente en relación con los áridos de dacita (SiO_2 : 52,6%, Al_2O_3 : 18,6%, CaO : 10,1%, Na_2O : 2,07%, K_2O : 0,63%, MgO : 5,10%, Fe_2O_3 : 9,73%, TiO_2 : 0,74%, MnO : 0,15% y P_2O_5 : 0,14%) (Arribas, A. Jr., 1992) (Costafreda, J.L., 2008).

No se tiene información sobre posibles explotaciones de estos áridos en el área de la actual investigación, pero los valores de resistencia a compresión simple (1.830 Kg/cm^2), calculada en algunas muestras, indican que pueden ser empleados en muchos campos de la industria de los materiales de construcción.

Zeolitas y tobas zeolitizadas:

La petrogénesis de estos áridos (*Pet-8*, *Pet- 9*, *Pet- 19* y *Pet- 14*) estableció que son productos metasomáticos secundarios de alteración hidrotermal, constituidos mayoritariamente por mordenita (97%), acompañada de una fase arcillosa de esmectita que se depositó en los espacios ocupados por minerales preexistentes, sustituidos de forma pseudo e isomórficamente por los productos de las disoluciones hidrotermales (Costafreda, J.L., 2008). En los afloramientos se presentan como grandes masas compactas que llegan a ser estratiformes, plegadas, ligeramente bandeadas y brechosas, con típico color gris claro y tonalidades amarillentas a verde-pálido.

La composición mineralógica consiste en mordenita, piroxeno, anfíbol, pequeños fragmentos líticos relictos, plagioclasa, cuarzo, opacos y epidota enclaustrada en pequeñas venas y grietas. La textura es cristalolitoclástica, cinerítica, brechosa y pseudomórfica. La matriz es vítrea, muy fina, donde el vidrio está sustituido por zeolita y esmectita.

Estos áridos engloban litoclastos subredondeados, visiblemente cloritizados y zeolitizados. Están cementados por microbrechas de cineritas finas, donde también son visibles cristales xenomórficos de cuarzo y fenocristales rotos de piroxeno y anfíbol, sustituidos pseudomórficamente por zeolita.

Próximo al exocontacto con las formaciones más jóvenes (andesitas), estos áridos tienen las propiedades de una roca metasomática, alterada por la circulación de disoluciones calientes de origen hidrotermal que originaron las zeolitas y las esmectitas. La sustitución pseudomórfica se ha llevado a cabo de forma parcial y total, aprovechando los planos de los cruceros, y provocando la aparición de bandas concéntricas zonales de zeolitas dentro de los fenocristales de plagioclasas. Cerca de las zonas de acceso de los fluidos la granulometría se torna muy fina, a causa de la reacción térmica que da lugar al fenómeno conocido como "fase de borde".

La composición química de la zeolita se presenta más o menos constante en todas las muestras analizadas, pero mostrando diferencias marcadas con los áridos previamente descritos. Los contenidos en SiO₂: 61,34-68,42%, Al₂O₃: 9,64-14,66%, CaO: 1,03-2,3%, Na₂O: 2,03-3,63%, K₂O: 1,5-2,39%, MgO: 1,09-2,64%, Fe₂O₃: 1,27-2,98% y TiO₂: 0,083-0,117% la identifican como una puzolana típica (Costafreda, J.L., 2008).

La presencia del ión cloro (hasta 1,25%) y la abundancia de los compuestos alcalinos en algunas muestras analizadas indica la naturaleza hidrotermal de la mordenita.

El criterio seguido para la aplicación práctica de estos materiales ha partido de los resultados de los análisis químicos y físicos realizados con anterioridad. De este modo, Costafreda, J.L. (2008) y Costafreda, J.L., Calvo, B. y Parra y Alfaro, J.L. (2011), demostraron que al sustituir una parte del cemento pórtland (25-30%) por árido zeolítico se obtienen morteros sumamente trabajables y consistentes, con aporte significativo de resistencias mecánicas (18,4 Mpa a 2 días, 29,8 Mpa a 7 días, 47,8 Mpa a 28 días, 70,1 Mpa a 90 días y 73,2 Mpa a 365 días). Comprobaron, además, que el índice de actividad resistente evoluciona siempre de forma favorable en diferentes períodos de tiempo; es decir: 94,5 % (a 28 días), 106 % (a 90 días) y 107 % (a 365 días).

Los estudios realizados determinaron que los áridos zeolíticos poseen una densidad real baja (2,27 mg.m³), que llega a ser particularmente muy baja tras su secado (1,57 mg.m³). Otro aporte de esas investigaciones fue la confirmación de que la superficie específica, notablemente alta (8769 g/cm²), favorece el incremento de la capacidad de absorción hasta el 20,36 %, que representa algo más del 20% de su propio peso (Costafreda, J.L., Calvo, B. y Parra y Alfaro, J.L., 2011).

Existe una visible diferencia entre las densidades de los morteros tradicionales y aquellos elaborados con áridos zeolíticos, confirmado por los resultados obtenidos tras el pesaje de las probetas (ver tabla 1) en diferentes etapas de curado. Los bajos valores de densidad han permitido clasificar a estas zeolitas como áridos ligeros.

Tabla 1: Comparación de los valores obtenidos del pesaje de probetas elaboradas con morteros tradicionales y a base de áridos zeolíticos.

MUESTRAS DE MORTEROS	Peso promedio inicial (g)	Peso promedio (7 días) (g)	Peso promedio (90 días) (g)	Peso promedio (365 días) (g)
Mordenita-esmectita	579,86	581,23	585,83	587,4
Cemento referencia	594,19	596,6	597,92	600,7

FUENTE: (Costafreda, J.L., Calvo, B. y Parra y Alfaro, J.L., 2011).

Bentonitas:

Los afloramientos de bentonita tienen estructuras interestratificadas, formando grandes masas friables meteorizadas esferoidalmente. Los colores típicos van desde el gris claro al blanco terroso; incluso, llegan a adquirir fuertes tonalidades beige.

La mayoría de los cristaloclastos se encuentran curvados, lo que demuestra que se depositaron entre las cenizas que conservaban aún temperaturas elevadas, y en un estado semiplástico se curvaron por el peso excesivo del estrato.

La roca posee poca densidad, y se encuentra cruzada por numerosas fracturas finas que la tornan quebradiza, y al romper forma pequeños fragmentos con diámetros entre 1-5 mm. En esas fisuras yacen restos de productos percolados. En ocasiones, se encuentra interestratificada, formando secciones de color gris oscuro, fácilmente rayable con la aguja de acero, y engloba litoclastos foráneos de geometría subangulosa a subredondeada.

De forma general, la matriz que se observa al microscopio es de color gris claro hasta blanco, con claros signos de zeolitización y bentonitización de formación incipiente. En presencia de agua, esta roca se desintegra con facilidad, llegando, incluso, a la disgregación total.

La composición de las muestras de bentonitas estudiadas (*Pet- 3, Pet- 16, Pet- 22 y E-587*) consiste en material arcilloso de sustitución (posiblemente esmectita y zeolita), vidrio, fragmentos de biotita, opacos, carbonato y serpentina en menor cuantía. El estudio petrográfico permitió establecer una proporción más o menos equitativa de vidrio y un material fino alterado a partir de ceniza volcánica, con incipiente alteración a zeolita. Se identificó una textura de tipo cinerítica, desvitrificada y pseudomórfica.

Son comunes los fragmentos de cristales de gran tamaño que acusan una visible orientación, en cuyos bordes se destaca un amplio halo de alteración. Predomina una marcada desvitrificación, a partir de la cual el vidrio es sustituido por esmectita (montmorillonita) y zeolita.

Los grandes afloramientos de bentonita se formaron, posiblemente, a partir de la alteración hidrotermal que experimentaron las paleoformaciones de tobas gruesas y finas de composición dacítica, con nacencia próxima a las estructuras disyuntivas que actuaron como conductos de fluidos calientes y químicamente activos.

Los análisis realizados sobre las muestras *Pet- 3, Pet- 16, Pet- 22 y E-587*, demostraron que las bentonitas de esta región están compuestas por 47,26% de SiO₂; 19,02% de Al₂O₃; 4,74% de MgO; 2,45% de Fe₂O₃; 1,22% de CaO; 0,25% de Na₂O y 0,18% de K₂O.

Por otro lado, el análisis de las fases indicó la presencia mayoritaria de esmectita (96,0%), acompañada de mordenita (11,69-57,0%), así como plagioclasa sódica (andesina= Ab:71% - An:29%), cuarzo (2,64%), ortoclasa (19,0%) y moscovita (53,0%). El grado de hinchabilidad de la esmectita se calculó en 15,82 Å, en condiciones naturales, recalculándose en 17 Å, tras el tratamiento con etilenglicol (Costafreda, J.L., 2008).

COCLUSIONES

Los resultados del estudio petrográfico que se mencionan en este trabajo han puesto de relieve la presencia mayoritaria de minerales petrográficos como piroxeno, anfíbol y plagioclasas, silicatos que destacan por su notable dureza, alto peso específico, elevado punto de fusión, baja porosidad y mínima capacidad de absorción de agua. Del mismo modo, las características de las texturas descritas, como su finura, facilitan la elevada cohesión cristalina de estos áridos.

Las dacitas y andesitas, conocidas por su notable resistencia mecánica a la compresión simple, la elevada densidad, el despreciable índice de lajosidad de sus fragmentos con un adecuado coeficiente de forma, la alta resistencia al desgaste y los altos valores de los módulos de ruptura

y elasticidad, podrían emplearse como rocas canterables para la fabricación industrial de áridos naturales.

Son áridos que cumplen con los requisitos para una posible puesta en valor en la construcción de autovías, preferentemente en la fabricación de los niveles de base y subbase, y en el sellado de grandes obras hidráulicas; todo ello depende de la voluntad de las autoridades del Parque Natural del Cabo de Gata para permitir a los concesionarios disponer de estas fuentes de materias primas naturales.

Por su parte, el resto de los materiales descritos en este estudio (tobas, zeolitas y bentonitas), dadas sus propiedades intrínsecas, y por yacer en las áreas legalizadas para su extracción intermitente, son idóneos para su aplicación como puzolanas en la fabricación y mejora de ciertos cementos, en morteros y en hormigones.

BIBLIOGRAFÍA:

Costafreda, J.L., Calvo, B. y Parra y Alfaro, J.L. (2011). Contribución de la zeolita natural a las resistencias mecánicas de cementos, morteros y hormigones. *IX Jornadas Iberoamericanas de Materiales de Construcción. Quito, Ecuador*. Págs. 10.

Aplicabilidad de las zeolitas como regulador de fraguado. Aranzazu, M., Costafreda, J.L., Parra, J.L. y Martín, D. (2011). *IX Jornadas Iberoamericanas de Materiales de Construcción. Quito, Ecuador*. Págs. 12.

Consideraciones sobre la génesis de las zeolitas naturales del sureste de España. Costafreda, J.L., Martín, D.A. y Calvo, B. (2011). *IV Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. Geociencias 2011*. La Habana, Cuba. Págs. 10.

Costafreda, J.L. (2008). Geología, caracterización y aplicaciones de las rocas zeolíticas del complejo volcánico de Cabo de Gata (Almería). *Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Madrid. 515 p.