

# CRITERIOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE TOBAS DÁCITICAS EN LA SUSTITUCIÓN DE CEMENTO PÓRTLAND EN MORTEROS Y HORMIGONES.

Costafreda, J.L.<sup>(1)</sup>, Calvo, B.<sup>(1)</sup> y Parra, J.L.<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Departamento de Ingeniería Geológica. C/ Ríos Rosas, 21. 28003. Madrid. ([costafreda@yahoo.es](mailto:costafreda@yahoo.es)); ([benjamin.calvo.perez@gmail.com](mailto:benjamin.calvo.perez@gmail.com)) y ([joseluis.parra@upm.es](mailto:joseluis.parra@upm.es)).

## RESUMEN:

Los materiales puzolánicos reactivos son muy conocidos actualmente, así como sus beneficios en la mejora de gran número de cementos. El presente trabajo tiene la intención de mostrar algunos resultados prácticos, obtenidos de recientes investigaciones de tobas de composición dacítica, capaces de sustituir al cemento pórtland de alta resistencia inicial en morteros y hormigones. Los contenidos apreciables en sílice y en alúmina, los bajos contenidos en sulfato y materias orgánicas, y una molienda adecuada, entre otros, son las causas, al parecer, de la eficacia de este material a la hora de aportar valores apreciables de resistencias mecánicas a edades cercanas y superiores a los 28 días.

Palabras clave: tobas dacíticas, cemento pórtland, morteros, hormigones, resistencias mecánicas

## ABSTRACT:

The pozzolanic materials are very known nowadays, as well as his benefits in the improvement of great number of cements. The present paper shows some practical results obtained of recent investigations of dacitic tuffs, which are capable of substituting the portland cement of high initial resistance in mortars and concretes. Both, the valuable contents in silica-alumina and the low sulphate-organic materials levels, as well as the correct crushing, are the reasons of the efficiency of this material, with the contribution of mechanical resistances in close and higher ages than twenty eight days.

Key words: dacitic tuffs, portland cement, mortar, concrete, mechanic resistance.

## INTRODUCCIÓN

La fabricación de cementos con adiciones controladas de materiales puzolánicos, naturales como artificiales, es una práctica muy extendida en la actualidad, en el empeño de obtener aglomerantes y estructuras más resistentes y estables, en los aspectos físico y químico, que satisfagan las exigencias de las tecnologías en la construcción moderna, tanto en superficie, subterráneas como en contacto con los entornos marinos y suelos altamente contaminados.

De igual modo, se precisa mitigar con creces la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, producida inevitablemente durante la fabricación de grandes volúmenes de cemento pórtland.

Al mismo tiempo, es imprescindible un conocimiento profundo de los agregados y adiciones para el cemento ordinario, para diagnosticar y controlar sus comportamientos en todas las etapas de la reacción hidráulica, las variaciones en las interfases, y las características de las paragénesis minerales finales.

Muchas puzolanas han sido caracterizadas con los propósitos anteriores, principalmente las zeolitas naturales (Rosell, M., 2006), (Costafreda, J.L. *et al.*, 2007), (Costafreda, J.L., 2008), (Costafreda, J.L. *et al.*, 2009), y de cenizas volcánicas, sílice (Rabilero, A., 1988); pero la experiencia demuestra que puede ampliarse la lista de materiales cuya aportación al cemento es apreciable.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Para la realización de estos ensayos se emplearon tres muestras de toba dacítica, extraídas de afloramientos de la región de Cabo de Gata, al sur de España (ver figura 1).

### *Caracterización de las muestras.*

Estas rocas son, mayormente, tobas vitrocrystalolitoclásticas, que transicionan ocasionalmente a ignimbritas y cineritas de composición dacítica. Suelen ser ligeras, porosas y pumíticas. Se alteran con facilidad y aparecen cementando materiales piroclásticos (Costafreda, J.L., 2008).

Se originaron, posiblemente, por la rápida pérdida de líquido y vapor durante las emisiones volcánicas neógenas del sureste de España, donde los materiales más finos se compactaron entre sí, formando estratos de tobas de diferentes granulometría y composición, principalmente dacítica.

Microscópicamente, estas rocas están constituidas por vidrio, cuarzo, piroxeno, plagioclasa, biotita, epidota y fragmentos de rocas; con texturas variables del tipo vitrocrystalolitoclástica, bandeada, cinerítica y tufítica. La matriz es muy fina, vítrea, alterada, desvitrificada; muchas veces predomina un cemento de cinerita que engloba cristales recocidos, que muestran caras cóncavas y convexas, con estiramientos exagerados por su eje longitudinal. Los fenocristales han sido sustituidos isomórficamente por material secundario de naturaleza bentonítica y zeolítica, emplazándose a través de las líneas de los cruceros y microfracturas, y como sustitución pseudomórfica del vidrio volcánico (Costafreda, J.L., 2008).

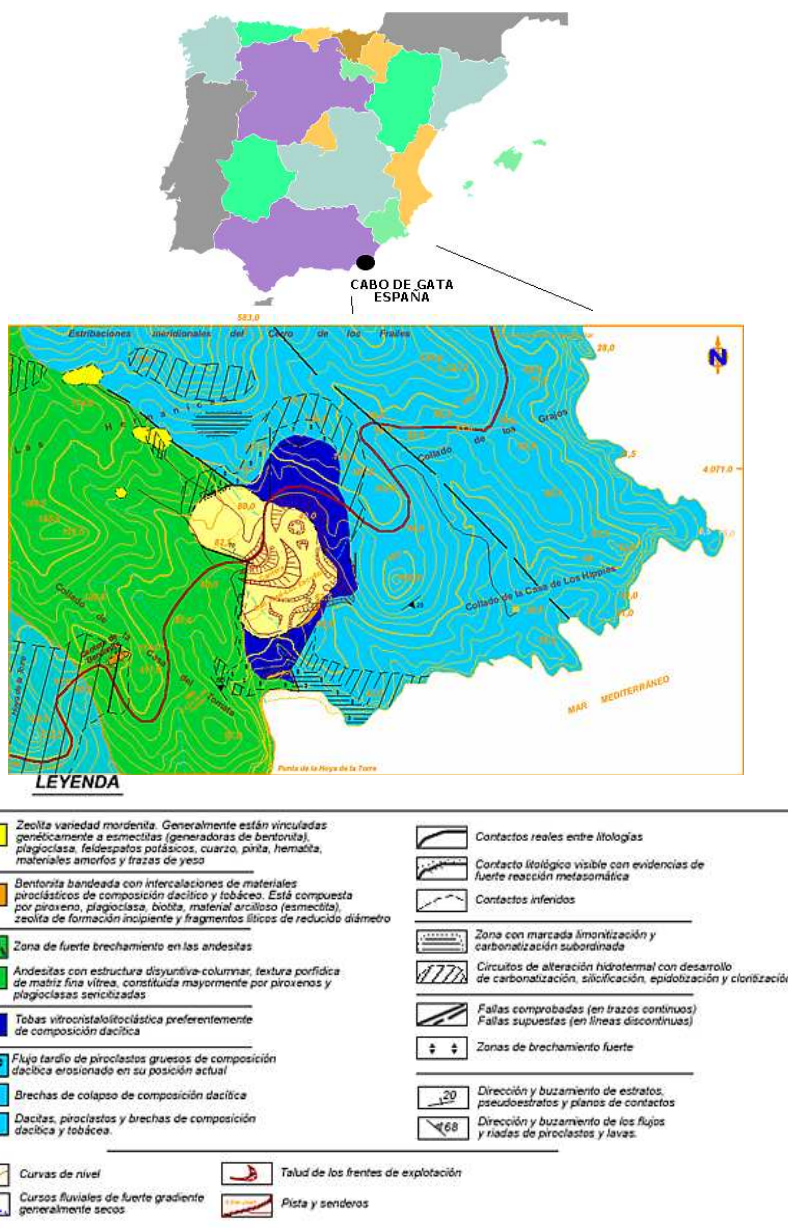


Figura Nº 1: Mapas de ubicación geográfica y geológico (escala 1:10.000), reflejando los lugares de yacencia de las tobas dacíticas en la región del Cabo de Gata, España.

Las muestras obtenidas contienen entre un 63,28% y un 65,99% de sílice, 12,08-14,01% de alúmina y 2,39-3,03% de compuesto de sodio (ver tabla 1).

Tabla Nº 1: Composición química de las tobas dacíticas empleadas en el presente trabajo.

Muestra	Composición química (%)						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
TD-I	64,49	13,19	1,6	0,873	2,09	2,99	3,92
TD-II	65,99	14,01	1,72	1,16	1,85	3,03	2,89
TD-III	63,28	12,08	1,44	2,05	1,73	2,39	2,82

Fuente: Costafreda, J.L. y Calvo, B. 2007.

### Preparación de las muestras:

Las muestras fueron trituradas por debajo de 63 micras. Se prestó especial atención al grado de finura de las tobas dacíticas empleadas en el presente trabajo, por su importancia en los ensayos ulteriores, pues los componentes hidratados son los que dan mayor resistencia al cemento, de forma que cuanto menor es el tamaño del grano, mayor es la resistencia alcanzada. En los granos pequeños, la hidratación se completa prácticamente en su totalidad, porque el agua logra penetrar en su interior con bastante facilidad (Costafreda, J.L., 2008).

Se utilizó un cemento pórtland de alta resistencia inicial. Su composición química se ofrece en la tabla 2.

Tabla Nº 2: Composición química del cemento pórtland de referencia anhidro empleado en el presente trabajo.

MUESTRA	Compuestos en % de masa												P.P.C. (%)	% Total
	S <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Cl	Ti O <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	MnO		
Cemento de Referencia	17,45	5,59	1,37	0,091	0,641	3,35	64,04	-	0,326	0,072	4	0,094	2,43	99,454

La preparación de los morteros se realizó de acuerdo con las indicaciones de la norma UNE-EN 196-1:2005.

Las tres muestras de toba dacítica fueron subdivididas en submuestras, convenientemente dosificadas, según la norma UNE-EN 196-1:2005. Esta subdivisión representa las 4 edades de ensayos elegidas para la investigación; es decir: 2, 7, 28 y 90 días, obteniéndose una población total de 12 submuestras (ver tabla 3).

Tabla Nº 3: Relación de muestras originales, submuestras y dosificación correspondiente para la elaboración de los morteros con diferentes dosificaciones.

MUESTRA ORIGINAL	SUB MUESTRAS	DOSIFICACIÓN
TD-I*	TD-I-2 <sup>1</sup>	<p align="center"><b>(75% CemRef/25% Pz)</b></p> <p>375 (g) Cemento de referencia 125 gramos de puzolana (zeolita o toba vítrea dacítica) 225 gramos de agua desmineralizada</p> <p align="center"><b>(70% CemRef/30% Pz)</b></p> <p>350 (g) Cemento de referencia 150 gramos de puzolana (zeolita / toba vítrea dacítica) 225 gramos de agua desmineralizada</p> <p align="center"><b>Cemento de referencia:</b></p> <p>450 ± 2 gramos de cemento de referencia. 1.350 ± 5 gramos de arena normalizada. 225 ± 1 gramos de agua desmineralizada.</p>
	TD-I-7 <sup>2</sup>	
	TD-I-28 <sup>3</sup>	
	TD-I-90 <sup>4</sup>	
TD-II	TD-II-2	
	TD-II-7	
	TD-II-28	
	TD-II-90	
TD-III	TD-III-2	
	TD-III-7	
	TD-III-28	
	TD-III-90	

(\*)TD-I-2<sup>1</sup>, 2, 3 y 4: submuestras de mortero (cemento pórtland + toba dacítica + arena normalizada + agua destilada), analizadas a las edades de 2, 7, 28 y 90 días (norma UNE-EN 196-1:2005).

De igual manera se procedió con el cemento de referencia, a partir del cual fueron elaboradas 4 submuestras de morteros, que representan las edades a 2, 7, 28 y 90 días, en una mezcla simple y ordinaria que no contempla agregados puzolánicos. La composición normalizada de estos morteros comprende: árido natural (1.350 gramos), agua desmineralizada (225 gramos) y cemento de referencia (450 gramos) (ver tabla 3).

Para la elaboración de los morteros a partir de las mezclas de puzolanas naturales con cemento pórtland, se preparó la siguiente proporción: cemento pórtland (75% = 375 gramos) y puzolana natural (toba dacítica) (25%= 125 gramos) (ver tabla 3).

De la dosificación mencionada, se obtuvo una masa total de 500 gramos de mezcla cemento-puzolana, de la cual se emplearon 450 gramos (según norma UNE-EN 196-1:2005) para la elaboración y enmoldado de los morteros, en una mezcla final con arena y agua normalizadas.

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En la tabla 4 se relacionan los resultados de los ensayos mecánicos a compresión por muestras de morteros mixtos y simples, a las edades de 2, 7, 28 y 90 días.

Tabla Nº 4: Relación de lecturas de compresión a 2, 7, 28 y 90 días para las muestras ensayadas.

Nº MUESTRA	EDAD (días)	LECTURA COMPRESIÓN (Mpa)	LECTURA COMPRESIÓN (Mpa)
		DOSIFICACIÓN: (75% CemRef/25% Pz)	DOSIFICACIÓN: (70% CemRef/30% Pz)
<b>TD-I</b>	2	15,0	17,0
<b>TD-I</b>	7	25,0	23,5
<b>TD-I</b>	28	44,7	44,2
<b>TD-I</b>	90	70,8	66,7
<b>TD-II</b>	2	15,0	14,6
<b>TD-II</b>	7	26,0	21,1
<b>TD-II</b>	28	45,2	46,2
<b>TD-II</b>	90	72,7	66,3
<b>TD-III</b>	2	12,6	16,6
<b>TD-III</b>	7	23,8	22,5
<b>TD-III</b>	28	49,9	50,0
<b>TD-III</b>	90	58,4	56,4
<b>CemRef</b>	2	27,2	24,3
<b>CemRef</b>	7	42,7	33,7
<b>CemRef</b>	28	60,0	50,6
<b>CemRef</b>	90	68,4	66,5

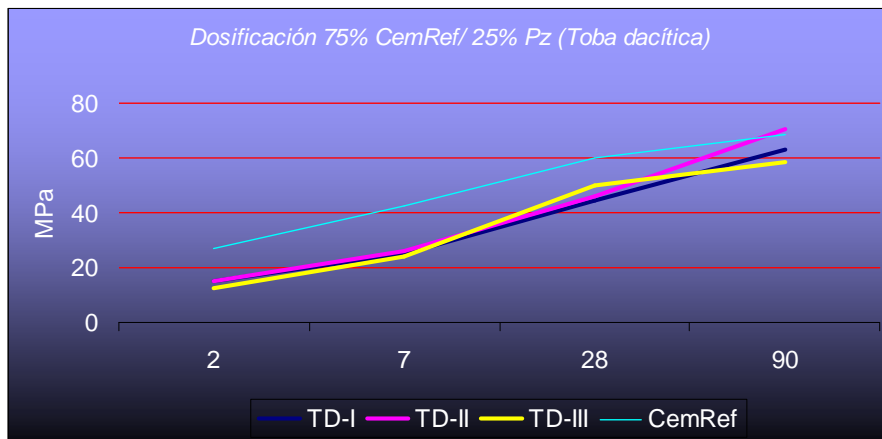


Figura N° 2: Incremento de las resistencias mecánicas en el tiempo para morteros mixtos y simples, con dosificación 75% CemRef / 25% Pz (Toba dacítica).

Los resultados analizados a partir de la tabla 4 y de la figura 2, para la dosificación 75%-25%, develan una gran similitud en las tres muestras analizadas a 2 días, con un ligero desfase de TD-III. Esta condición no varía mucho a los 7 días; sin embargo, transcurrido 28 días de reacción, se desfasa la muestra TD-III respecto a TD-I y TD-II, superando significativamente los valores de resistencia mecánica. A los 90 días, las muestras TD-I y TD-II vuelven a comportarse más reactivas.

Un aspecto importante a destacar es el aumento de los valores de resistencia mecánica de las muestras TD-I y TD-II, que superan la resistencia aportada por el cemento de referencia a los 90 días. El ritmo del incremento de las resistencias aportadas por las tres muestras se hace evidente a partir de los 7 días, disminuyendo drásticamente la diferencia respecto al cemento de referencia a los 28 días (ver figura 2).

La reactividad de las muestras preparadas con dosificación 70%-30%, no difiere mucho respecto a las elaboradas con la proporción 75%-25% (ver figura 3); las resistencias mecánicas se han incrementando siguiendo un patrón cercano.

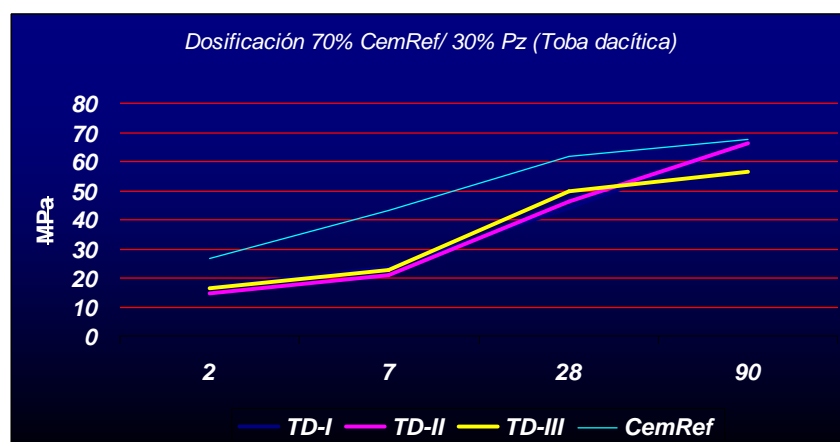


Figura N° 3: Incremento de las resistencias mecánicas en el tiempo para morteros mixtos y simples, con dosificación 70% CemRef / 30% Pz (Toba dacítica).

La comparación de los resultados obtenidos con las investigaciones con zeolitas naturales (Costafreda, J.L., 2008) y las tobas dacíticas de este trabajo, arroja criterios interesantes sobre el comportamiento de diferentes puzolanas en las mezclas de morteros (ver tabla 5 y figuras 4 y 5).

Tabla Nº 5: Comparación de resultados de resistencias mecánicas de morteros elaborados con zeolitas naturales y los obtenidos en la presente investigación.

Nº MUESTRA (Tobas dacítica)	EDAD (días)	LECTURA COMPRESIÓN (Mpa)	LECTURA COMPRESIÓN (Mpa)	Nº MUESTRA (Zeolita) (*)	LECTURA COMPRESIÓN (Mpa)	LECTURA COMPRESIÓN (Mpa)
		DOSIFICACIÓN: (75% CemRef/25% Pz)	DOSIFICACIÓN: (70% CemRef/30% Pz)		DOSIFICACIÓN: (75% CemRef/25% Pz)	DOSIFICACIÓN: (70% CemRef/30% Pz)
<b>TD-I</b>	2	15,0	12,0	<b>SJ-7</b>	16,0	15,0
<b>TD-I</b>	7	24,3	23,5	<b>SJ-7</b>	25,9	24,5
<b>TD-I</b>	28	44,7	44,2	<b>SJ-7</b>	51,4	50,3
<b>TD-I</b>	90	63,1	62,3	<b>SJ-7</b>	70,8	66,7
<b>TD-II</b>	2	15,0	14,6	<b>SJ-9</b>	17,5	15,9
<b>TD-II</b>	7	26,0	21,1	<b>SJ-9</b>	26,6	24,0
<b>TD-II</b>	28	46,2	45,2	<b>SJ-9</b>	48,9	47,9
<b>TD-II</b>	90	70,7	66,3	<b>SJ-9</b>	72,7	68,4
<b>TD-III</b>	2	12,6	12,6	<b>SJ-10</b>	15,5	14,2
<b>TD-III</b>	7	23,8	22,5	<b>SJ-10</b>	24,9	20,7
<b>TD-III</b>	28	50,0	49,8	<b>SJ-10</b>	48,0	49,3
<b>TD-III</b>	90	58,4	56,4	<b>SJ-10</b>	65,9	65,2

(\*) Fuente: Costafreda, J.L., 2008.

Es evidente que los morteros elaborados a base de zeolitas naturales aportan resistencias significativamente más altas que los que contienen tobas dacíticas (ver figuras 4 y 5); no obstante, esta diferencia no determina la eficiencia reactiva ni la calidad como aglomerantes de estas últimas.

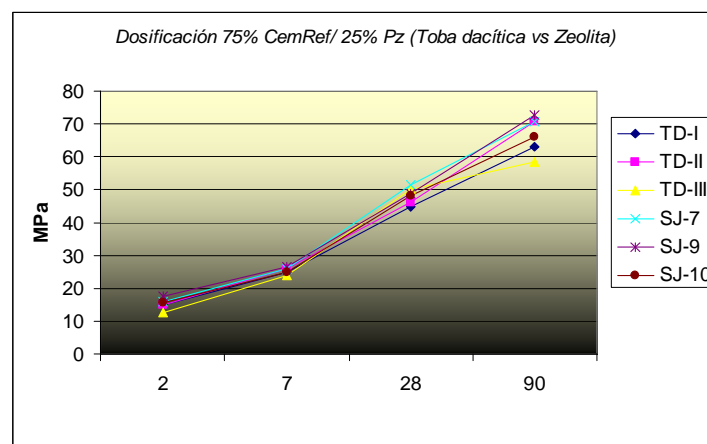


Figura Nº 4: comportamiento mecánico de morteros elaborados con zeolitas y tobas dacíticas, con dosificación 75%-25%, respectivamente.

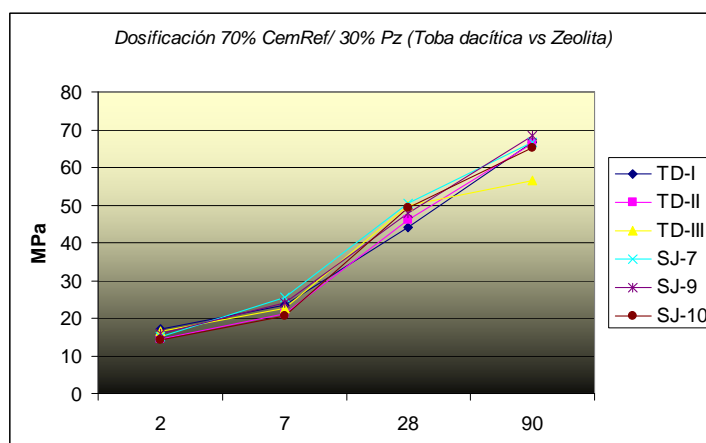


Figura Nº 5: comportamiento mecánico de morteros elaborados con zeolitas y tobas dacíticas, con dosificación 70%-30%.

Muchos yacimientos de zeolitas (San José Los Escullos, España, y Escalerillas en México) aparecen tobas de composición dacítica y riolítica, respectivamente, esta condición puede considerarse un buen pronóstico para explotar ambos materiales como un todo-uno, sin incidir negativamente en la calidad del cemento o del mortero.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, se podrán fabricar tipos de cementos con propiedades ventajosas, tales como: mayor resistencia química, menor calor de hidratación y mayor inhibición de la reacción álcalis/árido. Entre estos cementos podrían figurar: cemento pòrtland con adiciones resistentes a los sulfatos y al agua de mar, cementos con adiciones puzolánicas (construcción de zapatas, pisos, columnas, muros, losas, pavimentos guarniciones, brocales de pozos, registros y tuberías) y cementos compuestos (gran durabilidad en prefabricados para alcantarillados, concretos con mayor resistencia química con bajo desprendimiento de calor que sea compatible con todos los materiales de construcción como arenas, gravas, piedras, mármol y pigmentos).

Podrán ser empleados en la construcción de hormigones que deben resistir el ataque del agua de mar en condiciones de agresividad baja o media, así como en obras situadas en ambientes marinos en los que suelen darse condiciones ambientales agresivas, y para evitar problemas derivados de la reacción álcalis-árido.

La puzolana empleada (toba dacítica) es capaz de sustituir al cemento portland en un 25% y 30%, esto garantiza los bajos valores de calor de hidratación, Esta condición puede evitar de forma eficiente la retracción térmico-plástica, la expansión y la fisuración de los hormigones.

Los morteros fabricados con adiciones de toba dacítica aportan elevada resistencia mecánica, esto los hace adecuados en la construcción de grandes estructuras donde se requiera una durabilidad excelente, fundamentalmente frente a la agresividad de las aguas puras, carbónicas o con débil acidez mineral.



Las puzolanas empleadas en el presente trabajo aportan al mortero cohesión, manejabilidad, impermeabilidad y hermetismo, estas propiedades aportan a los morteros resistencia a la congelación y a la acción del CO<sub>2</sub>.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**Costafreda, J.L. y Calvo, B.** (2007). Calidad de las rocas zeolitizadas de Cabo de Gata como agregados activos en cementos puzolánicos resistentes a los sulfatos y al agua de mar. *V Jornadas Iberoamericanas de Materiales de Construcción*. Ciudad de Panamá, Panamá. 13 p.

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

**Costafreda, J.L. y Calvo, B.** (2008). Aprovechamiento de las rocas encajantes de los yacimientos e indicios de zeolitas naturales de Cabo de Gata, España. *VI Jornada Iberoamericana de Materiales de Construcción*. Mar del Plata, Argentina. 10 p.

**Costafreda, J.L., Calvo, B. y Peralta, X. B.** (2009). Aprovechamiento de los residuos de demolición de la ciudad de Madrid en morteros con zeolita natural: una contribución a la mejora del medioambiente. *III Convención Cubana de Ciencias de la Tierra*. La Habana, Cuba. 9 p.

**Rosell, M.** (2006). Zeolitas naturales cubanas. Reactividad puzolánica. Uso en adiciones para hormigones. *Tesis Doctoral*. Centro Técnico para el desarrollo de Materiales de Construcción. La Habana, Cuba. 123 p.

**UNE-EN 196-1:2005:** Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas.

**UNE-EN 196-3:1996:** Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad de volumen.

**UNE-EN 197-1:2000:** Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes.

**UNE-EN 933-1:1998:** Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado.

**UNE-EN 933-10:2001:** Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 10: Evaluación de los finos. Granulometría de los fillers (tamizado en corriente de aire).

**UNE-EN 1015-3:** Determinación de la consistencia del mortero fresco por el método de sacudida.