



Indicadores de alteración de los materiales pétreos

Propuesta de una terminología

Manuel Alcalde Moreno

*Dpto. Ingeniería Química y Ambiental
Universidad de Sevilla*

Antonio Martín Pérez

*Dpto. Química y Edafología
Universidad de Navarra*

Para poder establecer la durabilidad de la piedra en un monumento es necesario su caracterización en función de ciertas propiedades, que sirven como **indicadores de alteración**, y del intervalo y tipo de los **factores de alteración**, que son aquellos parámetros capaces de inducir cambios en las citadas propiedades, a través de determinados **mecanismos de alteración**.

Dicha evaluación puede consistir en la apreciación cualitativa o semicuantitativa de ciertos cambios observables, a veces a simple vista, en diversas propiedades, como puede ser la aparición de eflorescencias, la formación de ampollas, cromatizaciones, etc. Se trata de una estimación subjetiva que, sin embargo, puede orientar sobre el "grado" de alteración.

La alteración de las piedras de los monumentos concierne a muchos especialistas: petrógrafo-mineralogis-

tas, químicos, físicos, biólogos, arquitectos, ingenieros, restauradores, etc. Todos estos especialistas tienen sus propias ideas acerca de la alteración de la piedra y su preservación, e incluso podría decirse que cada científico ha desarrollado su propia terminología. Esto ha introducido una gran confusión que dificulta el entendimiento entre las personas y disciplinas implicadas en la conservación de obras monumentales de piedra. En la bibliografía aparecen muchos términos con gran cantidad de ambigüedades, confusiones y generalizaciones, lo que hacía necesaria una sistematización y definición de los mismos que permitiese el uso de un mismo lenguaje. Aquí se propone una terminología descriptiva, ordenada en grupos de morfología similar, que puede ayudar a su definitiva normalización, una vez discutida y aceptada por los diferentes expertos interesados en la conservación de monumentos. Además de los términos en castellano, se incluyen las traducciones al inglés, italiano y francés.

TÉRMINOS GENÉRICOS

Se utilizan términos genéricos para designar modificaciones o cambios en el estado de la piedra que, generalmente, implican una reducción o pérdida de aquellas características inherentes a la piedra recién extraída de la cantera, como consecuencia de su empleo en la construcción de obras arquitectónicas y escultóricas, y que lleva a un peor desempeño de las funciones que en las mismas tiene encomendadas.

El término más general, **alteración**, **deterioro** o **deterioración**, recibe otras denominaciones en función del grado progresivo de inhabilitación, **degradación** y **ruina**, y de que los agentes implicados en los mecanismos de alteración sean atmosféricos, **alteración atmosférica** y **meteorización**, antropogénicos, **alteración antropogénica**, o biológicos, **bioalteración**. La alteración, por otra parte, puede afectar a toda una pared o a un elemento arquitectónico completo, **alteración de conjuntos**. Otros términos menos genéricos propuestos en la bibliografía son **corrosión**, **descomposición** y **decohesión**, que atienden específicamente a las consecuencias que se producen por la actuación de ciertos tipos de mecanismos más determinados.

Alteración (alteration; alterazione; altération)

Indica una modificación o cambio en el estado normal de la piedra, que no implica necesariamente una reducción, debilitamiento o empeoramiento de aquellas propiedades relacionadas con las funciones encomendadas a la misma. Es el término que suele utilizarse de modo más general.

Los términos **deterioración** o **deterioro** pueden considerarse sinónimos de **alteración**.

Alteración diferencial (differential alteration; alterazione differenziale; altération différentiel)

Se produce como consecuencia de heterogeneidad en la composición o en la estructura de la piedra.

Degradación (degradation; degradazione; dégradation)

Modificación o cambio en el estado normal de la piedra, que implica siempre una reducción, debilita-

ción o empeoramiento de aquellas propiedades relacionadas con las funciones encomendadas a la misma. Se trata, pues, de una alteración grave.

Ruina (ruin; ruina, sfacimento; ruine, délabrement)

Degradación muy grave que supone la inutilización del elemento para las funciones encomendadas al mismo.

Alteración antropogénica (antropogenic alteration; alterazione antropogenica; altération antropogénique)

Alteración debida a procesos de diversa naturaleza que implican necesariamente la intervención del hombre. Las modificaciones de las características de la piedra pueden ser importantes, pudiendo requerirse, por ello, el empleo de los términos degradación y ruina antropogénica.

Alteración atmosférica (weathering; alterazione atmosferica; altération atmosphérique)

Alteración natural de la piedra debida a procesos químicos o mecánicos en los que intervienen los agentes de la atmósfera. A través de la alteración atmosférica se modifican más o menos profundamente las características de las rocas, pudiendo llegar éstas a degradarse y finalmente a desmoronarse. Incluye, pues, los conceptos de degradación y ruina atmosférica.

Meteorización (meteorisation; meteorizzazione; météorisation)

Es un término que normalmente se utiliza como sinónimo de alteración atmosférica, aunque para otros autores sólo corresponde "en cierta medida" a dicho término y debe utilizarse en los casos en que no se produce un desplazamiento notable de materia.

Alteración de conjuntos de piedra (alteration of stone assemblages; alteraciones da congiungimenti di pietra; altération des assemblages de pierre)

La alteración se presenta a una escala que excede a la piedra misma, sobre paredes o elementos arquitectónicos. Así, la decohesión de conjuntos de piedra es una manifestación habitual de este tipo de alteración que se observa con frecuencia sobre paredes no protegidas por un techo, por ejemplo, en torres.

Corrosión (corrosion; corrosione; corrosión)

Alteración *química* que implica un cambio o modificación sustancial en la naturaleza química de la piedra, como consecuencia de un proceso químico.

Descomposición (decomposition; decomposizione; décomposition).

Alteración fisicoquímica superficial en la que los constituyentes originarios se han transformado en nuevos componentes mejor adaptados a las condiciones de superficie.

Decohesión (decohesion; decoesione; décohesion)

Alteración que se manifiesta en una disminución de la unión y de la adhesión entre los componentes estructurales de la piedra, con un debilitamiento de sus características mecánicas originales. Generalmente se produce un agrandamiento de los poros y microfisuración, sin que la piedra cambie de forma.

INDICADORES VISUALES DE ALTERACIÓN

Se han clasificado en cuatro apartados:

1. Modificadores superficiales
2. Eliminación de materia
3. Deformaciones
4. Rupturas y Disyunciones

Modificaciones superficiales

Se trata de una serie de manifestaciones superficiales de alteración que afectan, esencialmente, al aspecto exterior de la piedra, sin provocar generalmente modificaciones importantes del material subyacente. Son esencialmente de tres tipos: variaciones cromáticas (cromatización, moteado y pátina), costras y depósitos (depósitos superficiales, concreciones y depósitos de sales).

Cromatización (Chromatic alteration; alterazione cromatica; altération chromatique)

Alteración que se manifiesta a través de una variación de color o del lustre de la piedra.

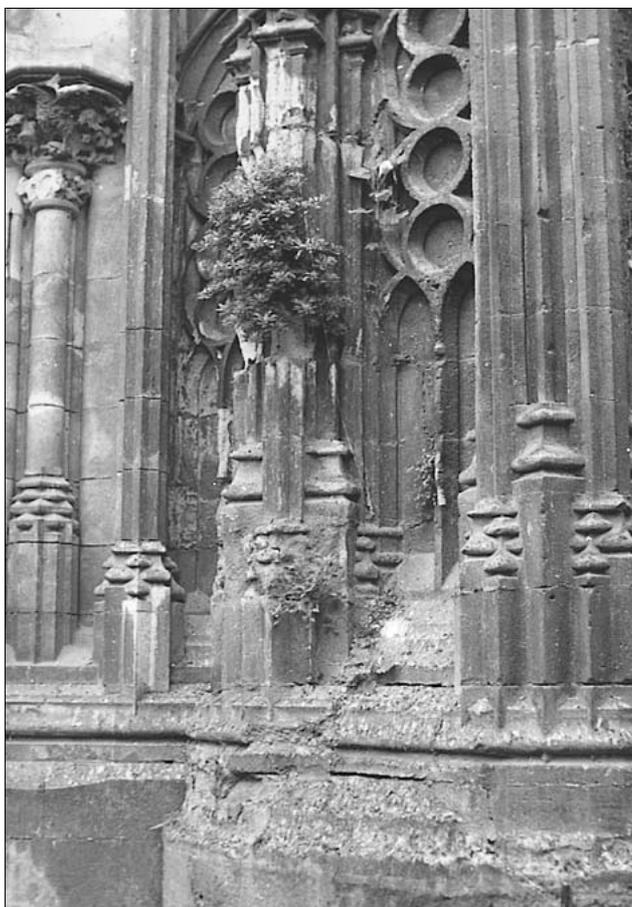
Moteado (spotting; spotting, macchie; moucheté)

Alteración consistente en la presencia de pequeñas áreas, fundamentalmente de origen biológico, pigmentadas de manera diferente.

Pátina (patina; patina; patine)

La pátina representa el estado envejecido de un ma-

I. Modificaciones superficiales.
Depósito biológico



terial y participa a la vez de la alteración cromática y de una modificación superficial más significativa. En el caso de que esta misma alteración se produzca por medios artificiales se llama **patinatura**.

Costra (crust; costra; croute)

Esta alteración se manifiesta por la formación en la piedra de una cubierta o corteza exterior endurecida, fruto de la transformación superficial del propio material, visiblemente distinguible de la parte que está debajo por sus características morfológicas y, especialmente, por su color. También la naturaleza química y mineralógica, así como sus características físicas, pueden ser total o parcialmente diferentes.

Depósito superficial (surface deposit; deposito superficiale; dépôt superficiel)

Alteración que se manifiesta en forma de una acumulación de material extraño de diversa naturaleza (polvo, mantillo, guano de palomino, etc). Tiene espesor variable, generalmente con escasa coherencia y adherencia al material que está debajo.

Concreción (concretion; concrezione; concrétion)

Alteración que implica la presencia en la superficie de la piedra de una masa más o menos compacta, dura y adherente, formada por depósito o desecación. Cuando dicho depósito aparece como embutido en la superficie recibe el nombre de **incrustación** (incrustation; incrostazione; incrustation).

Eflorescencias (efflorescence; efflorescenza, efflorescence)

Alteración en forma de depósito cristalino, blanco, poco coherente, de sales solubles, originado por migración y evaporación de soluciones.

Subflorescencias (subflorescence; subflorescenza; subflorescence)

Las sales que se mueven hacia la superficie de la piedra cristalizan inmediatamente debajo de la superficie original de la misma, la cual queda como una delgada y endurecida costra de material alterado.

Criptoflorescencias (criptoflorescence; criptoflorescenza; criptoflorescence)

Es el resultado de la cristalización de sales en el interior de la piedra, en materiales pétreos con grandes poros.

Eliminación o pérdida de materia

Bajo este epígrafe se incluyen todos aquellos indicadores de alteración que suponen eliminación de materia por parte de la piedra, estructurados en dos apartados, según ésta se dé con formación o no de huecos.

La pérdida de materia, tanto con formación de huecos como sin formación de los mismos, puede ser consecuencia de acciones mecánicas o de acciones fisicoquímicas; éstas, en el segundo de los casos, sin formación de huecos, se manifiestan en forma de una pérdida de cohesión intergranular. En casos extremos de formación de huecos (cancerización) pueden actuar simultáneamente factores de diversa naturaleza.

Con forma de huecos:**Acciones mecánicas externas**

La separación o eliminación de materia de la superficie de la piedra por una acción mecánica externa puede manifestarse mediante la formación de rayas, excoriaciones, rozaduras, acanaladuras, estrías, etc.

Las dos manifestaciones más importantes de estas acciones mecánicas externas son: la **excoriación** y el **estriado**.

Excoriación (excoriation; scoriation; écorchure)

Alteración que implica una eliminación de materia de la capa más superficial o piel de la piedra por acción mecánica externa, generalmente por frotamiento (violento) y que se manifiesta en forma de desolladuras o rasguños.

Estriado (striation; striato; striure, pelade)

Alteración con eliminación de materia que se manifiesta por la formación de surcos horizontales o inclinados (estrías) en las zonas de menor adherencia del cemento natural. Las estrías pueden ser ligeras y superficiales o profundas, y más o menos paralelas. Esta forma de alteración se observa en paramentos sometidos a una fuerte acción eólica o a fuerte humedad interna. Pueden utilizarse dos acepciones:

Acanalación, para surcos grandes y estrías vermiculares

Vermiculación, para surcos contorneados y sinuosos, similares a las trazas que dejan los gusanos.

Acciones fisicoquímicas

Los huecos resultantes de acciones fisicoquímicas pueden ser de tamaño más o menos grande (cavernas) o de dimensiones más modestas (alveolos, vacuolas, picaduras).

Entre estos indicadores de alteración los más característicos son:

Formación de cavernas (crater formations; crateri di corrosioni; cratére formation)

Alteración que se manifiesta por la formación de concavidades profundas, como resultados de eliminación de materia.

Alveolización (alveolar erosion; alveolizzazione; alvéolisation)

Alteración con eliminación de materia que suele manifestarse en materiales de alta porosidad con la formación de pequeñas cavidades o depresiones, semejante a las celdillas de las abejas, generalmente profundas e interconectadas, cuyas paredes están cubiertas del mismo material, de eflorescencias y/o de colonias de microorganismos.

Picado (pitting; pizzicato; piqués)

Alteración puntiforme con eliminación de materia que se manifiesta a través de la formación de pequeñas cavidades o picaduras, más localizadas que en la alveolización y no interconectadas.

Excavación (excavation; scavazione: excavation)

Alteración con eliminación de materia que da lugar

a la formación de grandes depresiones, como resultado de una remoción localizada de materia por acción de chorreo de agua.

Varias actuaciones simultáneas

La actuación de varios factores de alteración simultáneamente sobre la piedra pueden dar lugar a un estado muy generalizado de degradación, que ha sido llamado **chancre** por Henau.

Cancerización (chancre; chancro; chancre)

Estado muy generalizado de degradación con eliminación de materia de la superficie de la piedra.

El cáncer de sulfatación, por ejemplo, que se produce en la superficie de las piedras calizas por acción del SO₂ en atmósferas contaminadas es, en efecto, una forma global de manifestación grave de su proceso de sulfatación.

Sin formación de huecos:

Eliminación de materia sin que tenga lugar, al menos de forma significativa, la formación de huecos; puede tener su origen en *acciones mecánicas*, generalmente promovidas por agentes atmosféricos, y en *acciones fisicoquímicas*, que normalmente se traducen en una pérdida de cohesión intergranular.

Acciones mecánicas

La remoción gradual de materia por un proceso esencialmente de tipo mecánico, aunque no puede descartarse la acción química, puede dar lugar a una reducción del relieve o redondeamiento de formas en las manifestaciones denominadas erosión y corrosión.

Erosión (erosion; erosione; érosion)

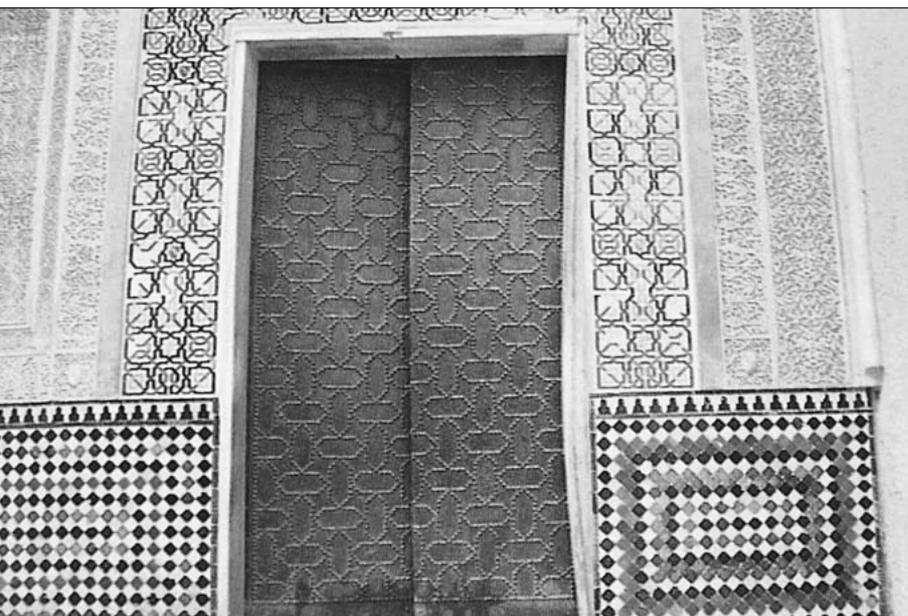
Alteración atmosférica que produce remoción y transporte de materiales, debida a procesos tanto físicos como químicos, con la consiguiente reducción del relieve.

Corrosión (corrasion; corrasione; corrasion)

Erosión que implica eliminación de materia como resultado de la acción mecánica de partículas sólidas transportadas por el viento y que se manifiesta en un redondeamiento de las formas.

2. Pérdida de materia.
Alveolización





3. Deformaciones. Combamiento

Pérdida de cohesión intergranular (Ver decohesión)

Cuando la eliminación de materia en la piedra es consecuencia de una pérdida de cohesión intergranular; por microfisuración del constituyente o por pérdida de adhesión, se produce un ablandamiento de formas, relieves y aristas. La piedra se vuelve friable, granulosa, arenizada o pulverulenta. Las partículas pueden soltarse fácilmente al tocar el material, por la acción de la lluvia, el viento o simplemente por acción de la gravedad.

Las principales manifestaciones de la decohesión, en fases sucesivas del proceso degradativo, son:

Desagregación (disaggregation; desaggregazione; désaggregation)

Decohesión superficial que se manifiesta por la caída o no de fragmentos con la misma composición de la roca madre.

Disgregación (disgregation; disgregazione; disgrégation)

Estado avanzado de decohesión interna que se manifiesta por la caída o desprendimiento de gránulos o cristales por acción de los más mínimos estímulos mecánicos: supone un sensible debilitamiento de las características mecánicas originales y un notable aumento de la porosidad.

La disgregación puede dar lugar a la formación y separación de fragmentos (ver ALTERACIÓN por RUPTURA).

Arenización (grain disaggregation; arenazione; désaggregation sableause)

Estado muy avanzado de decohesión interna caracterizado por la caída, generalmente inducida, de materia de la piedra en forma de granos de tamaño de arena.

Pulverización (pulverization; pulverizzazione; pou-droiement)

Estado último de decohesión interna que se manifiesta en la caída de material de la piedra en forma de polvo, simplemente al tocarla e incluso de manera espontánea.

Deformaciones

La deformación de la capa externa de la piedra puede manifestarse en la formación de una zona convexa como consecuencia de una separación interna, de un hinchamiento, cuando la curvatura es continua, o de un combamiento, si hay cambio de curvatura.

Cuando la deformación afecta a todo el espesor de la piedra, se habla de deformación plástica o deformación penetrativa de la piedra.

Por otra parte, la deformación puede manifestarse como un hecho aislado o, por el contrario, puede aparecer en la superficie de la piedra un conjunto más o menos numeroso de deformaciones.

La deformación es un hecho aislado**Hinchamiento** (swelling; rigongiamiento; bouffement, boursoufflement)

Alteración por deformación mecánica que se manifiesta como un levantamiento de la superficie de la piedra en forma de curva continua, de color y consistencia variable, que puede llevar consigo el despenamiento de partes.

Combamiento o alabeamiento (warping; piegamento; goudolement)

Deformación permanente que se manifiesta en forma de pandeo de losas, generalmente, de mármol.

Formación conjunta de varias deformaciones

En ocasiones, la deformación de la superficie de la piedra no se traduce en una manifestación más o menos aislada sino en una serie de abolladuras o hinchazones; la superficie puede tomar así un aspecto ondulado más o menos exagerado (mamelonado, noduloso, granuloso) en función de las dimensiones de esas hinchazones.

En general, pueden denominarse a estos abultamientos ampollas.

Ampollas (blistering; ampollas; ampoules)

Alteración por deformación de la superficie de la piedra que se caracteriza por la formación de numerosos abultamientos.

Rupturas y Disyunciones

Las alteraciones de la piedra que implican separación de partes pueden producirse **perpendicularmente** (rupturas) o **paralelamente** (disyunciones) a la superficie de la piedra.

Rupturas:

Las rupturas pueden considerarse como accidentes mecánicos en la piedra que crean discontinuidades en la misma y no entrañan pérdidas de material; son más o menos *perpendiculares* a la superficie. Estas disconti-

nidades en la piedra pueden producir una mayor o menor separación de partes; mientras que la fractura no implica separación de las partes, en la fisura ésta es ya más o menos completa.

Algunas de estas rupturas son inherentes a la propia estructura del material, como exfoliaciones, diaclasas y esquistosidades, que permiten caracterizar diferentes tipos de rupturas.

Cuando la ruptura se produce a lo largo de una arista o de una esquina con pérdida de materia, según el caso y tipo de piedra, se origina un fragmento. En ocasiones, la formación y separación de fragmentos es el resultado de la decohesión interna (ver alteraciones por eliminación de materia).

Fracturación (cracking; fratturazione; fracture)

Alteración por ruptura que se manifiesta en la formación de soluciones de continuidad en la piedra, generalmente sin desplazamiento relativo de las dos partes; es el accidente de RUPTURA de mayor extensión aunque, por otra parte, es aquél que crea soluciones de continuidad menos evidentes.

Fisuración (fissuring; fissurazione; fissurement)

Alteración por ruptura que se manifiesta en la formación de soluciones de continuidad en la piedra con desplazamiento o separación macroscópica de las dos partes.

Fragmentación (spalling; frammentazione; effritement)

Alteración por ruptura con pérdida de materia, que se manifiesta por la formación de trozos más o menos compactos.

Disyunciones:

Los accidentes de disyunción implican la separación abierta entre partes de la piedra originariamente juntas, son *paralelos* a la superficie de la piedra y producen porciones de distinta forma y tamaño:

Placas: láminas extensas y de varios milímetros de espesor; generalmente rígidas.

Hojas de exfoliación: varias láminas delgadas, superpuestas, de espesor uniforme, generalmente del orden del milímetro.

Películas: pequeñas láminas muy delgadas.

Escamas: láminas análogas a las escamas de un pescado; tienen formas y espesor irregulares y dimensiones variables, con apariencia del material inalterado.

La acción de la separación seguida del desprendimiento de láminas independientes de la estructura de la piedra recibe distintas denominaciones particulares en la bibliografía, en función de su forma y tamaño. El término francés **delitage** designa también dicha acción pero cuando está ligada a estructuras en lechos de sedimentación. Cuando una superficie presenta varias láminas y hojas superpuestas se dice que es laminar o foliácea y su separación o desprendimiento produce una exfoliación.



4. Rupturas. Fragmentación

Separación de placas (contour scaling; separazioni di placche; formation de plaques)

Alteración por disyunción que implica la separación o levantamiento de placas, paralelas a la superficie de la piedra e independientes de la estructura de la misma.

5. Disyunciones. Separación de placas

Exfoliación (exfoliation; peeling; esfoliazione; exfoliation)

Degradación por disyunción que se manifiesta por un levantamiento seguido de la separación de una o más láminas u hojas de exfoliación paralelas entre sí. En general, se produce en capas paralelas a la esquistosidad.

Separación de películas (film separation; separazione de pellicole; pelliculage)

Alteración por disyunción que se manifiesta en la separación de láminas muy delgadas o películas.

Descamación (chipping; scagliatura; desquamation)

Alteración por disyunción que se manifiesta por despegamiento total o parcial de escamas de la superficie de la piedra, independientemente de su estructura. Las escamas están formadas generalmente de material en apariencia inalterado. Pueden ir acompañadas de eflorescencias y/o microorganismos.

Cuando la causa de la alteración es de origen biológico, se suele utilizar el prefijo **bio**, tanto en los términos genéricos: **bioalteración, biodeterioro, biocorrosión, biodecohesión**, como en los indicadores de alteración: **biocostra, biodepósito, bioeflorescencia, bioalveolización, biofisuración, bioexfoliación, biodescamación**.

Bibliografía

American Geological Institute (AGI): *Glossary of Geology and related Sciences*, 1972.

Architecture. *Méthode et Vocabulaire (Principes d'analyse scientifique)*. Ministère de Affaires Culturelles. Inventaire général des monuments et des richesses artistiques de la France. Paris. Imprimerie nationale, 1977 (2 vols, 234 p).

ARNOLD, A; JEANETTE, D; ZEHNDER, K: *Proposal for a terminology of weathering phenomena on building stones*. Meeting of Petrology Group of ICOMOS. Strasburg, 1980.

ASTM C 119-74: *Standard definitions of terms relating to natural building stones*.

ASTM D 653-78: *Standard definitions of terms and symbols relating to soil and rock mechanics*.

BEACOURT, F. de, JATON, C.: *Les types d'alteration des roches calcaires*.- Les monuments historiques de la France, 65, rue St. Antoine, Paris, Numéro special hors série, 14-32, 1975.

DOMASLOWSKI, W: *La conservation préventive de la pierre*. UNESCO. Musées et Monuments, XVIII, 1982.

ESBERT, R; MARCOS, R: *La deterioración de las piedras de la Catedral de Oviedo*. 2a parte: formas y fenómenos de alteración. Materiales de la Construcción 186, 79-88, 1982.

EVANS, I, S.: *Salt crystallisation and rock weathering: a review*. Rev. Geomorph. dyn, 19.th annu, 4,153-177, 1970.

FANCELLI, P: *Il Progetto di Conservazione*. Ed. Guido Guidotti. Roma, 1983.

HENAU (DE), P: *Approche d'une terminologie descriptive de l'état de surface des matériaux pierreux*. Bulletin Institut Royal de Patrimoine Artistique, Bruxelles, XVIII, 170-182, 1980-1981.

HENAU (DE), P: *Vocabulaire des terms descriptifs de l'état de surface des matériaux de construction*. Inst. Royal du Patrimoine Artistique, Bruxelles, 1980.

HIRSCHWALD, J.: *Die Prüfung der natürlichen Bausteine auf ihre Wetterbeständigkeit*.- Wilh. Ernst u. Sohn, Berlin, 675 pp. 1908.

ISRM: *International Society for Rock Mechanics. Commission on Terminology, Symbols and Graphic Representation*. Final Document on Terminology, english version, 1972, and list of symbols, 1970.

KIESLINGER, A.: *Zerstörungen an Steinbauten*. Franz Deuticke Verlag, Leipzig U. Wien, 346 pp, 1932.

NÖEL, P: *Technologie de la pierre de taille. Dictionnaire des termes couramment employés dans l'extraction, l'emploi et la conservation de la pierre de taille*. Paris, Société de Diffusion des Techniques du Btiment et des Travaux Publics, 1965 (373 p).

NORMAL (Normativa Manufatti Lapidei, CNR-ICR, Italia) I/80: *Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei*. Lessico.

ORDAZ, J: *Glosario de términos utilizados en la descripción de fenómenos de deterioración de las piedras de monumentos*. Inforine interno 101/82. Departamento de Petrología de Oviedo.

QUERVAIN, F. de: *Technique Gesteinskunde*.- Verlag Birk-hauser, Basel und Stuttgart, 261 pp, 1969.

REAL ACADEMIA DE LA LENGUA: *Diccionario de la Lengua Española*, Vigésima edición, 1984.

REAU, L: *Dictionnaire illustré d'art et d'archéologie*, Paris, Larousse, 1930 (488p).

REICHEL, H. (1975): *Die Natursteinverwitterung an Bauwerken als mikroklimatisches und edaphisches Problem in Mitteleuropa*.- Tübinger Geographische Studien, Universität Tübingen.

RILEM, *Comm Pierres Groupes 25 PEM: Expeiimental methods recommended*. Proc. Int. Symp. Deterioration and Protection of Stone Monuments, Paris, 5-9/VI/1978, Vol. V (Publ. CEBTP). TEST VI. I: External aspect of stones.

ROSSI-DORIA, P: *Draft glossary for the description of macroscopic alteration in stone*. Doc. Normal-C 79/26.

SCHMOELZER, A.: *Zur Entstehung der Verwitterungskulpturen an Bausteinen*. Chenúe der Erde, 1-0, 479-520, 1936.

STONE-CATALOG: *Building Stone Institute. Glossary of Terms*, New York, 1968/69.

Vademecum de la Tecnología du Batiment. Conferéce des jeunes géométresexperts de Bruxelles, 1936. 74 pp.

ZEHNDER, K: *Weathering of molasse sandstones on monuments and natural outcrops*. Proc. 3rd Int. Cong. Deterioration and Preservation of Stones, Venice, 2427/X/1979.