

# CUADERNOS INTEMAC

## Rehabilitación y durabilidad de fachadas de piedra

### Conservation and durability of stone facades

Juan María CORTES BRETON  
Dr. Ingeniero de Caminos

José Manuel FERNANDEZ PARIS  
Ingeniero Técnico Industrial Químico



**INTEMAC**

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

N.º 19  
3.º TRIMESTRE '95

# INTEMAC



METIRE UT SCIAS

## INTEMAC

### INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

CONTROL DE PROYECTO

CONTROL DE OBRA

GARANTIA DE CALIDAD

SONDEOS, ENSAYOS E INFORMES GEOTECNICOS

INFORMES DE PATOLOGIA, REHABILITACION Y REFUERZOS DE CONSTRUCCIONES

OBRAS PUBLICAS  
EDIFICACION  
INSTALACIONES



**INTEMAC**  
AUDIT

### AUDITORIA TECNICO-ECONOMICA DE CONSTRUCCIONES

- ASESORIA EN EL PLANTEAMIENTO Y EN LA CONTRATACION DE LA OBRA
- SEGUIMIENTO DE COSTOS Y PLAZOS DURANTE LA CONSTRUCCION
- VALORACIONES DE TERRENOS, INMUEBLES Y CONSTRUCCIONES
- AUDITORIAS DE TRABAJOS PARCIALES Y DE LIQUIDACION DE LA OBRA



**INTEMAC**  
**ECO**

### AUDITORIA TECNICA MEDIOAMBIENTAL

CONTROL DE IMPACTO AMBIENTAL  
Obras Públicas  
Edificación  
Instalaciones

CONTROL DE CALIDAD AMBIENTAL  
Aire  
Agua  
Ruido

AUDITORIA MEDIOAMBIENTAL  
ASESORAMIENTO EN MATERIA DE MEDIO AMBIENTE

---

## REHABILITACIÓN Y DURABILIDAD DE FACHADAS DE PIEDRA

---

## CONSERVATION AND DURABILITY OF STONE FACADES



**Juan María CORTÉS BRETÓN**

Dr. Ingeniero de Caminos  
Director de la División de  
Control de Obra de INTEMAC

Ph. D. Civil Engineering.  
Director of INTEMAC's  
Site Control Division



**José Manuel FERNÁNDEZ PARÍS**

Ingeniero Técnico Industrial Químico  
Profesor de Física

Chemical Engineer  
Lecturer in Physics

---

Copyright © 1995, INTEMAC

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida o distribuida de ninguna manera ni por ningún medio, ni almacenada en base de datos o sistema de recuperación, sin el previo permiso escrito del editor.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a data base or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

ISSN 1133-9365

Depósito legal: M-32309-1995  
Infoprint, S.A. - San Vicente Ferrer, 40

## **INDEX**

- 1. INTRODUCTION**
- 2. NATURE OF STONE**
  - 2.1. LIMESTONE
  - 2.2. SANDSTONE
  - 2.3. GRANITE
  - 2.4. SLATE
- 3. CAUSES OF STONE DECAY**
  - 3.1. INTRINSIC DECAY
  - 3.2. EXTERNAL DECAY
- 4. EVALUATION OF STATE OF DECAY**
  - 4.1. TEST METHODS
  - 4.2. EVALUATION
- 5. CONSERVATION METHODS**
  - 5.1. CLEANING OF SURFACES
  - 5.2. DAMP-PROOFING
  - 5.3. SURFACE CONSOLIDATION
  - 5.4. RECONSTRUCTION WITH MORTAR
- 6. CONCLUSIONS**

## **INDICE**

- 1. INTRODUCCION**
- 2. NATURALEZA DE LAS PIEDRAS**
  - 2.1. LAS CALIZAS
  - 2.2. LAS ARENISCAS
  - 2.3. LOS GRANITOS
  - 2.4. LAS PIZARRAS
- 3. CAUSAS DE DEGRADACION DE LAS PIEDRAS**
  - 3.1. DEGRADACIONES INTRÍNSECAS
  - 3.2. DEGRADACIONES EXTERNAS
- 4. EVALUACION DEL ESTADO DE DEGRADACION**
  - 4.1. MÉTODOS DE ENSAYO
  - 4.2. EVALUACIÓN
- 5. METODOS DE REHABILITACION**
  - 5.1. LIMPIEZA DE SUPERFICIES
  - 5.2. HIDRÓFUGO
  - 5.3. CONSOLIDACIÓN SUPERFICIAL
  - 5.4. RECONSTRUCCIÓN MEDIANTE MORTERO
- 6. CONCLUSIONES**

## SUMMARY

*The conservation of the buildings in our cities is an essential task that should be carried out for the benefit of future generations. Particularly those buildings whose facades are decorated with stone ornamented features, and which may generally be considered to be of greater historical and architectural value.*

*The present paper aims to lay out the causes of decay in the more commonly used types of stone in building and the existing methods of treatment, placing particular emphasis on the importance of intervention by specialists in order to avoid that "the cure be worse than the disease".*

## 1. INTRODUCTION.

The majority of buildings considered to be architectural monuments have used stone as a building material, especially in the decorative elements of the facades.

The passage of time leaves an inexorable mark, as in all materials, causing aging which affects the nature of the stone and gradually deteriorates its strength characteristics and appearance.

The maintenance and repair of these buildings, which are the architectural heritage of the West, as well as their protection and conservation requires more than the simple substitution of affected stone elements, requiring reconstruction work and protection which may come under the term of "conservation" , and this applies to any facade that uses stone materials.

The conservation work requires:

- A knowledge of the nature of the stone materials, as the decay is due to intrinsic factors, which are accidentally influenced by external agents.
- The understanding and development of physical-chemical reactions which affect the minerals of which the stone is composed, and which lead to decay.
- The necessary experience to be able to apply suitable cleaning processes and strengthening and damp-proofing treatments, which are able to reduce the action of decay, without causing harmful secondary effects, and thereby considerably prolonging the life of the building.

The said considerations are indispensable in terms of any evaluation which will enable one to give a reasonable diagnosis of the state of a material at a determined period in its life, and the subsequent treatment necessary to detain the decay, as restoration to the material's original state is practically impossible.

## 2. NATURE OF STONE USED IN BUILDING

From an architectural point of view, **limestone** and **sandstone** are the most commonly used stones in facades as they may be easily worked, while **granite** is generally used for the ashlar for reasons of strength, durability and appearance.

### 2.1. LIMESTONE.

This is identified with carbonated rocks and particularly with those that are predominantly made up of calcium carbonate, referred to as Calcite, (CO<sub>3</sub>Ca), in quantities greater than 75%. These also normally contain small

## RESUMEN

*La conservación de los edificios de nuestras ciudades es una labor inexcusable frente a las generaciones venideras. En particular aquellos que presentan en sus fachadas motivos ornamentales de piedra constituyen, en general, el conjunto de mayor valor histórico y arquitectónico.*

*El presente trabajo trata de exponer cuales son los mecanismos de ataque a la piedra en aquellas más habitualmente utilizadas en construcción y los métodos existentes para su tratamiento, poniendo énfasis en la importancia que tiene la intervención de los especialistas, para evitar que "el remedio sea peor que la enfermedad".*

## 1. INTRODUCCION.

En la mayoría de los edificios considerados como monumentos arquitectónicos se ha empleado la piedra como material constructivo, primordialmente en elementos ornamentales de fachadas.

El tiempo influye de modo inexorable, como en todos los seres materiales, provocando un envejecimiento que afecta a la naturaleza de la piedra, y poco a poco va deteriorando sus cualidades resistentes y su aspecto estético.

El mantenimiento y reparación de estos edificios, patrimonio arquitectónico de Occidente, así como su protección y conservación requieren no sólo la elemental sustitución de ciertos elementos pétreos alterados, sino también el efectuar labores de reconstrucción y prevención que propiamente pueden denominarse de "rehabilitación", aplicables a cualquier fachada que utilice la piedra como material.

El ejercicio de las actividades expuestas requiere:

- El conocimiento de la naturaleza de los materiales pétreos, ya que las alteraciones se deben a factores intrínsecos, influenciados accidentalmente por agentes externos.
- La comprensión y desarrollo de las reacciones fisico-químicas, que afectan a los minerales que integran las piedras, y causan su alteración.
- Poseer la experiencia necesaria para aplicar procedimientos de limpieza adecuados y tratamientos de consolidación e hidrofugado capaces de reducir las reacciones degradantes, sin efectos secundarios nefastos, y de alargar de forma considerable la vida del edificio.
- Las consideraciones indicadas son elementos de juicio indispensables para emitir una diagnosis razonable del estado del material en una etapa determinada de su vida, así como el posterior tratamiento que permita en lo posible detener la degradación, puesto que su regeneración es prácticamente imposible.

## 2. NATURALEZA DE LAS PIEDRAS DE CONSTRUCCION.

Desde el punto de vista arquitectónico, las piedras más utilizadas en fachadas son las **calizas** y las **areniscas** por su facilidad de labra, y el **granito** para bloques de sillares, debido a sus características de resistencia, durabilidad y sobriedad estética.

### 2.1. LAS CALIZAS.

Se identifican con las rocas carbonatadas y en especial con aquellas cuyo componente mayoritario es el carbonato cálcico, denominado calcita, ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), en una proporción superior al 75%. Suelen incluir pequeñas cantidades de

quantities of clays, chalk, chlorides and pyritaceous minerals. These impurities should, in principle, be considered to be potentially detrimental as through the action of the atmosphere they cause decaying reactions which will be described further on.

When limestone contains high proportions of magnesian carbonate it is referred to as dolomitic limestone or calcium dolomite, depending on whether  $\text{CO}_3\text{Ca}$  or  $\text{CO}_3\text{Mg}$  is predominant.

In petrographical terms, marbles are limestone rocks which on crystallizing have been subjected to a process of metamorphism at high temperature and under great pressure, thereby modifying their crystalline structure and giving rise to very solidified and dense masses. In terms of building technology these are "any limestone which shines when polished".

This double interpretation has led to dense limestone being used as marble, and if these are placed in areas subject to strong frictional wear (stairs and floors), they suffer serious alteration which tames their appearance.

Marbles contain metal oxides which form particular veins and mottling, which when placed in external elements often suffer change due to humidity and rain. This type of deterioration can be seen in skirting boards and floors which are subjected to frequent cleaning.

Building limestones are classified by the ASTM-C568 and C503 codes as being lightweight, standard and heavy in accordance with their density, absorption and strength.

CHARACTERISTICS	LIGHTWEIGHT	AVERAGE	HEAVY	MARBLE
Apparent density, g/cm <sup>3</sup>	< 2.16	2.16 a 2.56	> 2.56	> 2.60
Water Absorption, %	< 12	< 7.5	< 3	< 0.75
Compressive strength, Kp/cm <sup>2</sup>	> 125	> 280	> 560	> 530

TABLE 1.- CLASSIFICATION OF LIMESTONES

Limestones classified as lightweight should not be employed in facades as their characteristics make them very vulnerable to inclement weather and humidity.

## 2.2. SANDSTONE.

Sandstones and quartzites are sedimentary rocks, possibly subjected to the process of metamorphism, and are made up of sand or quartz particles, and distributed in the cavities of a cemented material. The interstitial material may be types of limestone or clay and very frequently contains pyritic elements and/or iron pellets which alter the appearance of the sandstone, giving it the reddish or brown tones of iron or the marked areas of pyrite granules.

CHARACTERISTICS	SANDSTONE	SILICARENITE	QUARTZITE
SiO <sub>2</sub> Content, %	> 60	> 90	> 95
Water Absorption, %	< 20	< 3	< 1
Compressive strength, Kp/cm <sup>2</sup>	> 140	> 700	> 1400

TABLE 2.- CLASSIFICATION OF SANDSTONES, according to ASTM-C616

Sandstones which do not meet the characteristics indicated above should not be used externally in buildings, due to their low strength and high rate of water absorption.

## 2.3. GRANITES.

These are igneous rocks which are siliceous in nature, which have consolidated, through the slow cooling of a magma, in the interior of the Earth. They are made up of embedded particles, principally **feldspars** and **quartz** (light



arcillas, yeso, cloruros y minerales piritosos. Estas impurezas, en principio, deben considerarse potencialmente perjudiciales ya que activadas por el medio ambiente, generan reacciones degradantes, que posteriormente se detallarán.

Las piedras calizas pueden contener elevadas proporciones de carbonato magnésico, en cuyo caso reciben el nombre de calizas dolomíticas o dolomitas cálcicas, según predomine el  $\text{CO}_3\text{Ca}$  o el  $\text{CO}_3\text{Mg}$ .

Los mármoles, petrográficamente hablando, son rocas calizas que después de cristalizadas han experimentado un proceso de metamorfismo a elevadas temperaturas y fuertes presiones, modificando su estructura cristalina, dando lugar a masas muy solidificadas y densas. Desde el punto de vista tecnológico de la construcción son "cualquier piedra caliza que pulida adquiere brillo".

Esta doble interpretación da lugar al empleo como mármoles de piedras calizas densas que, si están dispuestas en zonas sometidas a un fuerte desgaste por rozamiento (escaleras o suelos), sufren notables alteraciones que deslucen su aspecto.

Los mármoles contienen óxidos metálicos, formando veteados y jaspeados singulares que, en el supuesto de estar en elementos exteriores, actúan como núcleos de alteración debido a las humedades y lluvias. Este mismo tipo de alteración se aprecia en zócalos y suelos de estancias con intensa limpieza.

Las calizas de construcción están clasificadas por ASTM-C568 y C503 como ligeras, medias y pesadas en función de su densidad, absorción y resistencia.

CARACTERISTICAS	LIGERAS	MEDIAS	PESADAS	MARMOL
Densidad Aparente, g/cm <sup>3</sup>	< 2.16	2.16 a 2.56	> 2.56	> 2.60
Absorción Agua, %	< 12	< 7.5	< 3	< 0.75
Res. Compresión, Kp/cm <sup>2</sup>	> 125	> 280	> 560	> 530

TABLA 1.- CLASIFICACION DE LAS PIEDRAS CALIZAS.

Las calizas clasificadas como ligeras no deben emplearse en fachadas, puesto que sus características las hacen fácilmente vulnerables a la intemperie y la humedad.

## 2.2. LAS ARENISCAS.

Las areniscas y las cuarcitas son rocas sedimentarias, posiblemente sometidas a procesos de metamorfismo, constituidas por partículas de arena o cuarzo, repartidas en el seno de un material cementante. El material intersticial suele ser de naturaleza caliza o arcillosa y, muy frecuentemente, contiene elementos piritosos y/o nódulos de hierro que producen efectos cambiantes en su aspecto, debido a las tonalidades rojizas o pardas del hierro y las marcadas expansiones de los gránulos de pirita.

CARACTERISTICAS	ARENISCA	ARENISCA CUARZOSA	CUARCITA
Contenido de SiO <sub>2</sub> , %	> 60	> 90	> 95
Absorción Agua, %	< 20	< 3	< 1
Resist. Compres, Kp/cm <sup>2</sup>	> 140	> 700	> 1400

TABLA 2.- CLASIFICACION DE LAS ARENISCAS. según ASTM-C616.

Las piedras denominadas areniscas con características inferiores a las expuestas no deben emplearse en elementos exteriores de edificios, debido a su baja resistencia y elevada absorción de agua.

## 2.3. LOS GRANITOS.

Son rocas ígneas de naturaleza silíceas, que se han consolidado, por enfriamiento lento de un magma, en el interior de la Tierra. Están constituidos por partículas encastradas principalmente de **feldespatos y cuarzo** (minerales de

coloured or leucocrated minerals) and by additional minerals such as **biotite micra and pyroxenes** (very dark or melanocratic minerals).

The term **commercial granite** includes the majority of the igneous rocks such as **syenite, diorites, monzonites** and **gabbros**, which differ according to their leucocratic or melanocratic content, which affects their colouring.

NAME	QUARTZ	FELDSPAR	Biotite MICRA	FERROMAGNESIUM Pyroxenes.
GRANITE.	**	***	*	traces
SYENITE.	traces.	orthoclase ***	*	traces
DIORITE.	—	plagioclase ***	**	*
GABBRO.	—	plagioclase **	traces	***

PRESENCE: Predominant \*\*\* Average \*\* Reduced \*

TABLE 3.- CLASSIFICATION OF GRANITE ROCKS, according to ASTM-C294.

CHARACTERISTICS	IGNEOUS OR GRANITIC ROCKS
Apparent density, g/cm <sup>3</sup>	> 2.56
Water absorption, %	< 0.40
Compressive strength (saturated), Kp/cm <sup>2</sup>	> 1340

TABLE 4.- CHARACTERISTICS OF IGNEOUS ROCKS, according to ASTM -C615.

The high proportion of feldspar in granites and syenites provides the clear colours which are characteristic of these rocks; while the diorites and particularly the gabbros are dark due to the presence of pyroxenes.

#### 2.4. SLATES.

These are metamorphic rocks, formed from other existing rocks (igneous, sedimentary or metamorphic), which have been subjected to very high pressure and temperature within the earth's crust. This type of rock usually appears in large masses of great thickness, and have a characteristic tendency to exfoliate (in laminars or in stratums), and to fragment in flat particles, following the independent planes of the layer.

The most suitable slates in building, be it in roofs, floors or walls, are siliceous in nature and free of limestone, pyrites, iron compounds and clayey stratums.

### 3. CAUSES OF DECAY IN STONE

Decay in stone is due, first of all, to a number of intrinsic alterations in the nature of the component minerals, and then to various agents present in the atmosphere. This decay affects both the appearance and the strength of stone elements in buildings.

#### 3.1. INTRINSIC DECAY.

This is due to a number of endogenous reactions sustained by the different component minerals in the rock. These reactions are chemical or petrographical in nature and are clearly visible with the passage of time. This knowledge

tonos claros o leucocratos ) y como minerales accesorios están presentes la **mica biotita y los piroxenos** (minerales muy oscuros o melanocratos).

El término **granito comercial** incluye a la mayoría de las rocas ígneas tales como **sienitas, dioritas, monzonitas y gabros**, que se diferencian por sus contenidos en minerales leucocratos o melanocratos, que influyen en sus tonalidades.

DENOMINACION	CUARZO	FELDESPATO	MICA Biotita	FERROMAGNESIANO Piroxenos.
GRANITO.	**	***	*	trazas
SIENITA.	trazas.	ortosa ***	*	trazas
DIORITA.	—	plagioclasa ***	**	*
GABRO.	—	plagioclasa **	trazas	***

PRESENCIA: Mayoritaria \*\*\* Media \*\* Reducida \*

**TABLA 3.- CLASIFICACION DE LAS ROCAS GRANITICAS, según ASTM-C294.**

CARACTERISTICAS	ROCAS IGNEAS O GRANITICAS
Densidad aparente, g/cm <sup>3</sup>	> 2.56
Absorción de agua, %	< 0.40
Res. Compresión (saturada), Kp/cm <sup>2</sup>	> 1340

**TABLA 4.- CARACTERISTICAS DE LAS ROCAS IGNEAS, según ASTM -C615.**

La elevada proporción de feldespato presente en los granitos y las sienitas determina los tonos claros propios de estas piedras; mientras que las dioritas, y sobre todo los gabros, son oscuros debido a la presencia de los piroxenos.

#### 2.4. LAS PIZARRAS.

Son rocas metamórficas, formadas a partir de otras ya existentes (ígneas, sedimentarias o metamórficas), sometidas a elevadas presiones y temperaturas en el interior de la corteza terrestre. Este tipo de rocas suele presentarse en grandes macizos de elevada densidad, con una tendencia característica a la exfoliación (laminar o en estratos) y a fragmentarse en partículas planas, siguiendo los planos independientes del lecho de cantera.

Las pizarras más adecuadas para ser dispuestas en edificios, tanto en cubiertas como en solados y muros, son las de naturaleza silíceas sin presencia de caliza, piritas, compuestos de hierro y estratos arcillosos

### 3. CAUSAS DE DEGRADACION DE LAS PIEDRAS.

La degradación de las piedras se debe, en primer lugar, a un conjunto de alteraciones intrínsecas a la naturaleza de los minerales constitutivos, y en segundo lugar a diversos agentes presentes en el medio ambiente. El deterioro se manifiesta tanto en las cualidades estéticas como en las resistentes de los elementos pétreos de edificios.

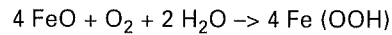
#### 3.1. DEGRADACIONES INTRÍNSECAS.

Se deben a un conjunto de reacciones endógenas que experimentan los distintos minerales que componen las rocas. Estas reacciones, de carácter químico o petrográfico, se verifican ineludiblemente con el paso del tiempo y su

forces one to accept that stone, while commonly considered to be an imperishable material, is, in fact, subject to an evolving process, which at the termination of its efficient working life, eventually ends in disintegration.

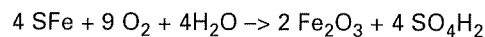
The main endogenous reactions are given below:

**3.1.1. Iron Oxide Compounds.** These are usually embedded within marbles, limestones and very frequently in sandstones and clays. They show a marked preference for humid climates, under which they transform into a mineral, known as needle ironstone,  $\text{Fe}(\text{OOH})$ , a hydrous iron oxide.



This process leads to an increase in volume which produces fissures and cracks, specifically located in the settlement of ferruginous compounds. This specific area of action known as topochemistry furthers the decay of the material. Ironstone needles are made up of a gelatinous mass which retains water, which allows the gradual displacement of the gel through the stone's pores. This then causes irregular and arbitrary reddish stains to appear away from the original iron cores.

**3.1.2. Pyritaceous Compounds.** Pyrites are iron sulphates, set in specific areas of sandstone, limestone, marble and slate; but which rarely appear in granite. These minerals, when exposed to the atmosphere, go through a process of oxidation and humidification, with the subsequent formation of iron oxide and sulphuric acid:



This reaction causes an increase in volume due to the oxidization of the iron, forming rust and causing the material to turn red or ochre. The build up of acid seriously affects both limestone and marble. In sandstone it mainly attacks carbonated matrices, but slate, however, suffers total disintegration.

Iron oxide develops with time, capturing atmospheric moisture, and transforms into hydrous iron oxide known as "ironstone needles".

**3.1.3. Kaolinization and Chloritisation.** This process of alteration occurs in rocks containing feldspars and micas, and particularly in granite rocks; but may also appear in sandstone which contains feldspar or slate with a high mica content (micacites).

Kaolinization breaks up the feldspars into small particles (sanding of granites) through the action of acidic compounds present in the atmosphere. If the feldspars contain iron this will give a reddish tone to sandstone, while if they only contain aluminum the sandstones will be white and this is known as Kaolin.

Chloritisation only affects the micas, which slowly release iron oxide which eventually form "ironstone needles", an expansive gel compound described in the section on iron compounds.

### 3.2. EXTERNAL DECAY.

The presence of saline compounds in stone, whether provided by the rock itself or through moisture which affects certain rocks, causes the crystallization of the salts in areas close to the surface of rocks exposed to the elements, causing "efflorescence" and "subefflorescence".

Aeolian action, or that of wind, wears down the surface of the stone and alters its appearance.

**3.2.1. Efflorescence.** This particularly occurs in decorative elements, where carving has increased the surface area of the stone, thereby favouring the evaporation, drying and crystallization processes. This particularly applies to arches and vaults, as the columns and pillars act as wicks, transporting the saline compounds and humidity through capillary action to the upper areas, where they then crystallize and deteriorate the area.

Sodium chlorides and sulphates, potassium, calcium, magnesium and alkaline nitrates may all be considered to be highly damaging salts.

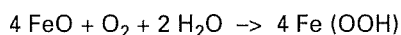
Alkaline and calcium sulphates, normally arise as a result of moisture which emanates from the subsoil and produce white, inconsistent saline deposits, which normally appear in arrises and vertices, and which may be eliminated by washing or soft brushing.

In restoration or conservation work to monuments it is very important to observe the formation of efflorescences in areas in contact with the soil, and to see at what soil height they appear in the walls. When checked against the maximum height reached, this provides valuable information into the intensity of movement of the salts.

conocimiento implica aceptar que las piedras, consideradas vulgarmente como un material perdurable, están sujetas a un proceso evolutivo que, tras un período eficaz, culmina en un estado de desintegración.

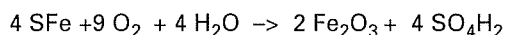
Las principales reacciones endógenas se exponen seguidamente:

**3.1.1. Compuestos de Oxido de Hierro.**- Suelen estar encastrados en el seno de los mármoles, calizas y, con mucha frecuencia, en areniscas y pizarras. Tienen una acusada preferencia por la humedad del medio ambiente, transformándose en un mineral, denominado goetita,  $\text{Fe}(\text{OOH})$ , un óxido de hierro hidratado



Este proceso implica un aumento de volumen suficiente para generar fisuras y grietas, puntualmente localizadas en el asentamiento de los compuestos ferruginosos. Esta acción puntual, denominada topoquímica, agrava la degradación del material. La goetita está constituida por una masa gelatinosa que retiene el agua adquirida, lo que permite un desplazamiento lento del gel a través de la red de poros de la piedra. De esta forma se producen zonas de tonos rojizos distanciados de los núcleos originales del hierro, con formas caprichosas y arbitrarias.

**3.1.2. Compuestos Piritosos.**- Las piritas son sulfuros de hierro, situados en puntos muy localizados de las areniscas, calizas, mármoles y pizarras; muy raramente en granitos. Estos minerales, expuestos al medio ambiente, experimentan un proceso de oxidación y humectación, con formación de óxido de hierro y ácido sulfúrico:



Esta reacción provoca un considerable aumento de volumen por oxidación del hierro, formación de "orín" y alteraciones de tonalidad hacia colores ocre o rojizos. La formación de ácido motiva acciones agresivas de consideración en las calizas y mármoles. En las areniscas agrede preferentemente a las matrices carbonatadas y las pizarras experimentan una disgregación total.

El óxido de hierro evoluciona con el tiempo, capta humedad ambiente, y se transforma en el óxido de hierro hidratado llamado "goetita".

**3.1.3. Caolinización y Cloritización.**- Estos procesos de alteración se producen en rocas integradas por feldespato y micas, en especial las de tipo granítico; pero también pueden darse en las areniscas que contengan feldespato o pizarras con altos contenidos de micas (micacitas).

La caolinización disgrega a los feldespatos, por acción de los compuestos ácidos presentes en la atmósfera, y los fragmenta en pequeñas partículas (arenización de los granitos). Si los feldespatos contienen hierro dan lugar a arcillas de color rojizo, mientras que si únicamente contienen aluminio las arcillas son blancas y se denominan "caolín".

La cloritización afecta sólo a las micas, que lentamente liberan óxido de hierro que finalmente se transforma en "goetita", compuesto geliforme expansivo citado al tratar los compuestos ferrosos.

## 3.2. DEGRADACIONES EXTERNAS.

La presencia de compuestos salinos en el seno de las piedras, bien aportados por la propia roca, o por humedades capaces de afectar a determinados elementos pétreos, origina la cristalización de sales en las zonas inmediatas a la superficie de las piedras expuestas a la intemperie, dando lugar a las "eflorescencias" y "subeflorescencias". La acción eólica o del viento provoca en la superficie de la piedra un desgaste que motiva una pérdida de su carácter estético.

**3.2.1. Eflorescencias.**- Se producen especialmente en elementos decorativos, donde los trabajos de labra aumentan la superficie, favoreciendo los procesos de evaporación, secado y cristalización. Especial mención debe hacerse en arcos y bóvedas, ya que las columnas y fustes actúan como auténticas mechas transportando por capilaridad los compuestos salinos y la humedad hasta las zonas superiores, donde cristalizan, originando zonas de alteración preferencial.

Como sales altamente degradantes deben considerarse los cloruros y sulfatos de sodio, potasio, calcio y magnesio, así como los nitratos alcalinos.

Los sulfatos alcalinos y de calcio suelen proceder de humedades que emanan del subsuelo y producen depósitos salinos de color blanco, poco coherentes, localizados en vértices y aristas, que se eliminan por lavado o cepillado suave.

En las obras de restauración o rehabilitación de monumentos es muy importante observar la formación de eflorescencias en las zonas de contacto con el suelo, y a qué altura del terreno aparecen en los muros; estos datos proporcionan una valiosa información acerca de la intensidad migratoria de las sales, basada en el nivel superior alcanzado.

**3.2.2. Subefflorescence.** On seaboard or coastal areas, and in this regard it should be clarified that a coastal area is taken to extend 50 Km from the coast to the interior, as the harmful affects of seawater can reach this far through the action of wind and rain, the action of magnesium chlorides and sulphates is particularly detrimental as these salts require large amounts of water in order to crystallize, which both increases decay and the capacity to retain moisture in the stone's interior.

In these areas of intense humidity "subefflorescences" are formed due to the fact that the very soluble salts crystallize before reaching the surface, that is to say, beneath the surface of the same. This causes a damaged area made up of pulverulent substance of poor bonding and in a brief period of time this crust will flake off from the stone.

Subefflorescences are more harmful than efflorescences, as the latter may be perceived but the former remain unnoticed until the flaking occurs.

#### 4. EVALUATION OF THE STATE OF DECAY.

Prior to beginning a restoration process of the stone elements in a building, it is essential to carry out the following two activities: 1. Identify the material to be treated and 2. Assess the damage that has been incurred and the possibility of future decay. Both activities are made by analysing the results obtained from relevant physical-chemical tests.

##### 4.1. TEST METHODS.

There follows a group of methods which INTEMAC's Central Laboratory have proved to be trustworthy, from the wide ranging number of tests available, and which are based on guaranteed physical-chemical processes. The following table includes the codes or references of the operating method to be followed and the limits or specifications recommended by codes or standard practice.

TYPE OF TEST	METHOD	SPECIFICATIONS
<b>Chemical Analysis, re:</b> - Totally ferrous iron and ferro iron - Sulphate and sulphide ions	ASTM 114 extract (*). pags. 188 y 192 UNE - 7245	Nature of the stone Ferrous decay < 0,4% as SO <sub>3</sub>
<b>Physical Characteristics:</b> - Real and apparent densities - Water absorption - Porosity	} ASTM - C97.	Specifications in Tables 1, 2, & 4.
<b>Mechanical Characteristics:</b> - Compressive strength (saturation) - Bending strength	ASTM - C170 ASTM - C99	Specifications in Tables 1, 2 & 4
<b>Reaction to humidity and frost.</b> - Saturation ratio. - Crystallization resistance. - Frost resistance. - Expansion by water absorption. - Drop absorption. - Drying capacity. - Salt content.	++ ASTM - C62-58 ++ UNE - 7136 ++ UNE - 67028 PEN 25 (II - 7) PEN 25 (II - 8b) PEN 25 (II - 5) ** STEINRATH, page 19	< 75 % < 12 % Strength loss < 25 % < 1 mm/m > 15 min > 60% in 24 hours < 150 mg/l

TABLE 5.- STONE CAPACITY TESTS.

(\*) FDEZ. PARIS. J.M.- Microscopía del Clínter Portland.- Inst Ed. Torroja.- Madrid, 1968

(\*\*) STEINRATH. H.- Ensayo de Agresividad de los Terrenos.- Ed. CIC.- Barcelona, 1966

(++) These codes are specifically related to stone aggregates and bricks, but are recommended for the similarity of the material and the positive results of the same.

**3.2.2. Subeflorescencias.**- En zonas marítimas o costeras, y a este respecto debe aclararse que por zona costera se entiende desde la costa hasta 50 Km al interior, puesto que hasta allí llegan, a través de la lluvia y del viento, los efectos perjudiciales del agua de mar, es temible la acción de los cloruros y sulfatos de magnesio, ya que son sales que precisan cantidades apreciables de agua para su cristalización, lo que aumenta su poder disruptivo y su capacidad de retención de humedad en el interior de la piedra.

En estas zonas de intensa humedad se forman las "subeflorescencias", debido a que las sales muy solubles cristalizan antes de llegar a la superficie, es decir, por debajo de ésta, y originan una zona de alteración, constituida por una sustancia pulverulenta y poco adherente. En breve espacio de tiempo, esta costra pierde su soporte y se desprende en forma de cascarilla.

Las subeflorescencias son más temibles que las eflorescencias, puesto que éstas son perceptibles y las subeflorescencias no se manifiestan hasta que provocan el desprendimiento material.

#### 4. EVALUACION DEL ESTADO DE DEGRADACION.

Antes de comenzar un proceso de restauración de los elementos pétreos de un edificio, son fundamentales dos actuaciones: 1º. Identificar el material a tratar, y, 2º. Precisar las alteraciones que han experimentado sus componentes y su posibilidad de degradación posterior. Ambas actuaciones se efectuarán analizando los resultados obtenidos en los ensayos físico-químicos adecuados.

##### 4.1. MÉTODOS DE ENSAYO.

Se exponen a continuación un conjunto de métodos avalados por la experiencia del Laboratorio Central de INTEMAC que, entre los diversos existentes, se fundamentan en procesos físico-químicos que el tiempo ha garantizado. Se indica la normativa o bibliografía del modo operatorio a seguir así como los límites o especificaciones recomendados por las normas o la práctica habitual.

DESIGNACION DE LOS ENSAYOS	METODOLOGIA	ESPECIFICACION
<b>Análisis Químico, con mención:</b> - Hierro férrico total y ferroso - Iones sulfatos y sulfuros	ASTM 114 cita (*) pags. 188 y 192 UNE - 7245	Naturaleza de la piedra Degradación férrica < 0,4% como SO <sub>3</sub>
<b>Características Físicas:</b> - Densidades real y aparente - Absorción de agua - Porosidad.	} ASTM - C97.	Especificaciones en las Tablas 1, 2, y 4.
<b>Características Mecánicas:</b> - Resistencia a Compresión (saturación) - Resistencia a Flexión	ASTM - C170 ASTM - C99	Especificaciones en las Tablas 1, 2 y 4
<b>Reacción a las humedades y heladas.</b> - Coeficiente de saturación. - Resistencia a la cristalización. - Resistencia a las heladas. - Dilatación por absorción de agua. - Absorción de gotas. - Capacidad de secado. - Contenido de sales.	++ ASTM - C62-58 ++ UNE - 7136 ++ UNE - 67028 PEN 25 (II - 7) PEN 25 (II - 8b) PEN 25 (II - 5) ** STEINRATH, pag. 19	< 75 % < 12 % Perd. resist. < 25 % < 1 mm/m > 15 min > 60% en 24 horas < 150 mg/l

TABLA 5.- ENSAYOS DE APTITUD DE LAS PIEDRAS.

(\*) FDEZ. PARIS. J.M.- Microscopía del Clínter Portland.- Inst. Ed. Torroja, Madrid, 1968

(\*\*) STEINRATH. H.- Ensayo de Agresividad de los Terrenos.- Ed. CIC., Barcelona, 1966

(++) Estas normas son específicas para áridos pétreos y ladrillos , pero se recomiendan por similitud de material y experiencia positiva.

## 4.2.- EVALUATION.

Once these tests have been carried out the results are examined to establish the state of decay of the stone, possible causes for the same and the relevant methods of conservation.

The following considerations are given as general guidelines. The final decision should be based on the criteria of expert analysts and technicians who are qualified in this type of work.

**4.2.1. Stone to be used in Buildings.** These materials should meet all the specifications, bar none, given under "Physical Characteristics" and "Mechanical Characteristics". If the stone is to be exposed to the atmosphere, it is recommendable that they comply with the limits given under "Reaction to Humidity and Frost" and especially with the tests for "Frost Resistance" and "Crystallization Resistance". Special care should be taken with those materials which under chemical analysis reveal the presence of sulphates, and especially when a subsequent X-ray diffraction study indicates that they contain pyritaceous compounds in the form of "pyrrhusite" and "marcasite".

When dealing with granitic stones it is essential to determine, through X-ray, the possible kaolinisation of the feldspars and the crystallographic state (chloritisation) of the micas.

**4.2.2. Stone in Old Buildings.** The results obtained from the Physical and Mechanical tests show the state of decay of the material, and the more unfavourable the results the greater the state of decay. Generally this is due to one or various causes of change, as indicated in section 3.1 and 3.2.

If chemical analysis shows high "totally ferrous iron" content and the colour of the stone (limestone or sandstone) is seen to be red or ochre then expansive tensions may have been caused by the oxidization of the iron compounds. If "ferro iron" is found in addition to "ferrous iron" the subsequent alteration will continue until all the latter is converted into the former.

The combined presence of sulphides and/or sulphates and "ferrous iron" reveals the existence of pyritaceous elements, which are harmful for their specific areas of action, which leads to the formation of internal fissures which accelerate the disintegration of the stone. These reactions inside the stone occur between a substance in a solid state (pyrite), and another in dissolution (moisture and oxygen), forming a solid substance over the pyritaceous mineral.

The tests against humidity and frost corroborate the structural state of the stone, already indicated by the physical and mechanical tests, and enable one to establish the relevant methods of conservation for the building.

It is essential to understand that the changes are processes: 1. of "humidifying-aeration" and 2. specifically located.

The first factor, being a question of moisture and oxygen, obviously occurs more readily in facades and decorations, which are exposed to the atmosphere, rather than in interiors where the air renewal is less pronounced. Treatments which prevent the passage of moisture and reduce the porosity of the material will help to prevent further development, but in no circumstances should a waterproofing product be used, as in this case a film will be formed over the surface which will not allow the inevitable exudation of the internal saline dissolutions, thereby breaking up this film and causing it to flake from the stone.

With regards to its "specific location" one should bear in mind the theory of H. Lafuma: "The reaction between a mineral compound in a solid state and a dissolved substance, causes a new solid formation to expand over the surface of the mineral. If the two reacting substances are found to be in dissolution (ionic form) a non-expanding deposit will be produced.

**4.2.3. Periods of Decay.** Includes the following stages:

\* Efficient Period.- The structural qualities of the material are conserved intact. This is maintained purely by impeding the passage of harmful agents such as moisture, rain and the action of the wind.

\* Development Period.- At this stage clear signs of change appear: the presence of ferrous and ferro iron, brownish stains, notable porosity, pyrites, sulphides and sulphates. The passage of harmful agents should be prevented and possible stains and efflorescences removed. Cleaning, damp-proofing and consolidation are the most suitable techniques at this stage.

\* Period of Disintegration or Ruin.- In addition to the symptoms noted in the previous period, one will also notice exfoliation, swelling, blisters, saline crusts, and spalling of material, and in granite typical flaking will be observed. If the state of the material so permits, the surfaces should then be treated with carefully studied and well tested procedures, and if this cannot be carried out, the more damaged elements should be replaced.



## 4.2. EVALUACIÓN.

Una vez efectuados los ensayos expuestos deben estudiarse los resultados, para cuantificar el estado de alteración de la piedra, sus posibles causas y proceder después a una posible rehabilitación por los métodos adecuados.

Las consideraciones que a continuación se indican son advertencias de carácter general. El dictamen final debe adoptarse apoyándose en los criterios de expertos analistas y técnicos cualificados en este tipo de obras.

**4.2.1. Piedras de Actual Disposición.-** Estos materiales deben satisfacer todas las especificaciones, sin excepción, de las "Características Físicas" y "Características Mecánicas". Es recomendable, si van a estar expuestas al medio ambiente, que cumplan los límites para "Reacción frente a la Humedad y Heladas", especialmente los ensayos de "Resistencia a las Heladas" y "Resistencia a la Cristalización". Se tendrá un cuidado especial con aquellos materiales cuyos análisis químicos reflejen la presencia de sulfuros, sobre todo si un posterior estudio por Difracción de Rayos X (en adelante DRX) señala que se trata de compuestos piritosos en forma de "pirrotitas" y "marcasitas".

Cuando se trate de piedras graníticas es imprescindible determinar, mediante DRX, la posible caolinización de los feldespatos y el estado cristalográfico (cloritización) de las micas.

**4.2.2. Piedras de Edificaciones Antiguas.-** Los valores obtenidos mediante los ensayos Físicos y Mecánicos muestran el estado de degradación del material, que será tanto mayor cuanto peores sean los resultados. Generalmente se deben a una o varias causas de alteración, expuestas en los apartados 3.1. y 3.2.

Si los análisis químicos indican contenidos significativos de "hierro total férrico", y la tonalidad de la piedra caliza o arenisca es ocre o rojiza pueden haberse originado tensiones expansivas por oxidación de los compuestos de hierro. Si además de "hierro férrico" se aprecia "hierro ferroso", la alteración posterior continuará hasta que todo el "hierro ferroso" se convierta en "férrico".

La presencia simultánea de sulfuros y/o sulfatos y "hierro ferroso" indica la existencia de elementos piritosos, temibles por su acción puntual, que deriva en formación de fisuras internas que aceleran la desintegración de la piedra. Estas reacciones en el seno de la masa tienen lugar entre una sustancia en estado sólido (pirita), y otra en disolución (humedad + oxígeno), originando un producto sólido situado sobre el mineral piritoso.

Los ensayos de acción frente a las humedades y heladas corroborarán su estado estructural, ya manifestado por los físicos y mecánicos, y permitirán establecer los métodos adecuados para la rehabilitación del edificio.

Es fundamental comprender que las alteraciones son procesos: 1º, de "aireación-humectación", y 2º, de carácter puntual.

Los primeros por precisar de humedad y oxígeno, tienen lugar con mayor intensidad en las fachadas y ornamentaciones en contacto con el medio ambiente, que en interiores, donde la renovación de aire es menor. Los tratamientos que impidan el paso de las humedades y reduzcan la porosidad del material evitarán su desarrollo, pero en ningún caso el producto deberá ser un impermeabilizante. En este caso se originaría, en la superficie, una película que no permitiría la exudación inevitable de las disoluciones salinas internas, fragmentando esta película en costras que se desprenderían de la piedra.

Respecto a su "carácter puntual" se debe tener en cuenta la Teoría de H. Lafuma: "La reacción entre un compuesto mineral en estado sólido y una sustancia disuelta, produce una neoformación sólida, situada sobre la superficie del mineral, de carácter expansivo. Si las dos sustancias reaccionantes se encuentran en disolución (forma iónica), se produce un precipitado no expansivo".

**4.2.3. Periodos de Degradación.-** Comprenden las etapas siguientes:

\* Período Eficaz.- Se conservan las cualidades estructurales propias del material. Su mantenimiento consistirá únicamente en impedir el paso a los agentes nocivos, tales como humedades, lluvias y acción del viento.

\* Período de Evolución.- Se caracteriza porque aparecen síntomas evidentes de alteración: presencia de hierro ferroso y férrico, manchas ocreas, porosidad notable, piritas, sulfuros y sulfatos. Se impedirá el paso de los agentes agresores, y se eliminarán las posibles manchas y eflorescencias. Las técnicas de limpieza, hidrofugado y consolidación son las más adecuadas en esta etapa.

\* Período de Desintegración o Ruina.- Además de los síntomas apreciados en el período anterior, se observan exfoliaciones, hinchamientos, ampollas, costras salinas, desprendimientos del material y, en los granitos, su típica escamación. Se procederá, si el estado del material lo permite, a tratamientos superficiales muy estudiados y experimentados y, en caso inevitable, a la sustitución de los elementos más dañados.

## 5. CONSERVATION METHODS

There follows a general indication of the procedures used to repair and preserve stone. The reason for joining these two together lies in the fact that some of the procedures satisfy both concepts, even in the case of considerable repair work which requires the reconstruction of some elements. The process should be completed with the application of a preventive treatment to the surface.

In accordance with what we have already said regarding the causes of decay in stone, these changes lead to irreparable and irreversible damage, as in all natural processes. However, one may prevent the speed of the decaying process and delay it by several centuries, which is an important factor in itself.

The main types of treatment are given below:

### 5.1. SURFACE CLEANING.

The objective here is to eliminate surface adhesions, without modifying, where possible, the base stone or the patina of the material. It is practically impossible to avoid the elimination of part of the original material during the cleaning process. Therefore, it is preferable that an incomplete cleaning process be applied rather than damage the base material.

Cleaning techniques employ: sprayed water, chemical solutions and abrasive agents. The parts of the facade which are not going to be treated should be suitably protected.

**5.1.1. Cleaning with water.** The high dissolving capacity of water eliminates soluble substances and carbonous or bituminous particles stuck to the surface, thereby prolonging the life of the stone.

Different systems may be applied which depend on the quantity, pressure and temperature of the water:

- Continuous sprinkling
- Low Pressure spraying
- Steam cleaning

The first system is the safest and rarely affects the base material, but it does have the disadvantage of requiring large amounts of water, which on saturating the stone may cause the emission of salt and the action of frost. This system though not commonly used, may be improved with the aid of brushing and the addition of a neutral detergent.

Low pressure spraying is frequently employed due to its low cost. It does have the disadvantage that the temperature of the water may cause secondary effects, but this is easy to regulate.

Steam cleaning is increasingly being used with the appearance of new machinery on the market with adequate systems of regulation, which force steam out at moderate pressures over the stonework. This treatment should be applied with care in order to avoid too much abrasion, as the rough surfaces which are produced do not behave as well as smooth surfaces, as salts and moisture adhere much better to the former.

**5.1.2. Chemical Cleaning.** This treatment is the most "detrimental" of all those employed due to the following two reasons. Firstly, because the products used are normally aggressive to most types of stonework, and, if necessary care is not taken, may damage the base material, and this should be avoided on all accounts. Secondly, the damage arising from chemical treatment does not appear immediately, which would enable prompt action, but instead appears after a certain period of time when it is already too late to intervene.

The products are usually acid or primary compounds, as well as tensoactive agents and organic solvents. The application of primary substances or alkaline soaps is very dangerous as these compounds form salts which are deposited in the pores and subsequently damage the stone. When employing these products it is necessary to apply a subsequent neutralization.

The acid substances employed are usually fluorinated compounds which are suitable for sandstone, but unsuitable for limestone, which requires a primary substance.

The tensoactive agents do not act directly on the cleaning of the stone, but help the cleaning solutions to come into contact with the incrustations and layers of dirt, thereby removing them more easily.

As a basic precaution when using any product of this type, it is essential to saturate the surface of the material first, in order to prevent the products from penetrating too far into the stone, and to limit the time of action of the chemical agent by applying a neutralizing treatment which detains the process and finally to eliminate the remains of the product and the salts which have formed.

## 5. METODOS DE REHABILITACIÓN.

Se exponen, en términos generales, los procedimientos utilizados para la reparación y preservación de las piedras. La razón de unificarlos reside en que alguno de ellos satisface ambos conceptos e incluso, en los casos de reparaciones considerables, que precisan la reconstrucción de algunos elementos, el proceso debe concluirse con la aplicación de un tratamiento preventivo en superficie.

Conforme se ha expuesto al tratar las causas de degradación de las piedras, su alteración es un daño irreparable e irreversible, como todos los procesos naturales. No obstante, se puede actuar sobre la velocidad del proceso degenerativo y retrasarlo algunos siglos, lo cual no es despreciable.

A continuación se exponen los principales tipos de tratamientos.

### 5.1. LIMPIEZA DE SUPERFICIES.

Su objetivo es eliminar las adherencias superficiales, sin modificar, en lo posible, la piedra soporte ni la pátina del material. Es prácticamente imposible evitar que durante la operación de limpieza se elimine parte del material primitivo. Por esto debe prevalecer el criterio de que es preferible aplicar un tratamiento de limpieza incompleto antes que dañar el material de base.

Las técnicas de limpieza emplean: agua proyectada, disoluciones químicas, y agentes abrasivos. Los elementos de fachada que no vayan a ser tratados, deben protegerse convenientemente.

**5.1.1. Limpieza con Agua.**- El agua, por su elevado poder disolvente, elimina las sustancias solubles y las partículas carbonosas o bituminosas adheridas a la superficie, favoreciendo su durabilidad.

Se aplican diferentes sistemas, caracterizados por la cantidad de agua empleada, su presión y temperatura:

- Riego continuo
- Pulverización a Baja Presión.
- Vapor saturado.

El primer sistema es el más seguro y rara vez afecta al material base, pero tiene el inconveniente de precisar gran cantidad de agua, que satura la piedra, provocando posibles emigraciones de las sales y acción de las heladas. Se utiliza muy poco. En ciertos casos se mejora con ayuda de un cepillado y la adición de un detergente neutro.

La pulverización de agua a baja presión es bastante empleada, por su reducido gasto. Tiene el inconveniente de los efectos secundarios que puede ocasionar la temperatura del agua, la cual es fácil de regular.

Con la aparición en el mercado de maquinaria apropiada, con adecuados sistemas de regulación, se utilizan cada vez más los sistemas de vapor saturado proyectado a presiones moderadas sobre la fábrica. Este tratamiento debe aplicarse con cuidado a fin de evitar una abrasión demasiado grande, porque las superficies rugosas producidas se comportan peor que la lisas, debido a que las sales y la humedad se adhieren mejor.

**5.1.2. Limpieza Química.**- Este tratamiento es el menos "inofensivo" de los que pueden emplearse por dos motivos. Primero, porque los productos usados suelen ser agresivos para las piedras, aunque no para todas, pudiendo provocar, si no se utilizan con precaución, daños en el material base, que siempre deben evitarse, y, segundo, que los daños debidos a los compuestos químicos, no se aprecian inmediatamente, permitiendo una pronta actuación, sino que aparecen transcurrido cierto tiempo, cuando ya es tarde para intervenir.

Los productos suelen ser compuestos ácidos o básicos, así como agentes tensoactivos y disolventes orgánicos. La aplicación de sustancias básicas o jabones alcalinos es muy peligrosa, ya que estos compuestos forman sales que se depositan en los poros y posteriormente ejercen una acción destructora. La utilización de estos productos precisa una neutralización ulterior.

Entre las sustancias ácidas suelen emplearse compuestos fluorados apropiados para las piedras silíceas, pero inadecuados con las de tipo calizo, que requieren sustancias básicas.

Los agentes tensoactivos no actúan directamente en la limpieza de la piedra, pero favorecen un mejor contacto de las disoluciones de lavado con las incrustaciones y suciedad adherida, facilitando su desprendimiento.

Como precaución fundamental para el uso de cualquier producto de este tipo, es indispensable proceder antes a saturar con agua la superficie del material, con el fin de que los productos no penetren demasiado en la piedra, y limitar el tiempo de acción del agente químico, aplicando un tratamiento neutralizador que detenga el proceso y elimine los restos del producto y las sales formadas.

**5.1.3. Mechanical cleaning.** This is obtained through the friction or impact of a material against the stone's surface. It is an efficient method, but as it is abrasive, the base material suffers in accordance with its friability and the intensity of the treatment.

The most widely used system is that of either dry or wet sand-blasting. The dry system uses compressed air while the wet system uses a mixture of sand and water. The latter is blasted at high pressure (5MPa), while compressed air does not exceed 0.8 MPa, and, therefore, the risks of wear are much slighter. Another method is the hydropneumatic system which prevents the accumulation of dust which occurs with dry blasting. The efficiency of a method of this type basically depends on the experience of the operator and the characteristics of the blasted materials, and particularly with regards to the sand's grain size, as the kinetic energy of the impact is proportional to cube of its diameter. Modern day sand-blasting equipment take this factor into consideration.

The most modern techniques blast very fine materials at pressures of 0.3 to 0.7 MPa, and may work either "dry" with suction of dust, or "wet" and collecting the residues in the form of paste. The equipment is small in size and may easily reach all the nooks, but it does need to be operated by experienced workers.

Other special techniques are employed which are usually too expensive to be considered for common use, such as: the spraying of dry ice, absorbent clay pastes, and laser cleaning. These treatment are used internally for ornamental details of great artistic value.

## 5.2. DAMP-PROOFING.

The aim of this method is to limit the penetration of moisture without blocking the pores, and which permits the free diffusion of water vapour ("the breathing of the stone"). The products reduce the capillary tension from 70 mj/m<sup>2</sup> (hydrophilic substances) to 12-24 mj/m<sup>2</sup> (water repellent compounds).

These applications protect the stone from the action of ice, acid rain and microbiological attack, and also reduce the penetration of dust and other deposits in the facade and as the stone's capacity to clean itself.

This is the main treatment to take into consideration due to its low cost and low risk of secondary effects. It is not to be recommended when a large amount of water or salts have to be removed from behind the treated area.

Normally it is only necessary to apply one coat, though the operation should be repeated to assure that all areas have been treated.

The concentrations applied range from 5% and 12% when using aluminium or syloxene stearate and from 20% to 100% with silicon monomers.

The efficiency of the treatment may be controlled by the aforementioned dampness and water absorption tests. Water repelling treatments should still be 50% efficient 50 years after their being applied.

## 5.3. SURFACE CONSOLIDATION.

This covers those procedures aimed at reestablishing the structural stability of certain stone elements, which due to the effects of decay have become a weakly bonded mass of pulverulent particles.

This type of decay is particularly noticeable in limestone and in sandstone with a limestone matrix, as the carbonated compounds, which serve as a bonding material, lose their characteristics and cause the material to crumble.

It is not possible to obtain a material which has exactly the same composition or structure as that of the original stone, but these treatments may provide two favourable actions. One of which is a regenerating action provided by the bonding substance employed to consolidate the loose particles. The other is a preventative action, as the new conglomerate should be more resistant to the effect of acid rain, ice and the inclemencies of the weather.

In early restoration work, **glue and gelatine** based treatments were employed. These treatments had a short life as a result of their solubility and the fact that they sealed the stone's pores. Treatments using **linseed oil** which on becoming resinous would bond the eroded stone, caused thick layers over the surface. The impregnation of **organic resins** (acrylics, polyester, epoxy and polyurethane) may replace the damaged matrix on the condition that they penetrate the stone, but unfortunately change the colour of the stone and require vacuum techniques which very much limits their possibilities of application.

Subsequent restoration work was centered around the study of silicate compounds which could hydrate when place in contact with moisture and form insoluble polymers. These reactions provide an inorganic cement within the stone

**5.1.3. Limpieza con Medios Mecánicos.-** La acción se logra por rozamiento o impacto de un material sobre la superficie de la piedra. Es un método eficaz, pero, por ser un sistema abrasivo, el soporte sufre alteraciones proporcionales a su friabilidad y la intensidad del tratamiento.

El sistema más utilizado es el chorro de arena, proyectado en seco o con humedad. El seco utiliza aire comprimido y el húmedo una mezcla de arena y agua. Este último se proyecta a elevadas presiones (5 Mpa), mientras que el aire comprimido no sobrepasa los 0,8 MPa, y los riesgos de desgaste son mucho menores. También se aplica un sistema hidroneumático, que evita la formación de polvo que se produce en la proyección en seco. La eficacia de un método de este tipo depende fundamentalmente de la experiencia del operador y de las características del material proyectado, sobre todo su granulometría, ya que la energía cinética del impacto es proporcional al cubo de su diámetro. Las máquinas de proyección actuales tienen en cuenta este factor.

Las técnicas más recientes proyectan materiales muy finos a presiones de 0,3-0,7 MPa, y pueden actuar en seco con aspiración de polvo, o por vía húmeda, recogiendo los residuos en forma de pasta. Los aparatos son de dimensiones reducidas y de fácil acceso a todos los recodos, pero precisan de mano de obra experimentada.

Se emplean otras técnicas especiales y en general muy costosas para considerarlas como soluciones habituales, tales como: la proyección de nieve carbónica, las pastas absorbentes de arcilla y la limpieza con rayos laser. Estos tratamientos se utilizan en zonas interiores, para detalles ornamentales de notable valor artístico.

## 5.2. HIDROFUGADO.

Su finalidad es limitar la penetración de la humedad, sin obturar los poros, permitiendo la libre difusión del vapor de agua ("respiración de la piedra"). Los productos actúan reduciendo la tensión capilar desde valores de 70 mj/m<sup>2</sup> (sustancias hidrófilas) a 12-24 mj / m<sup>2</sup> (compuestos hidrófugos).

Estas aplicaciones protegen la piedra de la acción del hielo, de la lluvia ácida y de los ataques microbiológicos, también disminuyen la penetración del polvo u otros depósitos en la fachada y además favorecen su capacidad de autolimpieza.

Es el principal tratamiento a tomar en consideración, dada su economía y reducido riesgo de efectos secundarios. Está contraindicado en caso de existir una migración importante de agua o de sales tras la zona tratada.

Suele ser suficiente la aplicación de una sola capa, aconsejándose eventualmente repetir la operación para evitar posibles zonas sin tratar.

Las concentraciones a aplicar oscilan entre 5 % y 12 %, si se utiliza estearato de aluminio o siloxano y del 20 % al 100 % para las siliconas monómeras.

La eficacia del tratamiento se puede controlar mediante los ensayos de mojabilidad y absorción de agua, citados anteriormente. Los tratamientos hidrófugos deben mantener el 50% de su eficacia transcurridos 50 años de su aplicación.

## 5.3. CONSOLIDACIÓN SUPERFICIAL.

Engloba los procedimientos destinados a restablecer la firmeza estructural de ciertos elementos pétreos, convertidos, por efecto de la degradación, en una masa de partículas pulverulentas débilmente aglutinadas.

Estos deterioros se aprecian especialmente en las piedras calizas y en areniscas de matriz caliza, dado que los compuestos carbonatados, que actúan como ligantes, pierden sus características y provocan el desmoronamiento del material.

No es posible obtener un material que tenga exactamente la misma composición o idéntica estructura que la piedra inicial, pero estos tratamientos pueden ejercer dos tipos de acciones favorables. Una regeneradora, debida a la sustancia aglutinante empleada para consolidar las partículas sueltas. Otra preventiva, puesto que el nuevo conglomerante deberá ser más resistente frente a las acciones de la lluvia ácida, al hielo y a las inclemencias climáticas.

En las primeras restauraciones se emplearon preparados a base de **colas y gelatinas**, de efectos poco duraderos, debido a su solubilidad y obturación de los poros, tratamientos con **aceite de linaza** que al resinificarse aglutinan la piedra erosionada, pero originan capas espesas sobre la superficie. La impregnación con **resinas orgánicas** (acrílicas, de poliéster, epoxídicas y de poliuretano) puede reemplazar la matriz destruida, siempre que puedan penetrar en la piedra, pero presenta el grave inconveniente de cambiar su tonalidad y precisa de técnicas al vacío, que limitan mucho sus posibilidades de aplicación.

Los trabajos posteriores se orientaron al estudio de compuestos silicatados, capaces de hidratarse al contacto con la humedad y formar polímeros insolubles. Estas reacciones originan en la masa de la piedra un cemento inorgánico

that makes up for the lack of bonding. The use of **alkaline silicates** was quickly abandoned as they formed soluble salts and crusts on the surface, which gave rise to more defects and damage, and this was also the case with **calcium and magnesium fluosilicates** which hardened the surface but destroyed the matrix of the stone.

Nowadays **organic esters of silicic acid** (methyl and ethyl esters) are generally used and their efficiency has been proved in qualified laboratories. The compounds penetrate into the material well, are not over sensitive to acids and a polymerized silica is deposited which silt up the pores, reducing their permeability and increasing the material's durability. The method of treatment is the most effective of those used today especially when it is complemented by the addition of **water-repelling siloxants**.

New procedures have been developed by Dr. Lewin based on two new ideas. The first of which is that a stone in contact with a slightly basic solution will recrystallize after a sufficient period of time. That is to say that its crystals dissolve and then restructure again incorporating the broken up particles within its structure. The second refers to barium, which in the presence of gypsum should react, precipitating insoluble barium, thereby preventing it from reaching the surface and forming films. This treatment is carried out by immersion in baryta water, using urea as the catalyst of carbonation.

#### 5.4. RECONSTRUCTION WITH MORTAR.

This type of treatment is used when decay has caused the stone to lose its shape by, for example, several centimeters. This consists of applying a mortar by trowel or float in order to reconstruct the original shape of the damaged elements.

The mortars used are provided in the form of previously proportioned mixtures based on mineral conglomerates (cement, lime, zinc oxychloride, etc.) or synthetic (acrylic, epoxy or polyester resins, etc.) and stone dust with a similar colouring, texture and type to that being repaired.

When carrying out this type of treatment one should consider:

- \* That the inorganic hydraulic conglomerates frequently pose problems of bonding and shrinkage which may cause cracks to appear and, therefore, the rapid disintegration of the repaired area.
- \* The thermal expansion ratios of synthetic based binders are normally ten times greater than that of the stone being repaired,  $12-50 \times 10^{(-6)}\text{C m/m}$ , against  $5 \times 10^{(-6)}\text{C m/m}$ . This characteristic together with the generally very good bond achieved with these products may cause fractures due to the shearing of the stone.

In order to avoid these handicaps it is necessary to observe the following

- 1st.- Assure that the base is sound, by previously eliminating part of the damaged stone.
- 2nd.- When the thickness of the area to be repaired is greater than 2cm, the mortar should be spread in successive coats of approximately 1 cm thickness, and, where necessary, placing stainless steel anchors which hold the mortar to the stone base.
- 3rd.- Do not mortar large areas or stretches without providing open joints which are able to absorb movements due to shrinkage and/or hygrothermal shift. The maximum length without joints is considered to be 40cm.
- 4th.- For this repair work it is essential to carry out previous wet and dry tests to verify the bonding of the mortar, the appearance of the repair, appearance of cracking in the base material or in the mortar, once the setting process has been completed.

#### 6. CONCLUSIONS.

As a summary to all the above we feel it is necessary to give the basic steps regarding the pathological study and conservation of stone elements:

- 1) It is necessary to ascertain the nature and type of stone, in accordance with the analytical and component characteristics as given in paragraph 2, and to consider both intrinsic and environmental changes which may have affected the material in accordance with its mineral composition.
- 2) Verify, by way of the test methods described in 4.1, the alterations found in the stone and establish a diagnosis which indicates the state of decay to the best of one's knowledge. A complete physical-chemical analysis requires a Test Plan such as the one given below.

que la confiere su cohesión perdida. El empleo de **silicatos alcalinos** se abandonó rápidamente debido a la formación de sales solubles y cortezas en la superficie, que implican más defectos y daños, así como los **fluosilicatos de calcio y magnesio**, que endurecen la superficie, pero destruyen la matriz de la piedra.

En la actualidad la atención se centra en los **ésteres orgánicos del ácido silícico** (ésteres metílico y etílico), cuya eficacia se ha comprobado en laboratorios cualificados. Estos compuestos penetran bien en el material, son poco sensibles a los ácidos y la sílice polimerizada se deposita y colmata los poros, disminuyendo su permeabilidad y acrecentando su durabilidad. Este sistema de tratamiento es el más efectivo en la actualidad sobre todo si se complementa con la adición de **siloxanos hidrofugantes**.

El Dr. Lewin ha desarrollado nuevos procedimientos basados en dos ideas nuevas. La primera es que una piedra puesta en contacto con una disolución ligeramente básica, durante un período de tiempo suficiente, recristaliza. Es decir que sus cristales se disuelven y se ordenan de nuevo incluyendo en sus redes espaciales las partículas desagregadas. La segunda se refiere al bario, que en presencia de yeso debe reaccionar, precipitando sulfato de bario insoluble, por lo que no podrá acceder a la superficie para originar placas. Este tratamiento se efectúa mediante inmersión en agua de barita, empleando como catalizador de su carbonatación la urea.

#### 5.4. RECONSTRUCCIÓN MEDIANTE MORTERO.

Se emplea este tipo de tratamiento cuando el contorno de la piedra, debido a las alteraciones, ha disminuido sus dimensiones, por ejemplo, en centímetros. Consiste en la aplicación de un mortero, mediante llana u otro tipo de útil similar, para reconstruir el perfil original de los elementos afectados.

Los morteros que se utilizan son comercializados en forma de mezclas predosificadas a base de conglomerantes minerales (cemento, cal, oxiclورو de zinc, etc), o sintéticos (resinas acrílicas, epoxídicas, poliésteres, etc), y polvo de piedra de coloración, textura y tipo similar a la de referencia.

En estos tratamientos debe tenerse en cuenta:

- \* Que los conglomerantes hidráulicos inorgánicos suelen presentar problemas de adherencia y de retracción, que pueden provocar la aparición de fisuras y, por tanto, la pronta disgregación de la zona reparada.
- \* Que los coeficientes de dilatación térmica de los morteros a base de ligantes sintéticos suelen ser diez veces superiores a los de la piedra en reparación,  $12-50 \times 10^{(-6)} \text{ }^\circ\text{C m / m}$ , frente a  $5 \times 10^{(-6)} \text{ }^\circ\text{C m / m}$ . Esta característica junto con la adherencia lograda con estos productos, que generalmente es muy buena, puede dar lugar a roturas por cizallamiento de la piedra.

Para evitar estos inconvenientes es preciso :

- 1º.- Asegurarse de que el soporte está sano, eliminando previamente la parte de piedra alterada.
- 2º.- Cuando el espesor de la reparación sea superior a 2 cm, debe procederse a extender el mortero en capas sucesivas de aproximadamente 1 cm. disponiendo, si fuera preciso, anclajes metálicos inoxidables que fijen el mortero a la piedra base.
- 3º.- No extender superficies o longitudes importantes de mortero sin prever juntas abiertas, que sean capaces de absorber los movimientos debidos a la retracción y/o los desplazamientos higrótérmicos. Se considera que como máximo deben utilizarse longitudes de 40 cm sin juntas.
- 4º.- En estas reparaciones es imprescindible realizar ensayos previos, en seco y húmedo, de la adherencia del mortero, aspecto de la reparación, aparición de fisuras en el material base o en el mortero, una vez que haya transcurrido el proceso de curado.

#### 6.- CONCLUSIONES.

Como colofón a todo lo expuesto se puede concluir que en el estudio de cualquier tema de patología y rehabilitación de elementos de piedra creemos necesario dar unos pasos básicos que serían los siguientes

- 1) Debe procederse al conocimiento de la naturaleza y tipo de piedra, de acuerdo con las condiciones analíticas y de composición del párrafo 2. y considerar, en función de su composición mineralógica, las alteraciones, tanto intrínsecas como ambientales que hayan podido afectar al material.
- 2) Comprobar, mediante los métodos de ensayo descritos en el punto 4.1., las alteraciones que presenta la piedra y establecer un diagnóstico, que nos indique con fiabilidad el estado de degradación. El análisis físico-químico completo exige la realización de un Plan de Ensayos como el que se relaciona a continuación

### TEST PLAN

<b>SAMPLES NECESSARY</b>	15 - 5cm cube test pieces. 5 - 2.5 x 2.5 x 25 cm <sup>3</sup> prismatic test pieces 2 samples no smaller than 300g each, taken and conserved under optimum conditions.
<b>TESTS CARRIED OUT</b>	The following tests to be carried out, in the order shown, on 5 - 5cm cube test pieces: 1.- Porosity. 2.- Density. 3.- Water absorption 4.- Saturation ratio 5.- Compressive Strength (saturated state)
	On 5 - 5cm cube test pieces: 1.- Absorption by drops. 2.- Compressive Strength (dry state) 3.- Chemical Analysis 4.- Petrographical analysis (X-ray) 5.- Soluble salt content. 6.- Iron and pyrite compound.
	On 2 - 5cm cube test pieces: 1.- Capillary suction. 2.- Resistance to crystallization.
	On 3 - 5cm cube test pieces: 1.- Test for freezing
	On 5 prismatic test pieces: 1.- Lineal expansion by water absorption.

3) Subsequently the cleaning work will be carried out using the more suitable methods for each case, as indicated in the following table

### CLEANING TREATMENT.

STONE MATERIAL	TO WATER		CHEMICAL TREATMENT		MECHANICAL TREATMENT	
	Steam	Spraying	Tensoactive	Acids.	Hydropneumatic	Spray
Porous	E	E	O	E	O	A
Smooth	A	E	E	E	E	3
Polished	A	E	A	O	O	O
Limestone & marble	A	A	E (2)	O (3)	E (4)	A (4)
Sandstone (1)	O	O	O	E	E	E
Granite	E	E	E (2)	A (4)	E (4)	E (4)
Concrete	A	E	O	E	E (4)	E (4)
Rendered	E	E	O	O	E	A

**A** = Adequate

**O** = Inadequate

**E** = Possible to use

(1)= Rough surfaces which are difficult to clean. (2)= Suitable for smooth surfaces. (3)= Special products. (4)= Unsuitable for smooth surfaces



### PLAN DE ENSAYOS

<b>MUESTRA NECESARIA</b>	15 probetas cúbicas de 5 cm de arista. 5 probetas prismáticas de 2,5 x 2,5 x 25 cm <sup>3</sup> . 2 porciones no inferiores a 300 g. cada una, tomadas y conservadas en condiciones de máxima inalterabilidad.
<b>ENSAYOS A REALIZAR</b>	Sobre 5 probetas cúbicas de 5 cm de arista, se efectúan los siguientes ensayos, en el orden indicado: 1.- Porosidad. 2.- Densidad. 3.- Absorción de agua. 4.- Coeficiente de saturación. 5.- Resistencia a Compresión (estado saturado)
	Sobre 5 probetas cúbicas de 5 cm de lado: 1.- Absorción, por gotas. 2.- Resistencia a Compresión (estado seco). 3.- Análisis químico. 4.- Análisis petrográfico (D.R.X.) 5.- Contenido de sales solubles. 6.- Compuesto de hierro y piritas.
	Sobre 2 probetas cúbicas de 5 cm de lado: 1.- Succión capilar. 2.- Resistencia a la cristalización.
	Sobre 3 probetas cúbicas de 5 cm de lado: 1.- Ensayo de heledicidad
	Sobre las 5 probetas prismáticas: 1.- Dilatación lineal por absorción de agua.

3) Posteriormente se efectuarán los trabajos de limpieza eligiendo los métodos más adecuados, conforme se indica en el cuadro siguiente:

#### TRATAMIENTOS DE LIMPIEZA.

MATERIAL DE FABRICA	AL AGUA		TRATAMIENTO QUIMICO		TRATAMIENTO MECANICO	
	Vapor satur	Pulverización	Tensoactivos	Acidos.	Hidroneumático	Proyección
Ladrillos Poroso	E	E	O	E	O	A
Liso	A	E	E	E	E	3
Esmaltado	A	E	A	O	O	O
Caliza y Marmol	A	A	E (2)	O (3)	E (4)	A (4)
Arenisca (1)	O	O	O	E	E	E
Granito	E	E	E (2)	A (4)	E (4)	E (4)
Hormigón	A	E	O	E	E (4)	E (4)
Enfoscado	E	E	O	O	E	A

A = Adecuado

O = Inadecuado

E = Eventualmente utilizable.

(1)= Rugosidades difíciles de limpiar.

(2)= Adecuado para superf. lisas

(3)= Productos especiales

(4)= No apto para superf. lisas.

---

The table includes the most commonly used stone and other materials that are normally used in facades. The table only aims to offer general guidelines and does not pretend to replace specialist skill and experience.

- 4) Finally, it should be repeated that it is necessary to carry out previous tests on representative buildings, in order to evaluate the efficiency of the selected process and possible secondary effects. It is also necessary to offer a warning regarding those products with a patent pending and whose components are not known at the outset: in all cases one should be aware of the basic characteristics of the product, particularly if this works by chemical action.

---

Se han incluido los tipos de piedra más habituales y otros materiales no pétreos normalmente utilizados en fachadas. Sólo se intenta dar una orientación básica, que no pretende sustituir a la competencia y experiencia de un especialista.

- 4) Por último, conviene insistir en la realización de ensayos previos en obra representativos, para evaluar el nivel de eficacia del procedimiento escogido, y los eventuales efectos secundarios. También es preciso advertir sobre aquellos productos sujetos a patente y, por tanto, de los que se desconoce "a priori" su constitución: en todos los casos se debería informar sobre sus características básicas, sobre todo si su acción es química.

25

## BIBLIOGRAPHY

- 1.- AMOROSO, G. y FASINA, V.- Stone Decay and Conservation, Edit. Elsevier, (1983)
- 2.- DE BRUYN, R. Y PIEN, A. "Les Materiaux Pierreux Naturels; Alterations et Diagnostic", CSTC Magazine, Printemps, 1993 y Eté 1993, - Bruxelles.
- 3.- FDEZ. PARIS, J.M. - "Valoración del Estado de Alteración de los Materiales Pétreos en Monumentos.- INTEMAC, publication n 7,- Madrid,(1976).
- 4.- FDEZ. PARIS, J.M. - "Influencia del Medio Ambiente en los Materiales de Construcción: La Humedad." INTEMAC, publication n 19,- Madrid, (1982).
- 5.- FRITSCH, H. "La Conservación de Piedras Naturales", - Arte y Cemento, page 68 (1984).
- 6.- PIEN, A y DE BRUYN, R.- "Le Nettoyage des Facades".- CSTC Magazine, Hiver 1992, - Bruxelles.
- 7.- PIEN, A y DE BRUYN, R.- "Les Materiaux Pierreux Naturels; Alterations et Diagnostic".- CSTC Magazine, Printemps. 1993 y Ete 1993,-Bruxelles.
- 8.- PIEN, A y DE BRUYN, R.- "Le Nettoyage des façades", CSTC Magazine, Hiver 1992, Bruxelles.
- 9.- TORRACA. G.-"L'Etat Actuel des Connaissances sur les Alterations des Pierres". Materiaux et Constructions, Vol 7, n 42, page 375 ,(1974).
- 10.- FRITSCH, H.- "La Conservación de Piedras Naturales",- Arte y Cemento, Nº 1400-1401, 20/30 Agosto 1984 page 68 ,

## BIBLIOGRAFIA.

- 1.- AMOROSO, G. y FASINA, V.- Stone Decay and Conservation, Edit. Elsevier, (1983)
- 2.- DE BRUYN, R. Y PIEN, A. "Les Materiaux Pierreux Naturels; Alterations et Diagnostic", CSTC Magazine, Printemps, 1993 y Eté 1993, - Bruxelles.
- 3.- FDEZ. PARIS, J.M. - "Valoración del Estado de Alteración de los Materiales Pétreos en Monumentos.- INTEMAC, publicación nº 7.- Madrid,(1976).
- 4.- FDEZ. PARIS, J.M. - "Influencia del Medio Ambiente en los Materiales de Construcción: La Humedad. " INTEMAC, publicación nº 19.- Madrid, (1982).
- 5.- FRITSCH, H. "La Conservación de Piedras Naturales",- Arte y Cemento, pág. 68 (1984).
- 6.- PIEN, A y DE BRUYN, R.- "Le Nettoyage des Facades" .- CSTC Magazine, Hiver 1992, - Bruxelles.
- 7.- PIEN, A y DE BRUYN, R.- "Les Materiaux Pierreux Naturels; Alterations et Diagnostic".- CSTC Magazine, Printemps. 1993 y Ete 1993.-Bruxelles.
- 8.- PIEN, A y DE BRUYN, R.- "Le Nettoyage des façades", CSTC Magazine, Hiver 1992, Bruxelles.
- 9.- TORRACA. G.-"L'Etat Actuel des Connaissances sur les Alterations des Pierres". Materiaux et Constructions, Vol 7, nº 42, pg. 375 ,(1974).
- 10.- FRITSCH, H.- "La Conservación de Piedras Naturales",- Arte y Cemento, Nº 1400-1401, 20/30 Agosto 1984 pag. 68 ,

# Relación de Personal Titulado

## Arquitectos

Jalvo García, Jaime  
Luzón Cánovas, José M<sup>a</sup>

## Ingenieros de Caminos

Acón Robleda, Miguel Angel  
Aparicio Alonso, Angel  
Arroyo Pérez, José Alberto  
Calavera Ruiz, José  
Cortés Bretón, Juan María  
Corral Folgado, Claudio  
Díaz Lozano, Justo  
Fernández Gómez, Jaime Antonio  
Ferrerías Eleta, Román  
González González, Juan José  
González Valle, Enrique  
Hostalet Alba, Francisco  
Izquierdo Bernaldo de Quirós, José M<sup>a</sup>  
Jordán de Urríes de la Riva, Jorge  
Ley Urzaiz, Jorge  
Penón Molins, Eduardo  
Ridruejo Miranda, Leopoldo  
Rodríguez Escribano, Raul Rubén  
Rodríguez Moragón, Julio  
Sanz Pérez, Lorenzo  
Sirvent Sirvent, Enrique  
Tapia Menéndez, José  
Torre Cobo, María Carmen  
Verges Coll, David

## Ingeniero I.C.A.I.

Marín Estévez, Gonzalo

## Ingenieros Industriales

Alvarez Cabal, Ramón Amado  
Arroyo Arroyo, José Ramón  
Bueno Bueno, Jorge  
Durán Boldova, José Miguel  
Valenciano Carles, Federico

## Ingeniero de Telecomunicación

San José Arribas, José

## Licenciados en Ciencias Geológicas

Blanco Zorroza, Alberto  
Massana Milá, Joan  
Rodríguez Duque, Josu

## Licenciados en Ciencias Químicas

Grandes Velasco, Sylvia María  
López Sánchez, Pedro  
Morgado Sánchez, José Carlos

## Licenciada en Geografía e Historia

Calavera Vayá, Ana María

## Arquitectos Técnicos

Alvarez Begega, José Manuel  
Cervera García, Eduardo  
Custodio Sánchez, José M<sup>a</sup>

Díez García, Francisco Javier  
Fuente Rivera, Jesús de la  
Montejano Jiménez, María del Carmen  
Muñoz Mesto, Angel

## Diplomada en Ciencias Empresariales

De la Mano Calvo, Isabel M<sup>a</sup>

## Ingenieros Técnicos Industriales

Díaz-Trechuelo Laffón, Antonio  
González Carmona, Manuel  
Madueño Morano, Antonio  
Sánchez Orgaz, Miguel Angel

## Ingeniero Técnico de Minas

Ballesteros Peinado, Luis Alberto

## Ingenieros Técnicos Obras Públicas

Alañón Juárez, Alejandro  
Aranda Cabezas, Luís  
Blanco García, Fernando  
Carrero Crespo, Rafael  
Esteban García, Juan José  
Fernández Corredera, Carlos  
Galán de Cáceres, M<sup>a</sup> del Puerto  
González Isabel, Germán  
González Nuño, Luis  
Mata Soriano, Juan Carlos  
Montiel Sánchez, Ernesto  
Muñoz Mesto, Angel  
Peña Muñoz, Roberto  
Ramos Pino, Pedro  
Rosa Moreno, José Andrés  
Rozas Hernando, José Juan  
Sánchez Vicente, Andrés  
Valdeita Gómez, M<sup>a</sup> del Mar

## Ingenieros Técnicos Topógrafos

Barragán Bermejo, M<sup>a</sup> Vicenta  
Carreras Ruiz, Francisco  
García Martín, M<sup>a</sup> Mercedes  
López-Canti Casas, Elisa  
Molero Vicente, M<sup>a</sup> Isabel  
Monjo Calderón, Isabel M<sup>a</sup>

## Profesores Mercantiles

González Alvarez, Vicente  
Sampedro Portas, Arturo

## Técnico en Administración de Empresas

González del Olmo, M<sup>a</sup> de la Peña de F.

## Técnico en Informática

García Rodríguez, Juan Tomás

## Técnico en Publicidad

Blanco Armas, Cristina

## Topógrafo

Alquézar Falceto, Ricardo

## CUADERNOS INTEMAC



CUADERNOS INTEMAC es una publicación trimestral, bilingüe en español e inglés, en forma de monografías que recogen trabajos realizados por los técnicos del Instituto o presentados en los Cursos y Conferencias organizados por el mismo.

Los temas tratados cubren tanto el campo de las Obras Públicas como el de la Edificación y sus Instalaciones.

### ULTIMOS TITULOS PUBLICADOS

**Cuaderno Nº 18**  
"Tolerancias en Estructuras de Hormigón".  
Autores: Prof. J. CALAVERA RUIZ,  
Prof. E. GONZALEZ VALLE,  
Prof. J. FERNANDEZ GOMEZ.  
Dres. Ingenieros de Caminos.

**Cuaderno Nº 19**  
"Rehabilitación y durabilidad de fachadas de piedra".  
Autores: J. M<sup>º</sup>. CORTES BRETON,  
Dr. Ingeniero de Caminos.  
J. M. FERNANDEZ PARIS.  
Ingeniero Técnico Industrial Químico.

### CUADERNOS DE PROXIMA APARICION

**Cuaderno Nº 20**  
"Métodos para dosificar mezclas de hormigón".  
Autor: Prof. VITERBO A. O'REILLY DIAZ.  
Dr. Ingeniero Civil.

**Cuaderno Nº 22**  
"Un resumen de investigaciones realizadas por INTEMAC sobre armaduras de hormigón armado".  
Autores: Prof. J. CALAVERA RUIZ,  
Prof. J. FERNANDEZ GOMEZ.  
Dres. Ingenieros de Caminos.

**Cuaderno Nº 21**  
"Patología de estructuras de madera".  
Autor: J. M<sup>º</sup>. IZQUIERDO BERNALDO DE QUIROS.  
Ingeniero de Caminos.

## VIDEOS TECNICOS



INTEMAC, dentro de sus actividades en el campo de la formación, ha iniciado la edición de una serie de VIDEOS TECNICOS, analizando distintos campos de la construcción.

### SERIE OBRAS DE HORMIGON EN MASA, ARMADO Y PRETENSADO.

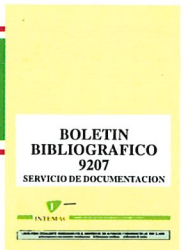
REFERENCIA	TITULO	CONTENIDO	DURACION	PRECIO
Nº 8801 (1)	FABRICACION Y ENSAYO DE PROJETAS DE HORMIGON	Contempla, de forma completa y detallada, el proceso de toma de muestras de hormigón fresco en obra, medida de consistencia con el cono de Abrams, fabricación de probetas, curado en obra, transporte al laboratorio, curado en cámara, refrentado y ensayo a compresión.	27 min.	80.000 ptas* IVA INCLUIDO

### EN PREPARACION

REFERENCIA	TITULO	REFERENCIA	TITULO
Nº 8802 (2)	MUESTREO Y ENSAYO DE ARMADURAS DE HORMIGON ARMADO Y PRETENSADO	Nº 9002 (6)	EJECUCION DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON (II)
Nº 8901 (3)	PIEZAS DE HORMIGON ARMADO SOMETIDAS A FLEXION SIMPLE...	Nº 9101 (7)	PIEZAS DE HORMIGON ARMADO SOMETIDAS A ESFUERZO CORTANTE
Nº 8902 (4)	PIEZAS DE HORMIGON ARMADO SOMETIDAS A COMPRESION	Nº 9102 (8)	PIEZAS DE HORMIGON PRETENSADO SOMETIDAS A FLEXION SIMPLE
Nº 9001 (5)	EJECUCION DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON (I)		

\* PRECIO para entregas dentro del territorio español

## BOLETIN BIBLIOGRAFICO

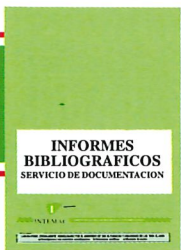


INTEMAC viene realizando desde su fundación un BOLETIN BIBLIOGRAFICO para uso interno, que ofrece, en una lectura rápida, un panorama general de todas las publicaciones técnicas disponibles. Desde 1991, esta publicación bimestral, ha sido puesta a disposición del público.

El BOLETIN BIBLIOGRAFICO incluye:

- Fotocopia del índice y de los resúmenes de los artículos contenidos en las 105 revistas técnicas que se reciben en el Instituto referentes a los campos de la Edificación, Instalaciones, Obras Públicas y Urbanismo.
- Una sección de Normativa reciente, nacional y extranjera.
- Secciones de Bibliografía y Cursos.
- Una sección de Congresos, Reuniones Técnicas y Ferias de próxima celebración en todo el mundo.
- **Tarifa de suscripción anual (6 números) . . . . . 18.000 ptas.**

## CONSULTAS E INFORMES BIBLIOGRAFICOS



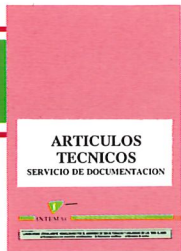
EL INSTITUTO tiene un SERVICIO DE DOCUMENTACION, que pone a su disposición y que le puede informar sobre cualquier tema relacionado con la Edificación, Instalaciones, Obra Civil y Urbanismo. Se efectúan CONSULTAS BIBLIOGRAFICAS sobre cualquiera de los temas indicados anteriormente, de acuerdo con las siguientes tarifas:

Apertura de expediente . . . . .	2.000 ptas.
Cantidad a abonar por referencia . . . . .	60 ptas.
Cantidad a abonar por hoja de fotocopia de documento . . . . .	15 ptas.

Además de la Consulta Bibliográfica correspondiente, el INFORME BIBLIOGRAFICO contiene un breve documento redactado por un especialista en el tema, miembro de INTEMAC, con una serie de recomendaciones sobre la Bibliografía básica, así como los comentarios correspondientes.

Tarifa correspondiente al Informe Bibliográfico: 15.000 ptas. más la tarifa de la consulta.

## ARTICULOS TECNICOS



INTEMAC dispone de una amplia serie de trabajos publicados por nuestros técnicos en diferentes revistas.

A continuación incluimos la lista de los últimos.

Si está Vd. interesado, solicite relación completa de títulos.

- 55 DEFECTOS DE ESTANQUEIDAD Y ADECUACION TECNICA AL MEDIO DE UN EDIFICIO DOCENTE. Arrechea Veramendi, F.; Cortés Bretón, J. M<sup>º</sup>.; Jordán de Urries, J.
- 56 ASPECTOS HUMANOS Y PSICOLOGICOS EN LA IMPLANTACION DEL CONTROL DE CALIDAD DE CONSTRUCCION. Calavera, J.
- 57 ALGUNOS COMENTARIOS A LA EH-91. Calavera, J.
- 58 PROYECTOS DE DOSIFICACION DE UN HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA. Calavera, J.; Fernández Gómez, J.; Jai, J.
- 59 EVOLUCION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UN HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA CON DIFERENTES TIPOS DE CURADO. Calavera, J.; Fernández Gómez, J.; Jai, J.
- 60 WELDED METAL STRUCTURE BUILDINGS IN SPAIN. LATEST DEVELOPMENTS. Cortés, J. M<sup>º</sup>.; Jordán de Urries, J.; Díaz Trechuelo, A.
- 61 HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA. EL PUENTE SOBRE EL RIO EO. Delibes, A.; Fernández Gómez, J.; Fernández Molina, E.
- 62 FORJADOS MIXTOS DE CHAPA Y HORMIGON. Jordán de Urries, J.
- 63 RECIENTES EXPERIENCIAS Y TRES CASOS SIGNIFICATIVOS DE INSPECCION, DIAGNOSTICO Y REPARACION DE DAÑOS DE VIGUETAS PREFABRICADAS CON CEMENTO ALUMINOSO. Delibes, A.; Díaz Lozano, J.; González Valle, E.; Ley, J.; López Sanchez, P.

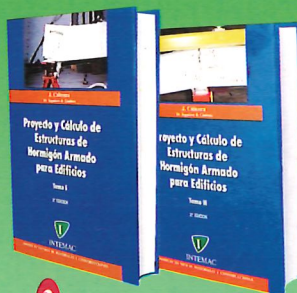
P.V.P. 300 ptas. / ejemplar.



1



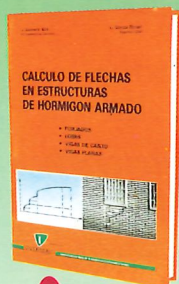
2



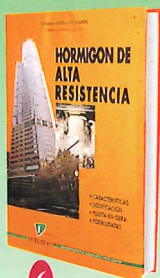
3



4



5



6



7



8

NUEVAS PUBLICACIONES

## 1 CALCULO, CONSTRUCCION Y PATOLOGIA DE FORJADOS DE EDIFICACION

- Autor: *J. Calavera*
- 4ª edición, 1988.
- 678 páginas.
- Encuadernación en guaflex.
- 344 figuras. 93 tablas y ábacos. 188 detalles constructivos. 16 ejemplos resueltos. 159 referencias bibliográficas.
- Precio: 7.900 ptas.

## 3 PROYECTO Y CALCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO PARA EDIFICIOS

- Autor: *J. Calavera*
- 2ª edición, 1991, de acuerdo con las Instrucciones EH-91 y EF-88, con referencia al EUROCODIGO EC-2, Model Code CEB-FIP 1990 y ACI 318-89.

### TOMO I: CALCULO DE ESFUERZOS

- 568 páginas.
- Encuadernación en guaflex.
- 73 figuras. 90 gráficos y tablas auxiliares.

### TOMO II: DIMENSIONAMIENTO Y DETALLES CONSTRUCTIVOS

- 871 páginas.
- Encuadernación en guaflex.
- 61 figuras. 142 gráficos y tablas auxiliares.
- Precio de la obra completa: 17.500 ptas.

## 4 CALCULO DE ESTRUCTURAS DE CIMENTACION

- Autor: *J. Calavera*
- 3ª edición, 1991, de acuerdo con la Instrucción EH-91 con referencia al EUROCODIGO EC-2, Model Code CEB-FIP 1990 y ACI 318-89.
- 418 páginas.
- Encuadernación en guaflex.
- 40 tablas para el dimensionamiento directo de zapatas corridas y aisladas.
- Precio: 8.000 ptas.

## 5 CALCULO DE FLECHAS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO

- Autores: *J. Calavera* • *L. García Dutari*
- Edición 1992.
- De acuerdo con las Instrucciones EH-91 y EF-88, el EUROCODIGO EC-2, el Model Code CEB-FIP/1990 y la Norma Norteamericana ACI 318-89.
- 336 páginas.
- Encuadernación en guaflex.
- 312 tablas de comprobación de forjados, losas, vigas de canto y vigas planas.
- Diskette conteniendo tres programas informáticos de Cálculo de Flechas, para secciones de forma cualquiera.
- Precio: 7.400 ptas.

## 6 HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA

- Autor: *G. González - Isabel*
- Edición 1993.
- 316 páginas.
- Encuadernación en guaflex.
- 34 ejemplos de dosificaciones tipo. 111 figuras. 87 tablas auxiliares. 189 referencias bibliográficas.
- Contenido: características, dosificación, puesta en obra y posibilidades del Hormigón de Alta Resistencia.
- Precio: 6.500 ptas.

## 7 MANUAL DE DETALLES CONSTRUCTIVOS EN OBRAS DE HORMIGON ARMADO

- Autor: *J. Calavera*
- Edición 1993.
- 506 páginas.
- Encuadernación en guaflex.
- 210 detalles constructivos con comentarios y recomendaciones.
- Además del libro se ha editado un Paquete informático consistente en 6 diskettes de 3,5" con ficheros en AutoCAD versión 10 (compatible con las versiones AutoCAD 11 y 12) conteniendo los 210 Detalles Constructivos, para su salida por impresora o plotter después de adaptar, si se desea, cada Detalle a las condiciones de cada proyecto concreto y un Manual de Instrucciones. No contiene las páginas de Comentarios y Recomendaciones incluidas en el libro.
- Precio del libro: 16.000 ptas.
- Precio del paquete informático (manual de instrucciones y diskettes): 30.000 ptas.

## 8 TECNOLOGIA Y PROPIEDADES MECANICAS DEL HORMIGON

- Autor: *A. Delibes*
- 2ª edición, 1994.
- 416 páginas.
- Encuadernación en guaflex.
- Precio: 7.500 ptas.



INTEMAC

### BARCELONA

Antón Fortuny 14-16. Esc. C. 4.º 2.ª  
Tel.: (93) 473 85 00 • Fax: (93) 473 79 32.  
08950 Esplugues de Llobregat

### MADRID

Monte Esquina, 30, 4.º D.  
Tel.: (91) 310 51 58 • Fax: (91) 308 58 65.  
28010 MADRID.

### SEVILLA

Héroes de Toledo, s/n. Edif. Toledo, 2, pl. 3ª, módulo 10.  
Tel.: (95) 465 64 11 • Fax: (95) 465 65 04.  
41006 SEVILLA.

### VALLADOLID

C/Pirita; Parcela 221, Nave A-6 Polígono de San Cristóbal.  
Tel.: (983) 29 22 44 • Fax: (983) 29 23 78.  
47012 VALLADOLID.