

CUADERNOS INTEMAC

**Una investigación sobre la eficacia de los distintos sistemas de reparación
de estructuras dañadas por corrosión**

**A survey on the effectiveness of various systems for repairing
corrosion-damaged structures**

Prof. Jaime Fernández Gómez
Dr. Ingeniero de Caminos

Pedro López Sánchez
Licenciado en Ciencias Químicas

Prof. Adolfo Delibes Liniers (†)
Dr. Ingeniero de Caminos



INTEMAC

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

N.º 30

2.º TRIMESTRE '98



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
E C O

AUDITORIA TECNICA MEDIOAMBIENTAL

CONTROL DE IMPACTO AMBIENTAL

Obras Públicas
Edificación
Instalaciones

CONTROL DE CALIDAD AMBIENTAL

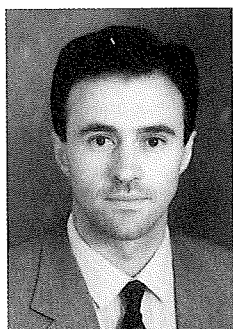
Aire
Agua
Ruido

AUDITORIA MEDIOAMBIENTAL

ASESORAMIENTO EN MATERIA DE MEDIO AMBIENTE

**UNA INVESTIGACIÓN SOBRE LA EFICACIA DE LOS DISTINTOS SISTEMAS
DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DAÑADAS POR CORROSIÓN**

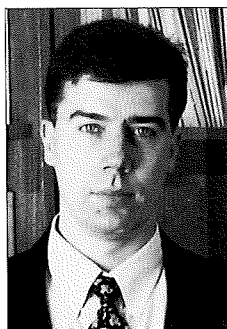
**A SURVEY ON THE EFFECTIVENESS OF VARIOUS SYSTEMS FOR
REPAIRING CORROSION-DAMAGED STRUCTURES**



Prof. Jaime Fernández Gómez

Dr. Ingeniero de Caminos
Director del Laboratorio Central
de INTEMAC

Dr. Civil Engineering
Manager INTEMAC
Central Laboratory



D. Pedro López Sánchez

Licenciado en Ciencias Químicas
Jefe de la Sección de Ensayos
Químicos del Laboratorio Central
de INTEMAC

BSc Chemistry. Head of Chemical
Testing Department, INTEMAC
Central Laboratory



Prof. Adolfo Delibes Liniers (†)

Dr. Ingeniero de Caminos
Fue Director del Laboratorio
Central de INTEMAC

Civil Engineering
He was the Manager
of INTEMAC's Central Laboratory

Copyright © 1997, 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 - 14.753-1998
Infoprint, S.A. - San Vicente Ferrer, 40

INDEX

1. INTRODUCTION
2. SURVEY OF WORKS REPAIRED
 - 2.1. WORKS SURVEYED AND SELECTION CRITERIA
 - 2.2. INSPECTION AND TESTING
 - 2.3. SUMMARY OF CURRENT STATE OF REPAIR
3. SURVEY OF STRUCTURAL MEMBERS REPAIRED
 - 3.1. COLUMNS
 - 3.2. CONCRETE POURING AND CURING
 - 3.3. PRECORROSION AND MONITORING
 - 3.4. REPAIR SYSTEMS USED
 - 3.5. MATERIAL SPECIFICATIONS
 - 3.6. ACCELERATED CORROSION IN WEATHERING CHAMBER
 - 3.7. COMPRESSION TESTING
 - 3.8. FINAL TESTS TO VERIFY STATE OF MEMBERS
4. SUMMARY

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
2. INVESTIGACIÓN SOBRE OBRAS REPARADAS
 - 2.1. OBRAS ESTUDIADAS Y CRITERIOS DE SELECCIÓN
 - 2.2. INSPECCIÓN Y REALIZACIÓN DE ENSAYOS
 - 2.3. RESUMEN SOBRE EL ESTADO ACTUAL
3. INVESTIGACIÓN SOBRE ELEMENTOS ESTRUCTURALES REPARADOS
 - 3.1. PILARES FABRICADOS
 - 3.2. HORMIGONADO Y CURADO
 - 3.3. PRECORROSIÓN Y MONITORIZACIÓN
 - 3.4. SISTEMAS DE REPARACIÓN EMPLEADOS
 - 3.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES
 - 3.6. CORROSIÓN ACELERADA EN CÁMARA CLIMÁTICA
 - 3.7. ENSAYOS A COMPRESIÓN
 - 3.8. ENSAYOS FINALES DE VERIFICACIÓN DEL ESTADO DE LAS PIEZAS
4. RESUMEN FINAL

SUMMARY

The repair of reinforced concrete structures to correct situations caused by corrosion of the reinforcement steel accounts for a large percentage of the total repairs made on such structures. The percentage is even higher if the repairs made to correct other kinds of damage that involve similar treatment are included.

Experience in this regard is not as satisfactory as might be desired, since in some cases problems have been detected in a relatively short period of time after the repair work was done.

The present review, summarising research undertaken by INTEMAC on the effectiveness of different kinds of systems, contains an analysis of performance and the factors that may condition the use of the various repair methods

1. INTRODUCTION

From 1990 to 1995, the Technical Institute of Materials and Constructions (INTEMAC) participated in a BRITE-EURAM research programme, partially funded by the European Union, on the repair of structures damaged due to corrosion of their reinforcement bars. The other organisations participating in the programme were as follows:

Taywood Engineering Ltd (GB)
BRE, Building Research Establishment (GB)
BAM, Bundensanstalt für Materialforschung und Prüfung (Germany)
LABEIN, Centro de Investigación Tecnológica (Spain)
FOSROC,S.A. (Spain)
Istituto Ricerche di Breda (Italy)

In its full scope, the research covered the following objectives:

- Survey of corrosion-damaged structures that had been repaired by various different systems, analysing their actual situation and conducting the respective tests. The effectiveness of the various systems was studied, as well as the aptness of the tests to reflect real performance.
- Development of tests to measure the effectiveness of repair systems, on test specimens repaired and exposed to different natural environments and accelerated ageing.
- Survey repair material properties and their relationship to performance tests.
- Tests on full scale members that had been subjected to corrosion damage for subsequent repair and exposure to accelerated corrosion environments, in order to verify effectiveness of repairs.
- Development and assessment of the effectiveness of monitoring methods.

INTEMAC participated actively in particular in the study on the performance of repaired structures and in testing full-scale repaired members, constructing reinforced concrete columns that were to be repaired and later subjected to accelerated corrosion.

The purpose of all of the above was to gather information that can be reflected in building codes and may lead to both lowering the costs of repairing this kind of damage and enhancement of the effectiveness of such repairs, as well as to the adoption of suitable repair criteria which would command greater user confidence in the systems used.

RESUMEN

Las reparaciones de estructuras de hormigón de armado originada por problemas de corrosión de armaduras suponen un gran porcentaje sobre el total de reparaciones de este tipo de estructuras. Este porcentaje aumenta significativamente si se consideran las reparaciones debidas a otras causas, pero que conllevan un tratamiento semejante.

La experiencia no es todo lo satisfactoria que cabría esperar, y se detectan problemas en algunos casos al poco tiempo de reparadas las obras.

En el presente Cuaderno se recoge el resumen de una investigación realizada por INTEMAC sobre la eficacia de distintos tipos de estos sistemas de reparación, analizando su eficacia y los condicionantes que puede presentar su empleo.

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (INTEMAC) participó durante los años 1990 a 1995 en un programa de investigación BRITE-EURAM, financiado parcialmente por la Unión Europea, sobre reparación de estructuras dañadas por corrosión de armaduras. En el citado proyecto participaron también las siguientes organizaciones:

Taywood Engineering Ltd. (GB)
BRE, Building Research Establishment (GB)
BAM, Bundensanstalt fur Materialforschunch und Prüfung (Alemania)
LABEIN, Centro de Investigación tecnológica (España)
FOSROC, S.A. (España)
Istituto Ricerche di Breda (Italia)

El alcance total de la investigación contemplaba los siguientes objetivos parciales:

- Estudio de estructuras dañadas por corrosión que habían sido reparadas mediante diferentes sistemas, analizando su situación real y realizando ensayos. Se estudió la eficacia de los distintos sistemas y la representatividad de los ensayos para reflejar el comportamiento real.
- Desarrollo de ensayos para medir la eficacia de los sistemas de reparación, sobre probetas reparadas y expuestas a diferentes ambientes naturales y a envejecimientos acelerados.
- Estudio de las propiedades de los materiales de reparación y su relación con los ensayos de comportamiento.
- Ensayos sobre piezas a escala real que habían sido dañadas por corrosión para su posterior reparación y exposición a ambientes de corrosión acelerada, con objeto de comprobar la eficacia de la reparación.
- Desarrollo y evaluación de la eficacia de métodos de monitorización.

En particular, INTEMAC ha participado de forma muy activa en el estudio del comportamiento de estructuras reparadas y en los ensayos sobre piezas a escala real reparadas, fabricando pilares de hormigón armado que fueron reparados y sometidos a procesos de corrosión acelerada.

Con todo ello se pretendía alcanzar el objetivo global de conseguir un conocimiento reflejable a través de normativa que permitiera la reducción de los costes de reparación de este tipo de daños, y el aumento de su efectividad, así como la adopción de criterios adecuados de reparación que se transmitieran a los usuarios con mayor fiabilidad de los sistemas empleados.

The repair systems surveyed are based on removing the contaminated or cracked concrete, cleaning (or possibly replacing) reinforcement steel, preparing the substrate and rebuilding the members. Repairs of this nature are widely used in reinforced concrete, since other problems of damage unrelated to reinforcement corrosion, such as surface contamination due to aggressive agents, chemical attack, cavitation, wear and frost, damage due to fire and many others often call for similar kinds of action. Hence the importance of conducting surveys on the overall effectiveness, in lieu of limiting them to the reinforcement steel, in order to be able to apply the conclusions reached in this regard to other kinds of repairs.

In any case, the approach to these repairs has changed of late, since nowadays they are considered from the standpoint of systems including all operations from the removal of the deteriorated material, preparation of the substrate, choice of kind of replacement material, application and finishing conditions; that is to say, they are now conceived of as repair systems as opposed to the former approach which focused on the application of a specific product. All of this calls for a prior survey to determine the most suitable system.

The properties of the materials used have a substantial effect on repair, but the execution and application of these materials, the state of humidity and surface texture of the substrate are equally important.

The following is a description of the work performed in the two tasks mentioned above in which INTEMAC participated most actively and directly, which are very closely related to the assessment of the effectiveness of repairs.

2. SURVEY OF WORKS REPAIRED

In this part of the project, which involved investigating the present state of works repaired to correct reinforcement corrosion, an attempt was made to focus on structures repaired from 5 to 10 years ago.

Essentially, the intention was to establish the relationship between the cause of the repair, materials and methodology used and present state, quantified by visual inspection and by conducting tests wherever it was possible to do so. A total of 5 structures in the United Kingdom, 7 in Spain and 2 in Italy were inspected and tested.

2.1. WORKS SURVEYED AND SELECTION CRITERIA

In Spain, INTEMAC surveyed seven works, selected in accordance with the following criteria:

- Geographic location in different environments: marine, industrial and continental.
- Accessibility to information and availability for testing.
- Variety of causes of damage and repair methods used.

The works finally selected on the above basis were:

- 1 - An educational building in Northern Spain, in a marine environment (WORKS 1).
- 2 - A bridge over a river in Eastern Spain, in an in-land marine environment, 15 km from the coast (WORKS 2).
- 3 - The refrigeration tower for a steam power plant, in the centre of the country, in an industrial continental environment (WORKS 3).
- 4 - A Community Centre in a continental urban environment (WORKS 4).
- 5 - A housing complex on the East coast, in an industrial marine environment (WORKS 5).
- 6 - A dock in a Mediterranean port (WORKS 6).
- 7 - A hotel on a Mediterranean island, in a coastal marine environment (WORKS 7).

2.2. INSPECTION AND TESTING

Tables 1, 2 and 3 summarise the information on the concrete, the repair and the present state, respectively, of all the works. The following is a brief description of the state of repair of each⁽¹⁾.

WORKS 1. The building was built in 1928. It was repaired in 1984 because the reinforcement bars had suffered severe corrosion damage, which had led to spalling and crumbling of the concrete cover. The concrete was also found to have a high moisture content and saline efflorescence.

The damage was primarily confined to the basement columns and beams and the columns in the top storey. No damage was found in the intermediate storeys.

The flooring slabs were repaired with 2.5-cm thick polymer-modified hydraulic mortar reinforced with an electrowelded wire fabric. A hydraulic mortar with additives, but no polymers was used to reinforce the beams and columns; an additional layer of concrete cover was also applied.

⁽¹⁾ The reference year for this survey is 1991.

Los sistemas de reparación estudiados son los que se basan en retirar el hormigón contaminado o fisurado, sanear las armaduras (con posible sustitución), preparación del sustrato y reconstrucción de las piezas. Este tipo de reparaciones son de muy extensa aplicación en hormigón armado, ya que otros problemas de daños no relacionados con la corrosión de armaduras, tales como la contaminación superficial por productos agresivos, ataques químicos, cavitación, desgaste y heladas, daños por la acción del fuego y muchos otros requieren, en muchos casos, actuaciones semejantes. De ahí la importancia de realizar investigaciones sobre el comportamiento de su eficacia general, y no sólo orientadas a la protección de las armaduras, para poder utilizar las conclusiones al respecto en otras reparaciones.

En cualquier caso desde hace algún tiempo se ha cambiado el planteamiento de estas reparaciones, que se contemplan actualmente como sistemas globales que recogen la eliminación del material degradado, preparación del sustrato, tipo de producto de reposición, condiciones de aplicación y acabado, y por lo tanto se habla de sistemas de reparación en lugar de aplicación de un determinado producto, como se hacía antiguamente. Todo ello requiere un estudio previo para elegir el sistema más conveniente.

Las propiedades de los materiales empleados tienen gran influencia en la eficacia de la reparación, pero igual importancia tienen la ejecución y aplicación de los mismos, el estado de humedad y la textura superficial del sustrato y otras variables.

A continuación se describen los trabajos realizados en las dos tareas antes comentadas en las que INTEMAC ha participado de una forma más activa y directa, relacionadas muy directamente con la evaluación de la eficacia de las reparaciones.

2. INVESTIGACIÓN SOBRE OBRAS REPARADAS

En esta tarea del proyecto se investigó el estado actual de obras reparadas por corrosión de armaduras, tratando de centrar el estudio en estructuras reparadas con una antigüedad de 5 a 10 años.

Fundamentalmente se trataba de establecer la relación existente entre la causa de la reparación, materiales y metodología empleada y su estado actual, cuantificado mediante inspección visual y mediante la realización de ensayos en los casos en que fue posible realizarlos. En total se investigaron mediante inspección y ensayos 5 estructuras en el Reino Unido, 7 en España y 2 en Italia.

2.1. OBRAS ESTUDIADAS Y CRITERIOS DE SELECCIÓN

En España INTEMAC ha estudiado siete obras, las cuales se han seleccionado de acuerdo con los siguientes criterios:

- Situación geográfica representativa de diferentes ambientes: marino, industrial y continental.
- Accesibilidad de la información y facilidad para la realización de ensayos.
- Variedad en las causas de los daños y en los métodos de reparación empleados.

De acuerdo con lo anterior, las obras seleccionadas fueron:

- 1 - Un Edificio Docente en el Norte de España, localizado en ambiente marino industrial (OBRA 1).
- 2 - Un puente sobre un río en el Este de España, en ambiente marino interior, a 15 km de la costa (OBRA 2).
- 3 - La torre de refrigeración de una central térmica, en zona Centro, en ambiente continental industrial (OBRA 3).
- 4 - Un Centro Social en ambiente urbano continental (OBRA 4).
- 5 - Un edificio de viviendas en la costa Este, en ambiente marino urbano industrial (OBRA 5).
- 6 - Un pantalán en un puerto mediterráneo (OBRA 6).
- 7 - Un hotel en una isla mediterránea, en ambiente marino costero (OBRA 7).

2.2. INSPECCIÓN Y REALIZACIÓN DE ENSAYOS

En las tablas nºs 1, 2 y 3 se resume la información correspondiente al hormigón, a la reparación y al estado actual respectivamente. A continuación se hace una breve descripción del estado de cada una de las obras⁽¹⁾.

OBRA 1. El edificio se construyó en el año 1928. En el año 1984 fue reparado porque presentaba importantes daños de corrosión de armaduras, que provocaban el estallido y desprendimiento de los recubrimientos del hormigón. También se detectaba un alto contenido de humedad en el hormigón, con la presencia de eflorescencias salinas.

Los daños afectaban fundamentalmente a los pilares y a las vigas de la planta sótano y a los pilares de la planta bajo cubierta. En las plantas intermedias no se apreciaban daños.

Las placas de forjado se repararon utilizando un mortero hidráulico modificado con polímeros, con un espesor de 2,5 cm, y utilizando una malla electrosoldada de refuerzo. Las vigas y los pilares se reforzaron con un mortero hidráulico aditivado, exento de polímeros, añadiendo un incremento de recubrimiento adicional.

Transcurridos 7 años desde la reparación, la obra presentaba daños leves por corrosión en las estancias destinadas a gimnasio y aseos, en las que existe una humedad ambiente elevada. En la planta bajo cubierta también se

⁽¹⁾ El año de referencia para este estudio es 1991.

Seven years later, minor damage was detected in the building in the rooms used for gymnasium and lavatories, where the relative humidity is high. Corrosion damage was also observed in the storey immediately beneath the roof, although in many cases such damage was found on the fabric installed when the flooring was repaired (see Photograph No. 1).

Carbonation was observed to run very deep and in some cases the carbonated concrete had not been completely replaced during the repair. Adherence between the repair material and the support was poor.

WORKS 2. The bridge was built in 1930. It has three steel and concrete arches and the deck and uprights in the arch are made of reinforced concrete. It was repaired in 1982 for severe corrosion damage, both in the arch and in the reinforced concrete structure. Epoxy resin mortar was the material used in the repair, along with finishing consisting of epoxy paint. There is a photographic record of the repair immediately after it was completed and 9 years later.

Some minor cracking was observed in the arch during inspection, but the reinforced concrete structure did not seem to be damaged. The electrochemical measurements taken indicate that the probability of corrosion when the inspection was conducted was very low, chloride content was likewise very low, although carbonation ran very deep. Photograph No. 2 shows the state of the structure on the date of inspection.

WORKS 3. Built in 1970. In a very short term corrosion damage was observed in the reinforcement in the lower part of the tower, due essentially to a lack of sufficient concrete cover. It was repaired in 1984, using a cement synthetic resin and silica fume mortar, and reinforced with fibres, a fibreglass mesh was installed in the final layer of mortar applied. Finally, the entire surface was painted with an aqueous solution acrylic resin base anti-carbonating paint.

Although some incidental defects due to corrosion were observed during the follow-up inspection, they were confined to very specific areas the tower was found to be generally undamaged.

Photographs Nos 3 and 4 show some details of the tower studied.

WORKS 4. The building was built in 1956 and repaired in 1977 for corrosion damage to the reinforcement bars, which affected primarily the beams on the outside of a series of porticos. The concrete cover had fallen away altogether in some areas and the section of the reinforcement bars was observed to have decreased substantially from the original size. The repair consisted of replacing the reinforcement steel, which was imbedded in an epoxy resin replacement mortar.

The state of the building's structure was found to be satisfactory during the follow-up inspection, although some minor defects were observed. Photograph No. 5 shows the state of the building 14 years after repair.

The corrosion potential and resistivity values show that the present chloride content and risk of corrosion are very low.

WORKS 5. The building was built between 1959 and 1962 and the repairs were done in 1986 and 1987. The bases of virtually all the outside columns were affected by reinforcement corrosion, which had led to crumbling of the concrete cover. Repair consisted of applying an acrylic resin cement mortar and outdoor epoxy-base paint.

In the follow-up inspection conducted 5 years later no visual damage was detected. The corrosion potential and resistivity values indicated a very low risk of corrosion. The chloride content was relatively high, just under the threshold of what is considered acceptable to avoid corrosion in reinforced concrete; the small concentration gradient, however, might be an indication that the presence of chlorides is due to some of the components of the concrete itself rather than to weathering. Carbonation was observed to run very deep, which may in itself justify the corrosive attack.

Details of the repairs 5 years later can be seen in photographs Nos 6 and 7.

WORKS 6. The structure surveyed was a vessel unloading dock in an oil tanker terminal, which was completed in 1971. The dock consists of 653 reinforced, pre-stressed concrete driven piles along a total dock length of 700 m. Repairs were conducted in three stages, depending on the degree of damage, in 1984, 1987 and 1988. Corrosion damage was located in the upper part of the piles and in the beams.

The repair method consisted of replacing the damaged original concrete cover with synthetic resin, silica fume fibre-reinforced cement mortar, using an epoxy resin and zinc phosphate primer to passivate the reinforcement steel and an epoxy adhesive between the concrete and the repair mortar. In some cases passive reinforcement was installed as well and very thick layers were gunited in place. Finally, a tar-epoxy-base paint was used as protection in all the areas repaired.

During the final repair stage, approximately 15% of the piles repaired in the first stage had to be re-treated. Five years later, the state of repair of the works was satisfactory and no significant damage was observed, although some minor damage was noted in a few places (see Photograph No. 8).

observaban daños por corrosión de armaduras, aunque en muchos casos procedían de la malla interpuesta en la reparación del forjado (véase Fotografía nº 1).

Las profundidades de carbonatación eran muy altas, y en algunos casos la reparación no había llegado a sustituir todo el espesor de hormigón carbonatado. La adherencia entre el material de reparación y el soporte era muy baja.

OBRA 2. El puente fue construido en 1930. Tiene tres arcos formados por autocimbra metálica y hormigón, y el tablero y los apoyos en el arco son de hormigón armado. Fue reparado en 1982 por daños severos de corrosión, tanto en el arco como en la estructura de hormigón armado. La reparación se realizó con un mortero de resina epoxi y la terminación con pintura epoxi. Existe documentación fotográfica recién terminada la reparación y 9 años después.

En el curso de la inspección pudieron observarse algunas grietas en el arco, de poca importancia, pero la estructura de hormigón armado no parecía tener daños. Las medidas electroquímicas realizadas indican que la probabilidad de corrosión en el momento de la inspección era muy baja, el contenido de cloruros era igualmente muy bajo y las profundidades de carbonatación elevadas. En la Fotografía nº 2 puede verse el estado de la estructura en la fecha de la inspección.

OBRA 3. Fue construida en 1970. Se observó en un plazo muy corto la aparición de daños por corrosión de armaduras en la mitad inferior de la torre, fundamentalmente debido a problemas de escasez de recubrimientos. Fue reparada en 1984, utilizando un mortero de cemento con resinas sintéticas, humo de sílice y reforzado con fibras, colocando una malla de fibra de vidrio en la última capa de aplicación del mortero. Finalmente se aplicó una pintura anticarbonatación, a base de resinas acrílicas en dispersión acuosa, en toda la superficie.

Durante la inspección de seguimiento se observó algún pequeño defecto localizado por corrosión de armaduras en zonas muy puntuales, pero la generalidad de la torre no presentaba daños.

En las fotografías nºs 3 y 4 pueden verse algunos detalles de la torre objeto de estudio.

OBRA 4. El edificio fue construido en el año 1956, y reparado en 1977 debido a daños por corrosión de armaduras que afectaban principalmente a las vigas exteriores de una serie de pórticos. El recubrimiento de hormigón se había perdido por completo en algunas zonas y las armaduras presentaban pérdidas de sección significativas. Se realizó una reparación, que incluía reposición de nuevas armaduras, utilizando un mortero de reposición a base de resinas epoxi.

Según lo observado en la inspección de seguimiento, el estado de la estructura del edificio es satisfactorio, existiendo algún pequeño defecto puntual. En la Fotografía nº 5 puede verse el estado del edificio a los 14 años de su reparación.

Los valores de medidas de potencial de corrosión y de resistividad señalan que el riesgo de corrosión actual es muy bajo, con contenidos de cloruros muy reducidos.

OBRA 5. El edificio fue construido durante los años 1959 a 1962, siendo efectuada la reparación entre los años 1986 y 1987. Prácticamente todos los pilares exteriores estaban afectados en su base por corrosión de armaduras, con estallido de los recubrimientos. Como método de reparación se utilizó un recubrimiento de mortero de cemento con resinas acrílicas y una pintura exterior en base epoxi.

En la inspección de seguimiento a los 5 años de su reparación no se detectaron daños visualmente. Los valores de potenciales de corrosión y resistividad eran indicativos de una probabilidad de corrosión muy baja. El contenido de cloruros era relativamente elevado, en el límite de lo que suele considerarse aceptable para que no se produzca corrosión en hormigón armado aunque, por el reducido gradiente de concentraciones, la presencia de cloruros podría ser debida a alguno de los materiales componentes del hormigón, y no ser de aportación exterior. La profundidad de carbonatación ha sido muy elevada, y puede ser causa suficiente para justificar el ataque por corrosión.

En las fotografías nºs 6 y 7 se pueden ver algunos detalles de la reparación transcurridos 5 años de su ejecución.

OBRA 6. Se trata de un pantalán para descarga de barcos de una terminal petrolífera, que se terminó de construir en el año 1971. El pantalán consta de 653 pilotes de hormigón armado y pretensado hincados, con una longitud total de pantalán de 700 m. La reparación se efectuó en tres fases en función del nivel de daños, durante los años 1984, 1987 y 1988. Los daños por corrosión se centraban en la parte superior de los pilotes y en las vigas.

El método de reparación empleado fue la sustitución del recubrimiento original dañado por un mortero de cemento con resinas sintéticas, humo de sílice y reforzado con fibras, utilizando una imprimación a base de resinas epoxi y fosfato de zinc para pasivación de las armaduras y un adhesivo epoxi entre el hormigón y el mortero de reparación. En algunos casos se colocó un refuerzo de armaduras pasivas y las capas de grandes espesores se aplicaron mediante gunitado. Finalmente se empleó una pintura impermeabilizante a base de alquitrán-epoxi en todas las zonas reparadas.

En la última fase de la reparación efectuada hubo que actuar nuevamente en un 15% aproximadamente de los pilotes reparados en la primera fase. Transcurridos 5 años de la reparación el estado de la obra era satisfactorio y no se presentaban daños de consideración, aunque en algunas zonas aparecían daños ligeros (véase Fotografía nº 8).

OBRA 7. Fue construido en 1966, y reparado en 1985. La corrosión de armaduras afectaba fundamentalmente a los pilares del porche norte del hotel, con desprendimiento de los recubrimientos. La reparación consistió en retirar el

WORKS 7. Built in 1966 and repaired in 1985. Reinforcement corrosion and crumbling of the concrete cover were found essentially in the columns on the North porch of the hotel. The repair consisted of removing the cover to 2 cm behind the bars, using a cement-base passivating agent to protect the reinforcement which was imbedded in a non-shrinkage hydraulic replacement mortar; finally, the entire surface was protected with an epoxy paint.

The state of repair was satisfactory when the inspection was conducted, with no corrosion damage in the reinforcement steel, although it should also be noted that the maintenance programme implemented involves repainting once a year. The electrochemical and chloride content measurements taken indicate that there is a high risk of corrosion in the areas that were not repaired, although when the inspections were run no damage was yet visible.

Three of the columns repaired are shown in Photograph No. 9.

TABLE No. 1
SPECIFICATIONS AND ASSESSMENT OF REPAIRED CONCRETE STRUCTURES
CHARACTERISATION OF CONCRETE

TEST / ACTIVITY	WORKS							
	1	2	3	4	5	6	7	
Age, years in 1991	63	61	21	36	29	23	25	
Compression strength, fc, MPa	max min	17,4 15,5	14,6 10,3	– –	24,9 11,1	24,4 19,6	≥ 40	38,8 24,6
Cement content, kg/m ³	max min	385 283	200 182	– –	296 194	254 247	– –	496 415
Porosity, %	max min	21,3 17,2	18,6 17,8	– –	25,8 15,8	18,5 17,0	– –	15,9 12,8
Fineness modulus of coarse aggregate	max min	7,61 6,73	7,32 6,66	– –	6,96 6,37	6,68 6,67	– –	6,61 6,13
Maximum size, mm	max min	25 20	25 25	– –	25 20	32 25	– –	20 20

TABLE No. 2
SPECIFICATIONS AND ASSESSMENT OF REPAIRED CONCRETE STRUCTURES
CHARACTERISATION OF REPAIR MATERIAL

MATERIAL, ACTIVITY OR TEST	WORKS						
	1	2	3	4	5	6	7
Material typology	Hydraulic mortar	Epoxy-resin base mortar	Fibre-reinforced synthetic resin, silica fume hydraulic mortar	Epoxy resin mortar	Hydraulic mortar with acrylic resins	Fibre-reinforced synthetic resin, silica fume hydraulic mortar	Hydraulic mortar
Age, years in 1991	7	9	7	14	5	7	6
Compression strength, MPa	62,8	–	64,0	–	70,2	49,5	> 60
Flexural strength, MPa	9,8	–	6,4	12,6	10,9	9,7	7,8
Cement content, kg/m ³	–	–	–	–	198	–	491
Polymer content, %	–	100	–	16,7	7,0	–	–
Adherence, MPa	max min	– –	3,3 0,4	0,8 0,8	0,3 0,2	– –	– –
Porosity, %	–	–	–	1,0	12,9	–	16,9
Thickness, mm	max min	60 35	3 3	50 5	80 30	20 5	≥ 75 55

recubrimiento hasta 2 cm por detrás de las barras, utilizando un pasivante a base de cemento para protección de las armaduras y un mortero de reposición hidráulico sin retracción, acabando finalmente la superficie con una pintura epoxi.

El estado de la reparación cuando se efectuó la inspección de seguimiento era satisfactorio, sin daños por corrosión de armaduras, aunque también hay que señalar que por mantenimiento se pinta todos los años. Las medidas electroquímicas realizadas y los contenidos de cloruros indican que en las zonas no reparadas existe un riesgo de corrosión alto, aunque en la fecha de realización de las inspecciones no se habían manifestado todavía los daños.

En la Fotografía nº 9 pueden verse tres de los pilares reparados.

TABLA Nº 1
CARACTERÍSTICAS Y EVALUACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN REPARADAS
CARACTERIZACIÓN DEL HORMIGÓN

ENSAYO / ACTIVIDAD	OBRA						
	1	2	3	4	5	6	7
Edad, años en 1991	63	61	21	36	29	23	25
Resistencia a compresión, fc, MPa	max	17,4	14,6	–	24,9	24,4	38,8
	min	15,5	10,3	–	11,1	19,6	24,6
Contenido de cemento, kg/m ³	max	385	200	–	296	254	496
	min	283	182	–	194	247	415
Porosidad, %	max	21,3	18,6	–	25,8	18,5	15,9
	min	17,2	17,8	–	15,8	17,0	12,8
Módulo de finura del árido grueso	max	7,61	7,32	–	6,96	6,68	6,61
	min	6,73	6,66	–	6,37	6,67	6,13
Tamaño máximo, mm	max	25	25	–	25	32	20
	min	20	25	–	20	25	20

TABLA Nº 2
CARACTERÍSTICAS Y EVALUACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN REPARADAS
CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL DE REPARACIÓN

MATERIAL, ACTIVIDAD O ENSAYO	OBRA						
	1	2	3	4	5	6	7
Tipología de material	Mortero hidráulico	Mortero a base de resina epoxi	Mortero hidráulico con resinas sintéticas, humo de sílice y fibras	Mortero a base de resina epoxi	Mortero hidráulico con resinas acrílicas	Mortero hidráulico con resinas sintéticas, humo de sílice y fibras	Mortero hidráulico
Edad, años en 1991	7	9	7	14	5	7	6
Resistencia a compresión, MPa	62,8	–	64,0	–	70,2	49,5	> 60
	9,8	–	6,4	12,6	10,9	9,7	7,8
Resistencia a flexión, MPa							
Contenido de cemento, kg/m ³	–	–	–	–	198	–	491
Contenido de polímeros, %	–	100	–	16,7	7,0	–	–
Adherencia, MPa	max	–	3,3	0,8	0,3	–	–
	min	–	0,4	0,8	0,2	–	–
Porosidad, %	–	–	–	1,0	12,9	–	16,9
Espesor, mm	max	60	3	50	80	20	≥ 75
	min	35	3	5	30	5	105

TABLE No. 3
SPECIFICATIONS AND ASSESSMENT OF REPAIRED CONCRETE STRUCTURES
PRESENT STATE

TEST / ASSESSMENT		WORKS						
		1	2	3	4	5	6	7
Chloride content 0-30 mm deep (% of cement by weight)	max	0,40	0,26	–	0,02*	0,61	–	6,21
	min	0,01*	0,10	–	0,00	0,26	–	0,11*
Chloride content 30-50 mm deep (% of cement by weight)	max	0,14	0,17	–	0,04	0,76	–	2,93
	min	–	0,02	–	0,00	0,50	–	0,04 *
Carbonation depth, mm,	max	50	116	–	98	90	–	14
	min	21	81	–	20	35	–	0
Corrosion potential (–mV Ag/AgCl)	max	230-260	210	–	250*	100-220	–	310
	min	110-180*	50	–	110*	30-170	–	100
Resistivity, kW.cm	max	348	> 2000	–	> 2000 *	> 2000	–	> 2000
	min	47		–	1750 *	1286	–	60
ASPECT		Damaged ⁽²⁾	Satisfactory	Satisfactory	Satisfactory	Satisfactory	Acceptable	Satisfactory
RISK OF CORROSION		Low ⁽¹⁾	Low	Low	Low	Low	Medium	Medium

NOTES: (1): The corrosion potential and resistivity measurements were taken in unrepaired, undamaged members.
(2): The adherence between repair mortar and substrate was observed to be poor.
(*): Test run on repair material.

The major causes of corrosion in the works selected in Spain were carbonation –which in some cases reached depths of 100 mm– and scanty concrete covers. For this reason, the repairs yielded satisfactory results, generally speaking. This contrasts with the 5 works surveyed in the United Kingdom, where the main cause of corrosion was chloride content, whose origin was either the concrete components of the concrete itself or a salt warehouse or salt in thawing ice in two cases. Visible damage was already recorded in two of the cases (cracking and iron mould) and in three others the corrosion potential readings detected corrosion in the reinforcement steel, primarily in the interfacing between repaired and unrepaired zones where the chloride levels remain high, giving rise to the formation of galvanic macrocells.

It is noted that repairs due to chloride corrosion call for more careful execution and definition and before undertaking the repair work an in-depth study must be conducted to determine the properties of the concrete substrate, the chloride profiles and the amount of concrete to be replaced by the repair material. Where repairs are to be made to correct carbonation combined with insufficient concrete cover, the area occasioning the repair is, naturally, the area that is in poorest condition (carbonation-cover) and the damage spreads to other areas much more slowly. In any case, a detailed knowledge of the substrate properties, carbonation depths, thickness of concrete cover and cement content is always necessary.

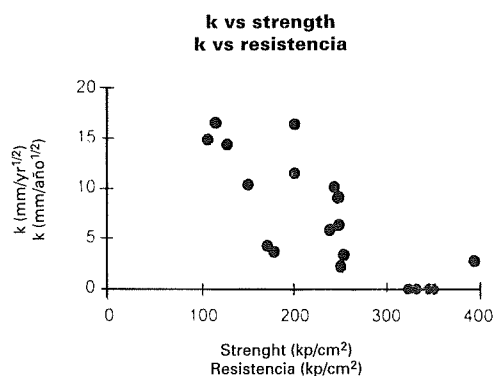


Fig. 1

Acknowledging a relationship between carbonation depth d in mm and time t in years of the sort $d = k \sqrt{t}$, the values of k determined experimentally correlate very acceptably both with concrete strength and cement content. These

TABLA Nº 3
CARACTERÍSTICAS Y EVALUACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN REPARADAS
ESTADO ACTUAL

ENSAYO / EVALUACIÓN	OBRA							
	1	2	3	4	5	6	7	
Contenido de cloruros 0-30 mm de profundidad (% referido al peso de cemento)	max min	0,40 0,01*	0,26 0,10	– –	0,02* 0,00	0,61 0,26	– –	6,21 0,11*
Contenido de cloruros 30-50 mm de profundidad (% referido al peso de cemento)	max min	0,14 –	0,17 0,02	– –	0,04 0,00	0,76 0,50	– –	2,93 0,04 *
Profundidad de carbonatación, mm,	max min	50 21	116 81	– –	98 20	90 35	– –	14 0
Potencial de corrosión (-mV Ag/AgCl)	max min	230-260 110-180*	210 50	– –	250* 110*	100-220 30-170	– –	310 100
Resistividad, kW.cm	max min	348 47	> 2000	– –	> 2000 * 1750 *	> 2000 1286	– –	> 2000 60
ASPECTO		Dañado ⁽²⁾	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Aceptable	Satisfactorio
RIESGO DE CORROSIÓN		Bajo ⁽¹⁾	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio

NOTAS: (1) Las medidas de potencial de corrosión y resistividad fueron determinadas en elementos sin daños, no reparados.
(2) Se ha observado que la adherencia entre el mortero de reparación y el sustrato era muy reducida.
(*) Ensayo efectuado sobre el material de reparación

La causa principal de la corrosión ocurrida en las obras seleccionadas en España ha sido la profundidad de carbonatación, que en algunos casos alcanzaba los 100 mm, unida a recubrimientos de armaduras escasos. Por ello, en general las reparaciones han funcionado de forma satisfactoria. De las 5 obras estudiadas en el Reino Unido, en las cuales la principal causa de corrosión era el contenido de cloruros incorporados en los materiales componentes del hormigón o provenientes de almacén de sal o sales de deshielo, en dos de ellas se registran ya daños visibles (fisuras y manchas de óxido), y en las otras tres las medidas de potenciales de corrosión detectaban procesos de corrosión de armaduras, principalmente en las superficies de contacto entre zonas reparadas y zonas no reparadas, las cuales mantienen niveles elevados de cloruros, dando lugar a la formación de macropares galvánicos.

Se pone de manifiesto que las reparaciones debidas a corrosión por cloruros necesitan una mejor ejecución y definición, y es necesario antes de proceder a la reparación investigar de forma muy precisa las propiedades del sustrato de hormigón, los perfiles de cloruros y definir el alcance de hormigón a sustituir por el material de reparación. En el caso de reparaciones debidas a carbonatación combinada con escasos recubrimientos, la zona que motiva la reparación es lógicamente la de peores condiciones (carbonatación-recubrimientos), y el progreso en otras zonas es mucho más lento. Siempre, en cualquier caso, es necesario un conocimiento detallado de las propiedades del sustrato, profundidades de carbonatación, espesor de recubrimiento y contenido de cemento.

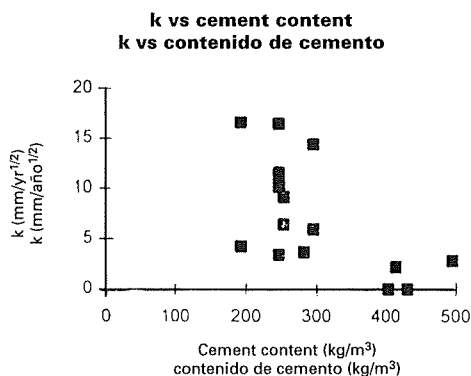


Fig. 2

Admitiendo una relación entre la profundidad de carbonatación d en mm y el tiempo t en años del tipo $d = k \sqrt{t}$, los valores de k determinados experimentalmente se correlacionan de forma muy aceptable tanto con la resistencia del

relationships are shown in figures Nos. 1 and 2, which provide experimental confirmation of the well known theory: for strengths of over 250 kp/cm² and cement contents of over 300 kg/m³, *k* values are very small, but rise drastically for figures under these limits, if relative humidity is within the range in which carbonation processes can take place.

As far as the Pull-off Adherence Tests normally used to determine the effectiveness of repairs are concerned, the results for tests run in Spain and the United Kingdom coincided relatively well. The mean value of all the readings taken in the United Kingdom was 1,45 MPa, with a standard deviation of 0,77 MPa. In Spain the mean value was 1,53 MPa, with a standard deviation of 0,63 MPa. Not only the mean values, but the standard deviation figures are very close. These results are indicative of the difficulties associated with the use of adherence tests to judge the suitability of repair materials. Individual values and the kind of failure (cleavage, breakage due to strain in concrete cover or in concrete) vary widely, and several different kinds of failure may be observed in one and the same test.

The requirement set out in some codes for values of adherence to the substrate of 2,0 MPa may prove to be overly strict in view of the results obtained and the effectiveness of the repairs surveyed.

2.3. SUMMARY OF PRESENT STATE OF REPAIR

The present state of structures and effectiveness of corrosion repairs performed on the works surveyed may be summarised as follows:

- 1 - The works surveyed were conducted to repair reinforcement corrosion due to various different causes and involved materials of different kinds. The location and exposure of the works varied widely.
- 2 - In cases of intense chloride contamination, or high concentration of chlorides from external sources, the repairs may show signs of damage in a very few years' time. Even if the areas are repaired with all due diligence, there is a certain tendency for incipient anodes or galvanic couples to form in the areas adjacent to the repair, causing corrosion. An initial study should be conducted prior to the repair to provide an in-depth definition of the extent and determination of the repairs to be done, in order to avoid such problems. Chloride profiles in particular must be established in all representative areas to confirm that no aggressive ions remain in areas adjacent to the reinforcement bars.
- 3 - Repairs on structures where corrosion is due to carbonation depth tend to perform much better and the minor defects found may be attributed to defective execution.

The execution and initial definition of the scope of the repair also have a substantial effect on subsequent performance. In particular, the areas to be repaired must be duly delimited, measuring cover thickness and carbonation depth so as not to neglect areas that, given the evolution of carbonation depth over time, might be susceptible to damage in the near future.

- 4 - Adherence failures are observed in some repairs, which is an indication of the importance of measuring this parameter when assessing repair systems. In the works surveyed the Pull-off Adherence values some years after the repairs were made proved to vary over a wide range, with similar mean values in Spain and the United Kingdom on the order of 1,5 MPa. On occasion, breakage occurs due to concrete breakage, on others to the breakage of the repair material, on yet others to breakage of the interface between the two (the lowest values correspond to this last kind of breakage), or even a combination of all three.

The substrate Pull-off Strength Test seems to be appropriate, although it is not easy to express an opinion on a minimum requisite value.

3. SURVEY OF REPAIRED STRUCTURAL MEMBERS

Another of the tasks performed in connection with the survey was to construct nearly full scale structural members, in order to study their performance under different kinds of repair and the protection they afforded against possible subsequent corrosion. The second aim pursued was to institute a standard procedure that might serve, in future, as an avenue for research and acceptance of new materials to be used to repair corrosion, based on models with greater similarity to actual structures.

The main objectives of this part of the programme were as follows:

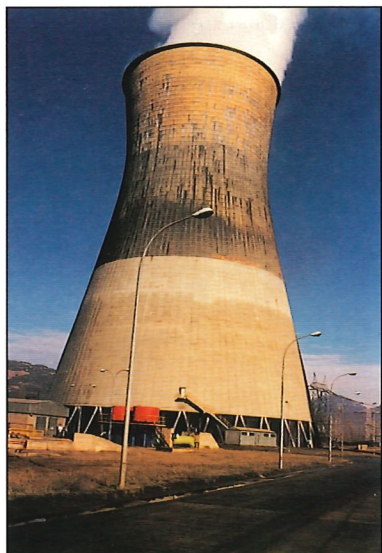
- The study of pre-corrosion systems and the monitoring of structures for future application of standard procedures for testing new materials.
- The analysis of mechanical properties and strengths of reinforced structural members, both under normal circumstances and in situations in which the reinforcement bars are corroded.
- The analysis of incipient anodes in interfaces between repaired and unrepaired areas.
- The establishment of repair criteria on the basis of member mechanical strength.



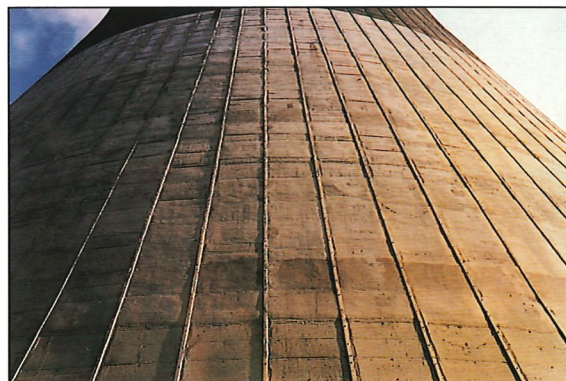
Fotografía nº 1. OBRA 1.
Daños por corrosión en la reparación de forjado.
Photograph No. 1. WORKS 1.
Corrosion damage in repaired flooring.



Fotografía nº 2.
OBRA 2.
Photograph No. 2.
WORKS 2.



Fotografía nº 3.
OBRA 3.
Photograph No. 3.
WORKS 3.



Fotografía nº 4. OBRA 3.
Detalle de la reparación
Photograph No. 4. WORKS 3.
Detail of repairs.



Fotografía nº 5. OBRA 4.
Aspecto de la obra reparada.
Photograph No. 5. WORKS 4.
View of repairs.



Fotografía nº 6.
Aspecto de los pilares reparados en la OBRA 5.
Photograph No. 6.
View of columns repaired in WORKS 5.



Fotografía nº 7. OBRA 5.
Detalle de la base de un pilar
Photograph No. 7. WORKS 5.
Detail of a column base.



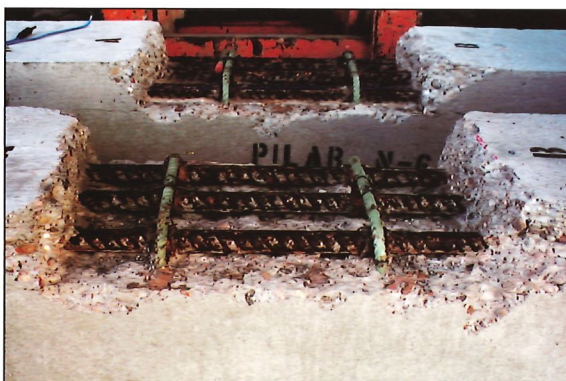
Fotografía nº 8. OBRA 6. Detalle de reparaciones en cabeza de pilotes y cabeceros.
Photograph No. 8. WORKS 6.
Detail of repairs on piles and wallings.



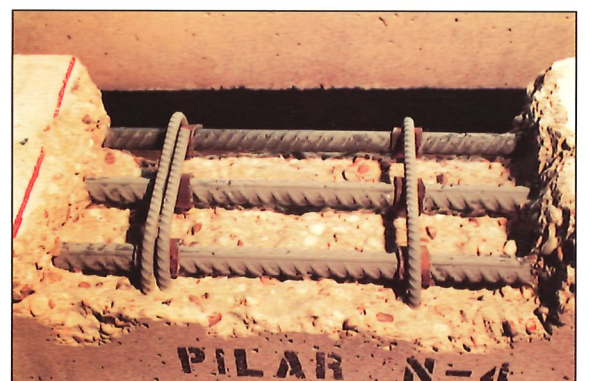
Fotografía nº 9.
Pilares reparados en la OBRA 7.
Photograph No. 9.
Columns repaired in WORKS 7.



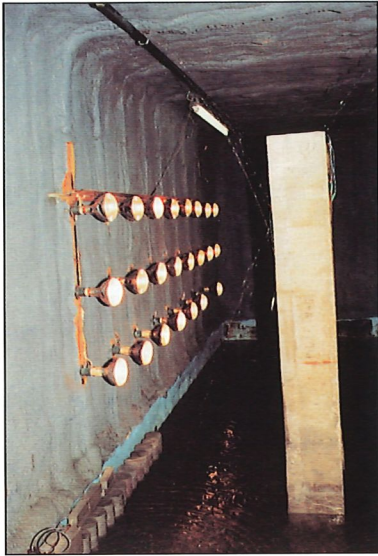
Fotografía nº 10.
Pilares sometidos al proceso de corrosión acelerada.
Photograph No. 10.
Columns subjected to accelerated corrosion.



Fotografía nº 11. Picado del hormigón dañado en la zona a reparar. Aspecto de la armadura.
Photograph No. 11. Removal of concrete in zone to be repaired. View of reinforcement.

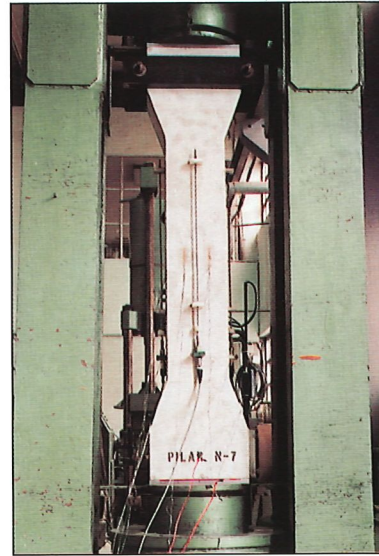


Fotografía nº 12. Reparación según SISTEMA 4. Barras limpias y pintadas con el pasivante.
Photograph No. 12. Repair under SYSTEM 4. Bars, cleaned and painted with passivating substance.



Fotografía nº 13. Pilares en la cámara climática de corrosión acelerada.

Photograph No. 13. Columns in accelerated corrosion climatic chamber.



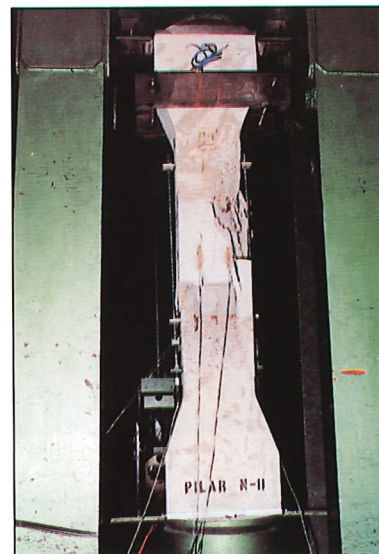
Fotografía nº 14. Disposición del ensayo a compresión de un pilar.

Photograph No. 14. Column prepared for compression testing.



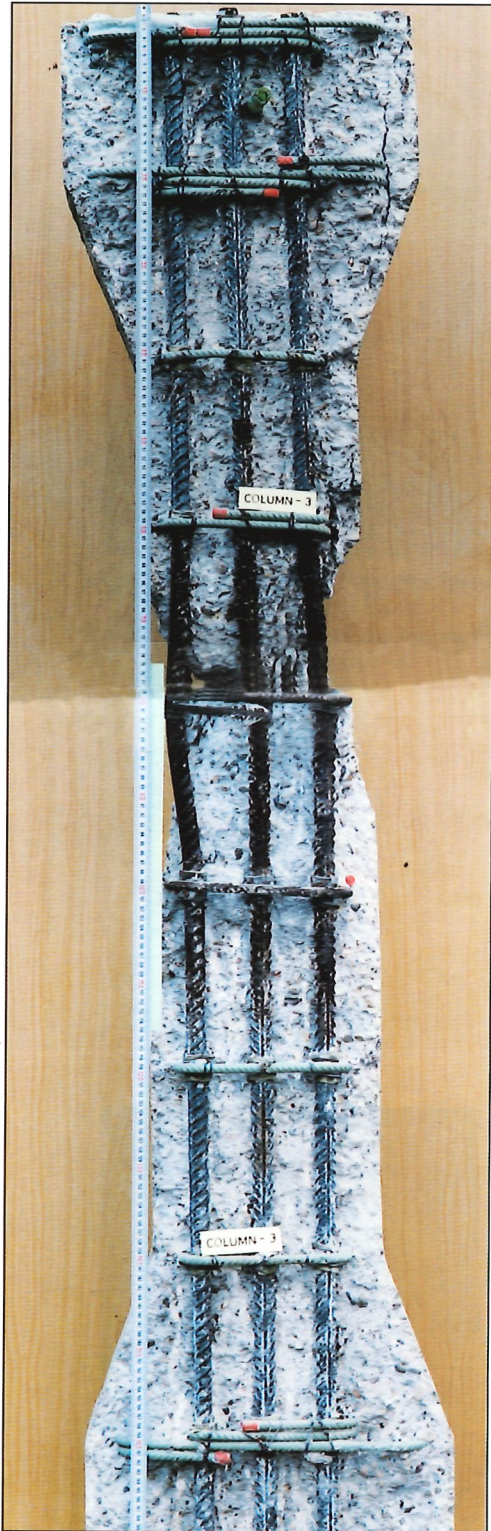
Fotografía nº 15. Aspecto de la rotura de un pilar patrón. (Pilar nº 7).

Photograph No. 15. View of breakage of a reference column. (Column No. 7).



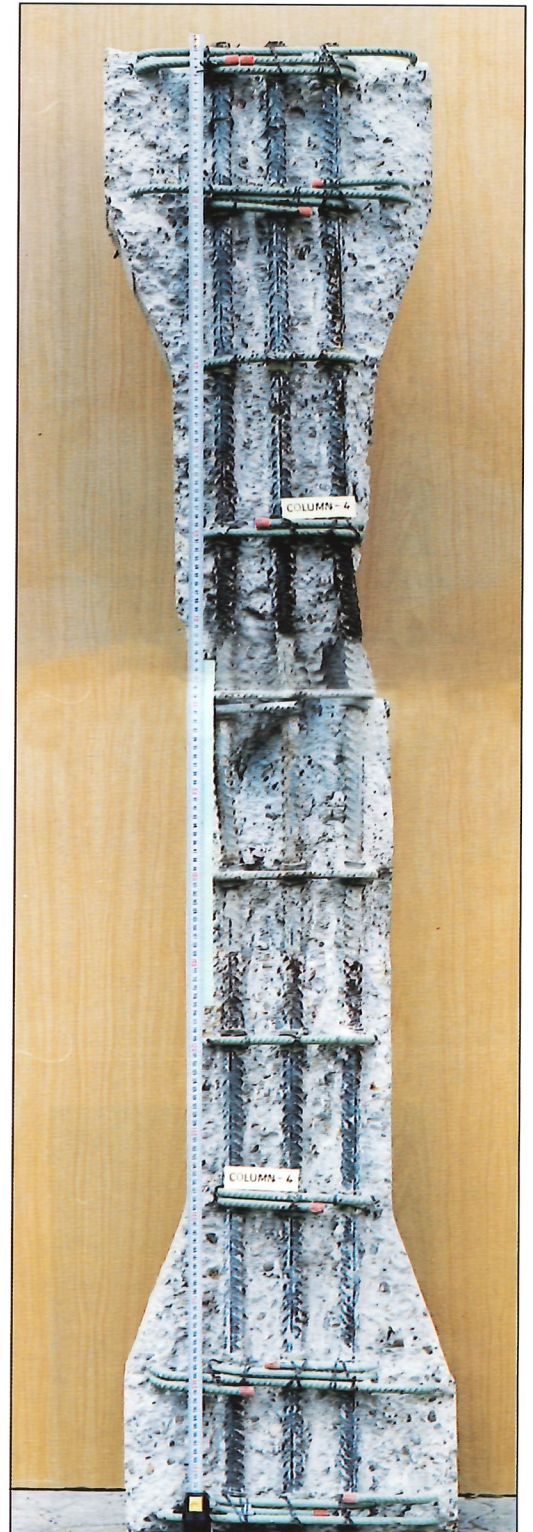
Fotografía nº 16. Aspecto de la rotura de un pilar reparado. (Pilar nº 11).

Photograph No. 16. View of breakage of a repaired column. (Column No. 11).



Fotografía nº 17. Detalle de la armadura de un pilar reparado con el SISTEMA 1 después de su exposición en cámara de corrosión acelerada.

Photograph No. 17. Detail of reinforcement bar in SYSTEM 1-repaired column after exposure to accelerated corrosion in climatic chamber.



Fotografía nº 18. Detalle de la armadura de un pilar reparado con el SISTEMA 4 después de su exposición en cámara de corrosión acelerada.

Photograph No. 18. Detail of reinforcement bar in SYSTEM 4-repaired column after exposure to accelerated corrosion in climatic chamber.

hormigón como con el contenido de cemento. En las figuras nos. 1 y 2 se han representado estas relaciones, pudiendo verse la confirmación experimental de la teoría ya conocida: para resistencias superiores a los 250 kp/cm² y para contenidos de cemento superiores a 300 kg/m³, k presenta un valor muy reducido, pero por debajo de estos límites incrementa su valor de forma drástica, siempre y cuando las condiciones de humedad relativa ambiental estén situadas en un rango que permita el desarrollo de los procesos de carbonatación.

En cuanto a los Ensayos de Adherencia Pull-off, usados habitualmente para determinar la eficacia de las reparaciones, se observó una coincidencia relativamente importante entre los ensayos realizados en España y en el Reino Unido. El valor medio de todas las determinaciones realizadas en el Reino Unido fue de 1,45 MPa, con una desviación típica de 0,77 MPa. En España el valor medio ha resultado 1,53 MPa, con una desviación típica de 0,63 MPa. Ambos valores medios son muy semejantes, e incluso la desviación típica también. Estos resultados indican las dificultades asociadas con la utilización de los ensayos de adherencia para juzgar la idoneidad de los materiales de reparación. Los valores individuales presentan gran variación, e incluso la forma de fallo (despegue, rotura a tracción del revestimiento, rotura a tracción del hormigón), muchas veces combinada en un mismo ensayo.

La exigencia de algunas normas de valores de adherencia al sustrato de 2,0 MPa puede ser muy estricta, a la vista de los resultados obtenidos y de la eficacia de las reparaciones estudiadas.

2.3. RESUMEN SOBRE EL ESTADO ACTUAL

Como resumen de la situación y eficacia de las reparaciones frente a corrosión en las obras estudiadas puede señalarse lo siguiente:

- 1 - Se han estudiado obras reparadas por corrosión de armaduras, debida a diferentes causas, y utilizando materiales diferentes. La situación y condiciones de exposición de las obras eran muy variadas.
- 2 - En contaminaciones intensas por cloruros, o por un fuerte aporte exterior, las reparaciones son susceptibles de presentar daños a los pocos años. Incluso si las zonas reparadas se han ejecutado correctamente, existe una cierta tendencia a la formación de ánodos incipientes o pares galvánicos en las zonas adyacentes a la reparación que provocan corrosión. El estudio inicial previo a la reparación debe definir muy en profundidad el alcance y la definición de la misma, de cara a evitar estos problemas. En particular es necesario el establecimiento de perfiles de cloruros en todas las zonas representativas para confirmar que no queden iones agresivos en zonas adyacentes a las armaduras.
- 3 - Las reparaciones en estructuras en las cuales la corrosión ha sido debida a la profundidad de carbonatación tienden a comportarse mucho mejor, y los pequeños defectos encontrados tienen su origen en fallos en la ejecución de la reparación.

La ejecución y la definición inicial del alcance de la reparación también tienen una incidencia señalable en el comportamiento posterior. En especial hay que delimitar muy bien las zonas a reparar, realizando campañas de medidas del espesor de recubrimiento y de la profundidad de carbonatación, con objeto de no dejar zonas sin reparar susceptibles de un daño futuro cercano, habida cuenta de la evolución de la profundidad de carbonatación con el tiempo.

- 4 - En algunas reparaciones se observan fallos de adhesión, de ahí la importancia de medir la adherencia para evaluar los sistemas de reparación. En las obras investigadas los valores del Ensayo de Pull-off al cabo de unos años de efectuada la reparación presentan gran dispersión, con valores muy similares en España y en el Reino Unido, ofreciendo un valor medio del orden de 1,5 MPa. La rotura se produce en algunos casos por rotura del hormigón, y en otros del material de reparación o en la interfase de ambos (los valores más bajos se corresponden con esta forma de rotura), o de una mezcla de algunas de ellas.

La investigación de la Resistencia a Pull-off del sustrato parece adecuada, aunque no es fácil pronunciarse sobre un valor límite exigible.

3. INVESTIGACIÓN SOBRE ELEMENTOS ESTRUCTURALES REPARADOS

Otra de las tareas realizadas en la investigación ha sido el fabricar elementos estructurales prácticamente a escala real, con objeto de estudiar su comportamiento frente a diferentes reparaciones y la protección que suponían frente a posibles corrosiones posteriores. También se trataba de implementar un procedimiento normalizado que pudiera suponer en el futuro un camino para la investigación y la aceptación de nuevos materiales de reparación frente a daños por corrosión, basado en modelos más parecidos a las estructuras reales.

Los objetivos principales de esta parte del programa trataban de analizar los siguientes aspectos:

- El estudio de sistemas de precorrosión y monitorización de estructuras para la aplicación futura de procedimientos normalizados de ensayo de nuevos materiales.
- Las propiedades mecánicas y resistentes de los elementos estructurales reforzados, tanto en situación normal como en situación alterada por la corrosión de las armaduras.
- La formación de ánodos incipientes en las zonas de interfase de zonas reparadas y no reparadas.
- El establecimiento de criterios de reparación en base a las resistencias mecánicas de los elementos.

A total of 18 beams were built in the United Kingdom and 12 columns in INTEMAC. In both cases two repair methods were used, as defined below.

The following is a description of the tests and results obtained for the columns constructed by INTEMAC.

3.1. COLUMN CONSTRUCTION

Twelve columns were built in all, each with a height of 1.80 m and a section of 0.25 x 0.25 m. Figure 3 shows the column geometry and reinforcement. Some of the columns were subjected to accelerated pre-corrosion to provoke and then repair bar corrosion. Table 4 indicates the combination of variables for each of the columns.

Table No. 4/Tabla N° 4
COMBINATION OF VARIABLES APPLICABLE TO COLUMNS
COMBINACIÓN DE VARIABLES APLICABLE A CADA UNO DE LOS PILARES

SERIES SERIE	COLUMN No. PILAR N°	CHLORIDE CONTENT (%) ⁽¹⁾ CONTENIDO DE CLORUROS (%) ⁽¹⁾			PRE-CORROSION PRECORROSION	REPAIR METHODOLOGY METODO DE REPARACION
		Zone 1 Zona 1	Zone 2 Zona 2	Zone 3 Zona 3		
I ACCELERATED CORROSION (CHAMBER) I CORROSION ACCELERADA EN CAMARA	1	-	-	-	NO	1
	2	-	-	-	NO	4
	3	0,5	3	-	YES/SI	1
	4	0,5	3	-	YES/SI	4
	5	1	3	-	YES/SI	1
	6	1	3	-	YES/SI	4
II CONTROL TESTS II ENSAYOS DE CONTROL	7	-	-	-	NO	NO
	8	-	-	-	NO	NO
	9	1	3	-	YES/SI	NO
	10	1	3	-	YES/SI	NO
	11	1	3	-	YES/SI	1
	12	1	3	-	YES/SI	4

⁽¹⁾ Referred to cement content by weight. Zones are defined as shown in Figure No. 3.

⁽¹⁾ Referido a contenido de cemento en peso. La definición de las zonas puede verse en la Figura n° 3.

There were essentially two series: one used for control testing (Series II, columns 7 to 12), which were subjected to the respective tests after repair, and another that was subjected, after repair, to accelerated corrosion ageing in a special chamber and subsequently to testing (Series I, columns 1 to 6). Both series included reference columns, in Series II an unrepaired column and in Series I repaired columns that had not been corroded prior to repair.

Variable amounts of chlorides were likewise added in certain zones (zones 1 and 2), to study interface behaviour; the repairs described were always made in the area referred as zone 2. The zones are depicted in Figure No. 3.

3.2. CONCRETE POURING AND CURING

The concrete used was prepared in INTEMAC's Central Laboratory with a 450l TEKA mixer; the columns were poured horizontally and compacted with electric vibrators. Some small forms were set on to the upper surface to indicate the areas where concrete chlorides were added.

The columns were stripped three days after pouring and covered with damp burlap until they were 7 days old. From that time they were stored under laboratory conditions until needed for experiments.

Se fabricaron 18 vigas en el Reino Unido y 12 pilares en INTEMAC. En ambos casos se utilizaron 2 métodos de reparación, que se definen más adelante.

A continuación se describen los ensayos y los resultados obtenidos en los mismos, sobre pilares realizados por INTEMAC.

3.1. PILARES FABRICADOS

Se fabricaron 12 pilares de 1,80 m de altura, con una sección de 0,25 m x 0,25 m. La geometría y el armado de los pilares puede verse en la Figura nº 3. Parte de los pilares han sido sometidos a una precorrosión acelerada, con objeto de provocar la corrosión de las armaduras y realizar posteriormente la reparación. En la Tabla nº 4 se indica la combinación de variables correspondientes a cada uno de los pilares.

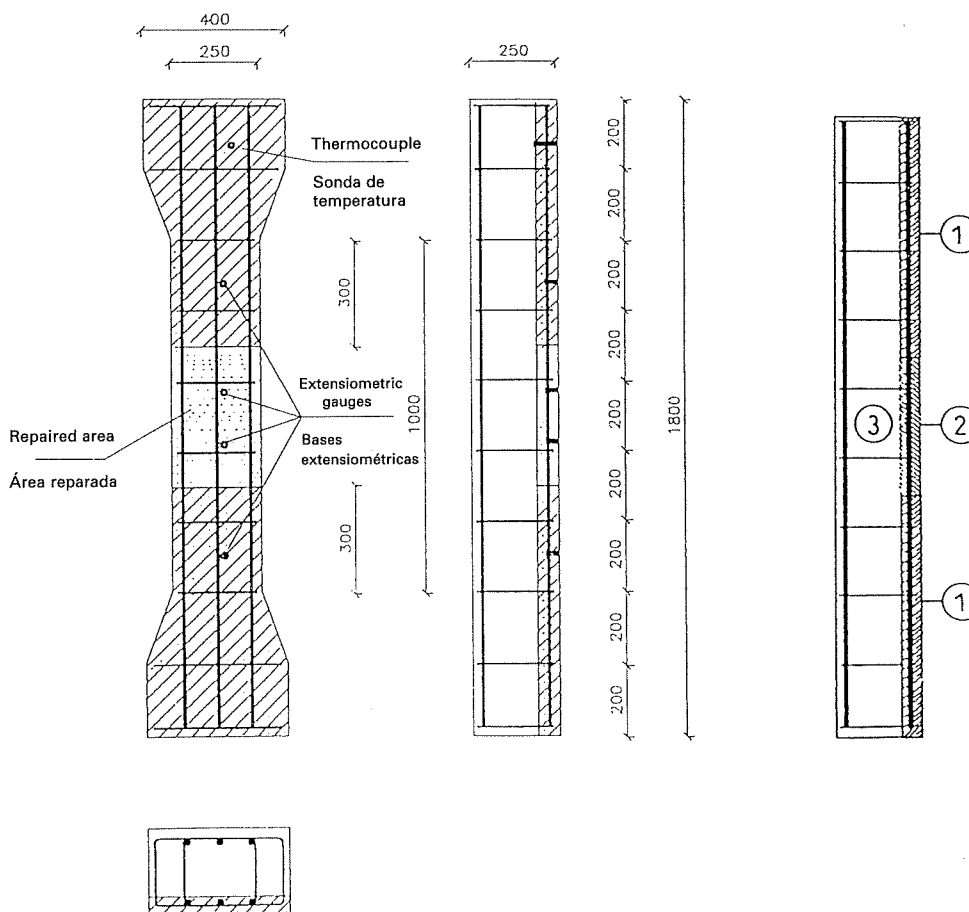


Fig. 3

Se observa que han existido básicamente dos series: una de ellas que se ha utilizado como ensayos de control (Serie II, pilares 7 a 12), habiendo sido sometidos después de la reparación a los ensayos correspondientes, y otra serie que ha sido sometida posteriormente a la reparación a un envejecimiento de corrosión acelerada en una cámara especial, después del cual se han realizado los ensayos (Serie I, pilares 1 a 6). En ambos casos se incorporaban pilares de referencia, en el caso de la Serie II sin reparar, y en el caso de la Serie I reparados pero sin haber sido corroídos previamente a la reparación.

Se han incorporado asimismo cantidades variables de cloruros en algunas zonas (zonas 1 y 2), con objeto de estudiar el comportamiento de la interfase, y se han efectuado siempre las reparaciones en la zona indicada como zona nº 2. Las diferentes zonas aparecen definidas en la Figura nº 3.

3.2. HORMIGONADO Y CURADO

El hormigón se fabricó en el Laboratorio Central de INTEMAC, utilizando una amasadora de 450 l marca TEKA, hormigonando los pilares en posición horizontal y compactándolos con vibradores eléctricos. Se dispusieron unos pequeños encofrados en la cara superior para establecer las zonas en las que se añadieron cloruros al hormigón.

Los pilares se desencofraron a los 3 días, manteniéndose cubiertos con una arpillera humedecida hasta la edad de 7 días. A partir de esa edad se mantuvieron en condiciones de laboratorio hasta sus posteriores manipulaciones.

3.3. PRE-CORROSION AND MONITORING

Extensometre bases were placed at the contact zones between the surfaces to be repaired and unrepaired surfaces. Temperature probes were likewise imbedded in the concrete. The onset of corrosion was monitored by determining the corrosion potential on the finished side with a corrosion potential meter equipped with a copper-sulphate electrode made of copper.

Before proceeding to make the repairs, columns Nos 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11 and 12 were subjected to accelerated corrosion consisting of sending 200 mA current through a steel wire fabric that had been imbedded in the surface of the concrete during column construction, to induce corrosion in the middle zone of the columns. This pre-corrosion system was applied for 48 consecutive days. The first signs of corrosion were observed in all columns after fifteen days of treatment, with cracks in the areas with the highest chloride content.

A scheme showing how columns were pre-corroded is given in Figure No. 4 and Photograph No. 10 shows the situation during processing. It can be clearly seen, from the corrosion potential pattern over time for one of the columns shown in Figure No. 5, that after the current was removed, corrosion potentials dropped to under -300 mV, an indication that the reinforcement bars had become corroded.

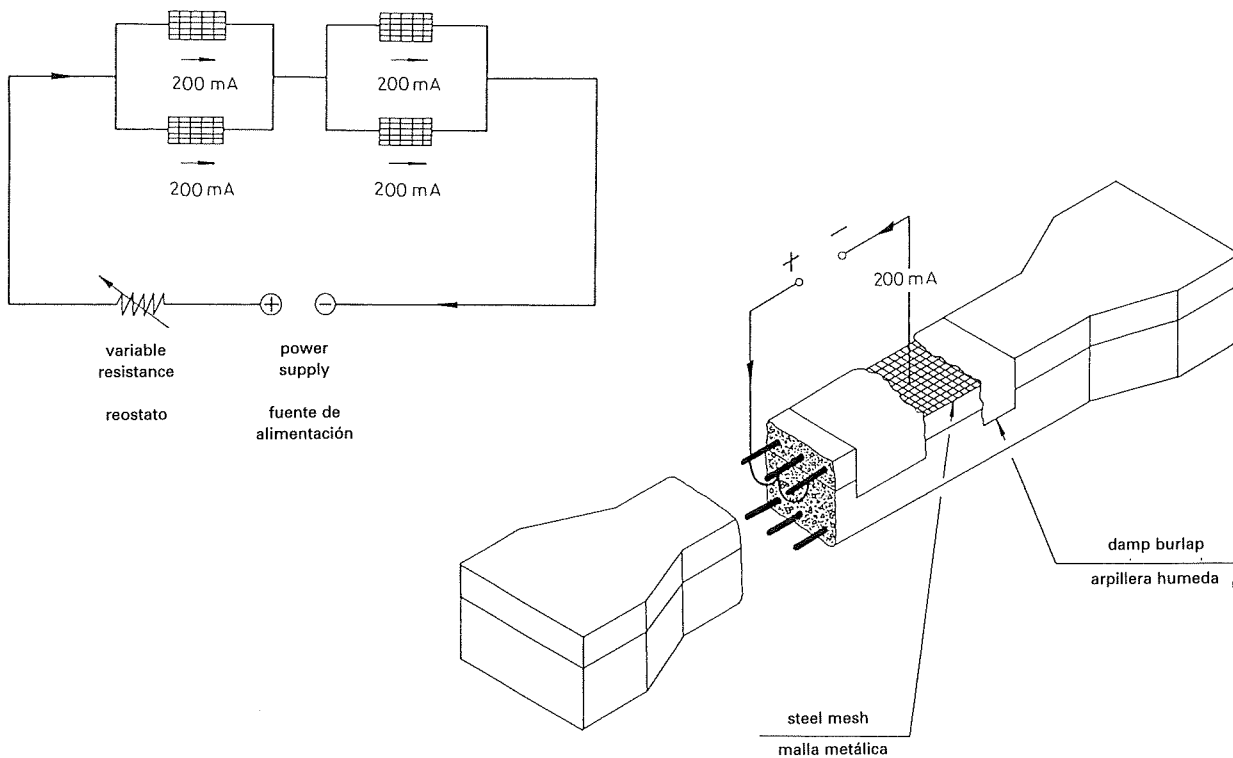


Fig. 4

3.4. REPAIR SYSTEMS USED

After the pre-corrosion stage (except for the reference columns, which were not subjected to pre-corrosion) the corroded zones (zones 2) of the respective columns were repaired. First all the cracked material or area assumed to be damaged was picked away, to 1 cm behind the bars.

The two repair systems employed were as follows:

System 1. A dry sand and Portland cement mortar was prepared with a sand/cement ratio of 4, to which 3,4 l of water added per 25 kg of dry mortar, for a water/cement ratio of 0,67.

System 4. The Portland cement-base, fluid, self-levelling microconcrete used contained graded aggregates and additives to ensure controlled expansion, with no polymers, with water in a proportion of 3,3 l per 25 kg of dry mortar. The material used was a commercial product. This system, furthermore, involved sand-blasting the bars for cleaning and subsequent painting with a reinforcement pasivating compound consisting of a epoxy-zinc primer.

Photographs 11 and 12 show some details of the repairs made.

3.3. PRECORROSIÓN Y MONITORIZACIÓN

Se colocaron bases de extensómetro en las zonas de contacto entre las superficies a reparar y no reparadas. Asimismo también se colocaron sondas de temperatura embebidas en el hormigón. Como sistema de monitorización del inicio de la corrosión se determinaron los potenciales de corrosión en la cara de acabado mediante un medidor de potenciales de corrosión provisto de electrodo de cobre-sulfato de cobre.

Antes de proceder a la reparación, los pilares nºs 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11 y 12 fueron sometidos a un proceso de corrosión acelerada. Éste se consiguió mediante el paso de una corriente de 200 mA a través de una malla de acero que había sido embebida en la superficie del hormigón durante la fabricación, para activar la corrosión en el área central de los pilares. Este sistema de precorrosión se aplicó durante 48 días consecutivos. A los 15 días de su aplicación surgieron los primeros síntomas de corrosión en todos los pilares, con la aparición de fisuras en las zonas de mayor contenidos de cloruros.

En la Figura nº 4 puede verse el esquema utilizado para la precorrosión de los pilares y en la Fotografía nº 10 la situación durante el proceso. En la Figura nº 5 puede verse la evolución de los potenciales de corrosión con el tiempo en uno de los pilares. Se observa claramente que una vez que se ha dejado de aplicar la corriente, los potenciales de corrosión resultantes son inferiores a los -300 mV, indicando que se ha producido la corrosión de las armaduras.

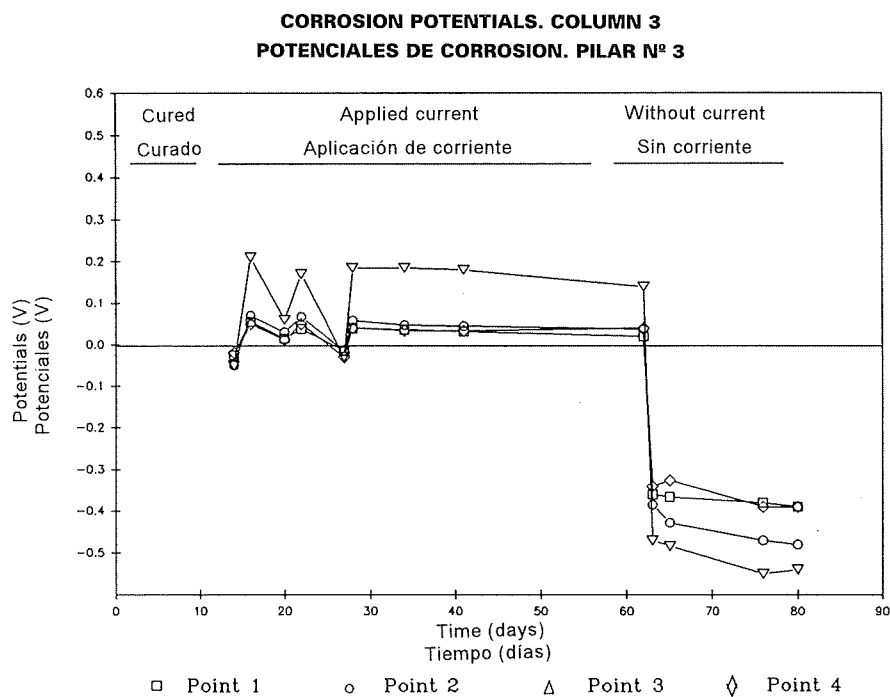


Fig. 5

3.4. SISTEMAS DE REPARACIÓN EMPLEADOS

Después de la fase de precorrosión (en el caso de los pilares patrón sin haber sufrido esta fase) se procedió a la reparación de las zonas corroídas (zonas 2) de los pilares correspondientes. En primer lugar se eliminó todo el material fisurado o de la zona supuestamente dañada mediante picado, retirándolo incluso hasta 1 cm por detrás de las barras.

Los dos sistemas de reparación empleados han sido los siguientes:

Sistema 1. Se utilizó un mortero de arena y cemento Portland preparado en seco, con una relación arena/cemento = 4 (en peso) y con una adición de 3,4 l de agua por cada 25 kg de preparado en seco, lo cual suponía una relación agua/cemento de 0,67.

Sistema 4. Se utilizó un microhormigón fluido, autonivelante, en base a cemento Portland, áridos clasificados, y aditivos para producir expansión controlada, sin polímeros, con una dosificación de 3,3 l de agua añadida por cada 25 kg de preparado en seco. El material empleado ha sido un producto comercial. Asimismo las barras, una vez limpiadas con chorro de arena, fueron pintadas con un pasivador de armaduras mediante la aplicación de una imprimación epoxi-zinc.

En las fotografías nºs 11 y 12 pueden verse algunos aspectos de la reparación efectuada.

3.5. MATERIALS SPECIFICATIONS

The theoretical composition of the concrete used to construct the columns was as follows:

Portland type CEM I 42,5 R cement	290 kg/m ³
20-mm gravel	830 kg/m ³
10-mm gravel	410 kg/m ³
Sand	660 kg/m ³
Water	190 l

Table No. 5 shows the mean values of the most significant properties of the materials used at representative column ages, when compression testing was conducted.

TABLE No. 5

CONCRETE	COMPRESSION STRENGTH (MPa)		MODULUS OF DEFORMATION (MPa)			
	143 days		143 days			
STEEL	36,2		32.545			
	ELASTIC LIMIT (MPa)					
	546					
REPAIR MATERIAL	COMPRESSION STRENGTH (MPa)				MODULUS OF DEFORMATION (MPa)	
	CYLINDRICAL 10 x 20		PRISMATIC 4 x 4 x 16 ⁽¹⁾			
	28 days	496 days	28 days	496 days	28 days	496 days
MORTAR, System 1	25,5	33,6	38,2	51,6	21.925	42.187
MORTAR, System 4	48,4	64,2	57,2	74,9	30.606	46.250

NOTE: The test dates are the result of ageing periods.
 (1) First tested for flexural strength and subsequently each half for compression strength.

**CORROSION POTENTIALS. COLUMN 1
 POTENCIALES DE CORROSION. PILAR Nº 1**

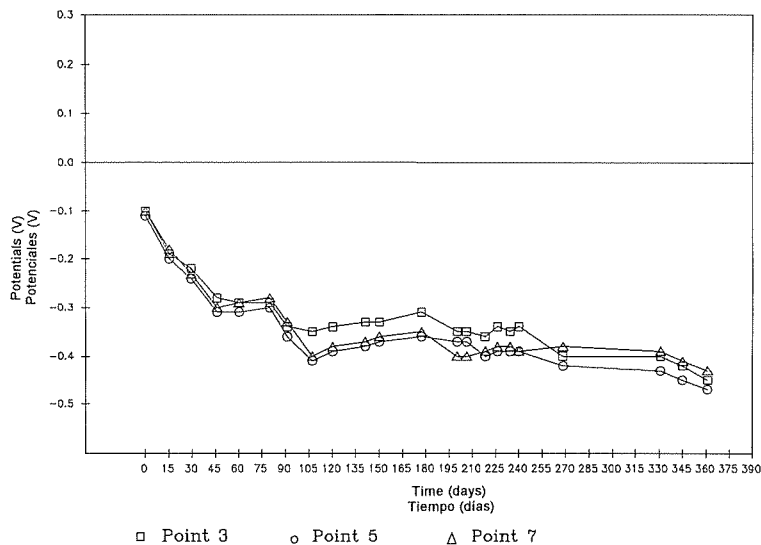


Fig. 6

3.6. ACCELERATED CORROSION IN CLIMATIC CHAMBER

Columns Nos 1 through 6 were placed in a climatic chamber to cause accelerated corrosion in the concrete members by subjecting them to heating-cooling and saline wetting-drying cycles. The members were kept in the climatic chamber for nearly a full year (see Photograph No. 13). A heating-cooling cycle of from 30° to 80° was applied daily, along with three saline wetting and forced drying cycles. The graph of the corrosion potential pattern for one of the columns, shown in Figure 6, indicates that after 90 days the probability of reinforcement corrosion is very high.

3.7. COMPRESSION TESTS

The series II columns (control, not subjected to ageing after repair) were tested 28 days after the repairs were made, and Series I columns after the weather chamber corrosion process was completed. Tests were conducted in a 650-t press, driven by a MAN unit designed to reach a maximum pressure of 250 kp/cm². The load schedule comprised 20 intervals, with stabilisation of reading devices after each one. The load was applied at a speed of 0,5 t/s.

3.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Se utilizó un hormigón para la fabricación de los pilares con la siguiente dosificación teórica:

Cemento Portland tipo CEM I 42,5 R	290 kg/m ³
Grava de 20 mm	830 kg/m ³
Grava de 10 mm	410 kg/m ³
Arena	660 kg/m ³
Agua	190 l

En la Tabla nº 5 se recogen los valores medios de las propiedades más significativas de los materiales empleados, para aquellas edades representativas a las cuales se han realizado ensayos de compresión de pilares.

TABLA Nº 5

HORMIGÓN	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)		MÓDULO DE DEFORMACIÓN (MPa)			
	143 días		143 días			
ACERO	36,2		32.545			
	LÍMITE ELÁSTICO (MPa)					
	546					
MATERIAL DE REPARACIÓN	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)				MÓDULO DE DEFORMACIÓN (MPa)	
	CILÍNDRICAS 10 x 20		PRISMÁTICAS 4 x 4 x 16 ⁽¹⁾			
	28 días	496 días	28 días	496 días	28 días	496 días
MORTERO, Sistema 1	25,5	33,6	38,2	51,6	21.925	42.187
MORTERO, Sistema 4	48,4	64,2	57,2	74,9	30.606	46.250

NOTA: Las fechas de ensayo son resultantes de los periodos de envejecimiento.
(1) Ensayadas primero a flexotracción, y posteriormente cada una de las mitades a compresión.

3.6. CORROSIÓN ACELERADA EN CÁMARA CLIMÁTICA

Los pilares nºs 1 a 6 fueron colocados en una cámara climática para producir procesos de corrosión acelerada en piezas de hormigón, mediante ciclos de calentamiento-enfriamiento y riego salino-secado. Las piezas se mantuvieron prácticamente un año en la cámara climática (véase Fotografía nº 13). Se aplicó un ciclo diario de calentamiento-enfriamiento entre 30º y 80º al día, acompañado de tres ciclos de riego salino y uno de secado forzado. En la Figura nº 6 puede verse la monitorización de potenciales de corrosión de uno de los pilares, en la cual se aprecia que a partir de los 90 días se obtienen potenciales de corrosión que indican una probabilidad muy alta de estar produciéndose la corrosión de las armaduras.

3.7. ENSAYOS A COMPRESIÓN

Los pilares de la Serie II (de referencia, no sometidos a envejecimiento después de reparados) fueron ensayados a los 28 días de finalizada la reparación, y los de la Serie I una vez finalizado el proceso de corrosión en cámara climática. Se han ensayado en una prensa de 650 t de capacidad, manejada por un grupo MAN de presión máxima 250 kp/cm². La carga fue aplicada en 20 escalones, permitiendo una estabilización de los aparatos de lectura en cada uno de éstos. La velocidad de aplicación de la carga entre escalones ha sido de 0,5 t/s.

Durante el ensayo se ha medido la deformación unitaria de los pilares mediante transductores de desplazamiento LVDT de 0,001 mm de apreciación pegados sobre bases de 0,80 m. Asimismo se han utilizado 8 bandas extensométricas de 120 Ω para la medida directa de deformaciones. La carga se ha medido mediante un transductor de presión colocado en el circuito de presión.

Todas las medidas fueron registradas continuamente mediante un equipo de adquisición de datos ORION 3531, fabricado por SCHLUMBERGER. En la Tabla nº 7 se recogen los valores últimos de esfuerzos de compresión alcanzados en el ensayo. En la Serie I se consideran las medias de los pilares reparados con cada uno de los sistemas, y se toma como referencia de comparación el valor más alto de los dos obtenidos (SISTEMA 4). En la Serie II la media de los pilares nºs 7 y 8 (pilares patrón de hormigón armado) se toma como referencia, comparando con respecto a ella la incidencia de la corrosión sin reparar (pilares nºs 9 y 10) y de la reparación mediante los Sistemas 1 y 4. En la Figura nº 7 pueden verse los gráficos cargas-deformación de uno de los pilares ensayados.

En las fotografías nºs 14 a 16 pueden verse algunos detalles de los ensayos a compresión realizados

Del análisis de la Tabla nº 6 podemos ver que en la Serie II de ensayos de control -que estudia el efecto de la corrosión sin reparar y la reparación recién efectuada- prácticamente los pilares corroídos y dañados, sin reparar, alcanzan la misma resistencia que los pilares patrón. Los pilares reparados presentan una baja de resistencia del 8% con respecto a los pilares patrón, sin existir diferencias apreciables entre ellos. Puede verse que incluso las cargas últimas son inferiores que en el caso de los pilares corroídos (dañados simplemente por fisuras, no existían estallidos del recubrimiento).

LVDT strain gauges with a sensitivity of 0,001 mm and attached to 0,80-m bases were used to measure the unit strain on columns during testing. Strain was also directly measured using eight 120-Ω extensometric bands. A pressure pickup placed in the pressure circuit measured the load.

All measurements were recorded continuously with SCHLUMBERGER brand ORION 3521 data acquisition equipment. Table 6 shows the final compressive stress figures reached during the test.

For Series I columns, the mean values for the columns repaired under each of the systems were compared and the higher of the two values taken as a reference (SYSTEM 4). In Series II, the mean of columns Nos 7 and 8 (reference reinforced concrete columns) was taken as a reference, against which the impact of unrepaired corrosion (columns Nos 9 and 10) and corrosion repaired under systems 1 and 4 were compared. The load-strain curve for one of the columns tested is given in Figure No. 7.

Some details of the compression tests conducted can be seen in photographs Nos 14 to 16.

**TABLE No. 6
RESULTS OF COLUMN COMPRESSION TESTS**

SERIE	COLUMN No.	DESCRIPTION	LAST TEST LOAD		
			t	%	
I ACCELERATED CORROSION (CHAMBER)	1	Repaired under System 1, no pre-corrosion, no chloride additives	238		
	2	Repaired under System 4, no pre-corrosion, no chloride additives	256		
	3	Repaired under System 1, pre-corroded, chloride additives (0,5/3 %)	241		
	4	Repaired under System 4, pre-corroded, chloride additives (0,5/3 %)	260		
	5	Repaired under System 1, pre-corroded, chloride additives (1/3 %)	277		
	6	Repaired under System 4, pre-corroded, chloride additives (1/3 %)	263		
			<i>MEAN SYSTEM 1, Columns Nos 1, 3 and 5</i>	252	97
		<i>MEAN SYSTEM 1, Columns Nos 2, 4 and 6</i>	260	100	
II CONTROL TESTS	7	Concrete column, reference	311		
	8	Concrete column, reference	301		
			<i>MEAN REFERENCE COLUMNS, Columns Nos 7 and 8</i>	306	100
	9	Pre-corroded, chlorides added (1/3%) and unrepaired	303		
	10	Pre-corroded, chlorides added (1/3%) and unrepaired	294		
			<i>MEAN UNREPAIRED COLUMNS, Columns Nos 9 and 10</i>	298	97
	11	Pre-corroded, chlorides added (1/3%) and repaired. System 1	281	92	
12	Pre-corroded, chlorides added (1/3%) and repaired. System 4	283	92		

It may be concluded from the figures in Table No. 6 that the control tests in Series II - that study the effect of unrepaired corrosion and recent repairs - that the unrepaired corroded and damaged columns have nearly the same compression strengths as the reference columns. The decline in the compression strength of repaired columns compared to reference columns is 8%, with no appreciable differences between them. Even the final loads are lower than in corroded columns (cracked only, with no spalling of the concrete cover).

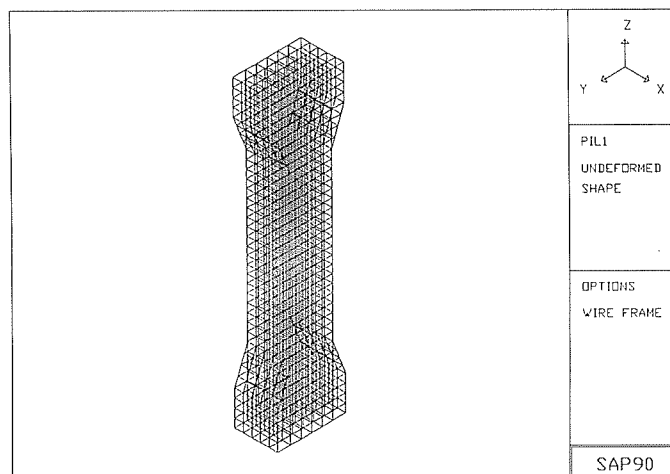


Fig. 8

**COLUMNS COMPRESSION TEST. COLUMN 7
ENSAYO A COMPRESIÓN DE PILARES. PILAR Nº 7**

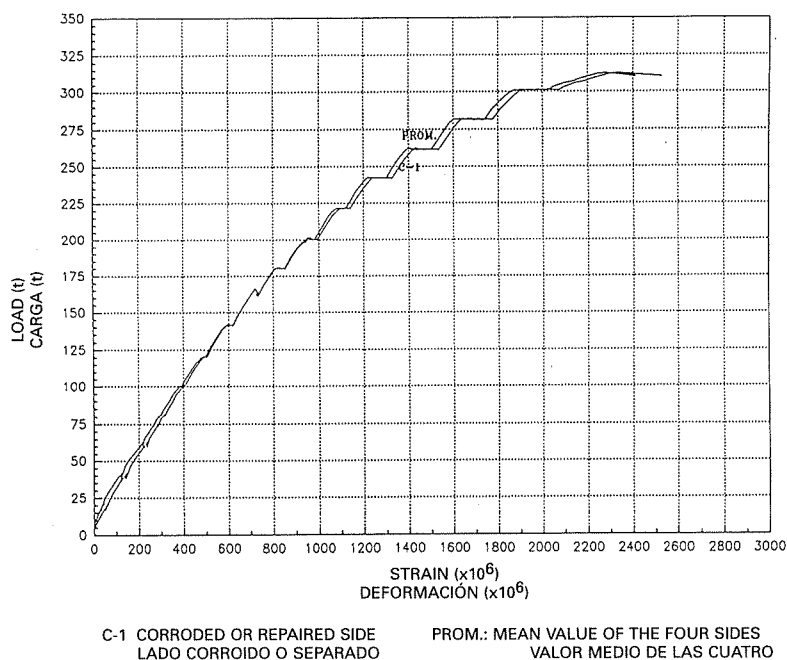


Fig. 7

**TABLA Nº 6
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN DE PILARES**

SERIE	PILAR Nº	SITUACIÓN	CARGA ÚLTIMA DE ENSAYO	
			t	%
I CORROSIÓN ACELERADA EN CÁMARA	1	Reparado sin precorrosión, sistema 1 sin cloruros añadidos	238	
	2	Reparado sin precorrosión, sistema 4 sin cloruros añadidos	256	
	3	Reparada con precorrosión, sistema 1 con cloruros añadidos (0,5/3 %)	241	
	4	Reparada con precorrosión, sistema 4 con cloruros añadidos (0,5/3 %)	260	
	5	Reparada con precorrosión, sistema 1 con cloruros añadidos (1/3 %)	277	
	6	Reparada con precorrosión, sistema 4 con cloruros añadidos (1/3 %)	263	
		<i>MEDIA SISTEMA 1, Pilares nºs 1, 3 y 5</i>	252	97
		<i>MEDIA SISTEMA 4, Pilares nºs 2, 4 y 6</i>	260	100
II ENSAYOS DE CONTROL	7	Pilar de hormigón de referencia	311	
	8	Pilar de hormigón de referencia	301	
		<i>MEDIA PILARES DE REFERENCIA, Pilares nºs 7 y 8</i>	306	100
	9	Precorroido, con cloruros (1/3%) y sin reparar	303	
	10	Precorroido, con cloruros (1/3%) y sin reparar	294	
		<i>MEDIA PILARES SIN REPARAR, Pilares nºs 9 y 10</i>	298	97
	11	Precorroido, con cloruros (1/3%) y reparado. Sistema 1	281	92
	12	Precorroido, con cloruros (1/3%) y reparado. Sistema 4	283	92

El diferente módulo de deformación del material de reparación y del diagrama tensión-deformación, unido a la retracción diferencial que experimentan ambos materiales, justifica este comportamiento. Para comprobarlo mediante cálculo se han modelizado los pilares en un programa de elementos finitos (véase Figura nº 8), definiendo las diferentes zonas, con los valores reales de las propiedades de los materiales y de la retracción de los morteros de reparación, estudiada de forma muy precisa en otras tareas del programa, con lo que pueden justificarse los valores obtenidos. Estos cálculos son inaplicables en un caso real, pues la modelización de las zonas reparadas en alcance y profundidad, el conocimiento preciso de las propiedades de los materiales y las incertidumbres que se

The different modulus of deformation of the repair material and the stress-strain diagram, along with the shrinkage differentials between the two materials justify this behaviour. These results were checked against theoretical computations by modelling the columns for finite elements analysis (see Figure No. 8), in which the different zones were defined in terms of the actual values of material properties and repair mortar shrinkage, aspects which had been studied very minutely under other programme tasks and therefore readily substantiated. Such computations are not applicable in real-life situations: the difficulties involved in modelling the zones repaired in scope and depth and in obtaining accurate figures on material properties, not to mention the uncertainties ensuing from having to make repairs made under load-bearing conditions and in which account must also be taken of existing creep, make it very difficult to reflect actual circumstances. Nonetheless, sight should not be lost of the fact that shearing stress may appear in the concrete-repair mortar interface which may cause breakage at load levels lower than those observed in the reference column (see detail of repair mortar breakage in Photograph No. 16).

There is a 3% difference between the mean results for the two repair systems in Series I, with a rather wide spread in the results for System 1 group columns.

3.8. FINAL TESTS TO VERIFY THE STATE OF REPAIR OF THE MEMBERS

After testing, the columns were demolished to quantify bar corrosion; a classification system was devised to quantify the state of each bar. Various measurements were likewise taken to check the degree of protection afforded by the various materials used.

Chloride penetration profiles in the repaired zones were determined for all columns: the mean values are shown in Figure No. 9.

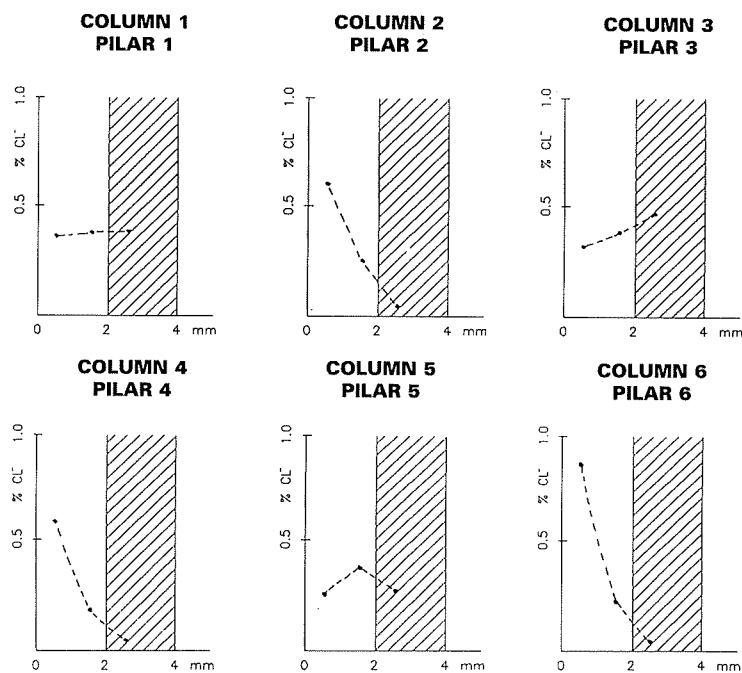


Fig. 9

It is abundantly clear that the two repair systems behaved differently. The chloride profile graphs show that System 4 acts as an impermeable barrier to chlorides, which concentrate on the surface but do not penetrate beyond. As a result, the profile drops very sharply to concentrations, in the zones adjacent to the reinforcement bars, too low to be considered a potential cause of steel corrosion. The chloride profile for System 1, by contrast, is practically horizontal, indicating lesser resistance to chloride penetration. Here the chloride ion content values near the reinforcement steel is 0,4% of cement weight, a potentially dangerous concentration. Photographs Nos 17 and 18 show details of columns Nos 3 and 4, repaired using Systems 1 and 4, respectively. In the former, corrosion can be observed in the steel in the repaired zone, whereas in the latter the protection proved to be reasonably effective, although corrosion is located in the interface. This may be due to the formation of incipient anodes in these zones, perhaps in conjunction with some cracking in the contact zone, which enables the chloride ions to spread much more readily. Similar results were obtained in the beams tested in the United Kingdom, where high corrosion levels were also detected in the contact zones.

producen en una reparación bajo carga y en la que ya ha actuado la fluencia, hacen muy difícil reproducir la realidad. No obstante hay que tener en cuenta que en la interfase hormigón-mortero de reparación pueden aparecer unas tensiones tangenciales que pueden producir una rotura a niveles de carga inferiores a los de un pilar patrón (véase el detalle de la forma de rotura del mortero de reparación en la Fotografía nº 16).

En los pilares de la Serie I la diferencia entre la media de resultados correspondientes a cada sistema de reparación es de un 3%, con una dispersión relativamente importante entre los resultados del grupo reparado con el Sistema 1.

3.8. ENSAYOS FINALES DE VERIFICACIÓN DEL ESTADO DE LAS PIEZAS

Finalizado el ensayo de los pilares, éstos fueron demolidos para proceder a una cuantificación del estado de corrosión de las barras, procediéndose a una clasificación de forma que se pudiera cuantificar el estado de cada una de ellas. Asimismo se realizaron distintas medidas con objeto de verificar los grados de protección que habían presentado los diferentes materiales empleados.

Se determinaron los perfiles de penetración de cloruros en las zonas reparadas de todos los pilares. En la Figura nº 9 pueden verse los valores medios de estos perfiles de cloruros.

Claramente el comportamiento de los dos sistemas de reparación ha sido muy diferente. En los gráficos de perfiles de cloruros se observa que el Sistema 4 actúa como una barrera impermeable a la penetración de éstos, y se da una gran concentración superficial pero luego no penetran hacia el interior, teniendo el perfil una caída muy brusca y no alcanzando en zonas adyacentes a la armadura concentraciones potencialmente peligrosas para la corrosión del acero. Sin embargo, con el Sistema 1 el perfil de cloruros es prácticamente horizontal, lo que indica una menor impermeabilidad frente a los mismos, alcanzando valores al nivel de la armadura del 0,4% de contenido de ion cloro en peso de cemento, valor potencialmente peligroso. En las fotografías nºs 17 y 18 se observan el detalle de los pilares nºs 3 y 4, reparados respectivamente con los sistemas 1 y 4. En el primer caso se ve la corrosión sufrida por el acero en la zona reparada, mientras que en el segundo la protección ha funcionado de forma bastante eficaz, aunque la corrosión se localiza en la interfase. Ello puede ser debido a la formación de ánodos incipientes en estas zonas, posiblemente también combinado con alguna fisura en la zona de contacto que permite la difusión mucho más fácilmente a los iones cloruro. Resultados muy similares se produjeron en las vigas ensayadas en el Reino Unido, en las cuales también se detectaron niveles altos de corrosión en las zonas de contacto.

El ensayo en la cámara climática de simulación de corrosión acelerada ha permitido producir la corrosión en un tiempo relativamente corto, diferenciando también la respuesta y el comportamiento de los diferentes sistemas. Es por lo tanto un ensayo adecuado para el desarrollo de nuevos productos o sistemas de reparación, e incluso en reparaciones de gran importancia puede utilizarse para seleccionar el sistema o comprobar la eficacia de las pinturas de impermeabilización frente a agentes químicos agresivos.

4. RESUMEN FINAL

Como resumen de las conclusiones que se derivan del trabajo de investigación realizado se puede establecer lo siguiente:

- 1º Las reparaciones ejecutadas en estructuras de hormigón armado en las cuales la causa de la corrosión de armaduras es la profundidad de carbonatación -muchas veces por recubrimientos insuficientes- se comportan de forma satisfactoria, siempre que se haya definido de forma correcta el alcance de la reparación y se haya elegido el sistema adecuado. El estudio inicial es muy importante, no sólo para determinar la causa de la corrosión sino también, mediante la realización de una campaña adecuada de medidas electroquímicas, profundidades de carbonatación y espesores de recubrimientos, para definir la extensión y magnitud de la zona a reparar. Los daños puntuales encontrados en obras reparadas por carbonatación han tenido su origen en defectos en la ejecución de la reparación o en no haber realizado ésta en algunas zonas que ya presentaban problemas aunque no fuesen visibles exteriormente.
- 2º Las reparaciones debidas a corrosión por cloruros necesitan un estudio previo más cuidadoso. Además del alcance del anteriormente descrito, deben determinarse los perfiles de cloruros en zonas representativas, su naturaleza (internos o aporte exterior), realizar ensayos químicos sobre el hormigón y elegir el sistema de reparación en consecuencia. En el caso de aporte exterior, y teniendo en cuenta la posible formación de ánodos incipientes en las zonas de contacto (combinado con la fisuración en la interfase), se hace necesario extender la reparación más allá de la zona dañada, en zonas donde el aporte de cloruros no sea significativo. La selección del sistema debe realizarse teniendo en cuenta las particularidades de cada caso, con elección del pasivante y estudiando si procede la utilización de alguna barrera de impermeabilización frente al ion Cl⁻. Este tipo de pinturas son de desarrollo bastante reciente, y es necesario consultar la documentación y experimentación existente, o realizar ensayos si no se dispone de datos.

The climatic chamber test for simulation of accelerated corrosion made it possible to produce corrosion in a relatively short period of time, likewise differentiating the response and behaviour of the two systems. It is, then, suitable as a test for developing new repair products or systems and, in repairs of major importance, it may be used to select the system to be used or check the effectiveness of paint as protection for the reinforcement steel against aggressive chemical agents.

4. FINAL SUMMARY

The conclusions that may be drawn from the research conducted may be summarised as follows:

1. Repairs made on reinforced concrete structures where the cause of corrosion is carbonation depth - often due to insufficient concrete cover - perform satisfactorily, provided the extent of the repair is correctly defined and an appropriate repair system chosen is appropriate. The initial survey is very important, not only to determine the cause of corrosion, but also, via a study consisting of relevant electrochemical measurements, carbonation depth readings and concrete cover thickness measurements, to define the extent and magnitude of the zone to be repaired. Localised damage observed in works repaired to correct carbonation were found to be due to defective execution of repairs or to the failure to repair areas that were affected by these problems but where the damage was not yet visible when the repairs were undertaken.
2. Repairs due to chloride corrosion call for a more meticulous prior survey. In addition to the scope of the survey described above, chloride profiles should be established for representative zones, and their origin (internal or from outside the structure) determined; chemical tests should be run on the concrete and the choice of the repair system should be made accordingly. In the event of chloride ions originating outside the structure, repairs must be extended well beyond the damaged area, to zones where the chloride inflow is not significant, to make provision for the possible formation of incipient anodes in the contact areas (in conjunction with interface cracking). The system should be chosen taking account of the specific circumstances in each case, choosing the passivating substance and considering the suitability of using a Cl⁻ ion-proof barrier. Paints of these characteristics have been developed relatively recently, so the existing literature and experimentation should be consulted, or tests run if no data are available.

Of the cases analysed in this survey, damage was detected more frequently in this kind of repairs. The differences in connection with chloride ion penetration of the materials used is discussed above. The execution, appropriate selection and definition of the repair system are of enormous import. All chloride-contaminated concrete must be removed, even from behind the reinforcement, and repairs must be extended well beyond the zone where the attack was most intense.

If corrosion is caused by chlorides in the concrete itself, the repairs should be studied particularly carefully and a series of chemical tests conducted on the concrete in order to define the potential evolution of the problem in the future. In the structures reviewed where repairs were made to correct damage caused primarily by chloride corrosion, subsequent performance was found to be poor. In severe cases of internal chloride contamination, other kinds of action may be needed, such as extraction of chlorides or desalinisation, a technique recently perfected for implementation at the scale required for construction works.

3. Adherence between the repair material and the concrete substrate is highly important. The adherence failure observed in some repairs may even lead to detachment, declines in strength or cracking in the contact zone, with all the additional problems such defects entail, as discussed above. The Pull-off Test may be used to monitor repair work. It may also be used to check the tensile strength of the substrate to be repaired, since the existence of very low strengths may condition the repairs to be made. It must be noted that not only shearing stress but also stress due to differential shrinkage owing to structural behaviour (which can be limited when defining the widths to be repaired) appears between the two materials; there may also be incompatibilities between the two materials due to differences in hygrothermal or mechanical behaviour, leading to severe dimensional variations or deformation. Substrate failure was detected in several of the Pull-off Tests run on repaired structures. Some codes require repairs of damaged structures to meet minimum strength values in this connection.
4. Repairs consisting of reconstruction of members subjected to compression with other materials may lead to slight declines in strength, on the order of 8%, as indicated above. Generally speaking, and given that in practice concrete strength is higher than the nominal strength, thanks to the age factor, this loss is offset by the increase in strength gained over time. It is, nonetheless, important to verify the actual strength of the concrete in situ during the preliminary survey and, in cases where the repairs are very extensive or strengths very low, a security survey should be conducted on the structural members affected to check whether they reach suitable security levels. In any case, somewhat lower strength values, with declines on the order indicated, may be acceptable.
5. The climatic chamber accelerated corrosion test affords a way of distinguishing between the behaviour of different repair systems in a relatively short period of time. It is a tool for studying new materials and systems in this field and may even be used to evaluate alternatives in specific cases, such as where extensive repair work is to be performed.

De los casos analizados en esta investigación, este tipo de reparaciones han presentando daños con mayor frecuencia. Ya se ha visto el diferente comportamiento frente a la penetración del ion cloruro de los materiales empleados. La ejecución, la adecuada selección y la definición del sistema de reparación, son trascendentales. Se hace necesario eliminar todo el hormigón contaminado por cloruros, incluso por detrás de las armaduras, y extender la reparación fuera de las zonas de ataque intenso.

Si la causa de la corrosión son los cloruros incorporados en la masa del hormigón, la reparación debe ser estudiada de forma muy especial, realizando una campaña de ensayos químicos del hormigón para definir la potencialidad del problema en el futuro. En las estructuras estudiadas, en las cuales la intervención había sido motivada por esta causa, la reparación no ha funcionado correctamente. En casos graves de contaminación interna por cloruros puede ser necesario estudiar otras técnicas de actuación, como la extracción de cloruros o desalinización, puesta en práctica a escala de obra recientemente.

- 3º La adhesión entre el material de reparación y el sustrato de hormigón es muy importante. En algunas reparaciones se observan fallos de adhesión que pueden provocar el despegue, la pérdida de capacidad resistente o la fisuración en la zona de contacto, con los problemas añadidos ya comentados. El Ensayo de Pull-off puede ser utilizado como elemento de control de la reparación. También debe utilizarse para comprobar la resistencia a la tracción del sustrato a reparar, pues en caso de resistencias muy bajas podría condicionar la reparación a realizar. Hay que señalar que no sólo aparecen tensiones tangenciales entre ambos materiales debidas al comportamiento estructural (limitables al definir los anchos a reparar), sino que también aparecen tensiones debidas a la retracción diferencial, o incompatibilidad entre ambos materiales por diferencias en el comportamiento higró-térmico o mecánico, ocasionando variaciones dimensionales acusadas o deformaciones. En varios de los ensayos realizados de Pull-off en estructuras reparadas se detectaron fallos del sustrato. En este sentido algunas normas de reparación de estructuras dañadas por corrosión exigen valores mínimos de la resistencia.
- 4º Una reparación por reconstrucción de piezas sometidas a compresión con otros materiales puede llevar a ligeras bajas en la capacidad resistente, del orden del 8%, tal y como se ha señalado. En general, y teniendo en cuenta que en la práctica la resistencia del hormigón será superior a la nominal, debido a la mayor edad, se compensará esta pérdida con el aumento producido por incremento de resistencia en función del tiempo. Es importante en cualquier caso verificar en el estudio previo de reparación la resistencia real del hormigón in-situ, y en algunos casos de reparaciones de gran alcance o resistencias bajas, realizar un estudio de seguridad de los elementos estructurales afectados, para comprobar si presentan niveles de seguridad adecuados pudiendo admitirse en su caso alguna baja de seguridad del orden de las señaladas.
- 5º El ensayo de corrosión acelerada en cámara climática permite distinguir el diferente comportamiento de sistemas de reparación en un plazo relativamente breve. Es una herramienta para la investigación de nuevos materiales y sistemas en este campo, e incluso puede utilizarse para valorar alternativas en casos concretos de reparaciones de cierta entidad.

Relación de Personal Titulado de INTEMAC

Arquitectos

Jalvo García, Jaime
Luzón Cánovas, José M^a

Ingenieros de Caminos

Acón Robleda, Miguel Angel
Bauzá Ortúñez, Andrés
Calavera Ruiz, José
Calderón Apolo, Juan Carlos
Cortés Bretón, Juan María
Corral Folgado, Claudio
Cuesta Martín, José Ignacio
Díaz Lozano, Justo
Fernández Gómez, Jaime Antonio
González González, Juan José
González Valle, Enrique
Hostalet Alba, Francisco
Izquierdo Bernaldo de Quirós, José M^a
Jordán de Urríes de la Riva, Jorge
Ley Urzaiz, Jorge
Penón Molins, Eduardo
Rodríguez Escribano, Raul Rubén
Rodríguez Romero, Jesús M^a
Sanz Pérez, Lorenzo
Sirvent Sirvent, Enrique
Tapia Menéndez, José
Torre Cobo, María Carmen
Vilardell Carbonell, Jordi

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
Santos Olalla, Francisco
Valenciano Carles, Federico

Ingeniero de Telecomunicación

San José Arribas, José

Licenciados en Ciencias Geológicas

Blanco Zorroza, Alberto

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

Custodio Sánchez, José M^a
Díez García, Francisco Javier
Miranda Valdés, Javier
Montejano Jiménez, María del Carmen
Muñoz Mesto, Angel
París Sánchez, Eva María
Riera Climent, María del Mar
Villacián Fernández, Aránzazu

Ingenieros Técnicos Industriales

Díaz-Trechuelo Laffón, Antonio
González Carmona, Manuel
Madueño Moraño, Antonio

Ingenieros Técnicos Obras Públicas

Aranda Cabezas, Lluís
Carrero Crespo, Rafael
Galán de Cáceres, M^a del Puerto
González Isabel, Germán
González Nuño, Luis
Mata Soriano, Juan Carlos
Montiel Sánchez, Ernesto
Muñoz Mesto, Angel
Rosa Moreno, José Andrés
Rozas Hernando, José Juan
Sánchez Vicente, Andrés

Ingenieros Técnicos Topógrafos

Carreras Ruiz, Francisco
Molero Vicente, M^a Isabel

Profesores Mercantiles

González Alvarez, Vicente
Sampedro Portas, Arturo

Técnico en Administración de Empresas

González del Olmo, M^a 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.

• Tarifa de suscripción anual 2.800 ptas.



ULTIMOS TITULOS PUBLICADOS

Cuaderno N° 29
"Pavimentos de hormigón para usos especiales".
Autor: **Juan María CORTÉS BRETON**.
Dr. Ing. de Caminos.

Cuaderno N° 30
Una investigación sobre la eficacia de los distintos sistemas de reparación de estructuras de hormigón dañados por corrosión".
Autores: **Prof. Adolfo DELIBES LINIERS. (†)**
Dr. Ing. de Caminos.
Prof. Jaime FERNÁNDEZ GÓMEZ.
Dr. Ing. de Caminos.
Pedro LÓPEZ SÁNCHEZ.
Ldo. en Ciencias Químicas.

CUADERNOS DE PROXIMA APARICION

Cuaderno N° 31
"Durabilidad del hormigón en ambientes marinos"
Autor: **Pedro LÓPEZ SÁNCHEZ.**
Ldo. en Ciencias Químicas.

Cuaderno N° 32
"Cálculo de muros cortina"
Autores: **Prof. Ramón ÁLVAREZ CABAL.**
Dr. Ing. Industrial.
José Ramón ARROYO ARROYO.
Ing. Industrial.
Francisco SANTOS OLALLA.
Ing. Industrial.

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
N° 8801 (1)	FABRICACION Y ENSAYO DE PROBETAS 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
N° 8802 (2)	MUESTREO Y ENSAYO DE ARMADURAS DE HORMIGON ARMADO Y PRETENSADO	N° 9002 (6)	EJECUCION DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON (II)
N° 8901 (3)	PIEZAS DE HORMIGON ARMADO SOMETIDAS A FLEXION SIMPLE...	N° 9101 (7)	PIEZAS DE HORMIGON ARMADO SOMETIDAS A ESFUERZO CORTANTE
N° 8902 (4)	PIEZAS DE HORMIGON ARMADO SOMETIDAS A COMPRESION	N° 9102 (8)	PIEZAS DE HORMIGON PRETENSADO SOMETIDAS A FLEXION SIMPLE
N° 9001 (5)	EJECUCION DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON (I)		

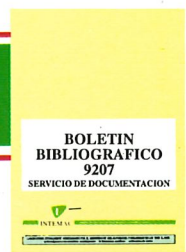
* PRECIO para entregas dentro del territorio español

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.



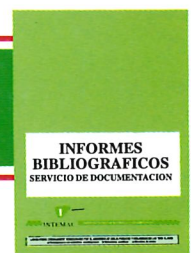
CONSULTAS E INFORMES BIBLIOGRAFICOS

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	2000 ptas.
Cantidad a abonar por referencia60 ptas.
Cantidad a abonar por hoja de fotocopia de documento25 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.

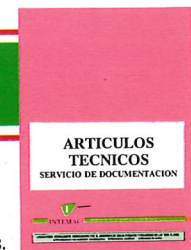


ARTICULOS TECNICOS

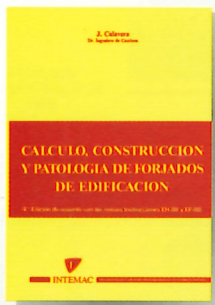
INTEMAC dispone de una amplia serie de trabajos publicados por nuestros técnicos en diferentes revistas. A continuación incluimos la lista de los últimos. Si está Vd. interesado, solicite relación completa de títulos.

- INFLUENCIA DE LA RUGOSIDAD Y LA CUANTÍA DE COSIDO EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS PIEZAS COMPUESTAS SOLICITADAS A FLEXIÓN
Enrique González Valle; Jaime Gálvez Ruiz; Luis García Dutari; Ramón Álvarez Caval.
- EL HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA (HSC): LAS CARACTERÍSTICAS QUE CONDICIONAN EL CALCULO ESTRUCTURAL. Enrique González Valle.
- LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE INFORMACIÓN EN LAS OBRAS. Adolfo Delibes Liniens.
- INVESTIGACIÓN SOBRE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO DAÑADAS POR CORROSION DE ARMADURAS. Adolfo Delibes Liniens; Jaime Fernández Gómez.
- HORMIGONADO EN CONDICIONES METEOROLÓGICAS ADVERSAS: ESTUDIO DE LOS ACCIDENTES OCURRIDOS DURANTE EL HORMIGONADO DE UN TABLERO POSTENSADO.
Adolfo Delibes Liniens; Jaime Fernández Gómez; Miguel Angel Acón Robleña.
- LA INFLUENCIA DEL DIAGRAMA TENSION DEFORMACION EN EL CÁLCULO A FLEXIÓN DE SECCIONES REALIZADAS CON HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA.
Enrique González Valle; José M° Izquierdo; Bernaldo de Quirós.
- EFFECTOS DINÁMICOS EN PUENTES. VARIACION DEL COEFICIENTE DE IMPACTO.
Enrique López del Hierro Fernández; Juan José Benito Muñoz; Javier Gallego Valarde; Ramón Álvarez Cabal.
- CUBIERTAS METÁLICAS DE GRAN LUZ. Mercedes Gómez Álvarez; Justo Díaz Lozano; Ramón Álvarez Cabal.
- LA INSPECCIÓN Y ENSAYO. ORGANIZACIONES DE CONTROL DE CALIDAD Y LABORATORIOS.
José Calavera Ruiz.

P.V.P. 400 ptas./ ejemplar.



AGOTADO



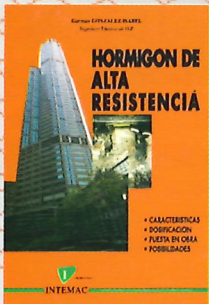
CÁLCULO, CONSTRUCCIÓN Y PATOLOGÍA DE FORJADOS DE EDIFICACIÓN

J. CALAVERA (Dr. Ingeniero de Caminos)

4ª Edición (1988)

- 678 páginas
- Encuadernación en guaflex

Precio: 7.900 Pta.



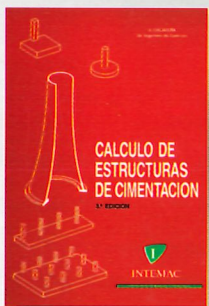
HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA (1993)

G. GONZÁLEZ-ISABEL (Ingeniero Técnico de O. P.)

- 316 páginas
- Encuadernación en guaflex

Precio: 6.500 Pta.

AGOTADO



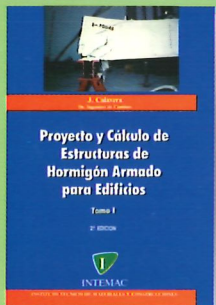
CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE CIMENTACIÓN

J. CALAVERA (Dr. Ingeniero de Caminos)

3ª Edición (1991)

- 418 páginas

Precio: 8.000 Pta.

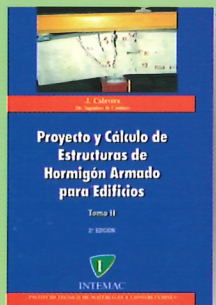


PROYECTO Y CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO PARA EDIFICIOS (TOMO I)

J. CALAVERA (Dr. Ingeniero de Caminos)

2ª Edición (1991)

- Tomo I - Cálculo de esfuerzos
- 568 páginas
- Encuadernación en guaflex



PROYECTO Y CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO PARA EDIFICIOS (TOMO II)

J. CALAVERA (Dr. Ingeniero de Caminos)

2ª Edición (1991)

- Tomo II - Dimensionamiento y detalles constructivos
- 871 páginas
- Encuadernación en guaflex

Precio obra completa: 17.500 Pta.



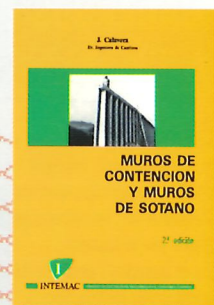
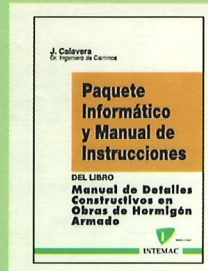
MANUAL DE DETALLES CONSTRUCTIVOS EN OBRAS DE HORMIGÓN ARMADO (1993)

J. CALAVERA (Dr. Ingeniero de Caminos)

- 506 páginas, tamaño UNE A-4 • 210 detalles constructivos • 210 páginas de comentarios y recomendaciones • Encuadernación en guaflex

Precio: - Libro: 16.000 Pta. - Paquete informático: 30.000 Pta. (Manual de Instrucciones y Disquetes)

El libro y el programa se venden por separado



MUROS DE CONTENCIÓN Y MUROS DE SÓTANO

J. CALAVERA (Dr. Ingeniero de Caminos)

2ª Edición (1989)

- 307 páginas
- Encuadernación en guaflex

Precio: 7.000 Pta.



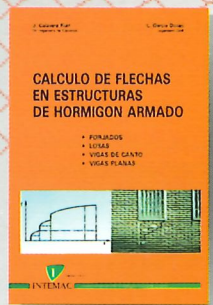
TECNOLOGÍA Y PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN

A. DELIBES (Dr. Ingeniero de Caminos)

2ª Edición (1993)

- 396 páginas
- Encuadernación en guaflex

Precio: 7.500 Pta.



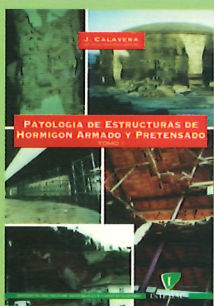
CÁLCULO DE FLECHAS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO (1992)

J. CALAVERA (Dr. Ingeniero de Caminos)

L. GARCÍA DUTARI (Ingeniero Civil)

- 336 páginas
- 312 tablas de comprobación de Forjados, Losas, Vigas de Canto y Vigas Planas
- Un disquete conteniendo tres programas informáticos de Cálculo de Flechas, para secciones de forma cualquiera
- Encuadernación en guaflex

Precio: 7.400 Pta. (Libro más paquete Informático)



PATOLOGÍA DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO Y PRETENSADO (1995)

J. CALAVERA (Dr. Ingeniero de Caminos)

- Tomo I - Capítulos 1 a 12 • Tomo II - Atlas de fisuras - Ábacos de cálculo
- 680 páginas • 231 fotografías • 258 figuras • 118 referencias bibliográficas
- Encuadernación en guaflex

Precio de la obra completa: 16.000 Pta.

