

## El revestimiento de la piedra en la catedral de Burgos

María Dolores Robador González  
José Francisco Linares Díaz

La presente comunicación contiene una parte del estudio que se está realizando sobre el empleo de la cal en la arquitectura y en concreto sobre la aplicación dentro del amplio campo de la construcción en la elaboración de revestimientos. En este trabajo se abordará el empleo de morteros de cal en la protección de la piedra concretando en la fachada de Santa María en la Catedral de Burgos. Estos morteros recubrieron todo el exterior y grandes partes del interior de las fábricas de piedra caliza.

La técnica de aplicar revestimientos a base de mortero de cal es milenaria. Ya desde la antigüedad se vino realizando como embellecimiento y protección de las fábricas de diversos materiales, entre las que se incluyen las fábricas de piedra. El mantenimiento de estas pieles de protección se venía realizando periódicamente hasta el siglo pasado en el que dejaron de reponerse, siendo uno de los motivos de la degradación a la que están siendo sometidos muchos edificios irrepetibles.

A continuación se hará una breve descripción de la construcción de la Catedral de Burgos, la caracterización de algunas de las muestras ensayadas y los comentarios sobre la naturaleza y el sentido del ser de estas pieles de protección que revistieron y algunas siguen presentes en la Catedral.

### LA CATEDRAL DE BURGOS

«La catedral de Burgos representa la elegancia dentro del equilibrio y la perfección sumada a la claridad»

Chueca Goitia<sup>1</sup>

### La catedral del siglo XIII

Uno de los caracteres singulares de la Catedral de Burgos es precisamente su unidad y coherencia, debidos a la brevedad de su construcción. El 20 de julio de 1221 siendo obispo de Burgos D. Mauricio<sup>2</sup> y reinando Fernando III, llamado «El Santo», se colocó la primera piedra. En 1230 ya estaba concluida la cabecera del templo y el brazo norte del transepto, con la capilla de San Nicolás; en 1238<sup>3</sup> fue enterrado, en medio del coro de la Capilla mayor, el obispo D. Mauricio; en 1250 se concluye la planta primigenia de la Catedral gótica y en 1260, todo el edificio se encuentra bajo techado, consagrándose el templo.

Entre 1260 y 1280 se levantó la fachada oeste, hasta el segundo tramo, se terminó el crucero y se comenzaron las obras del nuevo claustro que estará concluido en 1290. Ya entrado el siglo XIV, concretamente en 1308 se añadieron las capillas de Santa Ana y San Bartolomé (situadas entre la nave y el brazo norte del transepto).

Aunque no se tiene constancia fehaciente de que la comenzara, uno de los primeros maestros constructores de la catedral fue Enrique, como lo demuestran documentos que fijan su fallecimiento en 1277. Por documentos similares se sabe que le sucedieron en la obra Juan Pérez (†1296), Pedro Sánchez (†1384) y Martín Fernández (†1418).<sup>4</sup>

Para la magnífica obra<sup>5</sup> se empleó piedra caliza de Hontoria (en las zonas más antiguas, del románico, la calidad de la piedra era arenisca, similar a la empleada en otros monumentos de la ciudad en esa época) y su silueta presidirá, desde su situación privilegiada, cualquier vista del conjunto del caserío, asumiendo, a partir de entonces, un valor representativo de la ciudad. No obstante, este emplazamiento «privilegiado» sobre un promontorio, limitará el desarrollo del nuevo templo. Por un lado la Catedral románica sobre la que se eleva, se encuentra rodeada de edificaciones, como la parroquia de Santiago de la Fuente o el propio palacio episcopal, así como edificaciones que debieron ser adquiridas por el cabildo, en fechas sucesivas, al condicionar el desarrollo general. Y por otro lado, esta ubicación en una zona de acusado desnivel, planteará los correspondientes problemas de cimentación y desarrollo estructural junto con continuas filtraciones de humedades. Aunque hemos de señalar que tales problemas técnicos fueron muy bien asumidos y resueltos por los maestros constructores que demostraron su pericia constructiva.

### Estructura de la catedral del siglo XIII

La Catedral de Burgos es una basílica de planta en forma de cruz latina, con tres naves y en su cabecera posee una parte recta dividida en tres tramos, bifurcándose la girola en cinco tramos radiales. El transepto es de nave única y los brazos sobresalen, con tres tramos, de las naves longitudinales. El cuerpo longitudinal o nave propiamente dicha, consta de tres naves de seis tramos cada una, siendo la central de amplias proporciones.

La vista del interior proporciona una singular impresión espacial debida a la originalidad de sus triforios ya que un único arco cubre cinco arcadas y un gran número de pequeñas cabezas se encuentran esculpadas en los asientos de los grandes arcos moldurados. Los ventanales de la parte superior, con vidrieras, poseen una interesante tracería de un gótico

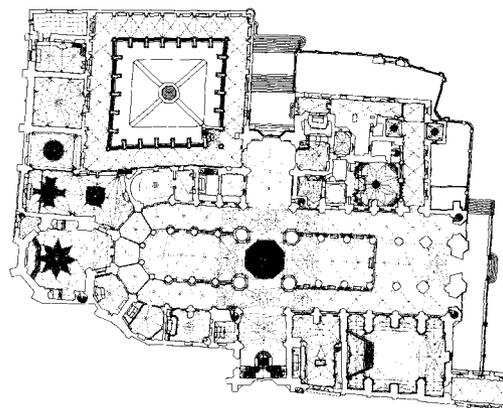


Figura 1  
Planta de la catedral de Burgos

temprano, estando cortadas por un mainel central. Los ventanales de la parte inferior, en su mayor parte, han sido ocultados por capillas y sólo se han conservado en los muros de la parte sur, en el muro este de la capilla de San Nicolás y en el brazo norte del transepto.

Lógicamente las bóvedas de las naves son de crucería, pero en la nave central, el transepto y en la cabecera presentan una forma original, ya que la clave está conectada con las claves de las bóvedas adyacentes mediante un nervio axial.

Entre sus características singulares destaca el sistema de arbotantes dobles, que recuerdan a los de Saint-Denis o Nôtre Dame de París, aunque hay autores<sup>6</sup> que opinan que este sistema resulta excesivo para las dimensiones de Burgos. De cada contrafuerte arrancan dos arbotantes, separados por un escalonamiento, hasta alcanzar el muro en su parte superior, si bien los de la cabecera guardan una relación distinta a los de la nave ya que los de la cabecera, en particular los superiores, son extremadamente delgados, mientras que los de la nave presentan un grosor mayor y menos peralte. Además, el sistema de contrafuertes de la cabecera se encuentra más desarrollado ya que la recepción del empuje de las bóvedas se logra de una manera significativa gracias a que los arbotantes son estrechos y peraltados.

Las uniones de los sillares permiten suponer que los arbotantes inferiores fueron construidos al mismo tiempo que los muros de la nave, quedando conecta-

dos directamente, mientras que los superiores surgieron al finalizar la parte superior del muro en su conexión con las bóvedas.

A lo largo del siglo XIII la catedral sigue una transformación progresiva encontrándose, a finales del siglo, terminadas las fachadas principales en las que destacaba un rico tratamiento plástico a través de representaciones escultóricas. La riqueza arquitectónica de la Catedral nos haría extender en demasía; para nuestro propósito, simplemente nos limitaremos a enumerar la fachada de Santa María por ser el objeto del presente estudio.

### Fachada de Santa María

La fachada oeste, denominada también «fachada real»,<sup>7</sup> está dedicada a Santa María, con representaciones de la Asunción en la portada central, y su Coronación y Concepción en las laterales. El gran rosetón muestra una estrella de seis puntas, alusiva al linaje de David, y sobre ella, dos ventanales calados y ocho imágenes de reyes castellanos.

En 1720 al rosetón de la fachada principal, se le dotó de una nueva vidriera formada por más de 379 «cuartas» de vidrio.<sup>8</sup> Aunque prácticamente todas las vidrieras originales de la Catedral de Burgos quedaron destruidas con la explosión del Castillo, que tuvo lugar en 1813 al abandonar Burgos las tropas de Napoleón. Sólo la vidriera gótica del rosetón sur (situada en la fachada opuesta al castillo) y las ventanas de la Capilla del Condestable soportaron la explosión.

Entre 1753 y 1768<sup>9</sup> la Catedral sufrirá pérdidas escultóricas, especialmente en esta fachada, debido a que hubieron de ser desmontadas a causa de que la piedra empleada en su construcción, que había perdido su *protección superficial*, absorbía el agua de la lluvia que se helaba con las bajas temperaturas invernales y resquebrajaba la piedra desde el interior. Concretamente en la fachada de Santa María, este deterioro era originado por el agua procedente de las siete gárgolas que hay en la galería de la balconada, que caía violentamente sobre la fachada. A esto se le añadía el escaso soleamiento que, por la proximidad de las edificaciones, mantenía esta fachada mucho tiempo húmeda, lo que favorece la heladicidad de la piedra con su consiguiente incremento del volumen en el interior de los poros de la piedra generando ten-

siones internas que provocan su lenta destrucción. Hoy el agua se recoge en la terraza de la galería y se canaliza adecuadamente.

En 1768, D. Alfonso Regalado Rodríguez, de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, en una visita a la Catedral observó estas deficiencias y propuso la restauración parcial de las portadas. La restauración fue encomendada al arquitecto Fernando González de Lasa que apreció daños arquitectónicos importantes que le llevaron a la decisión de presentar un proyecto que renovaba totalmente las portadas. La Academia, por entonces presidida por el Conde de Floridablanca, con buen criterio, rechazó los proyectos de portadas neoclásicas. A pesar de todo, para evitar su ruina y como precaución para prevenir desgracias personales, se desmontaron algunas estatuas más, incluyendo el parteluz con la imagen de la Virgen y se propuso realizar una portada nueva, de corte neoclásico con un frontispicio triangular.

La fachada se remata con las torres y las agujas. No cabe duda que durante el siglo XV se producen

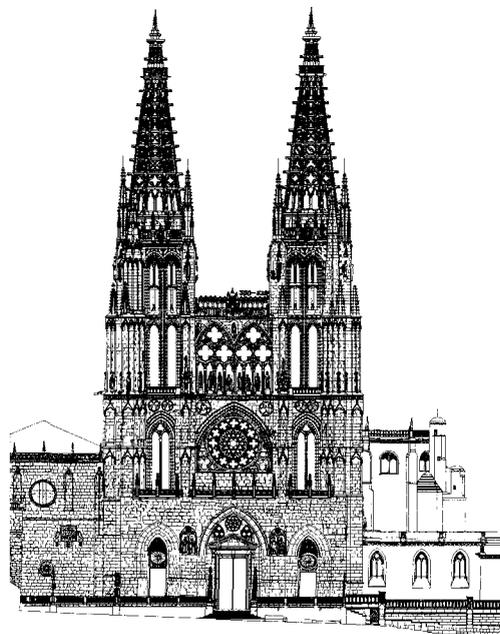


Figura 2  
Fachada de Santa María

las transformaciones que han conformado la imagen actual de la Catedral. Al igual que sucederá en Toledo, en la Catedral de Burgos se aporta un movimiento artístico que vino de Flandes, Borgoña y Rumania. En 1431, invitado por el arzobispo de Cartagena, llega a Burgos Hans (Juan) de Colonia. En 1442 empezó la construcción de la aguja sur y en 1458 ya estaba concluida la aguja norte. Tales agujas derivan de las de Friburgo y Esslingen y fueron una sorprendente novedad en España que les valió la fama a los Colonia.<sup>10</sup> También es de Juan de Colonia la balaustrada situada en el tramo central, entre las torres, en la que puede leerse: «*Pulcra es et Decora*».

#### LOS MORTEROS DE REVESTIMIENTO DE LA CATEDRAL

Como punto de partida se define el concepto de mortero (el término procede de la palabra latina *mortarium*). Designa a la mezcla constituida por arena, uno o dos conglomerantes: cal, yeso, cemento, cal y cemento, o cal y yeso, y amasada con agua; puede contener además algún aditivo. Amasados estos componentes, con consistencia suficiente, sirve para el asiento y agarre de materiales, para rellenos, y principalmente para revestimientos de paramentos horizontales y verticales. Al definir un tipo de mortero se acompaña este término seguido del conglomerante empleado, así se hablará de mortero de cal, mortero de yeso, mortero de cemento, mortero bastardo de cal y yeso y mortero bastardo de cal y cemento. Los morteros empleados en la Catedral son en su mayor parte morteros de cal, en algunas zonas muy puntuales aparecen algunos morteros que incorporan un pequeño porcentaje de yeso.

Comprender estos revestimientos supone hacer una referencia al comportamiento de la cal utilizada como conglomerante. Desde tiempos inmemoriales el hombre ha revestido los edificios con diversos materiales: piedra, cerámica, metales... El más empleado al hacer un recorrido histórico es el revestimiento a base de mortero de cal. Dichos morteros de cal cumplen una doble misión, la primera es la de protección de la superficie de los paramentos ante las acciones climatológicas cuando no existe la posibilidad de contar con otro material más resistente. El revestimiento actúa como una piel de protección que periódicamente hay que mantener. El revestido de

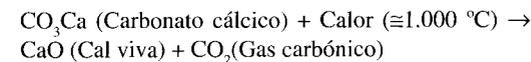
los edificios es equiparable al vestido, la vestimenta para el hombre y en algunos casos más aun, es equiparable a la piel del cuerpo humano. El segundo motivo es la ornamentación del edificio. A través de los revestimientos se plasma la idea arquitectónica, elemento significativo dotado de mensajes y valores simbólicos y emblemáticos en los límites de espacios y volúmenes.

Los revestimientos interiores y los exteriores en las fachadas en sus múltiples variaciones y posibilidades, constituyen elementos culturales cuyas sencillas individualidades ayudan a comprender los tejidos históricos y los nuevos espacios que en la actualidad se van configurando. Trascender a través de las fachadas y los paramentos interiores, a menudo nos transmiten la historia y las vicisitudes de aquella parte de la ciudad que se analice, nos transmiten a la vez sistemas de entender la arquitectura, determinadas formas de construir, procesos artesanales o semi-industriales particulares propios de cada territorio.

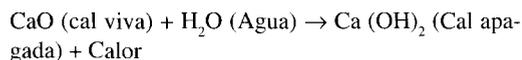
El hombre, por tanto, como parte de la naturaleza, fruto de ella, instintivamente emplea desde tiempo inmemorial la cal en distintas formas y composiciones según su aplicación para la construcción de su arquitectura, que son a modo de esqueleto interno y caparazones que le sirve de refugio para protegerse de las inclemencias del tiempo.

La cal empleada en la construcción es precisamente un derivado de las rocas de carbonato cálcico de las montañas. No se sabe cuándo, en tiempos muy remotos, el hombre quizás encendiendo fuego, vio como las piedras calizas que estuviesen mezcladas con la madera que ardía alcanzaron la temperatura de mil grados y se cocieron, se transformaron en cal viva que el hombre luego aprendería a utilizar.

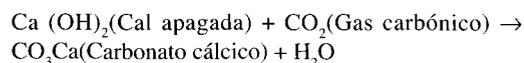
Una vez localizada en cantera una caliza de alto contenido en carbonato cálcico se procede a su cocción en hornos a una temperatura aproximadamente de 1.000 °C, temperatura que descompone el carbonato cálcico desprendiéndose el gas anhídrido carbónico que vuelve a formar parte de la atmósfera. La piedra caliza pierde casi la mitad de su peso transformándose en óxido cálcico, la denominada «cal viva». La reacción química que se produce en el proceso de cocido de piedra caliza es la siguiente:



El apagado de la cal viva se analiza en el tercer apartado. La cal viva no se utiliza directamente en la construcción, sino que se combina con agua, produciéndose una reacción exotérmica que da como resultado el hidróxido cálcico denominada «cal apagada», producto generalmente blanco, que puede estar en polvo o en pasta si lleva exceso de agua. La reacción es la siguiente:



La cal apagada en obra se viene utilizando desde épocas ancestrales para pintar superficies de paramentos en lo que llamamos encalados y también mezclada con distintos tipos de áridos en la confección de morteros y hormigones. La cal apagada tanto para pintura o como mortero, en contacto con el anhídrido carbónico de la atmósfera vuelve otra vez a convertirse en piedra dura, exactamente igual a la piedra que al principio se extrajo de la cantera. De acuerdo al siguiente proceso vuelve a ser piedra:



El proceso se inicia con carbonato cálcico ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) y tras su transformación en hidróxido cálcico e incorporación a morteros en su mezcla con el árido y el agua, inicia su carbonatación que dura incluso siglos, periodo en el cual protege a la piedra hasta volver a su forma primigenia en elemento de la arquitectura de carbonato cálcico, manipulado en cuanto al color, forma y texturas por la imaginación creadora del hombre.

Al analizar la amplia variedad de morteros presentes en la construcción de la Catedral una de las primeras conclusiones que se obtienen es la primacía del concepto de *sacrificio*. Conocían la piedra y sabían que la cal debía proteger la piedra porque aplican morteros de mucha riqueza para proteger la piedra. Es una catedral que necesita mucha protección de la piedra.

Las dosificaciones de la cal de los morteros utilizados son más elevadas que las empleadas en los morteros romanos analizados, en los cuales primaba la idea embellecimiento de los paramentos y la técnica de construcción en la labra de fábricas cuando el material empleado no era piedra sino cerámica, *opus*

*caementicium*, etc. En la catedral de Burgos la misión principal de los estos morteros es la protección de la piedra en los revestimientos y en los morteros de asiento de los sillares y mampuestos incorporar resistencia en las uniones plásticas de los elementos constructivos.

La construcción en Castilla está asociada a la piedra, material labrado por canteros que la conocían perfectamente y sabían sus características. Ellos, para facilitar su trabajo, preferían piedras blandas y dóciles; también eran las que tenían a su alcance. Sabían por tradición y por experiencia que había que protegerlas con otro elemento que las defendiese de la acción destructora del medio ambiente retomando la piel de sacrificio al través del revestimiento. La composición química de los morteros a la cal es la misma que la piedra que protegen y la cal que los compone es la que se enfrenta a los agentes agresivos del ambiente, protegiendo la piedra.

Los morteros que a continuación se incluyen corresponden a las series 327, 328 y 329, las muestras corresponden a morteros de revestimiento de la fachada de Santa María:

Los morteros de revestimiento del rosetón de la fachada de Santa María son muy ricos en cal con una dosificación en peso 1:1. La cal es de alta pureza y procede de piedra caliza sin nada de magnesio, por lo tanto no de piedra dolomítica. El mortero presenta una alta densidad y una baja porosidad. Su pH próximo al neutro indica que es un mortero antiguo. El árido empleado es silíceo e incorpora pigmentos minerales de color amarillo ocre; éstos corresponden a



Figura 3

Imagen de la estructura de la caliza de Hontoria vista en el microscopio electrónico de barrido 1.500 veces ampliada

MUESTRAS de la serie 327. Revestimiento sobre la piedra del rosetón de la fachada de Santa María

#### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Densidad g/cm <sup>3</sup>	Porosidad %	pH
1,9	19,3	7,8

#### DOSIFICACIÓN DEL MORTERO

Dosificación en peso (cal/arena/yeso)	Dosificación en volumen (cal/arena/yeso)
1 / 1 / 0,3	1 / 0,8 / 0,2

#### COMPOSICIÓN QUÍMICA

Cal (CaO)%	Sílice (SiO <sub>2</sub> )%	Óxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )%	Óxido de Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) %	Magnesita (MgO)%	Pérdida al fuego %
30,8	38,1	0,4	0,7	0,0	25,2

#### OTROS COMPUESTOS QUÍMICOS

Sulfatos (SO <sub>3</sub> )%	Cloruros (Cl)%	Amoniaco (NH <sub>4</sub> )%	Nitritos (NO <sub>2</sub> )%	Nitratos (NO <sub>3</sub> )%
4,6	0,5	trazas	trazas	0,16

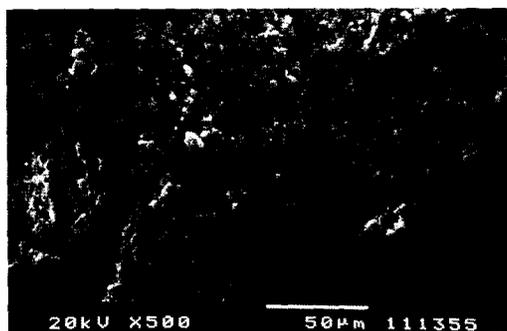


Figura 4  
Mortero de revestimiento de la piedra en la fachada de Santa María. Imagen de grano de sílice y cal como aglomerante en proceso de carbonatación. La fotografía se ha realizado en el microscopio electrónico de barrido 500 veces ampliada

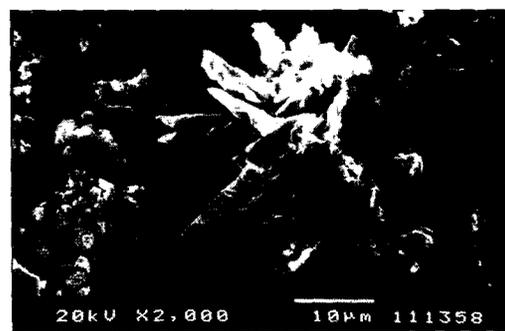


Figura 5  
Mortero de revestimiento de la piedra en la fachada de Santa María. Imagen de un grano de sílice aglomerado con cal en proceso de carbonatación vista en el microscopio electrónico de barrido 2.000 veces ampliada

MUESTRAS de la serie 328. Revestimiento sobre la piedra de la fachada de Santa María

#### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Densidad g/cm <sup>3</sup>	Porosidad %	pH
1,8	21,2	7,5

#### DOSIFICACIÓN DEL MORTERO

Dosificación en peso (cal/arena/yeso)	Dosificación en volumen (cal/arena/yeso)
1 / 1,2 / 0,2	1 / 0,9 / 0,2

#### COMPOSICIÓN QUÍMICA

Cal (CaO)%	Sílice (SiO <sub>2</sub> )%	Óxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )%	Óxido de Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) %	Magnesita (MgO)%	Pérdida al fuego %
29,8	42,4	trazas	trazas	0,0	24,1

#### OTROS COMPUESTOS QUÍMICOS

Sulfatos (SO <sub>3</sub> )%	Cloruros (Cl)%	Amoniaco (NH <sub>4</sub> )%	Nitritos (NO <sub>2</sub> )%	Nitratos (NO <sub>3</sub> )%
3,2	0,2	trazas	trazas	0,11

áridos de esta tonalidad de la zona. Tiene algo de hidraulicidad, posiblemente aportada por el pigmento. La granulometría de este mortero es muy continua y de tamaño máximo 0,8 mm. Las impurezas son muy bajas y se aprecia un porcentaje de 4,6 de yeso, posiblemente incorporado intencionadamente.

Este mortero presenta una alta densidad y porosidad media. Por su pH se comprueba que es un mortero antiguo en el que aún no ha finalizado la carbonatación. La dosificación en peso es de una parte de cal y 1,2 partes de árido silíceo con pigmento minerales de color amarillo ocre obtenido por la incorporación de tierras del lugar con esta coloración. La granulometría del árido es de tamaño máximo 0,8 mm con una curva de gran continuidad determinada a través del ensayo de distribución de tamaño de partículas. El porcentaje en yeso puede proceder de la reacción química del mortero con los componentes de azufre de la contaminación. El mortero ha sido ligeramente atacado sirviendo de escudo protector a la agresión de la piedra. Otra posible procedencia del porcentaje en yeso fue la incorporación intencionada

ya que fragua más rápido y tiene un mayor poder cubriente de la piedra.

El mortero de revestimiento de la piedra de la imposta bajo la Virgen en la coronación de la fachada de Santa María es un estuco de cal. La densidad del mortero es alta y baja su porosidad. El pH es alcalino próximo al neutro lo que indica que es un mortero antiguo en el que aún no ha finalizado la carbonatación por lo que sigue protegiendo a la piedra. El árido de marmolina presenta una granulometría de tamaño máximo 0,8 mm con una buena curva granulométrica y un porcentaje del 10% inferior a 7 micras para garantizar una buena compacidad del mortero de revestimiento de protección de la piedra caliza. La marmolina consigue un mayor embellecimiento de la piedra de la Catedral a la vez que incorpora un agregado de similar naturaleza a la de la caliza. El color que presenta este mortero de revestimiento es del color de la piedra a diferencia de los anteriores que incorporan pigmentos minerales de color amarillo ocre. El mortero presenta muy pocas impurezas lo que denota la alta calidad de las materias primas originales.

MUESTRAS de la serie 329. Revestimiento sobre la piedra de la imposta labrada en el cuerpo central de la fachada de Santa María

#### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Densidad g/cm <sup>3</sup>	Porosidad %	pH
1,95	19,3	7,9

#### DOSIFICACIÓN DEL MORTERO

Dosificación en peso (cal/marmolina/yeso)	Dosificación en volumen (cal/marmolina/yeso)
1 / 1 / 0,1	1 / 1 / 0,1

#### COMPOSICIÓN QUÍMICA

Cal (CaO)%	Sílice (SiO <sub>2</sub> )%	Óxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )%	Óxido de Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )%	Magnesita (MgO)%	Pérdida al fuego %
53,4	1,5	trazas	trazas	0,0	42,1

#### OTROS COMPUESTOS QUÍMICOS

Sulfatos (SO <sub>3</sub> )%	Cloruros (Cl)%	Amoniaco (NH <sub>4</sub> )%	Nitritos (NO <sub>2</sub> )%	Nitratos (NO <sub>3</sub> )%
2,7	0,02	trazas	trazas	0,01

#### LA JABELGA, TRATAMIENTO DE PROTECCIÓN DE LA PIEDRA

La solución histórica y una de las opciones actuales en el tratamiento de la piedra de la Catedral es la de aplicar jabelga, mortero de cal con árido silíceo o marmolina, de modo que se crea sobre la piedra una capa de protección que consolida e hidrofuga parcialmente las fábricas durante el largo periodo en el que el hidróxido cálcico se va transformando en carbonato cálcico. Al aplicarla con brocha sobre la piedra, ésta puede incorporar pigmentos minerales del mismo color que la piedra a la que protege o variar la tonalidad según convenga al realizar la intervención. La técnica de aplicar morteros finos de cal es milenaria y se ha comprobado en la Catedral como protege a la piedra durante el proceso de carbonatación que dura siglos. Una vez que el hidróxido cálcico se ha transformado íntegramente en carbonato cálcico, periodo que en ocasiones comprende varios siglos, ya no cumple la misión de protección y en este momento los canteros en el proceso de mantenimiento

del edificio lo reponían con una nueva capa. Esta técnica se perdió dejando a la intemperie las piedras de tal modo que la propia piedra del edificio se enfrenta con el dióxido de carbono de la atmósfera, cada vez más abundante, transformando el carbonato insoluble en bicarbonato cálcico que es soluble en agua con el consiguiente deterioro de la piedra.

Al ensayar la piedra que mantiene el revestimiento con mortero de cal se comprueba que sus características y estado de conservación es mucho mejor que las piedras del mismo edificio que perdieron su capa de protección y no fue repuesta. El dejar de proteger a la piedra puede haber sido debido a que las piedras, por sus propiedades físicas y mecánicas, el aprecio de su progresivo deterioro, al ser lento y existir menos contaminación, la duración de un observador a lo largo de una vida es un tiempo muy corto para apreciar el principio de deterioro. El mantener la piedra más tiempo sin protección es conducirla a su degradación, a un daño grande y manifiesto. El fino revestimiento, la piel protectora, está en primera línea, en contacto directo con los agentes externos que agre-

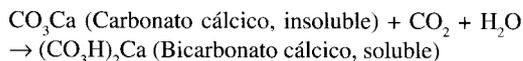
den la piedra, haciendo de escudo protector, de piel que les protege de las inclemencias atmosféricas.

El mantenimiento de los edificios es otro factor importante a considerar, este concepto se interpreta de diversas formas y cambia con el tiempo, dependiendo muchas veces del aprecio y conocimiento que se tenga de los edificios, prevaleciendo distintos criterios con respecto al modo de realizarlo. El olvidar o modificar las prácticas de mantenimiento puede dar lugar a daños cuantiosos, incalculables de costosa y difícil reparación. Para preservar lo que se desee mantener hay que conocer lo mejor posible que es lo que daña y el porqué del material que se desea conservar; de este modo se actuará con mayor eficacia. Respecto a los edificios construidos con piedra se dejaron de aplicar las prácticas antiguas de mantenimiento, de conservación de la piedra, llevadas a cabo por los hombres que labraron la piedra y la conocían por su contacto directo con ellas.

Los revestimientos con mortero a la cal aplicados con brocha en las denominadas jabelgas o de otros modos aportan una protección a las piedras de diversas formas. Además de cumplir otras misiones, éstas son las siguientes:

### Protección contra el CO<sub>2</sub> atmosférico

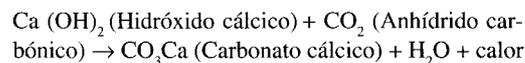
La jabelga aísla a la piedra del contacto directo con el anhídrido carbónico atmosférico y de los gases contaminantes. La piedra caliza con la que está construida la Catedral químicamente está constituida por carbonato cálcico principalmente y otros compuestos minoritarios en menor proporción. El carbonato cálcico está en contacto con el anhídrido carbónico atmosférico. Este gas procede de la respiración de los seres vivos, de la combustión de carbones y aceites minerales, etc. y va en aumento progresivo. Él va disolviendo las piedras calizas según la siguiente reacción:



El bicarbonato cálcico es un producto muy poco estable y muy soluble en agua, de tal forma que la caliza se va disolviendo con el agua de lluvia unido a la acción del hielo y demás agentes agresivos. Esta acción se produce más intensamente en las partes bajas de los edificios, debido a que el gas carbónico es

más pesado que el aire, estando más concentrado en las partes bajas, que es también la zona que recibe directamente las emisiones de los gases de combustión de vehículos.

Esta acción directa en la piedra se puede evitar con la aplicación de revestimientos de mortero de cal de tal forma que el largo periodo en el que el hidróxido del mortero se va carbonatando al reaccionar con el gas carbónico atmosférico. El mortero no sólo no se deteriora y protege a la piedra sino que se va reforzando y endureciendo cuanto más carbónico exista en la atmósfera. El proceso es muy lento y mientras se va produciendo la piedra mantiene sus propiedades. La cal se combina con el gas carbónico, neutralizándose, haciéndolo desaparecer, de forma que no puede llegar a la superficie de la piedra sobre la que se ha colocado el mortero de cal, motivo por el que es recomendable que éste sea rico en cal. La reacción de la lenta carbonatación se realiza de acuerdo a la siguiente formulación:



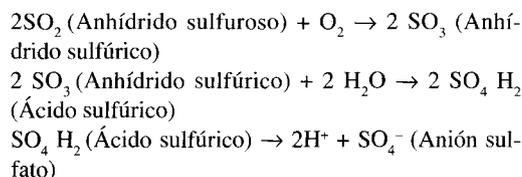
La duración defensiva del mortero a la cal depende de muchos factores: de la pureza de la cal contenida en el mortero, de la cantidad que contenga en su dosificación, de la humedad ambiente, de los gases atmosféricos, de la compacidad, etc., pero es normal que este mortero dure más de cincuenta años e incluso siglos. Cuando la cal esté totalmente carbonatada ha cumplido su misión de protección, avisa iniciando su descomposición y es el momento en el que habrá que reponerlo con otro mortero joven de cal en el importante trabajo de mantenimiento de los edificios y especialmente en los grandes edificios de la arquitectura.

### Protección contra el SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub>

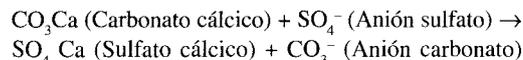
La cal que forma parte de los morteros de cal y morteros de estuco, por su naturaleza alcalina, forma una barrera natural, un filtro, que impide totalmente el paso de los ácidos contenidos en la atmósfera y que tanto dañan a las piedras calizas disolviéndolas. Los óxidos de azufre contenidos en la atmósfera, cada vez en mayor proporción por la combustión del azufre contenido en las gasolinas y otros combustibles,

en residuos de procesos industriales, etc., entran directamente en las fábricas de piedra o a través del agua en las denominadas lluvias ácidas que lo recogen de la atmósfera. Estos gases degradan la piedra aceleradamente produciendo pérdidas de masas pétreas, borran tallas artísticas, etc.

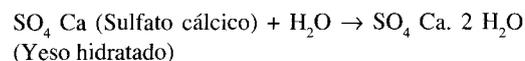
En el caso de que la piedra no tenga una protección a base de cal el carbonato cálcico se transformaría en una forma hidratada de yeso nada resistente, lo que supone su total degradación. La reacción sería la siguiente:



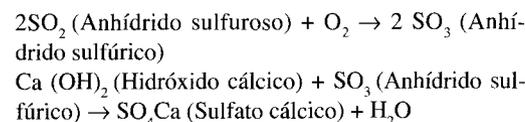
El anión sulfato sobre el carbonato cálcico de la piedra caliza produce la siguiente reacción:



La piedra transformada en sulfato cálcico por aumento de la humedad relativa del aire o por el agua de la lluvia precipita en forma hidratada de yeso, que se disgrega por no ser resistente en exteriores cuando se encuentra en climatologías agresivas. El proceso se produce de acuerdo a la siguiente reacción:



Por lo tanto si al llegar estos agentes agresivos a la piedra se encuentran con una barrera que impide su penetración y posterior reacción, la piedra no se deteriora sino que lo frena esta piel de sacrificio que cuando esté degradada fácilmente se reparará en el obligado mantenimiento que requieren estos edificios. La cal contenida en la jabelga de mortero reacciona convirtiéndose en yeso e impidiendo que se ataque y se deteriore la piedra. La reacción es la siguiente:



Los productos neutros formados no son extraños en la construcción, que al formarse, aún cierran más los poros de la capa de protección, protegiendo tanto más cuantos más contaminantes haya en la atmósfera.

### Refuerzo y consolidación de la piedra

Los morteros a la cal tapan los poros y fisuras de las piedras sobre las que se aplican. Las partículas muy finas del mortero que contienen disueltas y en suspensión acuosa la cal y los áridos penetran por los poros y fisuras reforzándolos. El agua del mortero a la cal contiene parte de cal disuelta y parte de cal en suspensión coloidal junto con los muy finos, impalpables del árido, que penetran por las grietas y poros de la piedra, fraguando y adheriéndose este mortero a la cal en las superficies internas de los poros y grietas de las piedras. Los huecos y poros se cierran impidiendo la entrada de agua y productos agresivos. La flexibilidad y plasticidad del mortero a la cal, hace que cualquier movimiento de la piedra al ampliar y modificar estas grietas, se deforme conjuntamente no dejando de estar taponando y protegiendo los pequeños poros y huecos de la piedra caliza. Cuando el mortero es de estuco, el árido de marmolina que los compone se encuentra mezclado con una proporción en cal mayor que los morteros normales, consiguiendo una mayor durabilidad en la protección de la piedra. El estuco aplicado con brocha penetra en los poros de la piedra consolidándola y reforzándola con las sucesivas y finas capas de acabado.

Con estos morteros aplicados en mayor espesor se pueden recomponer piedras que estén deterioradas ya que por su naturaleza son totalmente compatibles, tienen alta adherencia y por su plasticidad se adaptan fácilmente a las variadas formas geométricas que se precisen, siendo por tanto una reparación con, prácticamente, el mismo material a reponer. La cal del mortero pétreo se transformará con el tiempo en carbonato cálcico, la auténtica piedra que se está reparando. Estos morteros pétreos a la cal durante cuatro o cinco horas se pueden moldear sin endurecerse, y luego adquieren una dureza similar a la de la piedra y con la misma composición. Por lo tanto los morteros pétreos a la cal son un valioso material en la reparación y recomposición de las fábricas de piedra.

### **Protección contra el agua y sus efectos**

El mortero de protección aísla a las piedras del agua y de humedades que pueden acceder directamente a los poros de la piedra. Así mismo protege de la acción erosiva de la lluvia. En climas de bajas temperaturas, como el que corresponde a la ciudad de Burgos, al introducirse el agua en los huecos accesibles de la piedra y posteriormente helarse, se generan tensiones por el incremento del volumen del agua, provocando fisuraciones internas que degradan la piedra. Al colocar una barrera que impida la entrada de agua y a la vez permita la transpiración del muro con el mortero de cal en su aplicación de jabelga se evita la entrada de agua en la piedra y sus posteriores tensiones, sufriendo el mortero los daños que se producirían en la piedra, daños que fácilmente pueden repararse a diferencia de los daños producidos en la piedra que tienen una mayor dificultad en su reparación.

### **Protección de acciones destructivas mecánicas, solares y biológicas**

El mortero de cal forma una capa que protege la superficie de las piedras de posibles impactos y agresiones superficiales tales como los ocasionados por material abrasivo como son las arenas transportadas por el viento que erosionan la superficie desgastándola con el paso del tiempo.

Los morteros de cal, por su plasticidad de adaptan a los movimientos del soporte cuando éste sufre ligeros movimientos, absorbiéndose y deformándose sin alterarse.

La capa de revestimiento de cal actúa como protector de radiaciones solares, como pueden ser las radiaciones ultravioletas, cuya presencia a lo largo del tiempo altera sensiblemente la fábrica.

La fina capa de protección resguarda a la piedra de la acción destructiva de algas, de líquenes, de deyecciones de aves, etc.

### **Embellecimiento de la piedra**

La jabelga, por su contenido en cal, además de proteger los paramentos sobre los que se aplica, los embellece con el color que se requiera en cada caso y la

textura de acabado. El color de la jabelga puede ser el mismo de la piedra original o ir modificado como se comprueba en las muestras ensayadas de la catedral con un color ocre dorado.

La posibilidad del color, que se puede conseguir con las jabelgas, es casi infinita, pues depende del color de los pigmentos minerales utilizados y de la mezcla de los diversos colores en distintas proporciones.

Las texturas de acabado pueden ser muy variadas. Al aplicar la jabelga con brocha se imprime en la piedra la misma textura original de la piedra, en la que se perciben también las uniones de los sillares. Mientras el mortero está en estado húmedo se pueden aplicar diversas texturas como puede ser un abujardado, martillina, etc., según se precise en cada paramento.

### **Material ensayado por el tiempo**

Al dejar la piedra desnuda y vista sin ninguna protección o al aplicar diversos productos llamados consolidantes o hidrofugantes, el mejor ensayo de comprobación es el paso del tiempo. En la construcción, la mejor prueba del comportamiento de un material o tratamiento es su resultado obtenido con el paso del tiempo. El tiempo es el mejor juez, que nunca se equivoca y determina exactamente, si una decisión fue o no acertada. Emplear productos cuyo envejecimiento y comportamiento con el paso del tiempo es desconocido es muy arriesgado, sobre todo en edificios irrepetibles. Las cartas de Restauración recomiendan incesantemente el emplear técnicas y materiales avaladas por el paso del tiempo. Los nuevos productos e investigaciones es aconsejable desarrollarlos en laboratorio hasta tener una gran garantía y certeza de su buen comportamiento, y una vez comprobado proceder a su utilización en edificios históricos.

Las finas capas de mortero de cal han sido empleadas desde la antigüedad: en la construcción egipcia se mantienen numerosas fábricas de piedra con revestimiento, en la construcción prehelénica sirva de ejemplo el palacio de Knossos, en la construcción griega por ejemplo la Acrópolis de Atenas, la construcción romana, la construcción medieval... y tantos ejemplos en los que se observa la constante presencia de protección de la piedra con el noble material de la

cal con todas sus variadas intenciones y siempre incluyendo la misión de protección. El tiempo ha realizado el ensayo y ha sido favorable, ahora resta su desarrollo, aplicación y mantenimiento por parte de los profesionales responsables de la perdurabilidad de los edificios de piedra.

En los morteros a la cal empleados para protección de la piedra existen muchas variantes: la arena puede ser silíceo o de marmolina. La arena silíceo aporta una mayor resistencia mecánica y la marmolina en los denominados estucos que se pueden aplicar mediante brocha en los enjalbegados ofrecen un acabado ornamental de mayor riqueza. Los pigmentos minerales pueden ser muy variados según el acabado que se precise.

### CONCLUSIÓN

Con respecto a los morteros de revestimiento de protección y embellecimiento de la piedra caliza de la piedra de la Catedral de Burgos, al analizar diversas muestras tanto en la fachada de Santa María como en las torres, el cimborrio, etc. se comprueba la sabiduría de los canteros de la época que sabían que la piedra no es eterna y para protegerla de su degradación por las acciones destructivas la mejor solución era aplicarle con brocha una fina capa de mortero de cal. La cal al entrar a formar parte del revestimiento consolida y protege la piedra en el largo periodo en el que el hidróxido cálcico se va carbonatando. Los áridos empleados son arena silíceo o marmolina de tamaño inferior a 0,8 mm con una continua curva granulométrica, en la mayor parte de los morteros incorporan pigmento mineral con arenas del lugar de color amarillo ocre. Las dosificaciones son muy ricas en cal con proporciones entre el 40 y el 50%. Estas capas de revestimiento protegen a la piedra, como ha sido constatado por el paso del tiempo.

Esta Catedral en épocas pasadas tuvo una luminosidad y una belleza natural digna de admiración de cualquier persona sensible, debió lucir como la más bella joya imaginable. Hay que retomar, actualizar, la antigua práctica de revestir las piedras de los edificios con los antiguos morteros de cal, los llamados «de sacrificio» que estamos seguros de sus resultados hasta que se garantice el buen comportamiento de técnicas nuevas que aparezcan en la construcción.

Se finaliza indicando la gran protección que estos revestimientos han conseguido en la durabilidad de la piedra y planteando como una de las posibilidades en las nuevas intervenciones el seguir aplicándolo para preservar estos edificios irrepetibles y legarlos a generaciones futuras aprendiendo de aquellos antiguos canteros que los construyeron.

### NOTAS

1. Chueca Goitia, F. *Historia de la arquitectura Occidental: IV. Edad Media Cristiana en España*. Ed. Dossat. Madrid, 1989, p. 203.
2. En 1226, bajo la prelación de D. Rodrigo Ximénez de Rada, comenzaron las obras en Toledo y en León lo harán en 1255.
3. Lampérez, afirma que en esta época ya estaban concluidas las torres, al menos en sus dos primeros cuerpos. Cfr. Lampérez y Romea, V. *Segovia, Toro y Burgos*. Madrid, 1899.
4. Martínez y Sanz, M. *Historia del templo catedral de Burgos*. Burgos, 1866. Reedición de 1983; pp.16 y 17.
5. D. Eugenio Llaguno escribió: «Esta obra puede llamarse magnífica en lo interior y en lo que respecta a su contorno exterior, y entre todas las de orden gótico-germánico es la que lo tiene más vario, armonioso, proporcionado y, consecuentemente, bello». Llaguno, E. Tomo I, p. 44.
6. Cfr. Chueca Goitia, F. *Historia de la arquitectura Occidental...* op. cit., p. 204.
7. Esta denominación se le dio porque por ella entraban los reyes en procesión. Cfr. Martínez y Sanz. *Historia del templo catedral de Burgos...*, op. cit., p. 237.
8. Llaguno, E. Tomo I, p. 44
9. Karge, H. *La catedral de Burgos y la Arquitectura del siglo XIII en Francia y España...*, op. cit., p. 72.
10. El maestro Jusquin terminó, a mediados del siglo XV, el segundo cuerpo de la torre del reloj de la catedral de León pero su flecha no guarda proporción con la torre, aunque no por ello deja de ser un bello ejemplar del gótico. La otra torre calada del catálogo español es la de la catedral de Oviedo que, aunque parezca mentira, es de mediados del siglo XVI, tardía pero un ejemplo notable del gótico. Cfr. Chueca Goitia, F. *Historia de la arquitectura Occidental ...*, op. cit., p. 353.

### BIBLIOGRAFÍA

- Chueca Goitia, F. *Historia de la arquitectura Occidental: IV. Edad Media Cristiana en España*. Ed. Dossat. Madrid, 1989.

- Huidobro Serna, I.: *La catedral de Burgos*. Burgos, 1958.
- Karge, H. *La catedral de Burgos y la Arquitectura del siglo XIII en Francia y España*. Berlín, 1989. Traducción española. Ed. Consejería de Cultura de la Junta de Castilla y León. Valladolid, 1995.
- Lampérez y Romea, V.: *Segovia, Toro y Burgos*. Madrid, 1899.
- *Historia de la Arquitectura Cristiana Española en la Edad Media*. Madrid, 1909, Tomo II.
- Lambert, Elie: *L'art gothique en Espagne aux XIIe et XIIIe siècles*. París, 1931. Traducción española, Madrid, 1977.
- Martínez y Sanz, M. *Historia del templo catedral de Burgos*. Burgos, 1866. Reedición de 1983.
- Rico Santamaría, M. *La catedral de Burgos. Patrimonio del mundo*. Ed. Fourier A. Gráficas. Vitoria, 1994.
- Torres Balbás: *Ars. Hispaniae. Tomo VII*. Madrid, 1952.

