

Caracterización y selección de morteros de restauración aplicados a areniscas del Eoceno de Gipuzkoa utilizadas en la construcción de edificios

Characterization and selection of restoration mortars applied to the Eocene sandstones of Gipuzkoa used for building construction

M. Cano (**), I. Rodríguez-Maribona (**), K. Beraza (***), F. García-Garmilla (*), I. Yusta (*), J.A. Ibáñez-Gómez (*) y S. Garín (***)

(*) Universidad del País Vasco. Facultad de Ciencias. Dpto. Mineralogía y Petrología, Ap. 644, 48080-Bilbao. E-mail: nppgagaf@lg.ehu.es

(**) LABEIN, Cuesta de Olabeaga 16, 48013-Bilbao. E-mail: cano@labein.es

(***) TEUSA TECPROPASA EUSKADI, S.A. Paseo de Los Olmos 14, 20016-San Sebastián. E-mail: teusa@adegi.es

ABSTRACT

We have studied the response of three commercial mortars (A, B and C) and a fourth one (synthesized by Teusa) under different laboratory tests (stiffness, setting time, water absorption, water suction, water-vapor permeability, porosity, density, pore-size distribution, salt crystallization, freeze-thaw cycling, flexural and compressive strength, and adhesion of mortars). The mortar A is an amorphous arid-free alite-mortar, whereas the B and C are composed by quartz, alite and calcite. The comparison between the results of this paper and those obtained from the same tests carried out upon several samples of the Igueldo Sandstone (Eocene of Gipuzkoa, Spain) used in building construction have allowed to us to made a first approximation to the suitability of the different commercial products with respect to concrete lithologies. The A and C mortars are the best products to rejoin the Igueldo sandstone masonry-stones. The C and Teusa mortars would be satisfactory for whitewashing, but only with the addition of high-Ca lime or pozzolane. Finally, the A, B and Teusa mortars are thought to have a good behaviour for the replacement of the Igueldo sandstone masonry-stones.

Key Words: Eocene sandstones, mortars, laboratory tests, building restoration.

Geogaceta: 30 (2001), 215-218

ISSN: 0213683X

Introducción

La comercialización de diferentes tipos de morteros de restauración ha experimentado una importante revitalización en la última década. La eficacia de la mayor parte de estos productos ha sido comprobada a través de rigurosas pruebas de laboratorio previas a su aplicación en casos reales. Sin embargo, el comportamiento de los morteros depende en gran medida de la naturaleza de la roca sobre la que se aplican, pudiendo los diferentes materiales pétreos presentar respuestas bien distintas ante un mismo producto. En el caso que nos ocupa, las areniscas del «flysch» del Eoceno constituyen una litología muy particular, pues en la composición de su trama varían sustancialmente los contenidos en feldespato potásico (2-13%) y fragmentos de rocas (6-50%),

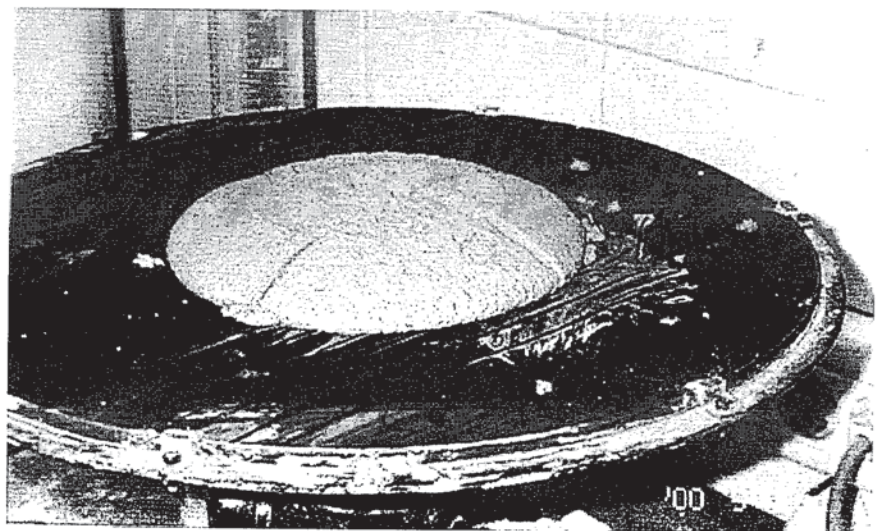


Fig.1.- Determinación de la docilidad del mortero de Teusa (170 mm.).

Fig 1.- Determination of the Teusa mortar stiffness (170 mm).

MUESTRA	ABSORCIÓN AGUA (%)	SUCCIÓN AGUA (gr/cm ² .min)	PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA (gr/cm/hora)
ARENISCA DE IGUELDO	5,17	0,077	4,26x10 ⁻³
MORTERO A	12,22	0,013	4,49x10 ⁻⁴
MORTERO B	9,26	---	2,93x10 ⁻³
MORTERO C	11,17	0,018	2,15x10 ⁻³
MORTERO DE TEUSA	2,30	0,03	1,27x10 ⁻⁴

Tabla I.- Propiedades hídricas de las areniscas de Igueldo y los cuatro morteros estudiados.

Table I.- Hydric properties (water absorption, water suction and water-vapor permeability) of the Igueldo sandstones and the four studied mortars.

MUESTRA	POROSIDAD (%)	TAMANO DE PORO (Å)	DENSIDAD REAL(g/cm ³)
ARENISCA DE IGUELDO(*)	15,14//17,49	23.913//62.925	2,65//2,48
MORTERO A	31,98	8.693	1,29
MORTERO B	24,91	8.023	2,35
MORTERO C	17,88	69.192	1,65
MORTERO DE TEUSA	15,11	219	2,41

(*) Se realizan varias medidas de toda la arenisca del edificio (unas zonas ligeramente más degradadas que otras)

Tabla II.- Propiedades físicas de las areniscas de Igueldo y los cuatro morteros estudiados.

Table II.- Physical properties (porosity, density and pore-size distribution) of the Igueldo sandstones and the four studied mortars.

MUESTRA	9 CICLOS (-Δ peso, %)	14 CICLOS (-Δ peso, %)	20 CICLOS (-Δ peso, %)
ARENISCA DE IGUELDO	5,94	9,39	16,26
MORTERO A	6,07	*	10,21
MORTERO B	2,25	*	6,03
MORTERO C	6,24	*	12,09
MORTERO DE TEUSA	1,60	*	2,69

*El porcentaje obtenido es menor que a 9 ciclos, ya que no se han lavado bien las probetas, y las sales aparecen depositadas sobre las probetas.

Tabla III.- Cristalización de sales (pérdida de peso en % a 9, 14 y 20 ciclos) en las areniscas de Igueldo y los cuatro morteros estudiados.

Table III.- Salt crystallization test (weight loss in % after 9, 14 and 20 cycles) for the Igueldo sandstones and the four studied mortars.

MUESTRA	R.FLEXOTRACCIÓN (MPa)		
	7 días	28 días	91 días
MORTERO A	2,00	2,06	4,51
MORTERO B	2,33	3,63	3,56
MORTERO C	1,16	1,98	1,88
MORTERO DE TEUSA	7,30	9,92	9,21

Tabla IV.- Ciclos hielo-deshielo en los cuatro morteros estudiados.

Table IV.- Freeze-thaw cycling for the four types of mortars.

además de oscilar su contenido en cemento carbonatado entre un 0-45% (García-Garmilla, 1998, 1999). Ello condiciona su comportamiento ante los morteros comerciales hasta el punto de que se hace deseable precisar los parámetros de elaboración de un mortero específico que ofrezca la máxima garantía en este tipo de litologías, modificando parámetros tales como porcentaje de áridos, presencia o no de puzzolana, relación cal/cemento, etc. Conocida la respuesta de las areniscas

eoecenas ante los diferentes ensayos experimentales de laboratorio (Zalbide *et al.*, 1998; Rodríguez-Maribona *et al.*, 1999), se trata ahora de evaluar el comportamiento de los morteros a aplicar ante estos mismos ensayos (Cano *et al.*, 2000).

Un mortero de reparación debe cumplir con las siguientes características básicas:

1) deberá ser lo más similar posible al material original en lo que se refiere al color y la textura, por lo que es preciso una adecuada elección de las arenas, de su granulometría y del tipo de pigmentos que pudieran emplearse en su caso. En nuestro caso, el material a reemplazar es la arenisca eoecena de Igueldo (Gipuzkoa).

2) deberá tener características físicas, químicas y mecánicas similares a las de la arenisca inicial a la que reemplaza. Las propiedades a experimentar son la absorción de agua, permeabilidad al vapor de agua, porosidad, resistencia y adherencia.

3) deberá tener una fácil trabajabilidad y un fraguado relativamente rápido en ambientes tanto secos como húmedos. Además, su contenido en sales solubles deberá ser bajo.

4) ofrecerá la máxima durabilidad e inalterabilidad frente a agentes externos como el hielo, el agua, y las sustancias contaminantes.

5) deberá ser reversible, es decir, que se pueda reponer nuevamente con facilidad.

En este trabajo trataremos de determinar el comportamiento de tres morteros comerciales: A (un mortero de alita sin áridos), B y C (dos morteros con cuarzo, alita y calcita), junto con otro elaborado por la empresa Teusa, dedicada a la restauración de edificios y ubicada en San Sebastián.

Metodología

Al objeto de satisfacer las condiciones anteriores se ha procedido a realizar los siguientes ensayos de laboratorio sobre los morteros:

1) trabajabilidad o determinación de la docilidad mediante la mesa de sacudidas según norma UNE 83-811-92 (tiempo de amasado: 4 min.30 seg., siempre según las dosificaciones de las respectivas fichas técnicas).

2) determinación del tiempo de fraguado según norma EN-196-3 (aguja de Vicat).

3) propiedades hídricas: absorción de agua según procedimiento interno de Labein PE.MC-MT-13-E, succión de agua según PE.MC-MT-15-E, y determinación de la permeabilidad al vapor de agua según PE.MC-MT-67-E.

4) propiedades físicas: porosidad, densidad y distribución de tamaño de poros, según ASTM D4044-84 (porosímetro de Hg Poresizer 9400 de Micromeritics).

5) durabilidad: resistencia a la cristalización de sales según procedimiento interno de Labein PE.MC-MT-14-E (con sulfato sódico), y ciclos de hielo-deshielo siguiendo la norma UNE 67-028-93.

6) propiedades mecánicas: resistencia a flexotracción y compresión según la norma UNE 83-821-92 (para morteros) y UNE-22950-90 (para rocas).

7) ensayo de adherencia para mortero-

ros según norma UNE 83 822-95 EX («pull-off» en la interfase mortero/roca sobre una superficie de 35x35 cm.).

Para la determinación de las características hídras, la resistencia frente a los ciclos de hielo-deshielo y las características mecánicas, se utilizaron probetas de 4x4x16 cm.

Resultados de los ensayos

Durante la fabricación del mortero A se midió una docilidad de 187 mm. Se trata de un mortero muy ligero con un buen acabado final en las probetas. El mortero B tiene una docilidad de 170 mm. El mortero C, que presenta una docilidad de 140 mm, es más moldeable que el A porque contiene granos de árido. Por último, el mortero Teusa es más laborioso de fabricar, puesto que no se presenta en polvo como en los casos anteriores, sino que es la mezcla de varios componentes: árido silíceo, cemento blanco, cemento gris, aldit y colorantes. Presenta buena trabajabilidad y una docilidad de 170 mm. La Fig.1 ilustra el ensayo de docilidad del mortero de Teusa.

Los tiempos de inicio y final de fraguado fueron: para el A, 3 y 4 horas; para el B, 3 y 5; para el C, 4 y 6; y para el de Teusa, 2 y 3 horas, respectivamente. Estos resultados pueden considerarse muy aceptables.

La tabla I presenta los resultados de los ensayos de absorción de agua, succión de agua y permeabilidad al vapor de agua de la arenisca de Igueldo y los cuatro morteros. Los tres morteros comerciales presentan una absorción de agua superior a la de la arenisca, posiblemente debido a una mayor porosidad. Sin embargo, el mortero de Teusa presenta una absorción muy baja, menor que la de la piedra arenisca. En cuanto a los resultados de la permeabilidad al vapor de agua, son en general muy similares a la de la arenisca, excepto para el mortero de Teusa. Por lo tanto, las propiedades hídras de los morteros comerciales son en general aceptables para su aplicación en la arenisca de Igueldo.

La tabla II resume los resultados de los ensayos de porosidad, tamaño de poro y densidad real de la arenisca de Igueldo y los cuatro morteros. La incorporación a la piedra de materiales menos porosos puede ser peligrosa, ya que durante el proceso de evaporación, es posible que se produzca un fenómeno de cristalización de sales al migrar las sales solubles en disolución a los materiales más porosos, en este caso la arenisca. Asimismo, la incorporación de materiales menos porosos puede disminuir la permeabilidad al va-

MUESTRA	R.FLEXOTRACCIÓN (MPa)		
	7 días	28 días	91 días
MORTERO A	2,00	2,06	4,51
MORTERO B	2,33	3,63	3,56
MORTERO C	1,16	1,98	1,88
MORTERO DE TEUSA	7,30	9,92	9,21

Tabla V.- Resistencias mecánicas a la flexotracción para los cuatro morteros estudiados.

Table V.- Flexural strength of the four types of mortars.

MUESTRA	R.COMPRESIÓN (MPa)		
	7 días	28 días	91 días
ARENISCA DE IGUELDO	----	----	17,08
MORTERO A	7,20	12,81	20,22
MORTERO B	7,25	12,02	17,71
MORTERO C	2,45	5,10	5,81
MORTERO DE TEUSA	31,65	42,73	50,11

Tabla VI.- Resistencias mecánicas a la compresión para las areniscas de Igueldo y los cuatro morteros estudiados.

Table VI.- Compressive strength of the Igueldo sandstones and the four studied mortars.

MUESTRA	ADHERENCIA (Kp/cm ²)	OBSERVACIONES
MORTERO A	8,6	Rotura por el mortero
	11,7	Rotura por la interfase
	10,4	Rotura por el mortero
MORTERO B	1,7	Rotura por la interfase
	1,7	Rotura por la interfase
	3,0	Rotura por la interfase
MORTERO C	1,0	Rotura por la interfase
	1,2	Rotura por la interfase
	0,8	Rotura por la interfase
MORTERO DE TEUSA	4,8	Rotura por la interfase
	5,2	Rotura por la interfase
	4,6	Rotura por la interfase

Tabla VII.- Resultados del «pull-off» de adherencia en los cuatro morteros estudiados.

Table VII.- Adhesion results of the four studied mortars.

por de agua, lo que no es bueno para muros con humedades. Estos problemas no se producirían en el caso de aplicar cualquiera de los tres morteros comerciales, ya que sus porosidades son similares o superiores a la del material pétreo a sustituir. En cuanto al mortero de Teusa, a pesar de su pequeño tamaño de poro, muestra valores de porosidad y densidad real muy similares a los de la arenisca de Igueldo.

La tabla III muestra los resultados de durabilidad frente a la cristalización de sales (por pérdida de peso) de la arenisca de Igueldo y de los cuatro morteros, mediante ciclos de inmersión alternada de sulfato sódico. Los morteros B y Teusa son excesivamente resistentes; en cambio, después de 20 ciclos de cristalización, los morteros A y C ofrecen resultados más similares a los de la arenisca. La

tabla IV define el comportamiento de las probetas tras someterlas a 25 ciclos de hielo-deshielo. Parece claro que los cuatro morteros muestran un buen comportamiento.

La tabla V recoge los resultados de resistencia mecánica a flexotracción y la tabla VI los de resistencia mecánica a compresión. El mortero C presenta valores muy bajos para su utilización en reposición, aunque sería válido como mortero de juntas. El mortero de Teusa es excesivamente resistente, mientras que los morteros A y B resultarían los más adecuados, tanto en reposición como complementación.

Por último, la tabla VII resume los resultados del «pull-off» de adherencia. Los morteros B y C presentan una adherencia muy inferior a la de A y el de

Teusa, por lo que no serían adecuados como morteros de revoco o de junteo.

Conclusiones

En general todos los morteros fabricados presentan una buena trabajabilidad, lo que facilita su puesta en obra «in situ», y su acabado también es bueno. El mortero B contrasta con la arenisca de Igueldo por presentar un color demasiado gris, pero el color de un mortero puede ser modificado con distintos colorantes, como es el caso del de Teusa, que contiene dos tipos de colorantes que confieren al mortero un color muy similar al de la arenisca de Igueldo.

Hay que tener muy en cuenta cuál va a ser la función a desempeñar por el mortero seleccionado, pues las propiedades que deberá cumplir son distintas en cada caso. De este modo, hemos de distinguir entre morteros para rejunteo de sillares, para revestimiento (revoco) y para reposición de volúmenes.

Morteros para rejunteo de sillares

Un mortero de rejunteo para unir sillares ha de cumplir varias condiciones: buena trabajabilidad; características mecánicas similares a las del mortero original e inferiores a la de la piedra de sillería; porosidad superior a la de los sillares, para favorecer la migración de sales de la piedra al mortero; buena adherencia con la piedra de sillería y con el mortero original si quedaran restos de éste; y, por último, textura y color similares a los de la piedra de sillería. Según estas características, los morteros A y C resultarían los más adecuados para su utilización como morteros de juntas. Por su parte, el B y el de Teusa tienen resistencias más elevadas que los anteriores. En concreto, el mortero de Teusa, en su estado actual, plantearía muchos inconvenientes a la hora de aplicarlo sobre la arenisca de Igueldo.

Morteros para revestimiento (revoco)

Un mortero de revestimiento ha de satisfacer las siguientes premisas: textura y color similares al soporte sobre el que se aplica, buena trabajabilidad, permeabilidad al vapor de agua, buena adherencia con el soporte y alta durabilidad. A la hora de seleccionar un mortero de revestimiento, se deberá de tener en cuenta la durabilidad y reversibilidad del mortero a aplicar. Los morteros de cal, contrariamente a lo que ocurre generalmente con los de cemento, no entrañan ningún daño para el edificio, debido a que tienen una resistencia mecánica inferior a la del soporte. Los morteros A y Teusa son los que mejores propiedades de adherencia tienen, además de una buena resistencia a las heladas y permeabilidad al vapor. Sin embargo, la elevada resistencia mecánica del mortero de Teusa podría suponer un daño irreparable para la fábrica del edificio, pues el envejecimiento sería diferente entre la piedra y el mortero. El mortero A también presenta resistencias algo elevadas. El C tiene menor adherencia que los anteriores, pero, sin embargo, si se le añadieran aglomerantes hidráulicos (como puzzolanas), ganaría en rigidez y endurecimiento, con lo que sería apropiado para aplicarlo como revoco. Del mismo modo, si se consiguiese disminuir las resistencias mecánicas del mortero de Teusa sustituyendo el cemento gris por cal o puzzolana, el producto resultante podría ser adecuado como mortero de revestimiento.

Morteros para reposición de volúmenes

Los morteros A, B y el de Teusa, parecen los más adecuados para su utilización al objeto de reponer volúmenes de roca por tener elevadas resistencias mecánicas. El C, en comparación con la arenisca de Igueldo, podría no resultar

tan idóneo a este efecto. Por su parte, el mortero de Teusa, al tener unas resistencias mecánicas muy superiores a la de la piedra de sillería, podría ocasionar problemas a medio y largo plazo, como es la pronta degradación y envejecimiento de la piedra, frente a la del mortero que tendría lógicamente una mayor durabilidad.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Gobierno Vasco a través del Proyecto de Investigación UE 99/15.

Referencias

Cano, M.; Rodríguez-Maribona, I.; Espina, S. y Porro, A. (2000): *Caracterización y selección de nuevos morteros de restauración para los monumentos*. LABEIN (no publicado). Bilbao, 88 pp.

García-Garmilla, F. (1998): *Proyecto de Restauración de la fachada principal de la Casa del Almirante Oquendo (San Sebastián)*. Estudio Petrológico. UPV/EHU (no publicado). Leioa, 196 pp.

García-Garmilla, F. (1999): *Proyecto de Restauración de la fachada meridional del Palacio de la Excma. Diputación Foral de Gipuzkoa (San Sebastián)*. Estudio Petrológico. UPV/EHU (no publicado). Leioa, 156 pp.

Rodríguez-Maribona, I.; Zalbide, M.; García-Garmilla, F.; Ibáñez-Gómez, J.A. y Garín, S. (1999): *Materiales de Construcción*, 49, 19-30.

Zalbide, M., Rodríguez Maribona, I., Romero, C. y García Garmilla, F. (1998): *II Congreso Internacional de la Piedra / II International Congress on Stone*. Madrid, 9 pp.