

Caracterización y selección de morteros en la restauración de la Portada de los Reyes (Benavente, Zamora)

Characterization and selection of mortars in the restoration of the Kings Portal (Benavente, Zamora)

M^a P. de LUXÁN, F. DORREGO
Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC)

Fecha de recepción: 14-I-03
Fecha de aceptación: 4-II-03

ESPAÑA

RESUMEN

En la selección de materiales que toda intervención en el Patrimonio requiere, hay que tener presente una serie de requisitos esenciales para garantizar la aplicación de la reparación. En este trabajo se presentan las pautas junto con los criterios básicos de selección de los morteros de reparación que han conducido al diseño de los morteros para la restauración de la Portada de los Reyes de la Iglesia de San Juan del Mercado (Benavente, Zamora), tallada en piedra en estilo románico y, posteriormente, policromada. El estudio se fundamenta en las características de los morteros antiguos históricos, en la compatibilidad de los morteros de restauración con los morteros ya existentes en el monumento y en las necesidades de aplicación en la obra concreta. Finalmente se presentan las características y propiedades del mortero tipo de reparación seleccionado.

SUMMARY

In the selection of materials required by any work on Architectural Heritage, a series of special requirements must be borne in mind which are essential to guarantee the application of the repairs. In this work the guidelines and basic criteria for the selection of repair mortars that have led to the design of mortars to restore the Kings Portal of the church of San Juan del Mercado (Benavente, Zamora), carved in stone in the Romanesque style and later polychromed are shown. The study is based on the characteristics of the ancient historical mortars, the compatibility of the restoration mortars with the mortars already existing in the monument, and the application needs of the specific work. Finally, the characteristics and properties of the specific repair mortar chosen are shown.

PALABRAS CLAVE: Portada de los Reyes (Benavente), San Juan del Mercado, morteros de restauración, morteros de cal.

KEYWORDS: King Portal (Benavente), San Juan del Mercado, repair mortars, lime mortars.

1. ANTECEDENTES

La Iglesia de San Juan del Mercado data del siglo XII y en ella se han efectuado diversas intervenciones con el transcurso de los años. La primera que se debe destacar se refiere a la aplicación de policromía en la Portada de los Reyes, en tonos rojo, azul, verde claro y amarillo, que data del siglo XIII. Los datos documentales señalan en la fachada sur, donde se localiza la Portada, una

1. BACKGROUND

The Church of San Juan del Mercado dates from the XII century and various interventions have taken place in it over the years. The first to be noted refers to the application of polychromy on the Kings Portal, in red, blue, light green and yellow colours, dating from the XIII century. The documentary data indicate for the South facade where the Portal is located, a modification to the

modificación en la cubierta y un recresco del paramento en la zona superior al arco ojival. Así se constata al comparar la documentación gráfica editada en 1927 (1) con fotografías posteriores recopiladas en 1988 (2) (Figura 1). Esta reparación evita las posibles filtraciones del agua de lluvia desde cubierta.

La Portada es una obra esculpida en piedra inspirada en el famoso pórtico de la Gloria de Santiago de Compostela y la intervención planteada en ella contempla la restauración de la piedra dañada, la conservación de su policromía, y la reparación o reposición de los morteros de rejuntado.

En el análisis de la composición de los morteros de junta antiguos (zona exterior del edificio la Portada de los Reyes) se ha comprobado que se trata en todos los casos de morteros de cal, y en todas las muestras localizadas en el exterior de la junta se encontraba presente la propia piedra del monumento. Los morteros de antiguas reparaciones encontrados tienen yeso en su composición.

El presente estudio contempla los criterios básicos de selección de los morteros de reparación y las pautas que han conducido al diseño de los morteros para la restauración de la Portada de los Reyes (Benavente, Zamora), que se fundamenta en las características de los morteros antiguos históricos, en la compatibilidad de los morteros de restauración con los morteros ya existentes en el monumento y en las necesidades de aplicación en la obra concreta.

Anteriormente se han efectuado estudios en el interior del edificio de San Juan del Mercado, concretamente en las pinturas murales de la nave lateral que incluyen las características microestructurales del soporte; los análisis revelan la existencia de reparaciones puntuales con mezclas a base de yeso (3).

2. LA RESTAURACIÓN DE LOS MORTEROS DE LA PORTADA DE LOS REYES

En la fase inicial de la intervención en la Portada se efectuó el análisis del estado de conservación de los materiales de la fachada y de las posibles causas de deterioro que podrían aportar datos para establecer los criterios en la selección de morteros de reparación, así como de las actuaciones anteriores en el edificio que pudieran afectar a la fachada, constatando que la reparación efectuada en la cubierta (Figura 1) ha limitado los fenómenos de penetración de agua y movilidad de sales, que otrora ocurrieran, que pudieran originar daños en la Portada y que han influido en el deterioro que presenta la piedra. Esta degradación se manifiesta por la

roof and a rising of the face in the upper part of the pointed arch. This is seen when comparing the graphic documentation edited in 1927 (1) with later photographs collected in 1988 (2) (Figure 1). This repair avoids possible filtrations of rainwater from the roof.

The Portal is a sculptured work in stone, inspired by the famous Portal of La Gloria of Santiago de Compostela and the intervention planned on it contemplates the restoration of the damaged stone, the conservation of its polychromy, and the repair or repointing of mortars.

In the analysis of the composition of the ancient joint mortars (external zone of the building with the Kings Portal) it was found that in all cases they are lime mortars, and the stone from the monument itself was found in all the samples located on the outside of the joint. The mortars found from ancient repairs have gypsum in their composition.

The present study covers the basic criteria for selection of the repair mortars and the guide lines which have led to the design of the repair mortars of the Kings Portal (Benavente, Zamora), based on the characteristics of the ancient historical mortars, the compatibility of the restoration mortars with the mortars already existing in the monument and on the needs of application during the specific work.

Later studies were carried out inside the building of San Juan del Mercado, specifically on the mural paintings of the lateral aisle which include the microstructural characteristics of the support; the analyses reveal the existence of occasional repairs with lime-gypsum mixes (3).

2. THE RESTORATION OF THE MORTARS OF THE KINGS PORTAL

During the initial phase of the intervention on the Portal, an analysis was made of the state of conservation of the materials of the facade and of the possible causes of the deterioration which might supply data to establish the criteria for the selection of repair mortars, and the previous actions on the building which might affect the facade; it was noted that the repairs carried out to the roof (Figure 1) had been limited to water penetration phenomena and movement of salts, that may have occurred earlier, that might cause damage to the Portal and which have influenced the deterioration shown by the stone. This degradation is



Figura 1.- Portada de los Reyes en 1927 (1) y 1988 (2).

Figure 1.- Kings Portal in 1927 (1) and 1988 (2).

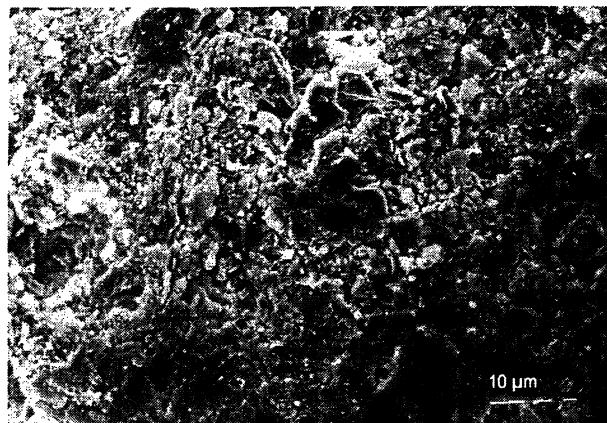


Figura 2.- Depósitos y sales en la superficie de la Portada de los Reyes (Microscopía electrónica de barrido).

Figure 2.- Depots and salts on the surface of the Kings Portal (Scanning electron microscopy).

rotura de la piedra por laminación, con acumulación de depósitos blancos en su interior y en el exterior (Figura 2), que se han identificado mediante espectroscopía de absorción infrarroja como yeso (compuesto mayoritario), y la arenización superficial (4) produciendo restos pulverulentos que se encuentran también en las superficies de los morteros de junta. La propia naturaleza sedimentaria de los bloques de piedra empleados, con planos de sedimentación y estructura anisótropa, junto con la cristalización de sales contribuyen en el complejo proceso de degradación (5).

Los criterios preferentes que rigen la selección de los morteros de reparación en la restauración del Patrimonio son básicamente su compatibilidad, su ciclo de vida útil y su removilidad.

En primer lugar los morteros a utilizar en una restauración han de ser compatibles con la obra patrimonial a la que van a ser destinados. Esta compatibilidad entraña factores químicos, físico – químicos y mecánicos, y debe perdurar en el tiempo, para ello se deberá también tener en cuenta la puesta en obra mediante procedimientos adecuados (6).

Desde el punto de vista de su composición no deberán tener compuestos capaces de reaccionar con los materiales existentes ocasionando daños en ellos; es desaconsejable que en sus reacciones de consolidación liberen compuestos solubles (sales) (7) que puedan reaccionar con el soporte de la obra a reparar y, además, debe evitarse la incorporación de materiales arcillosos, ya que tienen una elevada capacidad de retención de agua en su estructura y pueden ocasionar agrietamientos en la pérdida por evaporación de dicha agua. Este criterio es también aplicable a los áridos cuando se utilizan finos de la propia piedra para obtener en los

seen from the breakage of the stone by layering, with accumulation of white deposits in its interior and exterior (Figure 2), which were identified by infrared spectroscopic absorption as gypsum (main compound), and superficial sanding (4) producing powdery remains which were also found on the surfaces of the joint mortars. The sedimentary nature of the blocks of stone used, with sedimentation surfaces and anisotropic structure, together with the crystallisation of salts, contribute to the complex process of degradation (5).

The preferred criteria governing the selection of the repair mortars in the restoration of the Architectural Heritage are basically its compatibility, its life service cycle and its removal.

In the first place, the mortars to be used in the restoration must be compatible with the heritage work for which they are intended. This compatibility entails chemical, physical-chemical and mechanical factors, and it must endure over time, and therefore the manner of use must be taken into account using appropriate procedures (6).

From the point of view of its composition, it must not have compounds capable of reacting with the existing materials and causing damage to them; it is not advisable that its consolidation reactions release soluble compounds (salts) (7) that could react with the support of the work to be repaired, and furthermore the incorporation of clayey materials should be avoided since they have a high water-retention capacity in their structure and could cause cracking from the loss of this water by evaporation. This criterion is also applicable to the aggregates when fines of the stone itself are used to obtain a

morteros una textura y color similares a la piedra correspondiente, pero con ello se incorporan a la masa del mortero un elevado contenido de arcillas, aunque variable dependiendo del tipo de piedra, y se pueden producir daños en los morteros de reparación.

La compatibilidad no debe limitarse solamente a considerar los materiales antiguos sino también deben tenerse en cuenta las reparaciones antiguas, siempre que sus resultados y comportamiento de durabilidad hayan sido aceptables y no sea necesaria su remoción.

La perdurabilidad en el tiempo de la restauración efectuada, además de una adecuada elección de las características de los morteros, requiere la ejecución de una serie de actuaciones previas que, en el caso concreto de los morteros de reparación de la Portada de los Reyes son esencialmente:

- La limpieza previa de las superficies a tratar incluyendo, no sólo la zona de las juntas de mortero, sino los bloques pétreos, efectuando también su consolidación. El proceso de limpieza debe incluir la eliminación de depósitos y la extracción de sales solubles.
- La eliminación de los morteros desagregados y pulverulentos y la preparación de una base sólida donde se asienten los nuevos morteros y puedan adquirir la adherencia necesaria.

La removilidad de los morteros está en relación con su nivel de resistencia mecánica, su capacidad de reacción con los materiales del monumento y con sus propiedades adherentes, que a su vez dependen del sistema poroso del soporte y de la fase líquida del mortero aplicado.

3. MORTEROS DE REPARACIÓN

3.1. Los morteros existentes en el monumento

La zona de actuación es la Portada de los Reyes, sin embargo se ha procedido también al estudio del muro colindante tanto en el exterior de la fachada como en el interior del edificio, con objeto de verificar la composición de los morteros en los diversos ambientes de conservación. En ambos casos los morteros que se han sometido a estudio y consideración han sido los morteros de rejuntado de los bloques pétreos, en superficie y en el relleno de las juntas, bien sean antiguos o procedentes de reparaciones posteriores.

En el interior del edificio las reparaciones en los morteros de relleno de junta se han efectuado a partir de yeso, aunque en algunos casos se encuentran también morteros mixtos de yeso y cal.

texture and colour of the mortars similar to the corresponding stone, but with this a high clay content is included in the mortar, although it varies depending on the type of stone, and can cause damage to the repair mortars.

Compatibility must not be limited only to a consideration of the ancient materials but must also take into account the old repairs, provided their results and durability behaviour have been acceptable and their removal is not necessary.

The durability over time of the restoration carried out, aside from an appropriate choice of the characteristics of the mortars, requires the execution of a series of prior action, which in the repair mortar of the Kings Portal mainly are:

- The prior cleaning of the surfaces to be treated, including not only the area of the mortar joints, but also the stone blocks, and also consolidating them. The cleaning process must include the elimination of deposits and the extraction of soluble salts.*
- The elimination of disintegrated and powdery mortars and the preparation of a solid base on which the new mortars can be placed and acquire the necessary adhesion.*

The removing of mortars is related to their level of mechanical resistance, their reaction capacity with the materials of the monument and their adhesive properties, which in turn depend on the porous system of the support and the liquid phase of the mortar applied.

3. REPAIR MORTARS

3.1. *The existing mortars in the monument*

The area of action is the Kings Portal; however, a study has also been made of the state of the neighbouring wall, both on the outside of the facade and inside the building, in order to check the composition of the mortars in the various areas of conservation. In both cases the mortars that were studied and considered were repointing mortars of the stone blocks, on the surface and in the joint fills, either ancient or coming from later repairs.

Inside the building the repairs to the joint filling mortars were carried out based on gypsum, although in some cases there are also mixed mortars of lime and gypsum.

Los morteros de rejuntado antiguos son morteros de cal y también mezclas de yeso y cal; cal que actualmente se presenta como carbonatos de calcio diversos.

La dosificación de los morteros procedentes de la unión de los bloques de piedra en la Portada de los Reyes de San Juan del Mercado se encuentra en torno a la proporción 1:3 (en peso).

Otro de los aspectos importantes en el estudio de los morteros es la determinación de la distribución del tamaño de las partículas que lo constituyen, ya que éste condiciona sus propiedades. Los morteros se preparan a partir de la mezcla con agua de un aglomerante y unos áridos, también pueden eventualmente incorporarse aditivos de muy diversa naturaleza con el fin de modificar algunas de sus propiedades, pero el tamaño y dimensión de los áridos condiciona su estructura porosa y, por tanto, su comportamiento y perdurabilidad frente a las condiciones externas de conservación.

Al abordar la investigación de los morteros endurecidos de un monumento, el primer problema que se plantea es su posible heterogeneidad motivada no sólo por las distintas funciones que desempeñan como materiales en el edificio (morteros de junta, de relleno,...), sino por las diversas intervenciones precedentes y la diversidad de épocas en que se elaboraron, con la consiguiente variabilidad de técnicas y tradiciones que se han de tener en cuenta en su estudio. El análisis granulométrico de los morteros es un dato que permite establecer una relación con las propiedades de los mismos y se ha utilizado en este caso para la selección del árido en los morteros de reparación.

Los resultados de la distribución granulométrica de los áridos se recogen en la Figura 3, en la que están representadas las curvas de distribución de los tamaños de partícula de los áridos de los morteros de junta exterior (muestras: Mort. 1F, 2F, 3F, 4F, 5F y 6F) de la Portada de los Reyes, del mortero del interior en el mismo muro de la Portada (muestra: Mort 9 INT) y de los morteros de antiguas reparaciones (muestras: 1REP y 2REP). Destacan las diferencias de los valores granulométricos de los morteros de reparación respecto a los antiguos morteros de junta, especialmente por su mayor contenido en tamaños gruesos entre 0,5 y 1,0 mm.

3.2. Selección de las características de los morteros de reparación

La selección de la composición de los morteros de reparación para la actual restauración se ha basado en

The ancient joint mortars are lime mortars and also gypsum-lime mixes; this lime is actually calcium carbonate.

The dosage of the mortars from the joins of the stone blocks of the Kings Portal of San Juan del Mercado is in a proportion of about 1:3 (by wt.).

Another of the important aspects of the study of mortars is the determination of the distribution of the size of particles that form it, since this conditions their properties. The mortars are prepared from the mixing of water with a binder and some aggregates, and additives of very different natures may also later be incorporated in order to modify some of the properties, but the size and dimension of the aggregates conditions their porous structure and therefore their behaviour and durability under the external conditions of conservation.

When undertaking the investigation of the hardened mortars of a monument, the first problem that arises is their possible heterogeneity caused not only by the different functions that they carry out as materials in the building (joint mortars, fill, etc.) but by the various preceding interventions and the diversity of epochs in which they were made, with the consequent variation of techniques and traditions that must be taken into account when studying them. The granulometric analysis of the mortars allows us to establish a relation with the properties of the same and has been used in this case for the selection of the aggregate in the repair mortars.

The results of the granulometric distribution of the aggregates is shown in Figure 3, which gives the distribution curves for the sizes of particles of the aggregates for the external joint mortars (samples: Mort. 1F, 2F, 3F, 4F, 5F and 6F) of the Kings Portal, of the interior mortar in the same wall of the Portal (sample: Mort 9 INT) and of the ancient mortars mortars (samples: 1REP and 2REP). There is a noticeable difference in the granulometric values for the repair mortars in relation to the ancient mortars of the joint, especially in their greater content of large sizes between 0.5 and 1.0 mm.

3.2. Selection of the repair mortar characteristics

The selection of the composition of the repair mortars for the actual restoration was based on the existing

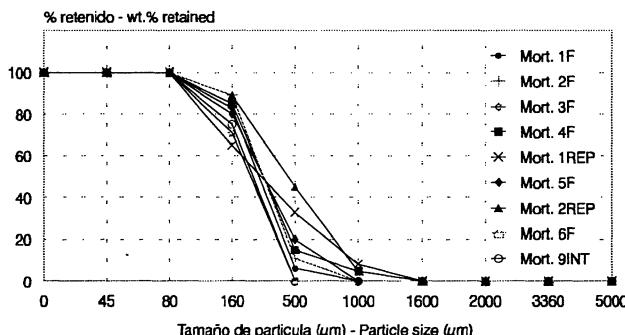


Figura 3.- Granulometría de los áridos (morteros de junta) de la Portada de los Reyes.

Figure 3.- Granulometry of aggregates (joint mortars) from Kings Portal.

los antiguos morteros existentes. Se ha constatado que en las reparaciones se ha empleado yeso puntualmente. Dados los problemas de cristalizaciones internas de sales en los bloques de piedra, en los que la identificación de los depósitos salinos ha indicado una composición mayoritaria de yeso, se desestima el empleo de morteros a partir de yeso. No obstante, las antiguas reparaciones en las que se emplearon morteros de yeso (3), por ejemplo en zonas del tímpano en la Portada de los Reyes o bien en el interior de la iglesia, no presentan degradación en el mortero. Por el contrario, los morteros de reparación elaborados con cemento se encuentran desprendidos y han sido un foco de sales solubles, por lo que no se considera su utilización en la reparación, sino la eliminación de este tipo de morteros si los hubiere en las zonas de intervención. En consecuencia la cal se ha elegido como base de los morteros de reparación.

La dosificación de los morteros a utilizar en el relleno de juntas de la Portada de los Reyes de San Juan del Mercado se estableció en un orden de 1:3 (en peso), similar a la proporción encontrada en los morteros existentes en el monumento.

Con objeto de seleccionar el árido más adecuado para los morteros de reparación de la Portada, se ha realizado un estudio de la distribución granulométrica de los morteros de la Portada de los Reyes seleccionando entre los morteros antiguos y desestimando aquéllos que procedían de reparaciones posteriores, y con estos datos (Figura 3) se han calculado los valores granulométricos máximo, mínimo y medio cuyas curvas se muestran en la Figura 4. A partir de estos datos se puede estimar la distribución granulométrica adecuada para los morteros de reparación.

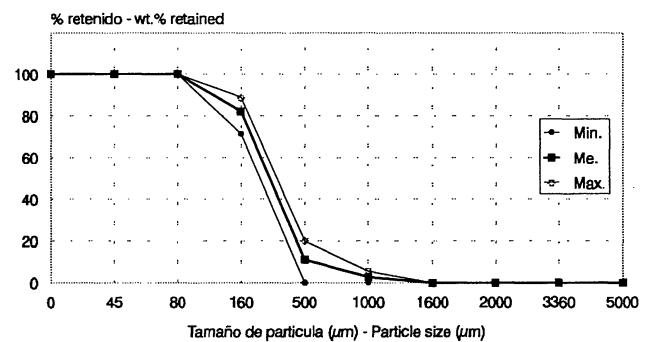


Figura 4.- Intervalo granulométrico de los áridos (morteros de junta) de la Portada de los Reyes.

Figure 4.- Granulometric range of aggregates (joint mortars) from Kings Portal.

ancient mortars. It was found that in the repairs gypsum was occasionally used. In view of the problems of internal crystallisation of salts in the stone blocks, in which the identification of the saline deposits has indicated the majority of the composition is gypsum, the use of mortars based on gypsum was rejected. However, the ancient repairs in which gypsum mortars were used (3), for example in the areas of the tympanum of the Kings Portal or in the interior of the church, do not show degradation of the mortar. On the contrary, the repair mortars made with cement have fallen and have been a focal point for soluble salts and therefore their use was not considered for the repairs, but rather the elimination of this type of mortar if any were found in the work areas. Consequently lime was chosen as the base for the repair mortars.

The dosage of the mortars for use in the refill of joints of the Kings Portal of San Juan del Mercado was established in the order of 1:3 (by wt.), similar to the proportion found in the existing mortars in the monument.

In order to select the most appropriate aggregate for the repair mortars for the Portal, a study was made of the granulometric distribution of the mortars of the Kings Portal, selecting from the ancient mortars and rejecting those that came from later repairs, and with these data (Figure 3) the maximum, minimum and average granulometric values were calculated, for which the curves are shown in Figure 4. Based on these data, the appropriate granulometric distribution for the repair mortars can be estimated.

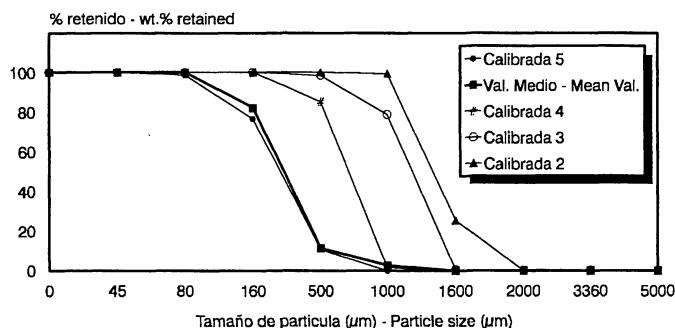


Figura 5.- Valor medio de la granulometría de los áridos (morteros de junta) procedentes de la Portada de los Reyes y arenas de referencia.

Figure 5.- Mean value of the granulometry of the aggregates (joint mortars) from Kings Portal and reference sands.

En cuanto al tipo de árido a emplear, se ha seleccionado un árido silíceo, preparado en el Instituto de Eduardo Torroja (IETcc) con garantía de calidad, que posee un contenido en SiO_2 del 98 % y está exento de sales.

Estos áridos se preparan en la Planta de Arenas del IET con cuatro granulometrías diferentes, correspondientes a las referencias “calibrada 2, 3, 4 y 5”, tal como se representan en la Figura 5.

En esta Figura 5 también se ha incluido la curva de distribución granulométrica de los áridos (valor medio) de los morteros de la Portada de los Reyes de la Iglesia de San Juan del Mercado. Se puede observar que su granulometría es muy similar a la que corresponde a la arena silícea preparada en el IET denominada “calibrada 5”, cuya curva de distribución se encuentra en el huso marcado por los valores máximo y mínimo de los áridos de los morteros antiguos de la Portada (Figura 4).

En conclusión, para la reposición de los morteros de junta en la zona exterior del edificio (Portada) es posible utilizar la arena silícea «calibrada 5», exenta de sales, o bien una arena garantizada, sin sales solubles y con una granulometría similar a la curva representada como valor medio en la Figura 5. El tamaño máximo quedará condicionado por la dimensión de la junta.

3.3. Características y propiedades del mortero seleccionado para la restauración de San Juan del Mercado

Las **características** básicas del mortero tipo se presentan atendiendo principalmente a su empleo práctico bien en la reparación de juntas o en su aplicación concreta a elementos de pequeño espesor.

Regarding the type of aggregate to be used, a siliceous aggregate was chosen, preparing at the Torroja Institute (IET) with quality guaranty, which has a SiO_2 content of 98 % and without salts.

These aggregates are prepared in the IET Sand Plant with four different granulometries corresponding to the references “calibrada 2, 3, 4 y 5”, as they are show in the Figure 5.

The figure 5 shows the granulometric distribution curve for the aggregates (mean value) for the Kings Portal mortars of the church of San Juan del Mercado. It can be seen that the granulometry is very similar to that which corresponds to the silica sand prepared in the IET called “calibrated 5”, whose distribution curve is found in the spread marked by the maximum and minimum values of the aggregates of the ancient mortars of the Portal (Figure 4).

To conclude, to replace the joint mortars in the exterior zone of the building (Portal) it is possible to use siliceous sand, “calibrada 5”, without salts, or a guaranteed sand without soluble salts and with a granulometry similar to the curve represented as the mean value in Figure 5. The maximum size will be conditioned by the width of the joint.

3.3. Characteristics and properties of the selected mortar for the restoration of San Juan del Mercado

The basic characteristics of the typical mortar are presented attending principally to their practical use to repair the joints, or their specific application to elements of small thickness.

La selección de la tipología de los **materiales constitutivos** del mortero de reparación está basada en criterios de compatibilidad con los morteros existentes en la Portada. El mortero se elaboró con una mezcla de cal y arena en proporción 1:3.

La cal seleccionada cumplía las especificaciones de la normativa de cales para su empleo en construcción en general, y poseía un contenido en $\text{Ca}(\text{OH})_2$ del 88%, por lo que se clasifica como CL80 según la norma UNE EN 459-1:1996 (“Cales de construcción. Parte 1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad”).

Como árido se utilizó un árido natural silíceo que cumple con las especificaciones de las normas prEN 13139:1999 (“Aggregates for mortar”) (categoría 3) y prEN 998-2:2000 (“Specification for mortar for masonry – Part 2: Masonry mortar”).

En primer lugar se efectuó la evaluación del mortero en estado fresco para conocer los aspectos relativos a su puesta en obra, trabajabilidad, y características que condicionan su comportamiento posterior y, seguidamente, se procedió a su caracterización en estado endurecido.

En la evaluación se han tenido en cuenta principalmente aquellas características que van a condicionar la durabilidad de los morteros como son su comportamiento frente al agua y las propiedades físico-mecánicas. La metodología aplicada se ha basado en las referencias normativas recogidas en la norma prEN 998-2:2000. Los ensayos de absorción de agua por inmersión y de porosidad accesible al agua no están contemplados en esta normativa; en estos dos casos se utilizó una metodología similar a la aplicada para materiales pétreos (8), adecuando las condiciones de trabajo a la caracterización de morteros de cal, para lo que se ha efectuado un curado previo de las probetas antes del ensayo.

En la Tabla I se muestran las características del mortero de cal en estado fresco y endurecido.

La consistencia del mortero se ajustó a 160 mm (mesa de escurrimiento) para obtener una trabajabilidad adecuada para los empleos previstos. El mortero se caracteriza por una alta capacidad de retención de agua, por lo que la pérdida de agua durante el endurecimiento es menor y se pueden evitar los problemas de fisuración por retracción por secado. Su valor hasta 28 días es inferior a 0,02 %, según los valores representados en la Figura 6, donde $\text{DP}/P_0 = (P_0 - P_t)/P_0$ es la pérdida de peso debido a la evaporación del agua P_t ; Peso a la edad de ensayo (g); P_0 : Peso inicial (g) y $\text{DL}/L_0 = (L_0 - L_t)/L_0$ es la retracción por secado del mortero L_t ; Longitud a la edad de ensayo (mm); L_0 : Longitud inicial (mm).

The selection of the typology of the component materials of the repair mortar is based on criteria of compatibility with existing mortar in the Portal. The mortar is made from a mixture of lime and sand in a proportion of 1:3.

The selected lime complied with the specifications of the standard for limes for use in construction in general and had $\text{Ca}(\text{OH})_2$ content of the 88%, thus it is classified as CL80 according to the standard UNE EN 459-1:1996 (“Limes for construction. Part 1: Definitions, specifications and conformity criteria”).

A natural siliceous aggregate was used as aggregate, which is according to the specifications of the standards prEN 13139:1999 (“Aggregates for mortar”) (category 3) and prEN 998-2:2000 (“Specification for mortar for masonry – Part 2: Masonry mortar”).

First of all an evaluation was made of the mortar in its fresh state, to discover the aspects related to its use in the work, workability, and characteristics that condition its later behaviour, and then it was characterised in its hardened state.

The evaluation took into account principally those characteristics that will condition the durability of the mortars such as their behaviour with water and their physical-mechanical properties. The methodology applied was based on standard references shown in the standard prEN 998-2:2000. The water absorption tests by immersion and of porosity accessible to water are not covered in this standard; in these two cases a methodology was used similar to that applied for stone materials (8), adapting the working conditions to the characterisation of lime mortars, and for this a prior curing of the test pieces was carried out before the test.

The characteristics of the lime fresh and hardening mortar are shown in the Table I.

The consistency of the mortar was adjusted to 160 mm (flow table) to obtain appropriate workability for the planned uses. The mortar is characterised by a high water retention capacity, and therefore there is less water loss during hardening and thus cracking problems due to shrinkage are avoided. The shrinkage is less than 0,02% at 28 days according to the values shown in Figure 6, where $\text{DP}/P_0 = (P_0 - P_t)/P_0$ is the weight lost due to the water evaporation P_t ; Weight at the test age (g); P_0 : Initial weight (g) and $\text{DL}/L_0 = (L_0 - L_t)/L_0$ is the mortar shrinkage by drying L_t ; Length at the test age (mm); L_0 : Initial length (mm) .

TABLA 1/TABLE 1
Caracterización del, mortero de reparación
Repair mortar characterization

MORTERO FRESCO <i>(FRESH MORTAR)</i>	
Consistencia (escurrimiento) (mm) <i>Consistence (flow table) (mm)</i>	160
Retención de agua (%) <i>Water retentibility (%)</i>	90
Tiempo de trabajabilidad (min) <i>Workable life (min)</i>	> 210
Densidad aparente (kg/m^3) <i>Bulk density (kg/m^3)</i>	2150

MORTERO ENDURECIDO (28 días) <i>(HARDENED MORTAR (28 days))</i>	
Resistencia a compresión en seco (MPa) <i>Dry compressive strength (MPa)</i>	1,9
Resistencia a compresión en húmedo (MPa) <i>Wet compressive strength (MPa)</i>	1,0
Resistencia a la adhesión (MPa) <i>Adhesion strength (MPa)</i>	0,4
Retracción por secado (%) <i>Shrinkage (%)</i>	$1,7 \times 10^{-2}$
Absorción de agua (inmersión) [760 mm Hg - 72 h] (%) <i>Immersion water absorption [760 mm Hg - 72 h] (%)</i>	12,8
Absorción de agua por inmersión [20 mm Hg - 48 h] (%) <i>Immersion water absorption [20 mm Hg - 48 h] (%)</i>	20,4
Coeficiente de saturación de agua [S - 72 h] (%) <i>Saturation coefficient [S - 72 h] (%)</i>	62,7
Coeficiente de absorción capilar de agua [$\text{kg}/(\text{m}^2 \text{ h}^{0,5})$] <i>Water capillary absorption coefficient [$\text{kg}/(\text{m}^2 \text{ h}^{0,5})$]</i>	10,4
Porosidad accesible al agua (%) <i>Porosity accessible to water (%)</i>	34,3
Densidad aparente en seco (kg/m^3) <i>Dry bulk density (kg/m^3)</i>	1680

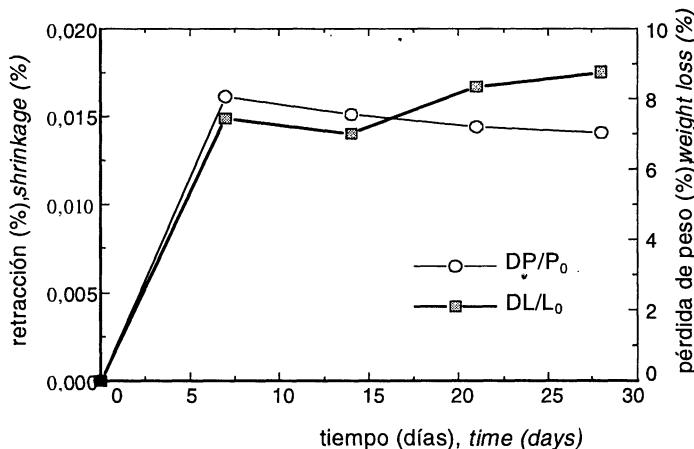


Figura 6.- Evolución de la retracción del mortero de reparación hasta 28 días.

Figure 6.- Shrinkage evolution of the repair mortar up to 28 days.

El mortero de cal objeto de estudio se clasifica como M1 según la resistencia a compresión a 28 días (prEN 998-2:2000). La adherencia ($> 0,3 \text{ MPa}$) podrá permitir una integración correcta del mortero de junta.

The lime mortar object of the study is classified as M1 according to the compressive strength at 28 days (prEN 998-2:2000). Adhesion ($> 0,3 \text{ MPa}$) will allow correct integration of the joint mortar.

En cuanto a las propiedades hídricas, el mortero presenta un coeficiente de absorción capilar alto, característico de los morteros de cal. Hay que tener en cuenta este hecho ya que con un alto nivel de humedad la resistencia mecánica del mortero disminuye notablemente llegando a alcanzar a los 28 días y en su estado de saturación total valores mecánico- resistentes en torno al 50% de su valor original. Este hecho pone de manifiesto la vulnerabilidad del mortero de cal, especialmente en estas condiciones en las que el mortero aún no está totalmente carbonatado.

Entre los factores que pueden disminuir la pérdida de resistencia del mortero por absorción de agua se encuentran:

- el aumento de la compacidad y reducción de la porosidad debido a una correcta aplicación del mortero en obra,
- el propio endurecimiento del mortero por el progreso de la reacción de carbonatación,
- eliminación de las posibles fuentes de humedad en el paramento,
- aplicación de tratamientos de hidrofugación y de protección.

En las condiciones concretas de la Portada de los Reyes el mortero de reparación de las juntas se encuentra resguardado del agua de lluvia por el propio retranqueo de la fachada y la reciente reparación de la cubierta, sin embargo hay que evitar la humedad procedente del interior de los muros, que llevaría consigo el transporte de sales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Cristina Villar (Empresa Pátina, S. L.), encargada de la restauración de la Portada de los Reyes, la colaboración en este estudio y a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología la financiación de las investigaciones (SEC 94-0732) y (MAT 99-0909).

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Gómez - Moreno, M. "Catálogo Monumental de España. ZAMORA". Ed. Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes, Madrid 1927.
- (2) González, R. "Benavente. Guía Turística". Ed. Excmo. Ayuntamiento Benavente, Zamora 1988.
- (3) Luxán, M.P., Gómez, F., Dorrego, F. "Microestructura del soporte de la pintura mural de S. Juan del Mercado (Benavente, Zamora)". Ed. Gráficas Oviedo, pp. 330-331, Oviedo (1995).
- (4) Alcalde, M., Terreros, G. G., Villegas, R. "Morfología macroscópica de la piedra de la Catedral de Baeza, Jaén (España)". Mater Construcc, vol. 48, n. 252, 27-44 (1998).
- (5) Agrawal, O. P., Singh, T. K., Jain, K. "Study and conservation of spotted red sandstone of Mathura". Ed. International Institute for Conservation of Historic (IIC) & Artistic Works, pp. 165-169, London (1986).
- (6) Ashurst, J., Dimes, F. G. "Conservation of building and decorative stone", Ed. Butterworth – Heineman, Vol. 2, 254 pp. London (1990).
- (7) Grossi, G. M., Esbert, R. "Las sales solubles en el deterioro de las rocas monumentales. Revisión bibliográfica". Mater Construcc, vol. 44, n. 235, 15-30 (1994).
- (8) Martín, A. "Ensayos y experiencias de alteración en la conservación de obras de piedra de interés histórico artístico". Ed. Centro de Estudios Ramón Areces. 609 pp., Madrid (1990).

As for the hydric properties, the mortar presents a high absorption capillary coefficient, characteristic of lime mortars. This must be taken into account since with a high humidity level the mortar strength decreases noticeably and at 28 days and in its state of total saturation will reach mechanical-resistance values of some 50% of the original value. This fact points up the vulnerability of lime mortar, especially under these conditions in which the mortar is still not totally carbonated.

Among the factors which may decrease the loss of resistance of the mortar due to water absorption, are:

- increase of compacticity and reduction of porosity due to a correct application of the mortar during the work,*
- the hardening of the mortar itself by the progress of the carbonation reaction,*
- elimination of possible sources of dampness in the wall,*
- application of water repelling and protective treatments.*

Under the specific conditions of the Kings Portal the repair joint mortar is shielded from rain water by the setback of the facade itself and the recent repair to the roof; however the humidity from the interior of the walls must be avoided since it brings with it the transport of salts.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank Cristina Villar (Pátina Company, S. L.), responsible of the Kings Portal restoration, for her collaboration in this study. We also thank the CICYT for support of the research (SEC94-0732) and (MAT 99-0909).