

# FORMAS, CAUSAS Y MECANISMOS DE ALTERACION DE LOS MATERIALES PETREOS DE LA TORRE DE LA CATEDRAL DE GRANADA

EDUARDO SEBASTIAN PARDO (\*)  
JESUS SORIANO CARRILLO (\*\*)  
CARLOS RODRIGUEZ NAVARRO (\*\*\*)  
MONICA ALVAREZ DE BUERGO BALLESTER (\*\*\*\*)

**RESUMEN.** Se han caracterizado, en sus diferentes aspectos: composición química, petrografía, mineralogía y propiedades físicas, la enlucida bioclastica utilizada como material de construcción en la Torre de la Catedral de Granada.

Se han analizado, asimismo, las diferentes formas y mecanismos de alteración, que en ella inciden; su estrecha relación con las campanas de la Torre y, en cierta medida, con las condiciones climáticas de la zona. Por último se proponen algunas soluciones restauradoras adecuadas.

**ABSTRACT.** *Chemical composition, mineralogical, petrographical and physical properties of the bioclastic limestone used to build the Tower of «Catedral de Granada», were characterized.*

*The different mechanisms of alteration and their relation with the Tower bells and the climatic conditions, were analyzed.*

*Some proper restorative conditions solutions are proposed.*

## INTRODUCCION

Por expreso deseo de los Reyes Católicos, junto a la Capilla Real, en pleno de la poco tiempo antes conquistada ciudad de Granada, se comenzaron las obras de la futura Catedral o Iglesia Mayor (Gómez Moreno, 1989).

En principio, la idea fue la de realizarla según el estilo gótico de la época. Enrique Egas y Sebastián Alcántara, diseñaron la planta de la misma, según traza que semejaba la Catedral de Toledo.

La primera piedra se colocó el 18 de abril de 1523. Posteriormente fue puesto al cargo de las obras Diego de Siloé, hijo del insigne escultor Gil de Siloé, quien diseñó una planta significativamente diferente de la de sus antecesores a cargo de la obra. Este nuevo diseño, con una planta central, radial, de clara influencia rena-

centista, pretendía levantar dos torres gemelas en la fachada oeste.

Al morir Diego de Siloé en 1563, la torre situada más al norte, única existente en la actualidad, apenas si arrancaba de los cimientos, por lo que Juan de Maeda se encargó de proseguir su construcción, realizando el primer cuerpo y los pedestales del segundo. La construcción quedó posteriormente en un período de inactividad debido al levantamiento de los moriscos. Tiempo después, continúa la construcción del segundo cuerpo Juan de Orea, aunque éste muere pronto y le sustituye Ambrosio de Vico, bajo cuya dirección se construye el segundo cuerpo de la torre y se levantan otros dos cuerpos más, pero por la aparición en éstos de numerosas grietas, y la amenaza de ruina, se derriba el último, dejando la torre, tal y como aparece en la actualidad, con sólo dos cuerpos (figuras 1 y 2).

En 1585 se manda poner campanas en la torre (Gómez-Moreno Calera, 1989). Posteriormente hubo una etapa en que, dado el ruinoso estado de la torre, se trató de impedir que éste progresase, por lo que se llevaron a cabo una serie de obras de consolidación de los cimientos, ya que parece ser que el problema de agrietamiento de la misma era debido a la debilidad del basamento formado por limos y arenas. Las obras fueron realiza-

(\*) Doctor en Ciencias Geológicas, Dpto. Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada.

(\*\*) Doctor en Ciencias Geológicas, Productos Bituminosos, S. A. IPROBISAL, Pinar (Madrid).

(\*\*\*) Licenciado en Ciencias Geológicas, Dpto. Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada.

(\*\*\*\*) Licenciada en Ciencias Geológicas, Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX-MOPUL, Madrid).

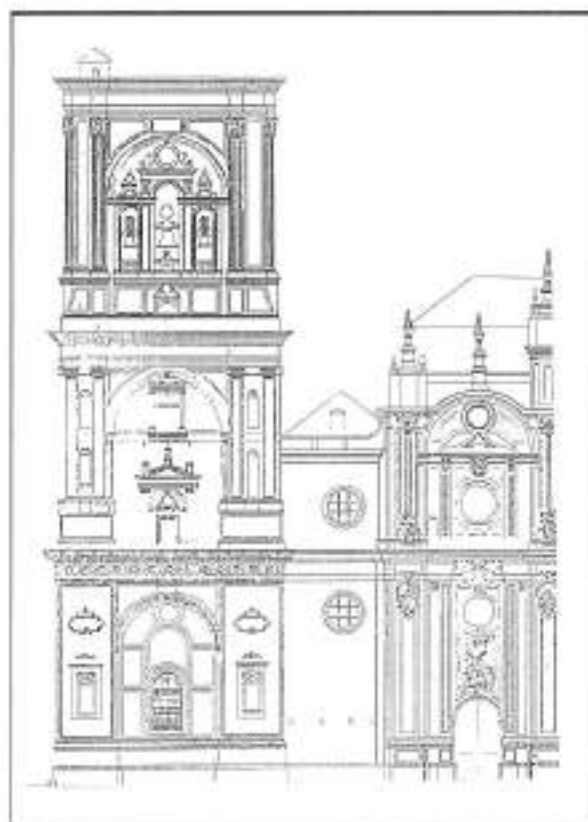


FIGURA 1. Alzado de la torre de la Catedral de Granada.

das por Ambrosio de Vico hasta su término en el año de 1602.

En este trabajo se expone un análisis metodológico de todos los aspectos, valores y factores que rodean a este importante elemento de la fachada principal de una gran construcción como es la Catedral de Granada.

### CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

La caracterización de los materiales pétreos, sanos o alterados, de las costras y de las pátinas de alteración, se ha basado en análisis mineralógicos, petrológicos, físicos y químicos. Para ello las técnicas utilizadas han sido: difracción de rayos X, microscopía óptica y electrónica de barrido (SEM), porosimetría de inyección de Hg, análisis químico por fluorescencia de rayos X (FRX) y espectrometría de emisión con plasma de inducción acoplado (ICP).

El conjunto de resultados indica que el material de construcción es una calcarenita bioclástica, de color blanco o ligeramente amarillento, casi exclusivamente constituida por calcita microespartica de grano muy fino, con una importante cristalización sintaxial de calcita que rodea los bioclastos que suponen más del 50-60 % de la roca. Su tamaño varía considerablemente de

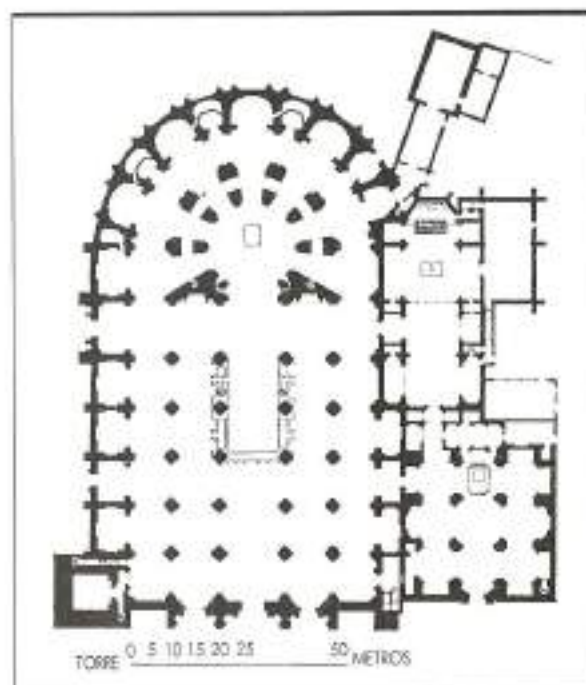


FIGURA 2. Planta de la Catedral de Granada.

unas muestras a otras (0,3-4 mm). Pertenecen a diferentes tipos de organismos, principalmente algas rojas, foraminíferos, briozoos, equinodermos y lamelibrancos (Sebastián et al., 1990).

La porosidad que presentan estas rocas es fundamentalmente primaria, de tipo intergranular y, en menor medida, intrapartícula, aprovechando las cámaras de los bioclastos. Su cuantificación se ha realizado mediante un porosímetro de inyección de Hg. Si se comparan los datos relativos a la porosidad total de las muestras de las canteras (Santa Pudia y zona canterable de Escuzar principalmente) con las muestras recogidas en el monumento, se advierte un apreciable aumento del mencionado parámetro en estas últimas (figura 3).

En las tablas I y II se muestran los resultados de los análisis químicos de las calcarenitas, tanto de las procedentes de las canteras de Santa Pudia como de las alteradas recolectadas en el monumento.

Otros materiales utilizados de forma muy puntual en la construcción de la torre son travertinos procedentes de «Las Canteras» de Alfacar, localizadas en el zócalo, y calizas grises y nodulosas de Sierra Elvira, que constituyen exclusivamente las cornisas.

### CARACTERISTICAS DE LAS COSTRAS DE ALTERACION

Presentan coloraciones que varían entre negro y verde más o menos oscuro. Cuando están situadas en zonas resguardadas alcanzan un importante espesor (más de

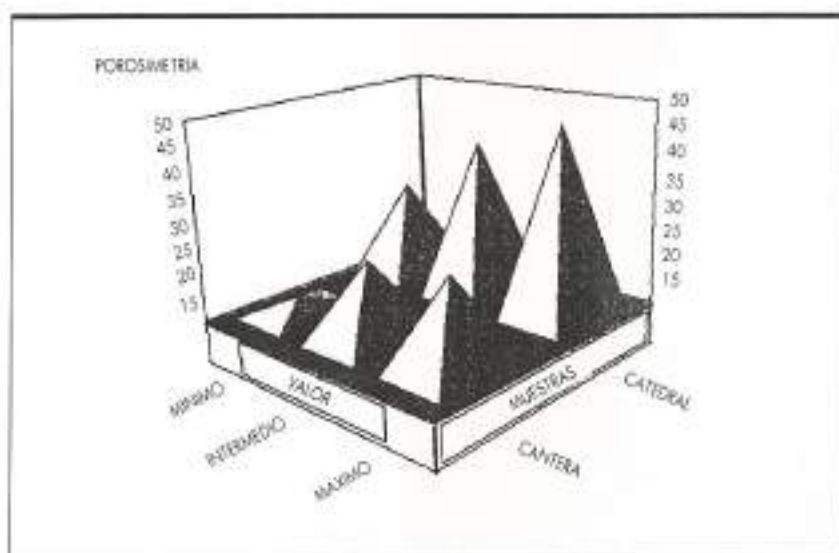


FIGURA 3. Representación gráfica de la porosimetría de las muestras de la cantera y de la torre de la Catedral.

%	CALCARENITA FRESCA CANTERA	CALCARENITA ALTERADA	COSTRA VERDE	COSTRA NEGRA
SiO <sub>2</sub>	2,07	3,81	3,97	2,60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,34	0,63	0,76	0,50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,20	0,40	0,43	0,28
TiO <sub>2</sub>	< 0,01	0,02	0,08	0,01
MgO	0,45	0,63	0,46	0,39
CaO	53,7	49,4	50,6	47,1
Na <sub>2</sub> O	—	0,12	0,10	0,08
K <sub>2</sub> O	0,05	0,14	0,12	0,14
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,12	0,24	3,28	1,96
LOI <sup>(1)</sup>	42,9	41,5	39,7	39,5

TABLA I.

2 cm), presentando en esos casos un marcado carácter esponjoso.

En su composición mineralógica, además de cuarzo y dolomita se han detectado, mediante difracción de rayos X, otras fases como wedellitita, apatito, yeso, fosfatos y sulfatos hidratados de cobre, plomo y zinc y óxidos e hidróxidos de cobre, hierro y plomo.

El estudio mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) en combinación con espectrometría de dispersión de energía de rayos X (EDS), ha permitido identificar otros compuestos mucho más complejos: ceolitas

%	CALCARENITA FRESCA CANTERA	CALCARENITA ALTERADA CATEDRAL	COSTRA VERDE	COSTRA NEGRA
B	< 10	20	22	15
Sc	0,7	0,8	1,0	0,7
Ti	135	205	551	188
V	8	12	21	11
Cr	9	12	8	7
Mn	330	360	442	304
Ni	6	6	8	11
Cu	7,2	16,6	1.590	2.710
Zn	17,2	39,8	147	147
Pb	< 2	10	144	221
U	1,5	1,8	1,7	1,6

TABLA II.

(figura 4), silicatos de Cu y Ca (figura 5) y sulfoaluminatos cálcicos (figura 6). En la tabla III se muestra la composición química elemental de los compuestos citados.

La composición química de las costras, obtenida por fluorescencia de rayos X (FRX) y espectrometría de emisión con plasma de inducción acoplado (ICP), aparece reflejada en las tablas I y II.

La mayoría de las costras se localizan en zonas res-

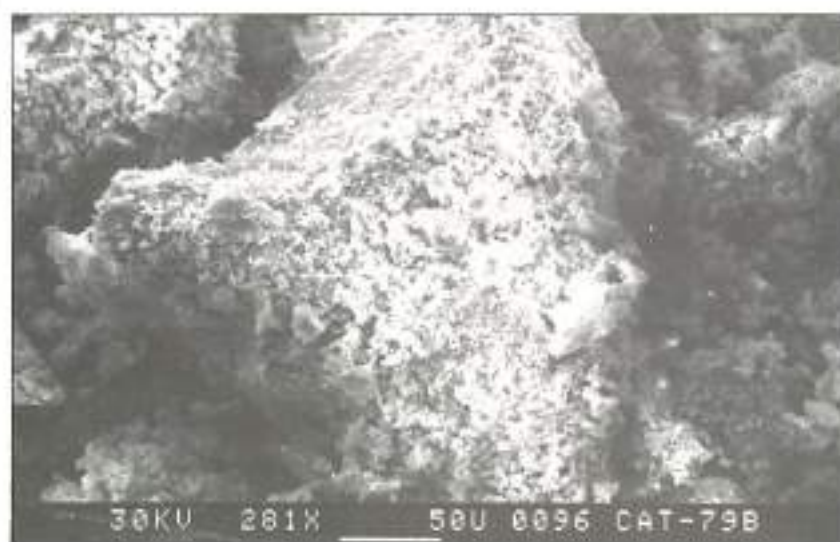


FIGURA 4. Celdros.



FIGURA 5. Sílicatos complejos de cobre y calcio.



FIGURA 6. Sulfoaluminato cálcico.

**OTROS MATERIALES DE CONSTRUCCION**

**CAT. 79b**

ELEMENTO Y LINEA	RELAC. INTENS.	% EN PESO	PRECISION 3 SIGMA	FORMULA EN OXIDOS	% EN OXIDOS	NUMERO DE CATIONES EN FORMULA
AL KA	0,0038	1,68	0,61	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,17	0,3451
SI KA	0,0204	6,23	0,87	SiO <sub>2</sub>	13,34	1,2335
CL KA	0,0080	1,33	0,31	CL	1,33	0,0000
CA KA	0,0567	6,53	0,61	CaO	9,14	0,9056
FE KA	0,0098	0,83	0,28	FeO	1,07	0,0827
CU KA	0,5512	57,48	3,37	CUO	71,96	5,0272
O *		25,91				
TOTAL					100,00	7,5040

NUMERO DE CATIONES CALCULADOS EN BASE A 9 ATOMOS DE OXIGENO.

**CAT. 79a**

ELEMENTO Y LINEA	RELAC. INTENS.	% EN PESO	PRECISION 3 SIGMA	FORMULA EN OXIDOS	% EN OXIDOS	NUMERO DE CATIONES EN FORMULA
AL KA	0,0044	1,81	0,64	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,42	0,3094
SI KA	0,0460	13,33	1,31	SiO <sub>2</sub>	28,53	2,1874
CL KA	0,0160	2,86	0,49	CL	2,86	0,0000
CA KA	0,0844	10,42	0,85	CaO	14,57	1,1974
CR KA	0,0048	0,53	0,24	CR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,77	0,0467
FE KA	0,0145	1,40	0,41	FeO	1,80	0,1153
CU KA	0,3265	35,50	2,86	CUO	44,43	2,5739
ZN KA	0,0270	2,90	0,89	ZnO	3,61	0,2043
O *		31,25				
TOTAL					100,00	6,6346

**CAT. 88**

ELEMENTO Y LINEA	RELAC. INTENS.	% EN PESO	PRECISION 3 SIGMA	FORMULA EN OXIDOS	% EN OXIDOS	NUMERO DE CATIONES EN FORMULA
AL KA	0,0097	1,93	0,55	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,65	0,2293
SI KA	0,0252	4,14	0,66	SiO <sub>2</sub>	8,86	0,4724
S KA	0,1288	17,53	1,22	SO <sub>3</sub>	43,77	1,7516
K KA	0,0067	0,89	0,30	K <sub>2</sub> O	1,07	0,0727
CA KA	0,2163	28,13	1,73	CaO	39,35	2,2482
CR KA	0,0065	0,92	0,42	CR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,34	0,0564
FE KA	0,0119	1,52	0,60	FeO	1,96	0,0872
O *		44,95				
TOTAL					100,00	4,9178

**TABLA III.** Analisis EDS sin estandarizar.

guardadas pero exteriores: bajo cornisas, molduras, relieves, en los alféizares de los huecos de las campanas, etc. La orientación geográfica determina su formación; así en las fachadas norte y oeste es donde mejor se desarrollan, con la excepción de las zonas con goteras, donde el lavado impide su formación.

### FORMAS DE ALTERACION

En el primer cuerpo arquitectónico de la torre, considerando como tal a la planta baja hasta la primera cornisa, las formas de alteración macroscópicas más abundantes se deben a la acción humana; así están muy extendidas las excoherencias y picaduras relacionadas con alcayatas y clavos de forja, tendidos eléctricos, tirantes de hierro, etc. La colocación de verjas y barrotes en ventanas ha dado lugar a fisuras y fracturas en los sillares y, en algunos casos, a pérdidas de material. Este último tipo de deterioro también se advierte en las esquinas, molduras y demás superficies salientes como consecuencia de golpes de impactos producidos por la acción humana. Se aprecian, también, algunos «graffitis».

Existen importantes zonas del paramento con arenizaciones y alveolizaciones muy avanzadas, sobre todo en la fachada N-NO; ello se debe a las características intrínsecas (elevada porosidad) del material pétreo, ya que el agua del suelo penetra y asciende por capilaridad con gran facilidad, mecanismo que, además, se ve favorecido por la situación de la torre, rodeada a muy escasa distancia por edificios, lo que impide, por una parte, que la radiación solar incida en esta zona de la torre y, por otra parte, la libre circulación del aire y, por tanto, su renovación con la consiguiente eliminación de la humedad ambiental.

Otra forma de alteración muy generalizada son las pátinas de ennegrecimiento, de color oscuro o negro. Son depósitos de suciedad superficial (polvo, humus, vegetación, restos orgánicos, etc.). Otras veces se deben a los gases desprendidos por la combustión de los motores de los vehículos; no suelen tener un espesor superior a 1 mm.

Se advierten muy nítidamente restauraciones relativamente recientes que han sido generalmente muy desafortunadas, ya que no guardan la armonía de color del edificio y no han impedido el avance de la acción alterológica de la humedad. En ellas se han utilizado diversos materiales (morteros, morteros mezclados con calcarenita de Santa Pudia, hormigones, ladrillos, etc.) que se han empleado para sustituir sillares completos, aplacados, reconstruir molduras y relieves, etc.

En relación con la parte superior de la torre, constituida por los otros dos cuerpos descritos, lo primero que resalta es su pronunciado deterioro en comparación con otros puntos de similar altura de la Catedral, incluso con aquellos que tienen orientación geográfica más desfavorable (fachadas norte y noroeste), como puede ser la Puerta del Perdón. Este deterioro no es general, localizándose en puntos muy concretos (figura 7).



FIGURA 7. Vista general del tercer cuerpo de la torre. Fachada sur.

De modo general, dos son los hechos que destacan en los cuerpos superiores de la torre: existencia de numerosas fracturas y fisuras e importantes pérdidas de material (figura 8). Las primeras se localizan independientemente de su orientación geográfica y del sustrato pétreo. Los mecanismos que dan lugar a su formación se relacionan con fenómenos fisicoquímicos: cristalización de sales, procesos cíclicos de humedad-sequedad y de heladicidad. Posiblemente las grietas más importantes se deban a los problemas de cimentación de la torre anteriormente mencionados, sin que se pueda excluir la influencia de movimientos sísmicos, bastante abundantes en esta zona de Andalucía. En menor medida pueden coadyuvar a producir este deterioro las grapas de hierro (figura 9), que en algunos puntos se colocaron para intentar impedir el progreso de fisuras previas, la oxidación de estos elementos metálicos con el consiguiente aumento de volumen, dan lugar a esfuerzos disruptivos en el interior de la piedra.

Las pérdidas de material son generalizadas. Este proceso tiene lugar tanto en el material pétreo como en los morteros de rejuntado. Los puntos donde este tipo de deterioro es más pronunciado son cornisas, molduras, voladizos, arcos y primera hilada de sillares situada

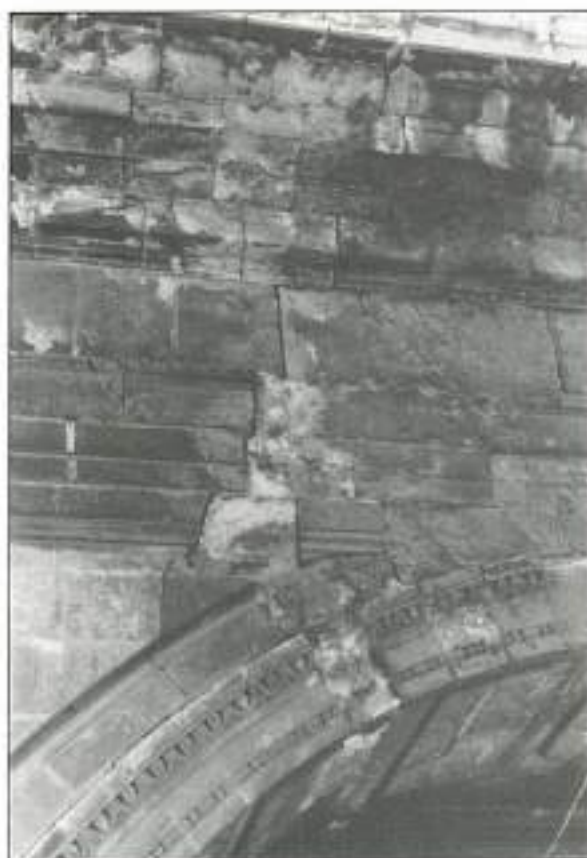


FIGURA 8.

encima de las cornisas (figuras 10 y 11). En cualquier caso, las zonas donde es más acusada la pérdida de material se sitúa siempre en la vertical de las campanas.

El agua de lluvia resbala por la superficie exterior de las campanas, incidiendo sobre los alféizares de los huecos donde están ubicadas, y de aquí discurre por la fachada llegando hasta la cornisa más alta de la torre (figura 12). En algunos casos, debido a que las campanas sobresalen bastante del interior del campanario, el agua que resbala incide directamente sobre el paramento o incluso sobre la cornisa.

La acción de este agua de escorrentía se traduce en la formación de importantes arenizaciones y pulverizaciones con la consiguiente pérdida de material. Asimismo, dan lugar al desarrollo de costras negras o verdosas que se sitúan, casi siempre, en los alféizares de los huecos del campanario. Este proceso es muy acusado en las fachadas y tramos de cornisa con orientación SE y NE, lo que se debe a la conjunción de factores microclimáticos que se discuten más adelante, y a una textura diferente de la calcarenita en estas zonas (mayor porosidad y tamaño de grano más heterogéneo).

También se advierten pérdidas de material en la fachada NO, debidas principalmente a descamaciones y desplazados, mientras que la fachada SO del campanario es la que, en la actualidad, presenta mejor estado de conservación, debido a una restauración muy reciente en la que el paramento se ha restituido con mortero y piedra artificial.

Otras formas de deterioro que producen el mismo efecto son alveolizaciones, picados, costras y pátinas de distinta composición. Su localización es generalizada, lo mismo que fisuras y grietas, que dan lugar a pérdidas importantes de fragmentos de roca.

Finalmente, hay que destacar por su abundancia y repercusiones estéticas y patológicas los depósitos de excrementos de aves y de suciedad y polvo que se localizan en casi todas las superficies salientes y en casi todos los paramentos, así como la acción de agentes



FIGURA 9. Detalle de la fisuración del tercer cuerpo de la torre bajo el campanario. Fachada sur.



FIGURA 10. Pérdida generalizada de material. Arentzación.



FIGURA 11. Deterioro de una moldura por cristalización de sales. Fachada este.



FIGURA 12. Fracturas con desprendimiento de material en la fachada norte.



ORIENTACION S-SE	ORIENTACION N-NW
Aterizaciones Pulverizaciones Alveolización	Descamaciones Desplacación Fragmentación
LOCALIZACION GENERALIZADA	
Fisuras Grietas Zonas de lavado Pátinas de ensugrecimiento Pátinas biológicas Costras color oscuro Depósitos superficiales (polvo, guano) Pérdidas de material pétreo y de mortero de juntas	Excoherencias Picaduras Pinturas y grafitis

**TABLA IV.** Formas y fenómenos de alteración.

biológicos: líquenes, musgos y plantas superiores principalmente.

En la tabla IV se relacionan las formas de alteración con la orientación geográfica.

### FACTORES AMBIENTALES

El clima urbano de Granada corresponde a un tipo mediterráneo, con estación estival calurosa y seca, invierno relativamente frío y temporadas de lluvia caracterizadas por dos máximos: otoño y primavera (Díaz y Giménez, 1965). Hay que destacar, además, la importante amplitud de la oscilación térmica diaria, que llega a alcanzar, en algunos casos, los 25 °C, lo que produce, junto con el elevado número de días con heladas, treinta anuales de promedio, fenómenos de dilatación y contracción térmica muy acusados.

En relación con el régimen de los vientos es importante señalar que dominan los de componente oeste, durante la primavera y verano, y los de componente este durante el resto del año (Due, 1951). Los vientos portadores de lluvia proceden claramente del sector comprendido entre el oeste y el suroeste, aunque los fenómenos de carácter tormentoso suelen ser de orientación este-sureste.

### CAUSAS DE LA ALTERACION

El mecanismo de alteración que actúa de forma generalizada sobre los materiales pétreos de la torre de la Catedral de Granada lo constituye la circulación de agua, en estado líquido o vapor, por su interior, a través del sistema poroso, con la consiguiente cristalización de sales, procesos de elasticidad (efecto del hielo-deshielo), de hidrólisis, hidratación y fenómenos de oxidación.

En la mayoría de estos procesos se generan tensiones debidas al crecimiento de cristales de mayor volu-

men que el poro que pueden ocupar. Estos cristales (sales, hielo, óxidos e hidróxidos, etc.) provocan esfuerzos de tracción en el interior de dichos poros e incrementan la microfisuración y microporosidad del material pétreo. Dado que cuanto mayor sea el número de poros de pequeño tamaño, mayores serán los efectos disruptivos de la cristalización, y, por tanto, más aceleradamente progresará la alteración (Vos, 1968).

El agua que incide en las piedras de la torre proviene principalmente de la lluvia, atmósfera (vapor de agua) y también de la base, por ascenso capilar desde los cimientos, en el caso del cuerpo inferior, o desde las cornisas, que hacen de barrera en la escorrentía de la fachada, en los otros dos cuerpos arquitectónicos. Este defecto se observa sobre todo en la fachada SE.

Este mecanismo de degradación se ve muy acentuado en el cuerpo superior, ya que el agua procedente de temporales de lluvia de dirección SO-SE es frenada por las campanas, resbalando posteriormente por su superficie y cargándose de compuestos muy agresivos (sales y soluciones de pH ácido) para las calcarenitas en las que finalmente incide.

La acción de estas aguas no sólo provoca una acción física, sino que su infiltración en el interior de la piedra comporta una serie de efectos de carácter químico, entre los que se puede resaltar la oxidación e hidrólisis de los diferentes sulfuros y metales que componen las campanas y que forman, en los bloques calcareníticos de la fachada de la torre, sulfatos, cloruros, óxidos de plomo, zinc y cobre como elementos metálicos más importantes. La circulación de estas aguas, con un pH marcadamente ácido, da lugar a una fuerte decementación y a la disminución de la cohesión intergranular, observándose cómo las pérdidas de material más importantes se producen en los elementos escultóricos y ornamentales que sobresalen de la fachada y están situados en la vertical de las campanas.

En el proceso descrito anteriormente, la presencia de contaminantes atmosféricos también juega un papel importante. Así, el dióxido de carbono acidifica el agua convirtiéndola en agua carbónica con mayor capacidad de disolución de carbonatos, mientras que el dióxido de azufre en presencia de humedad y de otros contaminantes sólidos (elementos metálicos como Cr, Cu, Mn y V), gaseosos (ozono y óxido de nitrógeno), o radiaciones solares ultravioletas, puede sufrir una oxidación catalítica llegando a sintetizarse ácido sulfúrico (Bufalini, 1971), que al atacar a la roca calcárea produce la formación de yeso y otros sulfatos.

Otra causa de alteración, aunque de menor importancia, se debe a la acción biológica de determinadas plantas y animales. Esta acción puede ser mecánica o química. La primera se debe a plantas superiores, aunque tampoco se debe desdeñar su componente química; mientras que esta última acción se debe a bacterias en gran medida.

Por otra parte, y como ya hemos indicado, los ciclos térmicos también influyen en el deterioro, debido a que

las piedras se dilatan con el calor y se contraen al enfriarse, lo que produce cambios dimensionales, tanto mayores cuanto mayor es el volumen del bloque o cuanto más grande sea el intervalo entre temperaturas máxima y mínima.

Finalmente hay que considerar, tal y como se señala más arriba, el efecto de los movimientos sísmicos y del deterioro antrópico que en la parte baja, de fácil acceso, es considerable.

### PROPUESTA DE CORRECCION DE LAS ALTERACIONES

La necesidad de llevar a cabo una intervención en la torre de la Catedral de Granada es indiscutible, dado el avanzado estado de deterioro que presenta en la actualidad, y al hecho de que las causas que lo producen progresan de forma acelerada.

Para que esta restauración (acción de rehabilitación) sea efectiva, será necesario eliminar, en la medida de lo posible, las causas que producen la alteración y llevar a cabo un tratamiento de la piedra alterada.

En relación al primer aspecto es necesario retirar todos los elementos de hierro añadidos en reparaciones anteriores (grapas, clavos, anclajes, etc.), así como los morteros, cementos, canalones que producen efectos muy nocivos al introducir sales y dar lugar a argamasas demasiado compactas.

Otro aspecto a tratar sería la eliminación de la humedad que asciende por capilaridad del suelo o de las cornisas, donde suele acumularse. Corrección de la deficiente evacuación del agua de lluvia, principalmente de la que resbala por la superficie de las campanas. Habría que situar en todas las fachadas «goterones» similares al que actualmente tiene la fachada sur, pero inclinado hacia dentro del campanario y con un dispositivo adecuado para la posterior evacuación del agua.

Sería necesario, igualmente, efectuar un sellado de juntas y uniones de los sillares, ya que al haberse perdido el mortero original, estas zonas son lugares idóneos para canalizar las aguas de escorrentía, originando importantes zonas de lavado en las partes inferiores de cornisas, molduras, fachadas, etc.

En relación con el segundo punto, tratamiento de la piedra ya alterada, debe procederse a la limpieza de las costras, pátinas y acumulaciones superficiales de suciedad, de forma adecuada, evitando actuaciones agresivas

como chorros de agua o arena, aire comprimido, uso de álcalis o ácidos, etc.

Asimismo deben afianzarse los fragmentos originados por fisuras o grietas, mediante cosido con agujas de acero inoxidable y reintegrarse cornisas y otros elementos arquitectónicos funcionales, recomendándose la no utilización, en este proceso, de morteros de cal, ya que son fácilmente atacables por los agentes degradantes.

Otros procesos englobados en el tratamiento de la piedra alterada son la hidrofugación y la consolidación, si bien antes de elegir los productos a emplear se recomienda su estudio previo en el laboratorio.

Por último, sería conveniente llevar a cabo un control periódico del estado de conservación, principalmente en relación al sistema de drenaje de la terraza superior, así como de las canalizaciones del agua procedente de escorrentía de la superficie de las campanas.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. Velilla Sánchez su colaboración en la obtención del material fotográfico.

Este trabajo ha sido financiado por el Grupo de Investigación núm. 4.065 de la Junta de Andalucía. Forma parte, asimismo, de la Acción Integrada Hispano-Italiana núm. 65/1990.

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BUFALINI, M. (1971). «Oxidation of sulfur dioxide in polluted atmospheres». A review. *Current Research*, 5, pp. 685-700.
- DUE, A. (1951). «El régimen de viento en Granada». *Rev. Geofísica*, 10, pp. 235-240.
- ELIAS, F.; GIMENEZ, R. (1965). «Evapotranspiraciones potenciales y balance de agua en España». *Mapa Agroclimático Nacional*, Ministerio de Agricultura, Madrid, 298 pp.
- GÓMEZ-MORENO CALERA, J. M. (1989). «La arquitectura religiosa granadina en la crisis del Renacimiento (1560-1650)». *Universidad de Granada-Diputación Provincial de Granada*, Granada, 486 pp.
- SEBASTIAN, E.; RODRIGUEZ GORDILLO, J.; SORIANO, J.; VELILLA, N. (1990). «Estudio de los materiales, procesos de alteración y propuestas restauradoras en el Patio de la Capilla (Hospital Real de Granada, España)». *Ingeniería Civil*, 73, pp. 117-127.
- VOS, B. H. (1973). «Hygic properties of materials». *Conf. Weathering Stone Brussels*, 1, pp. 50-58.