

Estado de alteración de la piedra de los capiteles del Monasterio de Santo Domingo de Silos

F.J. ALONSO (*)

R.M. ESBERT (*)

J. ORDAZ (*)

RESUMEN Se estudian los principales rasgos del deterioro de los capiteles del Claustro románico del Monasterio de Santo Domingo de Silos (Burgos), que han sido labrados con una dolomía extraída de las inmediaciones de dicha localidad. Se expone una metodología de estudio en la que las formas de deterioro son inventariadas y cartografiadas sobre fotografías de los capiteles. Asimismo se clasifican los capiteles de acuerdo con una escala relativa de grados de deterioro, basada en criterios alterológicos específicos.

STONE ALTERATION STATE OF THE CAPITALS OF SANTO DOMINGO DE SILOS MONASTERY

ABSTRACT The main deterioration features of the Cloister capitals of the Santo Domingo de Silos Monastery (Burgos), carved on a dolomitic rock extracted in the vicinity of that place, are studied. A methodology including the inventory and cartography of the forms of deterioration on photographs of the capitals is shown. Besides, the capitals are classified according to a relative scale with five deterioration degrees, based on specific alterological criteria.

Palabras clave: Alteración; Deterioro; Piedra; Dolomía; Santo Domingo de Silos.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se centra en el estudio del deterioro de los capiteles de la planta baja del Claustro románico del Monasterio de Santo Domingo de Silos (Burgos), de gran valor y significación histórico-artística (Fig. 1). Algunos de dichos capiteles muestran importantes problemas de conservación.

Todos ellos están labrados con una roca dolomítica, del cretácico superior (IGME, 1982), de color gris a ocre claro y aspecto masivo y homogéneo. La piedra fue extraída de canteras situadas en las inmediaciones de la población, al noroeste del Monasterio, en cotas ligeramente superiores a las ruinas del convento de San Francisco, el cual fue edificado también con el mismo tipo de piedra (Mingarro y López de Azcona, 1982).

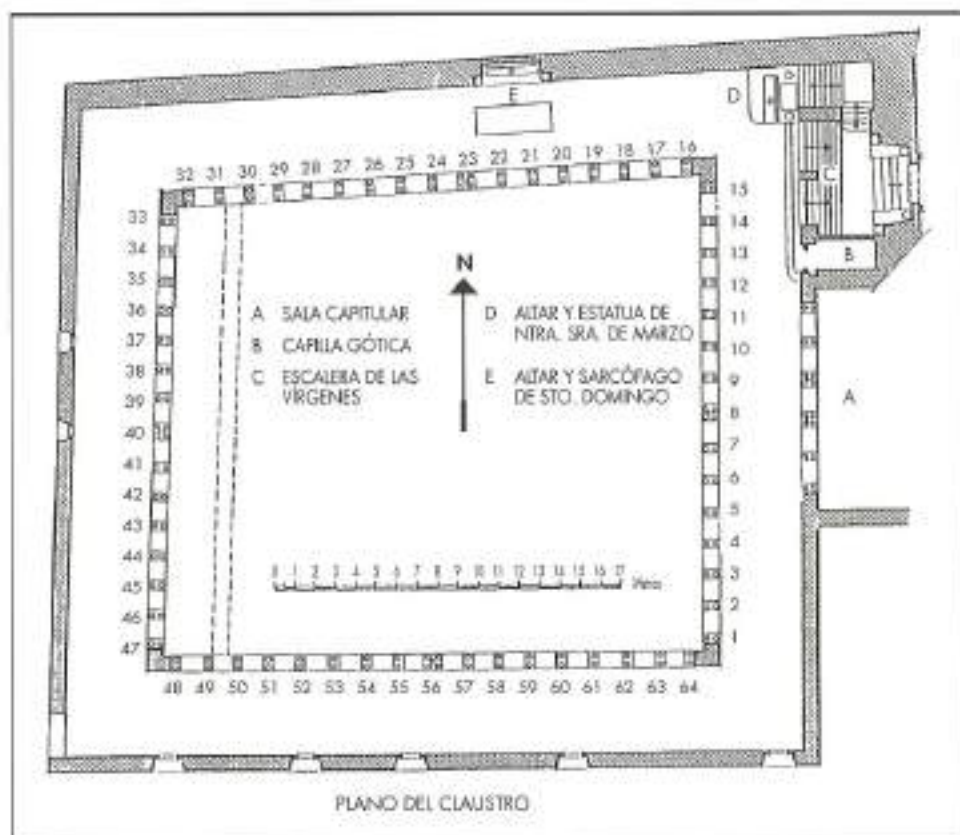
Desde el punto de vista petrográfico la "piedra de Silos" es una dolomía con un 94%-97% de carbonatos (calcita y dolomita) y un 4%-6% de terrígenos (cuarzo y arcillas). La textura es cristalina, granoblástica, de grano fino. Los cristales de dolomita son de tamaño pequeño (alrededor de 20 micras) y relativamente uniforme (Fig. 2), (Esbert et al., 1989).

La piedra presenta abundantes espacios vacíos. Su porosidad total es de un 46%, y la abierta o comunicada del 32%. El radio medio de acceso a los poros, obtenido mediante porosimetría de mercurio, se sitúa entre 1 y 2 micras. El tipo de textura, la porosidad abierta y el tamaño de los poros condicionan básicamente el comportamiento hídrico de la dolomía de Silos; el cual, a su vez, se halla estrechamente relacionado con el deterioro potencial de la piedra.

La determinación experimental de los principales parámetros hídricos permite afirmar que en la dolomía de Silos la absorción de agua, la succión capilar y la desorción o evaporación, se efectúan con gran rapidez. Así, el contenido en agua de la piedra es del 10% al cabo de una hora de inmersión, lo que representa un grado de saturación del 60% y una cinética de absorción de agua muy rápida. La succión de agua por capilaridad es alta, con un coeficiente C de $12 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{-1/2}$. Ambos hechos están relacionados con la elevada porosidad de la roca y el alto grado de comunicación entre los poros.

La pérdida de agua por evaporación es también muy rápida. Partiendo de probetas con un contenido en agua inicial del 17%, el contenido en agua al cabo de cuatro días de ensayo se reduce a un 0,2%. Paralelamente cabe mencionar que la dolomía de Silos muestra una baja capacidad higroscópica. Mantenido en un ambiente saturado en vapor de agua durante 10 días el contenido en humedad alcanzado es

(*) Departamento de Geología (Área de Petrología y Geoquímica), Universidad de Oviedo.



sólo del 0,6%. Hechos éstos relacionados también con el elevado grado de comunicación de los poros.

Las características petrofísicas enumeradas inciden, junto a otros factores intrínsecos y extrínsecos, en la aparición y desarrollo de las diversas formas de alteración observadas en los capiteles. Dichas formas se describen haciendo especial referencia a su localización y distribución en cada uno de los capiteles, con el fin de disponer de un inventario actualizado del deterioro de los mismos. A modo de ejemplo

metodológico, las formas de deterioro registradas son cartografiadas sobre fotografías recientes de algunos de los capiteles. Esta metodología de trabajo sería aconsejable llevarla a cabo antes de iniciar cualquier intervención de conservación en los capiteles.

Asimismo, a la vista de la implantación y desarrollo de las formas de alteración inventariadas, así como a un conjunto de criterios alterológicos específicos preestablecidos, se establece una escala de cinco grados o niveles de deterioro,

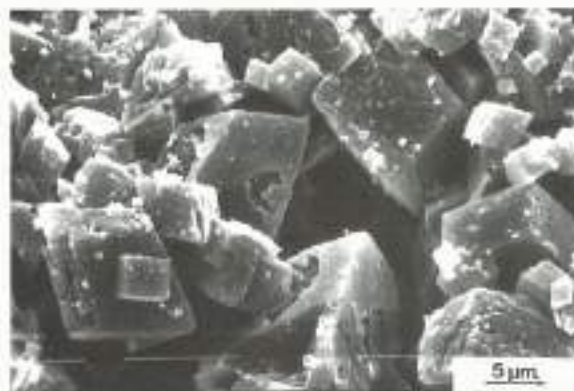
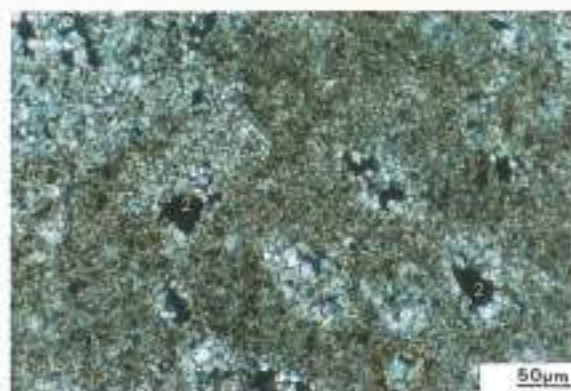


FIGURA 2. Izquierda: Aspecto de la dolomía de Silos al microscopio de polarización. Obsérvense los cristales de dolomita (1) y los espacios vacíos (2). Derecha: Detalle al microscopio de barrido, del grado de idiomorfismo de los cristales de dolomita.



FIGURA 3. Pátina de color negro en la parte interior (izquierda en la imagen) y de decoloración natural en la parte exterior del capitel 3.

asignándose a cada uno de los capiteles el grado de deterioro actual correspondiente.

II. FORMAS DE ALTERACIÓN

Los principales tipos de alteración, presentes en los 64 capiteles, han sido examinados y descritos de acuerdo con la nomenclatura expuesta en Ordaz y Esbert (1988). Las formas de alteración más frecuentemente observadas son las siguientes:

Pátinas. Cambio en el aspecto superficial de la piedra que no implica necesariamente deterioro. Unas pueden considerarse naturales, y son de decoloración o de tinción de óxidos (ocre-amarillentas) (Fig. 3); otras son artificiales y parecen deberse a antiguos restos de policromía. En este último grupo se distinguen claramente dos tipos de pátinas cromáticas: una de color negro y otra de tonos rojizos o bermezones.

Incrustaciones. Se presentan como un fino depósito o capa de recubrimiento natural, de color grisáceo (Fig. 4). Están constituidas por material carbonatado, removilizado y reprecipitado superficialmente, de mayor consistencia o compacidad que el sustrato sobre el que se forman y al que se adhieren.

Picaduras. Pequeños orificios o cavidades de carácter puntiforme (unos pocos milímetros), generadas por pérdida (saltación) de material, que confieren a la piedra un aspecto típico de "picoteado" (Fig. 5). Se hallan a menudo asociadas a ampollas y descamaciones.

Escamas. Láminas o plaquitas de poco espesor (alrededor de un milímetro), que tienden a desprenderse paralelamente a la superficie de la piedra (descamación) (Fig. 6).

Ampollas. Pequeños núcleos de forma circular (generalmente inferiores a un centímetro de diámetro) formados por escamas abombadas que tienden a levantarse del sustrato y a eclosionar, dejando a la vista el material subyacente, más o menos alterado (Fig. 7).

Pulverización. Descohesión o desagregación, con desprendimiento y caída de material de tamaño pulverulento (Fig. 8).

Erosión. Pérdida de material ocasionada, en este tipo de litología, fundamentalmente por disolución de carbonatos, que rebaja y desfigura el relieve original del capitel (Fig. 9).



FIGURA 4. Incrustaciones superficiales en el capitel 6.



FIGURA 5. Picaduras, de aspecto puntiforme, en el capitel 11.



FIGURA 6. Escamas desarrolladas en el capitel 51.

Fisuras. Discontinuidades de diversos tamaños, desde microfisuras a grietas. La mayoría parecen deberse a tensiones mecánicas, provocadas por distribuciones de cargas anómalas; aunque no se descartan otras causas (tensiones de origen térmico). Afectan tanto a cimacios como a capiteles (Fig. 10).

Las formas de alteración que pueden considerarse más agresivas o de mayor incidencia en los procesos de degradación de las piedras de estos capiteles, son: picaduras, ampollas, escamas, pulverizaciones y erosiones. No se han detectado, sin embargo, costras bien desarrolladas, tan sólo

indicios en algunos de los capiteles. Habría que citar, asimismo, el biodeterioro debido, principalmente, a la acción de bacterias y líquenes, así como las descinchaduras y lesiones de origen antrópico.

En la Tabla I se relacionan los capiteles en los que las formas de alteración citadas tienen mayor implantación.

En las figuras 10 y 11, se muestran dos capiteles en los que se han marcado las principales formas de alteración presentes así como la cartografía de las mismas. Esta "cartografía alterológica" tiene interés, desde el punto de vista metodológico, dado que registra la localización precisa de dichas



FIGURA 7. Ampollas de diversos tamaños en el capitel 63.

FORMAS DE ALTERACIÓN	CAPITELES
Pátinas y/o incrustaciones	Todos, excepto el 55 (rotado); 56; 60 (sustituido).
Picaduras y/o ampollas	Del 2 al 15; 19 al 32; 34 al 38; 40 al 54; 57 al 59; 61 al 64.
Fisuras o grietas	12; 13; 30; 34; 55.
Escamas y/o pulverización	Del 8 al 15; 17; 18; 21; 23; 26; 40 al 59; 61 al 64.
Erosión	1; 2; 6 al 10; 12 al 19; 22; 23; 25 al 27; 30; 38; 40 al 59; 61 al 64.

TABLA I. Principales formas de alteración presentes en los capiteles del Claustro de Santo Domingo de Silos.

formas en el capitel, y facilita el estudio previo y la selección del tratamiento específico que se requiera en cada caso.

III. GRADO DE DETERIORO

Con el fin de valorar el nivel de deterioro de las piedras de los capiteles del Claustro, se ha establecido una escala relativa que trata de clasificar dicho nivel desde un punto de vista cuantitativo, de acuerdo con sus formas de alteración más frecuentes o significativas. La escala que se muestra en la Tabla II abarca cinco niveles o grados, de menor a mayor deterioro, correspondiendo el grado 1 a capiteles considerados como no deteriorados o "saneos", y el 5 a los considerados como extremadamente deteriorados o "ruinosos".

Cada grado viene caracterizado por una serie de daños observables a simple vista, de carácter eminentemente químico y físico, seleccionados de entre los observados en el conjunto de los capiteles. Las combinaciones de estas formas de alteración son indicativas del avance en el estado de deterioro de los mismos, sin que esto suponga una única secuencia de degradación.

No todas las formas de alteración que definen cada grado tienen necesariamente que aparecer en un mismo capitel para que a éste se le asigne un grado determinado; basta



FIGURA 8. Pulverización con un grado de erosión importante en capitel 18.



FIGURA 9. Erosión generalizada en el capitel 56.

GRADO	DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN
1	No deteriorado ["sano"]	Sin signos aparentes de deterioro; o con ligera decoloración o pátinas no destructivas.
2	Ligeramente deteriorado	Indicios de picaduras y/o ampollas. Indicios de descomposiciones. Erosión parcial (hasta un 25% de la superficie del capitel). Incrustaciones. Pátinas.
3	Mediamente deteriorado	Picaduras y/o ampollas irregularmente diseminadas por la superficie del capitel. Erosión parcial (hasta un 50%). Incrustaciones. Pátinas.
4	Abundantemente deteriorado	Picaduras y/o ampollas repartidas por todo el capitel, o muy desarrolladas y localizadas. Erosión parcial (hasta un 75%). Escamas y/o pulverización.
5	Extremadamente deteriorado ["ruinoso"]	Picaduras y/o ampollas repartidas por todo el capitel. Erosión generalizada. Fisuras o grietas. Escamas y/o pulverización avanzada. Indicios de costras.

TABLA II. Escala de grados de deterioro de los capiteles.

GRADO DE DETERIORO	CAPITELES
1	33, 39.
2	1, 28, 29*, 30*, 34, 35, 36*, 37, 38, 41.
3	3, 4, 5, 6, 11, 20, 22*, 23*, 24, 27, 31, 32, 42, 43, 44, 45, 48, 50, 52.
4	2, 7, 8, 9, 10, 12*, 13*, 14, 15, 16, 19, 21, 25, 26, 40, 46, 47, 49, 51, 53, 54, 58, 61, 62, 63, 64.
5	17, 18, 55, 56, 57, 59.

Observaciones: Los capiteles señalados con un asterisco (*) se sitúan, de hecho, en un grado intermedio entre el grado asignado y el inmediato superior; los capiteles señalados con el signo (#) se sitúan en un grado intermedio entre el asignado y el inmediato inferior. El capitel número 60 no se ha incluido en la tabla, por ser de sustitución.

TABLA III. Grado de deterioro de los capiteles.

con que aparezca una o varias de ellas. En principio, se asigna el grado correspondiente a la forma de mayor implantación y/o nivel que aparezca en el capitel. No obstante, en algunos casos la clasificación puede no resultar fácil, pudiéndose apuntar en este caso las matizaciones oportunas, o asignar grados intermedios.

Así, por ejemplo, las figuras 12 y 13 corresponden a dos capiteles con grados de deterioro 1 y 2, respectivamente; pudiéndose estimar de grado 3, 4 y 5 los capiteles de las figuras 5, 6 y 9. La presencia de otras lesiones o daños (p. ej. erosión antrópica, biodeterioro, etc.), no expresamente incluidos en la clasificación, debe valorarse en cada caso en función de su incidencia real en el proceso de degradación del capitel en cuestión.

En la Tabla III se relacionan los grados de deterioro asignados a cada uno de los capiteles, de acuerdo con los planteamientos establecidos en la Tabla II.

De acuerdo con dichos datos, puede decirse que aproximadamente el 70% de los capiteles presentan algún pro-

blema de conservación, por estar mediana o altamente deteriorados (grados 3 y 4). Seis de ellos se encontrarían en un estado extremadamente deteriorado (grado 5), por lo que deberían requerir una especial atención.

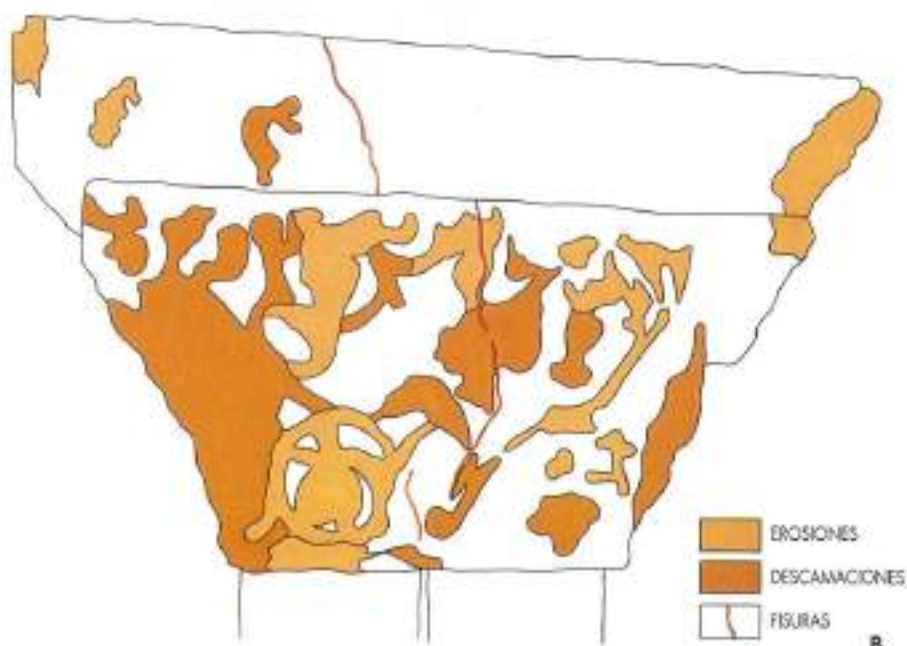
El grado de deterioro de los capiteles no parece guardar, en principio, una relación directa con su orientación o ubicación en el Claustro (Tabla IV). Capiteles mejor o peor conservados se encuentran en las cuatro galerías. En líneas generales puede apuntarse que los de las galerías Sur y Este son los que peor estado de conservación muestran (81% y

60% de grados 4 y 5, respectivamente); mientras que los mejor conservados se sitúan en la galería Oeste (53% de grados 1 y 2). En cuanto a la galería Este, el 93% de sus capiteles pertenecen a los grados 3 y 4.

Desde el punto de vista de la evolución en el tiempo de los fenómenos de degradación, y en función del examen comparativo llevado a cabo a partir de fotografías de los capiteles realizadas en los años treinta (Archivo Gómez Moreno), puede decirse que no se aprecian, en líneas generales, grandes diferencias en el estado de conservación de los mismos.



A



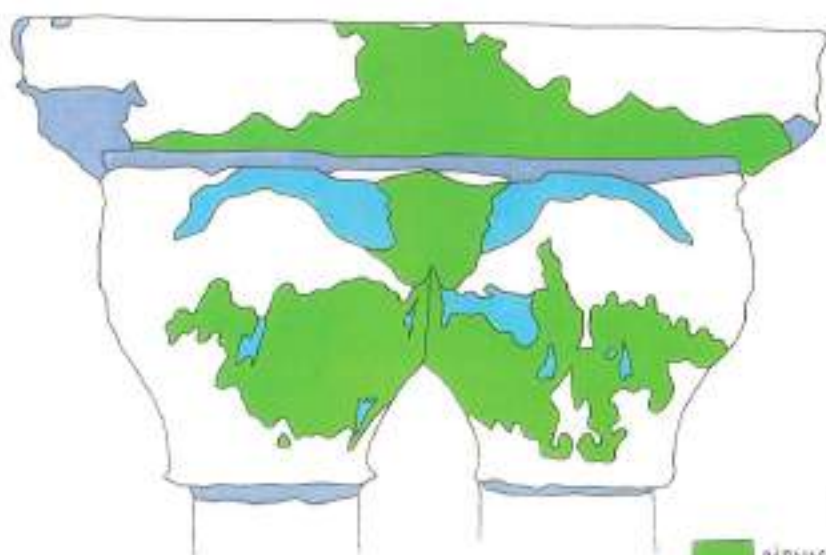
B

FIGURA 10. Cartografía alterológica del capitel 57. A) Aspecto del estado actual. B) Distribución de las principales formas de alteración presentes en el capitel.

EROSIONES
DESCAMACIONES
FISURAS



A



B

- PÁNNOS
- MATERIAL DE REPOSICIÓN O MORTERO
- DESCAMACIONES Y/O PICADURAS

FIGURA 11. Cartografía alterológica del capitel 8. A) Aspecto del estado actual. B) Distribución de las principales formas de alteración presentes en el capitel.

No obstante, en algunos capiteles se observa en la actualidad un ligero aumento de las áreas erosionadas o descamadas (Fig. 14).

Esto induce a pensar que el deterioro de la piedra de los capiteles comenzó, de hecho, en épocas anteriores, y que el proceso degradatorio no se ha visto acelerado, de forma significativa y global, en los últimos años; a excepción, tal vez, de aquellos capiteles en los que ya se habían alcanzado elevados niveles de deterioro.

De la observación y cotejo de las formas de alteración puede decirse que, en la mayor parte de los capiteles, los procesos de degradación posiblemente se hayan detenido o ralentizado hace tiempo, lo que hace pensar que han cesado o se han modificado las causas extrínsecas que los motivaron.

En este sentido, es preciso resaltar que los distintos grados de deterioro actuales evidenciados por los capiteles responden a su específica evolución en el tiempo dentro del

GRADO DE DETERIORO	Nº CAP. GALERÍA E	Nº CAP. GALERÍA N	Nº CAP. GALERÍA O	Nº CAP. GALERÍA S
1	0	0	2	0
2	1	3	6	0
3	5	7	4	3
4	9	5	3	9
5	0	2	0	4

TABLA IV. Grado de deterioro según orientación.

Claustro (exposición a determinados agentes de alteración, proximidad a zonas especialmente húmedas, efectos de patinaciones antiguas y reparaciones, etc...), dado que no se han observado diferencias notables de carácter petrográfico en el material rocoso.

IV. AGRADECIMIENTOS

A la Dirección General de Bellas Artes (Ministerio de Cultura) por la financiación del estudio "Caracterización petrofísica y alterología del material pétreo de los capiteles", dentro del Proyecto conjunto "Conservación del Claustro Románico del Monasterio de Santo Domingo de Silos" (1987-89).

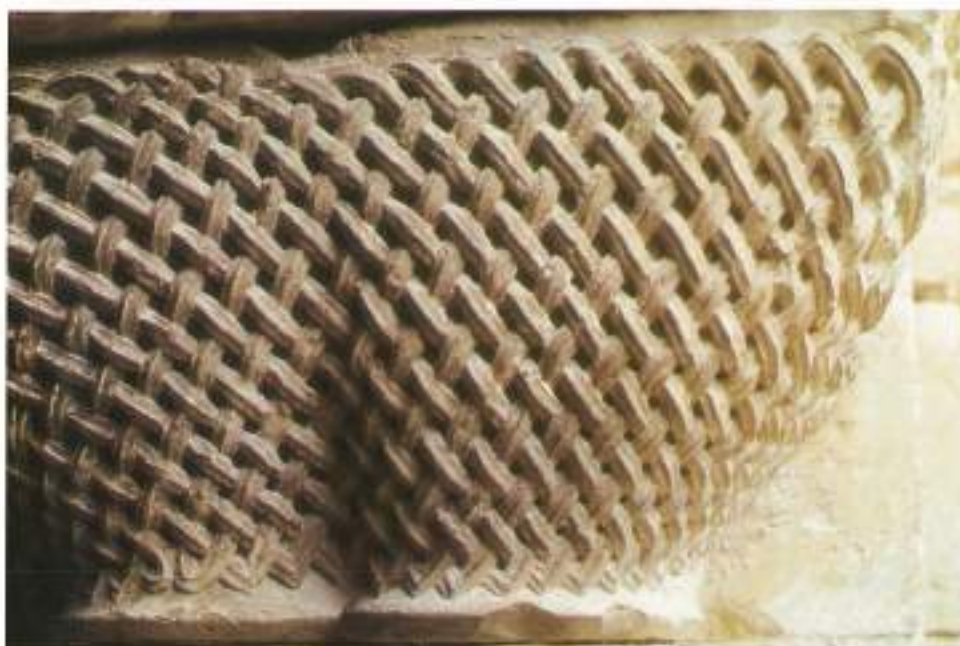


FIGURA 12. Ejemplo de grado de deterioro 1 (capitel 33).



FIGURA 13. Ejemplo de grado de deterioro 2 (capitel 36).



FIGURA 14. Aspecto del capitel 57, según cliché del Archivo Moreno (A) y en la actualidad (B). Las formas de alteración más importantes son ya manifiestas en la foto A; no obstante puede observarse un ligero aumento de la erosión en algunas partes localizadas (p. ej. en el rostro de la figura central).

A la CICYT, por la financiación de diversos proyectos de investigación sobre el tema, en especial el último PAT 91-1093-C03-01.

A la comunidad benedictina del Monasterio de Santo Domingo de Silos, por la colaboración y facilidades prestadas.

V. REFERENCIAS

ESBERT, R.M., ORDAZ, J., ALONSO, F.J., MONTOTO, M., SUÁREZ DEL RÍO, L.M., GÓMEZ RUIZ DE ARGANDOÑA, V., CALLEJA, L. y RODRÍGUEZ REY, A. (1989). Caracterización petrofísica y alterológica de los capiteles del Claustro

del Monasterio de Santo Domingo de Silos. (Inédito), Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, 84 p.

IGME (1982). Mapa Geológico de España, Escala 1:50.000, Hoja nº 315 (Santo Domingo de Silos). Servicio de Publicaciones, Ministerio de Industria, Madrid.

MINGARRO, F. y LÓPEZ DE AZCONA, M.C. (1982). El Claustro de Santo Domingo de Silos. *Revista de Arqueología*, 20, pp. 42-47.

ORDAZ, J. y ESBERT, R.M. (1988). Glosario de términos relacionados con el deterioro de las piedras de construcción. *Materiales de Construcción*, 209, pp. 39-45.

CURSOS INTERNACIONALES

XIII CURSO INTERNACIONAL DE MECÁNICA DEL SUELO E INGENIERÍA DE CIMENTACIONES

Fecha: 12 de enero al 28 de abril de 1995.

Lugar: Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas del CEDEX.

Contenido básico:

A. CURSO BÁSICO

1. Propiedades de los suelos.
2. Ensayos de laboratorio.
3. Mecánica de rocas.
4. Distribución de tensiones y deformaciones en el terreno.
5. Muros y estructuras de contención.
6. Taludes.
7. Cimentaciones superficiales.
8. Cimentaciones sobre terrenos expansivos y colapsables.
9. Cimentaciones profundas.
10. Filtraciones y rebajamiento.
11. Tablestacados y pantallas continuas de hormigón.
12. Patología de cimentaciones y recalcos.
13. Geotecnia vial.
14. Presas de materiales sueltos.
15. Refuerzo y mejora del terreno.
16. Cartografía geotécnica.
17. Cimentaciones bajo acciones dinámicas.
18. Instrumentación y auscultación.
19. Técnicas modernas de reconocimiento.
20. Geotecnología Ambiental.

B. CURSOS DE ESPECIALIDAD

A lo largo del curso general se celebrarán dos cursos monográficos, de duración máxima de una semana, abiertos a postgraduados que no participen en el Curso Básico, sobre temas geotécnicos de actualidad que serán anunciados oportunamente.

MÁSTER EN HIDROLOGÍA GENERAL Y APLICADA

Fecha: 16 de enero al 16 de junio de 1995.

Lugar: Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas del CEDEX.

Contenido básico: **Hidrología superficial:** estudio del medio físico. Meteorología y Climatología. Precipitación. Evapotranspiración. Procesos de Generación de la Escorrentía. Hidrometría. Análisis y tratamiento de datos hidrológicos. Modelos precipitación-aporación. Crecidas. Sequías. Regulación. **Estadística, Informática y modelos matemáticos:** Información básica. Bases de datos hidrológicos. Sistemas de Información Geográfica. Teoría de la modelación numérica en hidrología. Estadística básica. Series temporales y modelos estocásticos. **Hidrología subterránea:** Introducción a las aguas subterráneas. Estudio hidrogeológico del terreno. Hidráulica de las aguas subterráneas. Las aguas subterráneas como recurso. **Calidad de las aguas y medio am-**

biente: Características físico-químicas y biológicas de las aguas. Calidad de las aguas superficiales. Calidad de las aguas subterráneas. La erosión hídrica y la sedimentología. Impacto ambiental. **Hidráulica fluvial:** Conceptos básicos hidráulicos. Modelos hidráulicos e hidrológicos de flujo. Flujo bifásico. Modelos reducidos. **Planificación y explotación de recursos hidráulicos:** Fundamentos de la planificación. Demandas de regadío, abastecimiento e hidroeléctrica. Tipología de las infraestructuras hidráulicas básicas. Métodos de análisis de sistemas. Aspectos económicos. **Prácticas de campo y laboratorio. Viajes de prácticas.**

MÁSTER EN INGENIERÍA DE REGADÍOS

Fecha: 16 de enero al 16 de junio de 1995.

Lugar: Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas del CEDEX.

Contenido básico: El contenido temático del Máster corresponde a la revisión de los principios básicos y a la exposición de los criterios de diseño y construcción, y de las técnicas de planificación y de gestión de las obras de infraestructura y equipamiento de riego, en especial de las de carácter público.

A estos efectos está estructurado en los siguientes módulos:

1. **Información básica** (cartografía, hidrología aplicada, edafología y agronomía).
2. **Sistemas de riego por gravedad** (métodos y conducciones).
3. **Sistemas de riego por aspersión** (tuberías, bombas, instalaciones eléctricas, riego por aspersión convencional, sistemas mecanizados y redes colectivas).
4. **Drenaje** (drenaje parcelario y de zonas regables).
5. **Riego localizado** (variaciones, criterios de diseño, elementos).
6. **Formulación evaluación de planes de regadío.**
7. **Los regadíos en la planificación hidrológica.**
8. **Explotación de regadíos** (control y operación de sistemas, tarifas y programación de riegos).
9. **Modernización de regadíos.**
10. **Regadíos y medio ambiente** (evaluación de impactos, medidas correctoras, normativa).

INFORMACION

CEDEX

Gabinete de Formación y Documentación

c/ Alfonso XII, 3 • Teléfono: 335 73 07
Fax: 335 73 14 • Télex: 45022 CEDEX E
28014 Madrid

HAY CARRETERAS DONDE NI SIQUIERA MODIFAL PODRIA EVITAR EL AQUA-PLANNING.



PERO HAY OTRAS MUCHAS DONDE SI PODRIA. DONDE REDUCIRIA EL NIVEL DE RUIDOS (HASTA 3 DECIBELIOS), DONDE DISMINUIRIA LA FORMACION DE RODERAS Y FISURAS, Y RETRASARIA EL ENVEJECIMIENTO DEL FIRME AUN EN LAS CONDICIONES CLIMATOLOGICAS MAS EXTREMAS. REPSOL PRESENTA MODIFAL. EL PRIMER BETUN MODIFICADO EN EL QUE LA DISPERSION DE LOS POLIMEROS EN EL SENO DE LOS BETUNES ES PERFECTA Y HOMOGENEA. ESTA HOMOGENEIDAD ES LA QUE PERMITE A MODIFAL CONSERVAR INTACTAS SUS PROPIEDADES AUN EN PERIODOS PROLONGADOS DE ALMACENAMIENTO. ALGUNAS VECES HAY QUE CAMBIAR ALGO PARA QUE TODO SIGA IGUAL. NOSOTROS HEMOS MODIFICADO NUESTROS BETUNES PARA SEGUIR SIENDO LIDERES EN ASFALTOS.



REPSOL PRODUCTOS ASFALTICOS, S. A.