

ROCAS VOLCANICAS EMPLEADAS EN LA CONSTRUCCION

Octavio Puche Riart y José María García de Miguel
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid

En anteriores ocasiones, se han incluido en nuestras páginas unos tipos de piedras que hemos denominado de «cantería», tales que calizas y areniscas, normalmente caracterizadas por no admitir brillo mediante pulimento y de las que actualmente existe un buen mercado.

Dentro de la misma denominación, podemos incluir algunas rocas volcánicas, que son objeto de análisis en el presente artículo. Basaltos y Tobas, son las más utilizadas y de localización más fácil.



Mampuestos basálticos y cuarcíticos, Mina «Vieja Concepción» (Ciudad Real)

INTRODUCCION

Dado el escaso volumen de rocas volcánicas existentes, éstas no han alcanzado un desarrollo importante como rocas de corte usadas en la construcción. Pese a ello sus distintas especies se han empleado desde antiguo, tal y como se comprueba en los clásicos: TEOFRASTO, con su «Peri Lithon», VITRUBIO con «De Architectura», o PLINIO, con su «Historia Natural».

Pese a lo anterior, en España podemos comprobar como en algunas zonas de la Garrotxa, Campo de Calatrava, Cabo de Gata o Canarias las casas rústicas muestran los colores negros, grises, pardos o verdosos de estas rocas. En particular los barrios más antiguos de Santa Cruz de Tenerife y Las Palmas de Gran Canaria, se presentan con un tono grisáceo, debido a la profusión de construcciones a base de tobas basálticas y en menor proporción de traquitas, basaltos y fonolitas.

BASALTOS

Los basaltos, junto con las andesitas, suman el 95% de las rocas volcánicas presentes sobre la corteza.

Los basaltos constituyen un tipo de roca formada a partir de la fusión de materiales procedentes del manto superior y pueden encontrarse tanto en zonas oceánicas como continentales. Son pobres en sílice y debido a ello su color es generalmente negro. Están formadas por microcristales equigranulares de plagioclasas y clinopiroxenos, así como, por lo general, de olivino. Ocasionalmente también muestran estructura porfídica y en la mayor parte de las ocasiones llevan poco vidrio. La plagioclasa más frecuente es la labradorita y el clinopiroxeno dominante la augi-

ta. A veces, aparecen otros minerales tales como la hiperstena. Las variedades alcalinas muestran feldespatoides, principalmente nefelina y en menor proporción analcima. Como accesorios aparecen normalmente minerales opacos tales como ilmenita y magnetita. Los basaltos continentales, procedentes de erupciones fisurales, suelen ser pobres en olivino. En algunos casos, los gases volcánicos quedaron incluidos en las lavas durante el proceso de solidificación formando vacuolas. Cuando el número de huecos vacuolares es muy numeroso aparecen variedades denominadas comercialmente como «piedra pómez», cuyas propiedades difieren netamente de las lavas compactas, aunque son mucho más frecuentes en rocas ácidas que en básicas.

La disyunción columnar en muchos afloramientos basálticos ha favorecido los procesos de explotación, por ello su utilización ha sido importante desde la antigüedad, principalmente en pavimentaciones, mampostería, así como en construcciones de envergadura.

La resistencia a la compresión de estas rocas oscila entre 1.100 y 3.500 kg/cm², pudiendo alcanzarse, en algunos casos, cifras próximas a los 5.000 kgm/cm², según indica RINNE, F. (1912), valores en general muy superiores a los de las rocas sedimentarias tradicionales. La textura, estructura y estado de alteración influyen mucho en estos coeficientes. Los romanos ya usaban el basalto, «lapis silex», para empedrar sus calzadas, tal y como se puede comprobar en la antigua Vía Apia, en las proximidades de Roma. En muchos lugares, es normal la utilización de piezas hexagonales constituyendo el adoquinado, procedentes del corte directo de las columnas formadas por disyunción, como se observa en diversas zonas del Lido de Vene-

cia, Italia. Asimismo, son frecuentes los adoquines en prismas tetragonales, tal y como se puede comprobar en alguna de nuestras ciudades, tal es el caso de Almadén (Ciudad Real) donde piezas negras de basaltos paleozoicos alternan desordenadamente con piezas de doleritas. En la Península también se produjeron adoquines con las lavas pliocuaternas de Olot, así como en algunas localidades del Campo de Calatrava, tal es el caso de Aldea del Rey, Villamayor de Calatrava y Villanueva de San Carlos. En la actualidad no se desarrolla esta actividad en nuestro país, supuestamente debido a los cambios de costumbres en la construcción de las vías públicas. Los adoquines de basalto muestran baja resistencia a la fricción por lo que acaban puliéndose y se vuelven muy deslizantes. Asimismo, hoy en día, los costes de producción e instalación así como las necesidades del transporte, los han ido eliminando.

En tabla adjunta aparecen los valores de los coeficientes de desgaste obtenidos, por el ITGE (1974-1976), en Olot y en el Campo de Calatrava. La facilidad con que estas rocas experimentan desgaste por fricción las ha

COEFICIENTE DE DESGASTE
DE «LOS ANGELES»

Olot	Con granulometría A:	13,81-26,92
	Con granulometría B:	18,80-20,70
	Con granulometría C:	15,87-25,72
Ciudad Real	Con granulometría A:	18,60
Piedrabuena	Con granulometría A:	20,91

excluido en ciertos usos ajenos al objetivo de este artículo. Por ejemplo, mientras que las variedades vacuolares o escoriáceas se emplearon desde antiguo como piedras molaras, los basaltos compactos no han podido ser utilizados del mismo modo debido a la rapidez con que se pulimentan mediante el uso.

Es más frecuente el uso de estas rocas en mampostería que en sillería. En España se han explotado pequeñas canteras, donde se extrajo piedra para mampuestos, los cuales se han utilizado en algunas construcciones locales, tal y como ocurre Almodovar del Campo, Argamasilla y Villanueva de San Carlos. En algunos casos, la alta densidad que muestran, por lo general con valores comprendidos entre 2,7 y 3,3 gr/cm³, según indica RINNE, F. (1912), así como la posibilidad de obtener grandes bloques ha permitido emplear estas rocas en la



Intercalación de adoquines fabricados con variedad de rocas ígneas: volcánicas e intrusivas.

construcción de escolleras marinas, con material acarreado desde canteras próximas, tal es la situación de los puertos de Santa Cruz de Tenerife y Las Palmas de Gran Canaria. En Francia destacamos el empleo de los basaltos en la construcción de la catedral de Aurillac.

En el caso de la piedra pómez, su baja densidad (valores inferiores a la densidad del agua) ha permitido el uso de la misma en bóvedas.

En algunas ocasiones, se puede apreciar como estas rocas se han utilizado para la realización de tallas. Por ejemplo, en el Museo Francisco Pablo Holgado, de la Escuela de Ingeniería Técnica Minera de Almadén (Universidad de Castilla-La Mancha) existe en depósito un escudo señorial, elaborado sobre traqui-basaltos de Gargantiel. En la actualidad se explotan algunos basaltos como roca ornamental, éste es el caso de las explotaciones de Castellfullit de la Roca, en Girona, o de los «basaltos semiluto» de los Montes Doré, pórfidos con grandes cristales de feldespato sobre una pasta negra, que suelen aplicarse en el arte funerario. Muchas variedades de basalto presentan una importante proporción de vacuolas, lo que les confiere una gran porosidad. En cambio, los valores de permeabilidad son pequeños, ya que los poros no se comunican entre sí. Debido a estas características, estas rocas resisten relativamente bien la acción de las aguas de lluvia en exteriores y soportan muy bien las heladas gracias al dilatado tamaño de sus poros, lo que permite absorber el incremento de volumen generado en la congelación del agua.

La precipitación de sales hidratadas, suele traducirse en mayores aumentos de volumen que los generados en la congelación del agua (en algún caso, según ZAVENE HATSA-GORTSIAN, de hasta tres veces superiores), por ello estas rocas no

son estables frente a los procesos de cristalización salina.

En general, los silicatos de hierro y magnesio que constituyen la roca, tales como la augita, anfíboles, olivino y otros, son minerales que, formando parte importante de las principales rocas volcánicas de construcción, resisten de peor forma el ataque químico que otros silicatos presentes. Este proceso se acelera cuando el medio es muy agresivo (clima húmedo, polución, etc.) o cuando la fracturación de la roca es mayor. Por ello, no se utilizan demasiado en zócalos.

En la mayor parte de los casos, las rocas volcánicas no se emplean habitualmente en la construcción debido a su mayor alterabilidad, salvo que no se disponga de otras, o las condiciones de economía o estética lo impongan.

TOBAS BASALTICAS

Las tobas basálticas han sido de siempre muy usadas en construcción, ya que son rocas de baja densidad, fácil corte y, en algunos casos, gran resistencia.

Los valores de la densidad varían mucho, en general, se sitúan por debajo de 2 gr/cm^3 , todo depende de su composición, compactación, grado de alteración, etc. Estos bajos pesos específicos han posibilitado el empleo de las mencionadas rocas en la construcción de bóvedas, tal es el caso de algunas catedrales de los márgenes del Rin, y en partes elevadas de edificios.

En Roma existen, entre otras, unas tobas particulares denominadas «peperino». Estas rocas constituyen una variedad piroclástica de color marrón, formada al contacto del magma con las aguas subterráneas. En su formación, los procesos explosivos generados, se tradujeron en la mezcla de fragmentos de rocas sedi-

mentarias (como margas, calizas, etc.) con el material volcánico. De las explotaciones de las Colinas de Albania, cercanas a Roma, salió piedra de sillaría para las murallas y otros monumentos de la capital del imperio. La fácil talla y gran resistencia posibilitaron que en el seno de estas rocas se excavasen algunas catacumbas. En la actualidad todavía se trabaja en las canteras de «peperino», sitas en las proximidades de Marino.

Debido a la profusión en el empleo de estas rocas en Roma, son muy mencionadas por los escritores clásicos. PLINIO llamaba a las tobas volcánicas «sílex», indicando que las mejores variedades son las negras y en algunos casos las rojas, destacando las canteras de Anicia (Turquía) y otras cerca del lago Bolsena (Lacio, Italia). Relata asimismo este autor, que las dos variedades son inmunes al fuego (choque térmico) y que también resisten a la meteorización en las tallas exteriores (resistencia a la gelificación, cristalización de sales, cambios climáticos, etc.), como puede comprobarse en los monumentos de la ciudad de Ferento.

Según VITRUBIO, las tobas de la zona del lago Bolsena tienen unas cualidades inmejorables: «...ni la estación de los fríos ni el calor las dañan, sino que conservan su solidez durante muchos años, porque hay sólo muy poco aire y fuego en su composición natural, una cantidad moderada de agua y mucha tierra, lo cual se traduce en una estructura muy compacta y sólida y, por tanto, no pueden atacarla ni los cambios de clima, ni el fuego...». Existen numerosos monumentos antiguos elaborados con tobas donde se observa la inalterabilidad de las tallas ornamentales, lo cual se debe sin duda a la peculiar configuración del sistema poroso.

PLINIO habla de otro «sílex» amarillo, el cual sólo sirve en ocasiones para fabricar muros y el «sílex»



Explotación familiar de traquibasaltos en Gargantiel, aprovechando la disyunción prismática

redondo, que resiste bien los ataques del tiempo, pero que sólo se emplea para mampostería, ligándolo con buena cantidad de mortero.

Se observa en consecuencia, que existe gran profusión de colores, predominando los negros, grises, pardos, rojos y amarillos. En España se encuentran casi todas las variedades, principalmente en Canarias.

En Tenerife, la mayor parte de las explotaciones de toba para sillería se sitúan en el extremo Noreste de la isla, entre La Laguna y Punta Anaga, dentro de la «serie volcánica antigua». Estas tobas son oscuras, con un color rojizo, y bastante densas. En la zona de El Río se extraen tobas puzolánicas amarillentas, cortándose bloques prismáticos de 16x40x60 cm. También hay una explotación en la zona de Buenavista. Pero, en general, las piezas de sillería han sido sustituidas por las prefabricadas de hormigón, existiendo numerosas labores abandonadas.

En Las Palmas, se han explotado intensamente algunas canteras de tobas, para obtener bloques de sillería, destacando las montañas de Las

Palmas, Galdor y Annaga, siendo su aplicación general en los monumentos de la isla.

Las tobas basálticas están formadas por piroclastos soldados, por lo que el grado de aglomeración y porosidad, propiedades muy relacionadas, determinan las posibilidades de empleo en construcciones. En general, las tobas cuaternarias y otras tobas algo más antiguas poco compactas, poseen poros de grueso tamaño, gracias a ello la acción del agua (transportadora de sales) no es muy intensa, ya que la velocidad de desplazamiento del líquido en el interior de la roca es inversamente proporcional al tamaño del capilar. Asimismo, el hielo se reparte mejor, en el sistema de huecos, si existe espacio preciso para ello. Todo esto explicaría la conservación de los monumentos antes mencionada.

TRAQUITAS Y FONOLITAS

Traquitas y fonolitas suelen venir asociadas a basaltos, considerando algunos autores, que se han origina-

do por procesos de diferenciación a partir del mismo magma.

Las traquitas son unas rocas blanquecinas, grisáceas, amarillentas, rojizas o verdosas, microlíticas, con sanidina dominante, plagioclasas, biotita y a veces anfíboles o piroxenos.

Las traquitas, por lo general son porosas, lo que les suministra una cierta ligereza, siendo su densidad media, según RINNE, F. (1912), de 2,6 gr/cm³. Su resistencia a la compresión es mucho menor que la del basalto, siendo frecuentes los valores comprendidos entre 600-700 kg/cm², tal y como nos indica el autor antes mencionado. Asimismo, su resistencia a la intemperie deja mucho que desear, sobre todo cuando muestra grandes cristales de sanidina, siendo en este caso notablemente afectadas por las humedades.

Pese a las características anteriores se ha empleado como piedra de construcción rural, en diversos lugares del Macizo Central Francés y otros sitios. En Italia las esculturas, del siglo XVI, del Parque Bomarzo (Viterbo), se hicieron de esta roca por la proximidad a los afloramientos, así como por su fácil talla.

En España hay algunas explotaciones en Canarias para consumo como roca ornamental, tal y como ocurre en San Miguel (Tenerife), y para bloques de escolleras, tal y como se puede apreciar en la zona de Arguineguin (Las Palmas), habiéndose explotado antiguamente en algún caso como roca de construcción para edificaciones locales.

Las fonolitas son rocas de color gris verdoso y aspecto granudo, compuestas generalmente de sanidina así como feldespatoides (nefelina, haüyna, noseana, etc.) piroxenos y a veces anfíboles, apatito, esfena y/o circón. Frecuentemente se exfolian en láminas que tienen una cierta sonoridad, de ahí su nombre.

Este fenómeno de partición ha permitido su empleo en la elaboración de

baldosas, así como en la sustitución de tejas de pizarra, tal es el caso de «Piedra Tuliére» utilizada en algunas construcciones rurales de la parte central de Francia. Asimismo, piezas de gran tamaño se han utilizado en la fabricación de bancos.

En la zona de El Barranco de la Fatiga, en Las Palmas de Gran Canaria, se explotan fonolitas con disyunción tabular, empleándose para ornamentación de fachadas, solados, etc.

La resistencia a la compresión, es mayor en las fonolitas que en las traquitas, con valores por lo general comprendidos entre 1.700-2.300 kg/cm², según indica RINNE, F. (1912). La densidad aparente no es excesivamente grande, según el ITGE (1974), en Las Palmas de Gran Canaria, se tienen unos valores medios para estas rocas de 2,575 gr/cc.

En algunos sitios, debido a la gran resistencia que presentan estas rocas, así como la posibilidad de extraer grandes bloques, ha sido factible su aplicación como rocas de construcción, por ejemplo: Tarifa Baja y Galdar (Gran Canaria). En esta isla también se emplean las fonolitas como rocas ornamentales, para la elaboración de figuras, columnas, plaquetas, etc., tal y como se puede apreciar en canteras situadas en la zona de Arocas, Mas Palomas o San Felipe.

LAVAS Y TOBAS ANDESITICAS, RIOLITICAS Y DACITICAS

Riolitas, dacitas y andesitas son rocas volcánicas continentales, asociadas a zonas de plegamiento.

Las andesitas son de color gris, marrón o violáceo, microlíticas o profídicas, con poco vidrio y, en muchos casos, vacuolares. Están compuestas de plagioclasas, biotita, hornblenda y piroxenos. Las vacuolas suelen ir rellenas de sílice en

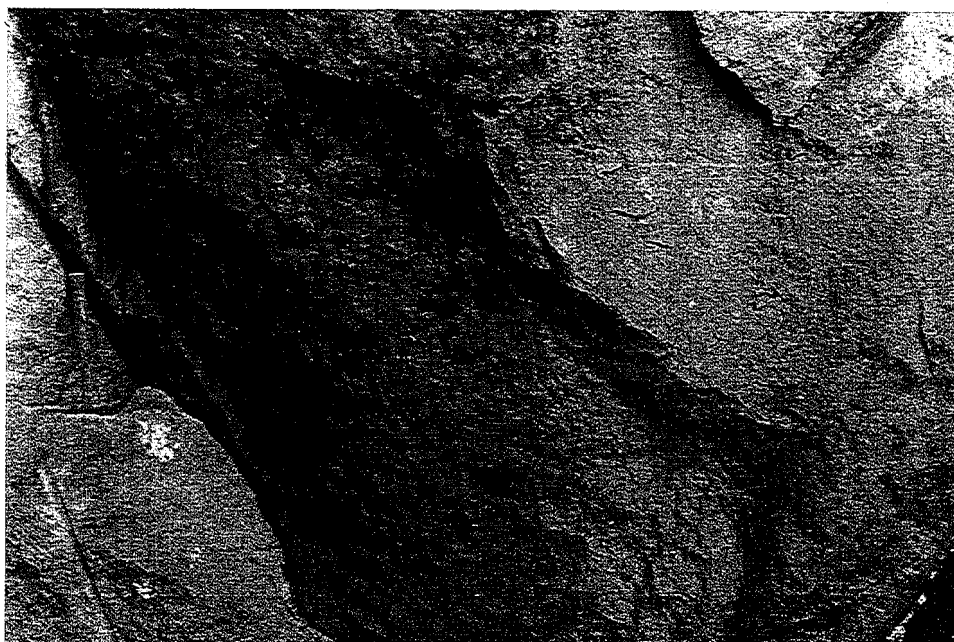
forma de tridimita o cristobalita. En las andesitas antiguas tenemos importantes procesos de alteración, formándose en algunos casos clorita y epidota rosa, responsables de la denominación que reciben las variedades: «Pórfido Verde Antiguo» y «Pórfido Rojo Antiguo».

Los romanos explotaban el «Pórfido Rojo Antiguo» en su variedad «Leptosephos», en las canteras egipcias de Djebel Dokham, entre Asuit y el Mar Rojo. Según PLINIO: «Estas explotaciones permiten la talla de bloques de cualquier tamaño. El procurador VITRASIO POLION, hizo transportar desde Egipto a Roma, durante la época del Emperador CLAUDIO, estatuas hechas de este «mármol», una innovación que no fue muy apreciada, al menos nadie siguió su ejemplo». Asimismo, en el Louvre y en el Museo Británico son numerosos los objetos depositados que están elaborados con esta roca. Por otro lado, los zócalos de la Opera de la ciudad de París están constituidos por dichas porfiritas.

Respecto a la otra variedad mencionada, recogemos las opiniones de PLINIO, el cual describe un tipo de «Pórfido Verde Antiguo» conocido como «Mármol Verde de Lacedemo-

nia», más brillante que ningún otro mármol. Este pórfido se supone que proviene de las canteras de Krokeroi, en Laconia. Asimismo, esta roca se presenta en el basamento del sepulcro de Napoleón, en Los Inválidos de París. También dentro de esta variedad de andesita tenemos las «Laboritas de Marathonsi», de Morea, muy utilizadas en tiempos pasados. La densidad de esta roca alcanza valores medios-altos, según RINNE, F. (1912), por lo general comprendidos entre 2,5 y 3,5 gr/cm³. El I.T.G.E. (1973) da como valores medios de densidad aparente para la zona del Cabo de Gata, 2,49 gr/cm³. La resistencia a la compresión es pequeña.

Las andesitas son rocas bastante porosas, con coeficientes de saturación en agua pequeños, ya que estos poros suelen mostrarse incomunicados. Asimismo, los coeficientes de resistencia a las heladas son elevados. En cambio, estas rocas son bastante vulnerables a la cristalización de sales, al igual que ocurría con los basaltos. Por todo ello, no son buenas piedras para zócalos, ya que las humedades del suelo favorecen la penetración de soluciones salinas, produciéndose en numerosos casos desconches, así como la areniza-



Explotación de riodacitas cámbricas en Fuente El Fresno

ción de la roca, tal y como se comprueba en el Instituto de Medicina de Erévan, Armenia. Estas rocas dan mejores resultados en fachadas. En Francia se presentan importantes explotaciones de andesitas en la zona de Volvic, cerca de Riom, donde se extrajo piedra para la construcción de la Sede Central de la Policía y de la Catedral de Clermont-Ferrand, así como de buena parte de las edificaciones de esta ciudad. Esta variedad se pule con facilidad, utilizándose para fabricar rótulos de calles.

En España aparecen andesitas en la zona del Cabo de Gata (Almería). Suelen ser afloramientos con clara disyunción columnar, aunque en casos también se muestran bolos subsféricos, por alteración de los prismas. Esta disyunción es normal a la superficie de enfriamiento de la colada, mostrando asimismo un lajado ortogonal a los prismas mencionados. Esta disposición, favoreció la explotación de masas volcánicas para la construcción, en tiempos pasados, usándose estos materiales en las edificaciones rurales de zonas próximas. Las tobas andesíticas se emplean con profusión en las construcciones de las zonas peripacíficas, por su abundancia en dichos lugares y por su fácil talla. Es frecuente observar su uso en monumentos de Ecuador y Perú, donde la benevolencia del clima ayuda a su conservación, tal es el caso de las ruinas incas de Ingapirca o de elementos de la arquitectura colonial del Convento de San Francisco, en Quito.

Las dacitas aparecen junto a riolitas y andesitas. Son rocas en general de color gris claro, azulado y a veces verde, por cloritización. La textura es porfídica, destacando los fenocristales sobre una pasta microlítica, siendo normal la presencia de vidrio. Están compuestas frecuentemente por cuarzo automorfo, plagioclasas, algo de ortosa y minerales ferromagnesia-

nos, tales como la biotita, hornblenda e hiperstena.

Según RINNE, F. (1912), el peso específico medio de las dacitas está en torno a $2,65 \text{ gr/cm}^3$ y la resistencia a la compresión alcanza valores medios-altos, por ejemplo en las dacitas de Karnout tenemos 1.476 kg/cm^2 .

Estas rocas no se han empleado mucho en construcción, ya que al igual que en el caso de las andesitas muestran una gran porosidad, con un tamaño de poros lo suficientemente finos, como para que se evite el uso de esta roca en zócalos, principalmente debido a los problemas de cristalización de sales.

Conocemos el empleo de dacitas en el templo de Karnout, en Armenia. En España existen algunas canteras familiares, en la actualidad abandonadas, sobre afloramientos cámbricos cloritizados, en la zona de Fuente del Fresno (Toledo).

Más raro es el empleo de los lapillis dacíticos consolidados. En tobas de este material están talladas las iglesias subterráneas del valle de Göreme, en Turquía. La gran permeabilidad de estas rocas ha favorecido la alteración. El vidrio volcánico se ha ido transformando en minerales arcillosos de la familia de las esmectitas (tipo bidellita), con algunas trazas de micas.

Las riolitas son el equivalente volcánico de los granitos. Son rocas de color claro, generalmente blanquecinas, pasando a tonos rojizos, amarillentos o grises por alteración. Son rocas ricas en vidrio, mostrando en ocasiones fenocristales de cuarzos riolíticos y estructuras fluidales. Aparte del cuarzo, ya mencionado, suelen llevar sanidina, anfíbol y biotita.

Ha sido frecuente el empleo de riolitas (pórfidos cuarcíferos) en empedrados de calzadas, siendo menos común su uso como roca de construc-

ción, salvo el caso de las tobas, que por su baja densidad se han empleado en bóvedas, tal y como es posible observar en la basílica de Santa Sofía y otras mezquitas de Estambul.

El peso específico de las riolitas oscila entre $2,3$ y $2,45 \text{ gr/cm}^3$, mostrando valores de resistencia a la compresión comprendidos generalmente entre los 1.500 y los 2.000 kg/cm^2 , pudiendo llegar incluso a los 3.000 kg/cm^2 , según indica RINNE, F. (1912). Estas propiedades parecen indicar su posible aplicación en construcción, sin embargo no ocurre así, ya que suele producirse una rápida alteración de la roca, debido a la caolinitización de la sanidina. La roca sana muestra una gran resistencia al corte.

En algunos casos como en Elfdalen, en Suecia, y en otros lugares se han explotado estas volcanitas como rocas ornamentales.

CONCLUSIONES

Son numerosas las variedades ígneas extrusivas, no descritas, tal es el caso de latitas, tefritas y otras, con aplicación en las construcciones locales, siendo en países con predominio de rocas volcánicas donde su aplicación se vuelve general.

Según PLINIO los egipcios descubrieron un «mármol» en Etiopía, llamada «Basanites», que en su color y dureza se parece al hierro, de ahí su nombre. Las basanitas, de hoy en día, son rocas volcánicas, con plagioclasas, labrador, feldespatoides (por lo general variable entre nefelina, analcima, leucita o haüyna), augita, hornblenda, olivino y ocasionalmente biotita.

Pero en general, las rocas volcánicas más utilizadas en construcción son los basaltos y las tobas basálticas, cuando sus condiciones de empleo son óptimas, ya que son relativamente abundantes.

BIBLIOGRAFIA

- ARAÑA, V. y ORTIZ, R. (1983):** Volcanología, CSIC-Ed. Rueda. 510 pág. Madrid.
- CHAROLA, A. (1990):** Lavas y tobas volcánicas. Resúmenes presentados a la Reun. Int. Isla de Pascua (Chile), 25-31 de octubre de 1990. 39 pág. Santiago de Chile.
- GARCIA DE MIGUEL, J.M. (1975):** Petrología de rocas ígneas. Ed. Fundación Gómez Pardo-E.T.S. de Ingenieros de Minas. Madrid.
- GEA, R. (1990):** Las rocas ornamentales en la Historia Natural de Plinio «El Viejo». Rev. Industria Minera, n.º 295, 19-39, Madrid.
- HATSAGORTSIAN, Z. (1988):** Durabilité des tufs volcaniques et des basaltes. VI Congrès International sur la conservation et l'alteration de la pierre. 149-158.
- IGME (1971):** Atlas inventario de rocas industriales. Madrid.
- IGME (1973-76):** Mapa de rocas industriales a escala 1:200.000. Hoja y memoria explicativa: 25/10-3 (Figueras), 61/15-8 (Ciudad Real), 84/6-11 (Almería-Garrucha), 91/10-10 y 11 (Tenerife) y 93/11-11 (Gran Canaria). Madrid.
- MAMILLAN, M. (1964):** La gélimité des matériaux. Suplement aux Ann. del Inst. Tech. du Bâtiment et Travaux Publics, n.º 235-236, 858-888. Paris.
- OLIVER, E. (1955):** Technologie des matériaux de construction T. I y II. Ed. Enterprise Moderne. Paris.
- RINNE, F. (1912):** Etude pratique des roches. J. Lamarre & Cie. Ed., 954 pág. Paris.
- WITTE, E. DE y al. (1988):** Conservation of the Göreme rock: Preliminary investigation. VI Congrès sur la conservation et l'alteration de la pierre. 346-355.