

CUADERNOS INTEMAC

Estudio sobre la variación de color y la durabilidad en hormigones vistos con adición de pigmentos sometidos a distintos tratamientos de exposición ambiental

Variation of colour and durability in pigmented architectural concrete exposed to different weathering treatments

Francisco Carvalho de Arruda Coelho
Dr. Ingeniero Civil

Prof. José Calavera Ruiz
Dr. Ingeniero de Caminos

Prof. Jaime Fernández Gómez
Dr. Ingeniero de Caminos

Pedro López Sánchez
Licenciado en C. Químicas



INTEMAC

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

N.º 43

3.º TRIMESTRE '01



METIRE UT SCIAS

INTEMAC

INSTITUTO TÉCNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

CONTROL DE PROYECTO

CONTROL DE OBRA

GARANTÍA DE CALIDAD

(O.C.T.) CONTROL PARA EL SEGURO DE DAÑOS

INFORMES DE PATOLOGÍA, REHABILITACIÓN Y REFUERZOS DE CONSTRUCCIONES

OBRAS PÚBLICAS
EDIFICACIÓN
INSTALACIONES



INTEMAC
A U D I T

AUDITORIA TÉCNICO-ECONÓMICA DE CONSTRUCCIONES

- ASESORÍA EN EL PLANTEAMIENTO Y EN LA CONTRATACIÓN DE LA OBRA
- SEGUIMIENTO DE COSTOS Y PLAZOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN
- VALORACIONES DE TERRENOS, INMUEBLES Y CONSTRUCCIONES
- AUDITORÍAS DE TRABAJOS PARCIALES Y DE LIQUIDACIÓN DE LA OBRA



INTEMAC
E C O

AUDITORÍA TÉCNICA MEDIOAMBIENTAL

CONTROL DE IMPACTO AMBIENTAL

Obras Públicas
Edificación
Instalaciones

CONTROL DE CALIDAD AMBIENTAL

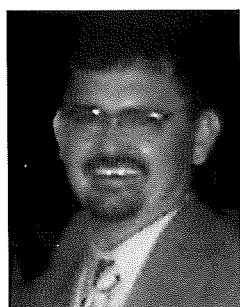
Aire
Agua
Ruido

AUDITORÍA MEDIOAMBIENTAL

ASESORAMIENTO EN MATERIA DE MEDIO AMBIENTE

**ESTUDIO SOBRE LA VARIACIÓN DE COLOR Y LA DURABILIDAD EN
HORMIGONES VISTOS CON ADICIÓN DE PIGMENTOS SOMETIDOS A
DISTINTOS TRATAMIENTOS DE EXPOSICIÓN AMBIENTAL**

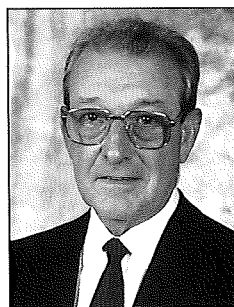
**VARIATION OF COLOUR AND DURABILITY IN
PIGMENTED ARCHITECTURAL CONCRETE EXPOSED
TO DIFFERENT WEATHERING TREATMENTS**



Francisco Carvalho de Arruda Coelho

Dr. Ingeniero Civil

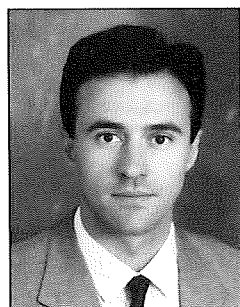
PhD., Civil Engineer



Prof. José Calavera Ruiz

Dr. Ingeniero de Caminos,
Canales y Puertos

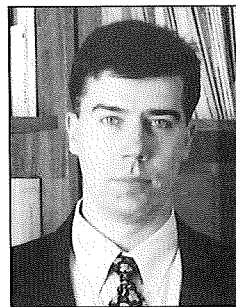
PhD., Civil Engineering



Prof. Jaime Fernández Gómez

Dr. Ingeniero de Caminos,
Canales y Puertos

PhD., Civil Engineering



Pedro López Sánchez

Licenciado en Ciencias Químicas

BSc. Chemistry

Copyright © 2002, 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 - 27522 -2002
Infoprint, S.A. - San Vicente Ferrer, 40

CONTENTS

1. INTRODUCTION
2. PURPOSE OF THE RESEARCH
3. EXPERIMENTAL PROGRAMME
 - 3.1. RESEARCH PARAMETERS
 - 3.2. DESCRIPTION OF VARIABLES STUDIED
 - 3.3. WEATHERING TREATMENTS
 - 3.4. METHODOLOGY FOR THE DESIGN OF CONCRETE PROPORTIONING AND MANUFACTURE
 - 3.5. TESTING
4. ANALYSIS OF RESULTS
5. CONCLUSIONS
6. BIBLIOGRAPHY

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL
 - 3.1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN
 - 3.2. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DEL ESTUDIO
 - 3.3. TRATAMIENTOS DE ENVEJECIMIENTO APLICADOS
 - 3.4. METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE LAS DOSIFICACIONES Y LA FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN
 - 3.5. REALIZACIÓN DE ENSAYOS
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS
5. CONCLUSIONES
6. BIBLIOGRAFÍA

ABSTRACT

This paper is based on the results and conclusions of the first author's doctoral thesis for the Civil Engineering: Construction Department of the School of Civil Engineering, Polytechnic University of Madrid, under the direction of Professor José Calavera Ruiz, Head of the School's Department of Building and Precasting.

The purpose of the study conducted is to analyse the variations in colour, appearance and durability of concrete containing inorganic pigments after exposure to different weathering conditions over a period of approximately one year. Two types of Portland cement (white and grey) were used, with red, black and yellow pigments, in the preparation of plastic or flowing concrete. The colour parameters of the pigmented concrete were monitored by periodic measurement of colour parameters L^ , a^* , b^* and durability was evaluated in terms of the results of physical-mechanical characterisation testing.*

1. INTRODUCTION

Provided certain conditions are met, a highly aesthetic finish can be attained at a reasonable cost with concrete surfaces. There has been a growing tendency to use architectural or exposed concrete in recent years and special procedures and techniques have been developed to enhance its aesthetics.

One of the more prominent differentiating factors in this regard is colour. Highly pleasing and aesthetic results can be obtained when colours other than the natural colour of concrete are used to obviate the most monotonous aspect of concrete: its more or less uniform grey hue.

There are two ways to colour concrete surfaces: by painting the hardened surface or by adding colouring agents to the fresh concrete, which spread colour throughout the mix. In principle, a longer lasting effect is obtained with the second of these techniques, which has the added advantage of low maintenance costs, providing the right colouring agent, water/cement ratio and aggregate colour and size are used.

Coloured concrete was first used in the United Kingdom, as the finish on the "Carreras Black Cat" cigarette factory; the pigment employed was natural South African ochre. The Venetian ground glass added, in turn, to the concrete in some columns and cornices vested them with a red, green or black gloss. The building is presently still in use although its outside walls have been repainted.

Coloured concrete underwent only modest subsequent development, other than for precast elements (flag tiles, pavers, roof tiles), which even today account for the highest demand for pigments. In the eighties coloured concrete again began to be used in site works, in particular in countries such as the USA, France, Germany, Belgium or Spain; some of the more prominent examples are the Holocaust Museum in Washington or the Euro-Disney compound in France. In Spain architect Prof. Pérez Luzardo successfully used pigmented concrete on a number of buildings erected on the Canary Islands.

Pigments are powdered compounds consisting of very small particles, some under 1 mm in size. To be used as pigments in concrete they must:

- Be inert to the other components of the concrete or mortar.
- Be colour stable.
- Be lightfast and weather-resistant.
- Have a completely stable pH.
- Be water insoluble and have a nil salt and acid content.
- Disperse readily in the cement medium and the concrete fines.

Practically only inorganic pigments, and of these only oxides, meet all the above requirements. The most important pigments are the iron oxides classified by colour in the table below, whose composition and structure correspond to haematite, magnetite and goethite.

RESUMEN

Este trabajo se basa en los resultados y conclusiones de la tesis doctoral realizada por el primero de los Autores en el Departamento de Ingeniería Civil: Construcción, de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid, bajo la dirección del profesor José Calavera Ruiz, Catedrático de Edificación y Prefabricación del mencionado Centro.

El estudio desarrollado tiene por objeto analizar las variaciones de color, aspecto y durabilidad de los hormigones con adición de pigmentos inorgánicos, sometidos a distintos estados de exposición ambiental durante un periodo aproximado de un año. Para ello se emplearon dos tipos de cemento portland (uno blanco y otro gris), y pigmentos rojo, negro y amarillo, mediante la fabricación de hormigones de consistencia plástica o fluida, en todos los casos. El seguimiento de los parámetros de color del hormigón pigmentado se efectuó mediante medidas de seguimiento de las coordenadas cromáticas L, a*, b*, y la evaluación de la durabilidad a partir de resultados de ensayos de caracterización físico-mecánica.*

1. INTRODUCCIÓN

Los paramentos de hormigón, si cumplen unas determinadas condiciones, pueden tener un valor estético muy grande con un coste razonable. En los últimos años ha aumentado la tendencia a utilizar las superficies de hormigón vistas como elemento de terminación, desarrollándose tratamientos y técnicas especiales para aplicar en los paramentos con el fin de conseguir un mejor efecto estético.

Un elemento que aporta factores diferenciadores muy apreciables es el color. A base de colores diferentes del natural del hormigón pueden conseguirse resultados muy favorables y estéticamente de gran valor, al quitar la monotonía más importante del hormigón: su color gris más o menos igual en todos los casos.

Dos son las formas de conseguir superficies de hormigón visto coloreadas: pintando la superficie endurecida o mediante la incorporación de agentes colorantes a la mezcla en estado fresco, que extienden el color a toda la masa del hormigón. El segundo de ellos consigue en principio una situación de color muy duradera, con un bajo coste de mantenimiento, siempre que la elección del agente coloreante, relación agua/cemento, color y granulometría de los áridos sean los adecuados.

El primer caso de empleo de un hormigón coloreado se realizó en el Reino Unido, con la construcción del edificio para la fábrica de cigarrillos "The Carreras Black Cat", utilizando pigmento natural ocre de Sudáfrica. También se empleó vidrio molido de Venecia en algunas columnas y cornisas, con lo cual se consiguieron brillos rojos, verdes y negros. En la actualidad el edificio sigue en uso y sus paramentos exteriores han sido repintados.

El hormigón coloreado no tuvo un desarrollo importante posteriormente, salvo en el caso de prefabricados (adoquines, baldosas, tejas), los cuales aún hoy en día provocan la mayor demanda de pigmentos. Durante la década de los 80 el hormigón coloreado volvió a ser utilizado en obras in situ, pudiendo citarse muchos ejemplos en países como EEUU, Francia, Alemania, Bélgica o España, tales como el Holocausto Museum de Washington o el complejo Euro-Disney en Francia. En España el Arquitecto Prof. Pérez Luzardo construyó, con bastante éxito, diversos edificios en las Islas Canarias utilizando Hormigón Coloreado.

Los pigmentos son productos pulverulentos compuestos por partículas muy pequeñas, algunas de tamaños inferiores a 1 μm . Para poder ser utilizados como tal deben presentar las características siguientes:

- Ser inertes con los demás componentes del hormigón o del mortero.
- Poseer estabilidad de su color original.
- Poseer resistencia a la acción de la luz y de la intemperie.
- Tener un pH completamente estable.
- Ser insolubles en agua y sin contenidos de sales y ácidos.
- Ser fácilmente dispersables con el cemento y los finos del hormigón.

Prácticamente sólo los pigmentos inorgánicos, y entre ellos únicamente los óxidos, cumplen los requisitos anteriormente expuestos. Los pigmentos más importantes según el color aportado son los obtenidos de los óxidos de hierro recogidos en la tabla siguiente, cuyas composiciones y estructuras corresponden a los minerales Hematita, Magnetita y Goetita.

COLOUR	FORMULA	CHEMICAL NAME	COMMON NAME
Black	Fe_3O_4	Ferrosferric oxide (magnetite)	Black iron oxide
Red	Fe_2O_3	Ferric oxide (haematite)	Red iron oxide
Yellow	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	Ferrous hydroxide (goetite)	Yellow iron oxide

There are both natural and synthetic iron oxide pigments. The formers are extracted from minerals and subjected to a number of procedures to standardise particle size, which usually ranges from 10 to 15 micras. The qualities of synthetic iron oxide pigments are better suited to colouring concrete, particularly as regards shade control and tinting power.

A pigment's tinting power or strength, defined to be its ability to pass on its natural colour to other materials, is essential from the standpoint of cost-effectiveness.

When a concrete mix is prepared with increasing amounts of pigment, the colour intensity increases linearly to the so-called "saturation point" or ceiling at which deepness remains virtually unaffected by further additions of colouring agent. The use of larger than the saturation amounts of pigment does not enhance colour intensity. It is very important to know exactly the optimum percentage of pigment to be used, so as to add only the quantity strictly necessary to obtain the desired colour.

Given the high water demand of pigments, their use poses certain questions with respect to the future durability of the concrete to which they are added. Performance has not proved to be especially good in certain environments, where reinforcement has been found to corrode in less time than expected. Colour stability has also been observed to undergo variation in some cases, with discoloration and streaking.

The research summarised below was undertaken at INTEMAC to study these two aspects of coloured concrete.

2. PURPOSE OF THE RESEARCH

The experimental research on the variation in colour and surface texture of concrete containing inorganic pigments and exposed to different weathering conditions was carried out to study the following:

1. Impact of the variables studied on colour deepness and discoloration of concrete surfaces under different environmental conditions.
2. Hue and lightness changes after weathering treatments.
3. Monitoring of soiling and efflorescence and study of the effectiveness of the cleaning system.
4. Characterisation of the durability of pigmented concrete compared to equally proportioned unpigmented control specimens.
5. Changes in the parameters affecting concrete durability after exposure to weathering treatments.

All the experimental stages of research, from concrete manufacture to testing, were conducted at the Instituto Técnico de Materiales y Construcción- INTEMAC – Central Laboratory.

COLOR	FÓRMULA	DENOMINACIÓN QUÍMICA	NOMBRE COMÚN
Negro	Fe_3O_4	Óxido Ferrosoférico (Magnetita)	Óxido de hierro Negro
Rojo	Fe_2O_3	Óxido férrico (Hematita)	Óxido de hierro Rojo
Amarillo	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	Hidróxido ferroso (Goetita)	Óxido de hierro Amarillo

Los pigmentos de óxido de hierro pueden ser naturales o sintéticos. Los naturales proceden de extracciones minerales, y son sometidos a diversos procedimientos para la obtención de uniformidad en el tamaño de las partículas, que suelen estar entre las 10 y las 15 micras. Los pigmentos de óxido de hierro sintéticos presentan cualidades superiores a los naturales, fundamentalmente en el control del tono del color y el poder de pigmentación.

El poder de coloración del pigmento, definido como la capacidad que tiene para impartir su color natural, es una característica esencial cuando se realiza una evaluación coste-prestaciones.

Cuando se prepara una mezcla de hormigón con cantidades crecientes de pigmentos, se observa que la intensidad del color aumenta inicialmente de forma lineal hasta llegar a un punto a partir del cual el aumento de tonalidad por unidad de colorante adicionado es prácticamente nulo, y a este punto lo definimos como "punto de saturación". Si empleamos cantidades de pigmentos superiores al punto de saturación no obtendremos una intensificación cromática. Es muy importante que se conozca exactamente el porcentaje de pigmentación óptimo, porque así se consumirá sólo la cantidad de pigmento estrictamente necesaria para obtener la coloración deseada.

El empleo de pigmentos, debido a su avidez por el agua, presenta algunos interrogantes en cuanto a la durabilidad futura de los hormigones con ellos fabricados. La experiencia de utilización en determinados ambientes no ha sido muy buena, produciendo corrosión de armaduras en plazos inferiores a lo que era esperable. También la estabilidad del color conseguido ha sufrido en algunos casos variaciones en el tiempo, produciendo tonos desvaídos y falta de uniformidad.

Con objeto de estudiar ambos aspectos en los hormigones coloreados se planteó en INTEMAC la investigación que se resume en el presente Cuaderno.

2. OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio experimental para la investigación sobre la variación del color y textura superficial del hormigón con adición de pigmentos inorgánicos sometidos a distintos estados de exposición ambiental, ha tenido por objeto investigar los siguientes aspectos:

1. Influencia de las variables en estudio sobre la tonalidad de color y la destonificación superficial del hormigón bajo distintas condiciones ambientales.
2. Cambios de tono y luminosidad tras los tratamientos de envejecimiento.
3. Seguimiento del grado de ensuciamiento y eflorescibilidad ocasionados, y eficacia del sistema de limpieza.
4. Caracterización de la durabilidad de los hormigones pigmentados respecto a dosificaciones patrón sin pigmento.
5. Estudio de los cambios en los parámetros que influyen en la durabilidad del hormigón pigmentado tras la exposición a los tratamientos de exposición ambiental.

Todas las etapas experimentales de la investigación, desde la fabricación de los hormigones hasta la realización de los ensayos, se han desarrollado en el Laboratorio Central del Instituto Técnico de Materiales y Construcción - INTEMAC.

3. EXPERIMENTAL PROGRAMME

3.1. RESEARCH PARAMETERS

The research is involved in analyse the impact of the following variables on pigmented concrete:

1. Type of cement:
 - White Portland BL II 42.5 R cement
 - Blended Portland CEM II/A-M 42.5 R cement
2. Water / cement ratio:
 - Plastic slump
 - Flowing slump
3. Addition of inorganic pigments:
 - Yellow
 - Black
 - Red
 - None

The various series ensuing from the combination of the above variables were subjected to conservation or ageing, as follows, for approximately 1 year:

1. Storage in curing room under standard conditions
2. Exposure to outdoor weathering
3. Exposure to wetting / drying cycles
4. Exposure to ultraviolet radiation in an accelerated weathering chamber.

The specimens were proportioned on the basis of the results of prior experimental studies, in which the component proportions normally employed for concrete used in building were taken as the initial reference. Other considerations were also taken into account in designing concrete proportions, to ensure comparability of the variables under study.

The amount of pigment added and the procedure followed to add it were based on information taken from the literature.

Measurements for the numeric and comparative evaluation of chromatic changes were made directly on the specimens, always in the area selected *a priori*.

The results of colour, physical, mechanical and chemical testing were used to determine the impact of the variables designed for the study on the colour and durability of coloured concrete, both 28 days after manufacture and after exposure to weathering for one year.

3.2. DESCRIPTION OF VARIABLES STUDIED

The present study analysed the impact of the following variables on pigment-coloured concrete exposed to different weathering conditions:

Cement: two series of concrete were manufactured using two types of different colour cement, namely white (BL II 42.5 R) and grey (CEM II/A-M 42.5 R).

Water/cement ratio: irrespective of the pigment or cement used, in order to manufacture one plastic and one fluid concrete mix, two proportions were established, with water/cement ratios of 0.52 and 0.67, respectively.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio desarrollado ha investigado la influencia de las siguientes variables en el hormigón pigmentado:

1. Tipo de cemento:
 - Cemento portland blanco BL II 42,5 R
 - Cemento portland compuesto CEM II/A-M 42,5 R
2. Relación agua / cemento:
 - Consistencia plástica
 - Consistencia fluida
3. Incorporación de pigmentos inorgánicos:
 - Amarillo
 - Negro
 - Rojo
 - Ausencia de pigmento

A las series resultantes de la combinación de las variables anteriormente mencionadas les fueron aplicados, durante un periodo aproximado de 1 año, los tratamientos de conservación o envejecimiento siguientes:

1. Exposición en cámara de curado estándar
2. Exposición a la intemperie
3. Exposición a ciclos de humedad y secado
4. Exposición a radiación ultravioleta en cámara de envejecimiento artificial acelerado

Para la fabricación de las probetas se emplearon proporciones de componentes establecidas mediante la realización de estudios experimentales previos, considerando como punto de partida dosificaciones usuales en la ejecución de hormigones de edificación. Para el diseño de las dosificaciones se incorporaron las pautas necesarias para la toma en consideración de las variables en estudio.

La cantidad de pigmentos añadida, así como el procedimiento para su incorporación, fueron definidos a partir de la información obtenida en las fuentes bibliográficas consultadas.

Para una valoración numérica y comparativa entre los cambios cromáticos del hormigón las mediciones fueron realizadas directamente sobre las probetas y siempre en el mismo área seleccionada previamente.

Con los resultados obtenidos tras la realización de los ensayos de color, físicos, mecánicos y químicos, se ha determinado la influencia de las variables diseñadas para el estudio en las características cromáticas y de durabilidad del hormigón coloreado, tanto a la edad de 28 días, como después de la aplicación de los tratamientos de exposición ambiental durante un año.

3.2. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DEL ESTUDIO

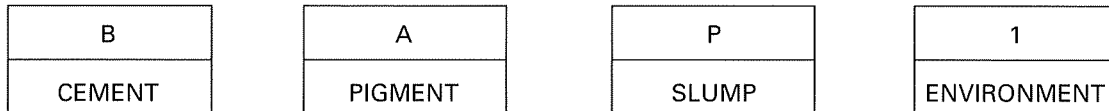
En el presente trabajo se ha analizado la influencia de las siguientes variables en los hormigones coloreados con pigmentos sometidos a distintos estados de exposición ambiental:

Cemento: se fabricaron dos series de hormigones, empleándose dos tipos de cemento, según su color, blanco (BL II 42,5 R) o gris (CEM II/A-M 42,5 R).

Relación agua/Cemento: con independencia del pigmento o cemento empleado y con la finalidad de fabricar un hormigón con consistencia plástica y otro fluido, se establecieron dos dosificaciones en las que las relaciones agua/cemento fueron, respectivamente: 0,52 y 0,67.

Pigments: yellow, red or black iron oxide pigments were added to the different batches of concrete in the proportions determined in the first stage of the study (prior testing to define component proportions). Control concrete specimens were also manufactured using the two types of cement but without pigments for colouring. A total of 12 series was manufactured, corresponding to the various combinations of: two types of cement, two consistencies, the use of two pigments and the control series. Black and yellow pigments were used with grey cement and red and yellow pigments with white cement. The proportions used are specified in Table 2.3.

The series and specimens were denominated as follows:



- The first letter denotes the type of cement
 - B:** BL II 42.5 R white Portland cement
 - G:** CEM II/A-M 42.5 R Portland cement

- The second letter denotes pigment type and colour:
 - N:** Black (for the Spanish **N**egro)
 - R:** Red
 - A:** Yellow (for the Spanish **A**marillo)

- The third letter denotes concrete slump:
 - P:** Plastic (w/c ratio =0.52)
 - F:** Flowing (w/c ratio=0.67)

- Finally, the number at the end of the code specifies the weathering conditions to which the various series of specimens were exposed during the study, as follows:

Exposure conditions	Number
Humid room under standard conditions	1 and 2
Outdoors	3 and 4
Wetting / drying cycles	5 and 6
Ultraviolet radiation	7
Laboratory (indoor)	8, 9 and 10

3.3. WEATHERING TREATMENTS

All the series resulting from the combination of the above variables were subjected to the following weathering treatments:

Humid room: specimens 1 and 2 of each series were kept in a humid room under standard conditions, i.e., a temperature of $20 \pm 2^\circ\text{C}$ and relative humidity of over 95%, for a full year.

Outdoors: specimens numbered 3 and 4 of each series were exposed to outdoor conditions throughout the ageing period. Figures 1 and 2 show the mean monthly temperatures and humidity during the period in question.

Pigmentos: en las distintas amasadas se añadieron pigmentos de óxido de hierro, de color amarillo, rojo o negro, según las dosificaciones determinadas en la primera fase del trabajo (ensayos previos para definir las proporciones de los materiales componentes). Además, se fabricaron probetas de hormigón, empleándose los dos tipos de cemento, sin pigmentos colorantes, utilizadas como referencia en la investigación. Se han fabricado 12 series, correspondientes a la combinación de: dos tipos de cemento, dos consistencias y utilización de dos pigmentos y hormigón patrón. En los hormigones fabricados con cemento gris se han utilizado pigmentos negro y amarillo, y en los fabricados con cemento blanco pigmentos rojo y amarillo. Las proporciones empleadas se indican en la Tabla 2.3.

La denominación de las series y probetas ha sido la siguiente:

B	A	P	1
CEMENTO	PIGMENTO	CONSISTENCIA	AMBIENTE

- La primera letra identifica el tipo de cemento:

B: Cemento Portland Blanco BL II 42,5 R
G: Cemento Portland CEM II/A-M 42,5 R

- La segunda letra identifica el tipo y color del pigmento:

N: Pigmento Negro
R: Pigmento Rojo
A: Pigmento Amarillo

- La tercera letra identifica la consistencia del hormigón:

P: Consistencia Plástica (relación a/c=0,52)
F: Consistencia Fluida (relación a/c=0,67)

- El número final indica el estado de exposición ambiental al que se han sometido las distintas series de probetas durante la investigación, según se indica a continuación:

Exposición ambiental	Identificación
Cámara estándar	1 y 2
Ambiente exterior (intemperie)	3 y 4
Ciclos de humedad y secado	5 y 6
Cámara de radiación ultravioleta	7
Laboratorio (recinto interior)	8, 9 y 10

3.3. TRATAMIENTOS DE ENVEJECIMIENTO APLICADOS

A todas las series resultantes de la combinación de variables anteriores se les aplicaron los siguientes tratamientos de envejecimiento:

Cámara Estándar: las probetas números 1 y 2 de cada serie fueron conservadas en cámara húmeda estándar, a una temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ y humedad relativa superior 95%, durante todo el plazo de un año.

Intemperie: las probetas, números 3 y 4 de cada serie permanecieron expuestas a la intemperie, durante todo el período de envejecimiento. En los gráficos de las figuras 1 y 2 se presentan los valores medios mensuales de temperatura y humedad relativa durante el referido período.

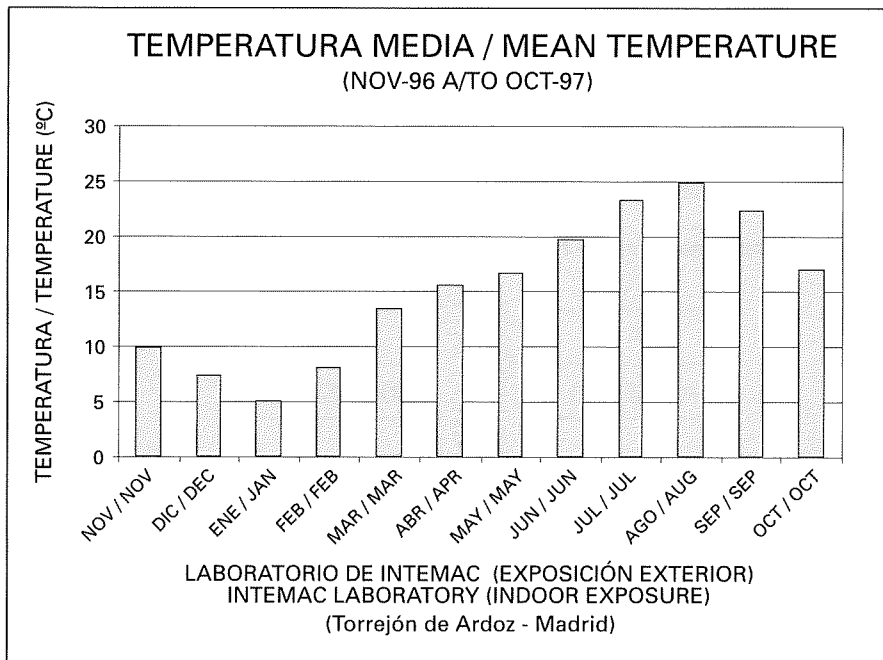


Fig. 1. Temperatura media mensual durante el periodo de la investigación.
Fig. 1. Mean monthly temperatures during the experimental period.

Wetting/drying cycle chamber: specimens 5 and 6 of each combination of variables were subjected to periodic wetting-drying cycles. In the climatic chamber used for this purpose the specimens were exposed to thermal cycles ranging from +20 °C to +40 °C and controlled variations in humidity, as shown below:

1. Kept at 40 °C20 hours
2. Cooling from 40 °C to 20 °C4 hours
3. Kept at 20 °C20 hours
4. Moisturising by sprinkling with distilled water4 hours

Ultraviolet radiation chamber: A climatic chamber combined with UVA radiation was used to achieve accelerated weathering able to reproduce the results obtained by exposing specimens to the elements, including the effect of sunlight, rain and temperature changes. The test temperature was set at 40 ± 2 °C, with 10% relative humidity.

Slices 5 cm thick were machined from specimen No. 7 of each series for insertion in the climatic chamber to subject them to ultraviolet radiation. Specimens were repositioned weekly to ensure uniform surface exposure. The chamber conditions were as shown below:

1. Ultraviolet radiation (40 ± 2 °C; 10% RH)10 hours
2. Saturation via immersion in water14 hours

3.4. METHODOLOGY FOR THE DESIGN OF CONCRETE PROPORTIONNING AND MANUFACTURES

The components used to manufacture the concrete were proportioned on the grounds of experimental batches made up in a previous phase, starting from the proportions normally used for building concrete. The following criteria were likewise considered:

- Use of the same cement content in all batches (300 kg/m³).
- Use of the same aggregates (0/5 mm silica sand and 5/12 mm limestone gravel).

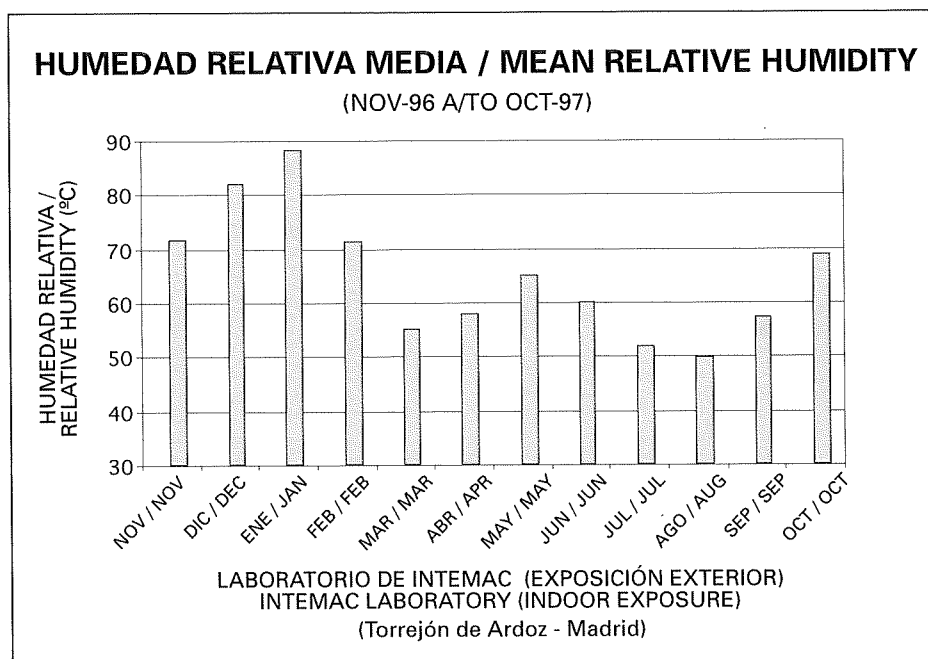


Fig. 2. Humedad relativa media mensual durante el periodo de la investigación.
Fig. 2. Mean relative humidity during the experimental period.

Cámara de Ciclos de Humedad/Secado: las probetas números 5 y 6 de cada combinación de variables fueron sometidas a períodos cíclicos de humedad-secado. Para ello se ha utilizado una cámara climática en la que se han aplicado ciclos térmicos entre +20 °C y +40 °C, y variaciones controladas de humedad, de acuerdo con la siguiente secuencia:

1. Conservación a 40 °C20 horas
2. Enfriamiento de 40 °C a 20 °C4 horas
3. Conservación a 20 °C20 horas
4. Humectación mediante riego con agua destilada4 horas

Cámara de radiación ultravioleta: Se ha utilizado una cámara climática combinada con radiación UVA para conseguir un envejecimiento acelerado capaz de reproducir resultados que representen los que se obtienen por exposición a la intemperie, incluyendo el efecto de la luz solar, la lluvia y los cambios de temperatura. La temperatura de ensayo fue fijada a 40 ± 2 °C, y la humedad relativa al 10%.

Para la realización de los ensayos fueron mecanizadas rodajas de 5 cm de espesor a partir de cada probeta nº 7 de cada serie, para que pudiesen ser introducidas en el recinto de la cámara climática y sometidas al período de radiación ultravioleta. A fin de conseguir unas condiciones uniformes de exposición sobre las superficies de las probetas, la posición de estas se ha intercambiado semanalmente. Las condiciones de exposición en la cámara fueron sometidas las siguientes:

1. Radiación ultravioleta (40 ± 2 °C; 10% HR)10 horas
2. Saturación por inmersión en agua14 horas

3.4. METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE LAS DOSIFICACIONES Y LA FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN

Las dosificaciones empleadas en la fabricación de los hormigones se fijaron a través de amasadas experimentales, previamente elaboradas, considerando como punto de partida dosificaciones usuales en la elaboración práctica de hormigones de edificación. Además, se han tenido en cuenta los siguientes criterios:

- Empleo de un contenido de cemento idéntico para todas las dosificaciones (300 kg/m³).
- Empleo de los mismos áridos (arena silíceo 0/5 mm y grava caliza 5/12 mm).

- Prior addition of pigment to dry cement.
- Use of the amount of additive needed to adjust the concrete to the desired slump, without modifying the w/c ratio.

Furthermore, two water/cement ratios were used in each group to obtain plastic and flowing concrete. The mix was adjusted to the desired slump by adding a liquid plastifying agent to the water.

The basic proportion per m³ adopted to manufacture concrete for each type of mix was as follows:

Cement	300 kg
5/12 mm limestone gravel	1200 kg
0/5 mm silica sand	800 kg
Water	160 l

The same proportions were used for concrete made from grey CEM II/A-M 42.5 R and white BL II 42.5 R cement.

The concrete studied in this survey was manufactured as a result of the information taken from references [9], [13], [52] and [62], according to which well-defined colours can be obtained with small amounts of pigments, between 2 and 5%, depending on the type and colour used. It is generally accepted that, due to the particle size and density variation, pigments must be measured in terms of weight for accurate and precise proportioning. The pigment was poured into the mixer with the dry cement and aggregates before adding the water.

Based on the forgoing, the following proportions were used:

TYPE OF PIGMENT	PROPORTIONING (% of cement by weight)
Red	2.4%
Black	1.8% and 2.5% ¹⁾
Yellow	3.0%

Table 1. Proportion of pigments as percentage of cement by weight

The additive was mixed in part of the batch water prior to being poured into the mixer. Slump measurements were carried out on all batches, varying the pre-established amount of additive where necessary to adjust the concrete to the desired slump without having to change the w/c ratio. The standard compressive strength of each batch of concrete was also determined.

A total of 13 specimens were made from each of the batches described above, i.e.:

- 10 cylindrical specimens, 10 cm in diameter and 20 cm high, used for the durability, weathering treatment and colour tests and numbered from 1 to 10. Twenty four hours after manufacture, specimens 9 and 10 were kept inside the laboratory and specimens 1 to 8 were placed inside the curing room under standard conditions.
 - The colour parameters, porosity, capillary absorption and carbonation depth were determined on the two laboratory environment specimens (9 and 10) 35 days after manufacture.
 - Specimens numbers 1 to 8 were removed from the humid room 35 days after manufacture. The ones numbered from 1 to 7 were exposed to different environmental conditions: humid room, wetting-drying cycles, outdoor weathering and ultraviolet chamber. Permeability to water under pressure was

1) During specimen manufacture it was observed that, due to the aggregate and cement colour, the concrete coloured with 1.8% black pigment was too light. The proportion was consequently increased to 2.5% in the flowing concrete.

- Adición previa del pigmento al cemento, con mezclado en seco.
- Empleo de la cantidad de aditivo necesaria para ajustar el hormigón a la consistencia deseada, sin tener que modificar la relación a/c.

Además, en cada grupo se emplearon dos relaciones agua/cemento, con la finalidad de obtener hormigones con consistencia plástica y fluida. El ajuste a la consistencia deseada se hizo a través de la adición de un agente plastificante, en forma líquida, disperso en agua.

La dosificación básica, por m³, adoptada para la fabricación del hormigón de cada tipo de mezcla, fue la siguiente:

Cemento	300 kg
Grava caliza 5/12 mm.....	1200 kg
Arena silícea 0/5 mm	800 kg
Agua	160 l

Para la fabricación de los hormigones con cemento gris CEM II/A-M 42,5 R, y los de cemento blanco BL II 42,5 R, se empleó la misma dosificación.

Para la fabricación de los hormigones objeto de nuestro estudio se consideró la información obtenida en la bibliografía [9], [13], [52] y [62], según la cual se pueden conseguir colores bien definidos utilizando pequeñas cantidades de pigmentos, entre el 2 y el 5%, dependiendo del tipo y color empleado. En general se acepta que, debido al tamaño de sus partículas y diferente densidad de conjunto, la exactitud y precisión en las dosificaciones requieren que la medición del pigmento se realice por peso. El pigmento fue vertido a la amasadora junto con el cemento y los áridos, en seco, antes de la incorporación del agua.

A partir de lo descrito anteriormente, se decidió emplear las siguientes proporciones:

TIPO DE PIGMENTO	DOSIFICACIÓN (% por peso de cemento)
Rojo	2,4%
Negro	1,8% y 2,5% ¹⁾
Amarillo	3,0%

Tabla 1. Dosificación de los pigmentos en porcentaje referido a peso de cemento

El aditivo se mezcló en una porción del agua de amasado previamente a su incorporación a la amasadora. En todas las amasadas se efectuó un control de la consistencia, empleando cuando era preciso variaciones de la cantidad de aditivo prefijada, para ajustar el hormigón a la consistencia deseada, sin tener que modificar la relación a/c. También se determinó la resistencia a compresión normalizada del hormigón de cada amasada.

A partir de cada una de las amasadas definidas en el apartado anterior, se han fabricado 13 probetas, según se define a continuación:

- 10 probetas cilíndricas, de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, utilizadas para los ensayos de evaluación de durabilidad, tratamientos de envejecimiento y medidas del color, numeradas del 1 al 10. Transcurridas las primeras 24 horas desde la fabricación, las probetas números 9 y 10 se han mantenido en ambiente interior del laboratorio y las probetas números 1 a 8 se introdujeron en cámara de curado estándar.
 - Sobre las dos probetas curadas en ambiente de laboratorio (nº 9 y nº 10) se ha realizado, a los 35 días de edad, la determinación de las coordenadas cromáticas, porosidad, succión por capilaridad y carbonatación.
 - Las probetas números 1 a 8, a los 35 días de edad se sacaron de la cámara húmeda. Las designadas como 1 a 7, fueron sometidas a exposiciones ambientales diferentes: cámara húmeda, ciclos de humedad-secado, intemperie y cámara ultravioleta. Sobre la probeta nº 8 se determinó la penetración de agua bajo presión. Sobre las siete probetas expuestas a tratamientos de conservación o envejecimiento se ha

1) Durante la fabricación de las probetas se observó que, debido al color de los áridos y del cemento, el hormigón coloreado con pigmento negro en la proporción del 1,8% presentaba un tono demasiado claro. Por ello se decidió, sobre el hormigón de consistencia fluida, aumentar la dosificación al 2,5%.

determined on specimen No. 8. The surface colour parameters of the seven specimens exposed to conservation or weathering conditions were monitored periodically (weekly the first month, bi-weekly the second and monthly thereafter) during the year of exposure, after which time the specimens were prepared for testing. The following trials were run: capillary absorption, carbonation depth, porosity and permeability to water under pressure. Thereafter all the specimens were kept under identical storage conditions for 16 months for "natural" drying in a closed and ventilated area. At the end of this period, the colour co-ordinates were again determined on the specimens that had been exposed to outdoor conditions, before and after selective cleaning.

- b) Three cylindrical specimens 15 cm in diameter and 30 cm high, used to determine standard compressive strength.

3.5. TESTING

Determination of colour variations in concrete via colour parameters.

A precise and comparable evaluation of colour changes in the concrete exposed to different types of weathering calls for objective colorimetric methods, such as spectrophotometry under standard conditions (ASTM E 308 y ASTM D 2244).

Colour perception is a sensory impression, the result of light reflected off a given object. The grounds for colour measurement are the empirical results obtained from a study of the colours viewed in a large number of objects. The definition and determination of such colour attributes are directly impacted by a number of factors, such as the distance between the observer and the object (huge irregularities that appear as a visible blemish when seen from close range disappear as the distance between viewer and object increases), the type and intensity of the source of light, the surroundings or the perceptive capacity of each individual.

The light spectrum covers a very broad range of wave lengths, in which the human eye only perceives a small zone located between 380 and 780 nm, known as the visible zone of the spectrum. Values over 700 nm are known as infrareds and under 380 nm as ultraviolets. The variable stimulation of the retina depending on the wavelength underlies the existence of the colour spectrum, which can be arranged in the following order: red, orange, yellow, green, blue and violet. Of these, red, green and blue are regarded as the primary colours, as all others can be obtained from combinations of the three.

Due to the subjective nature of colour sensation, the objective description of a colour is very complex, as it constitutes a psychophysical trait of objects that absorb all or part of the light and reflect the rest. For the intents and purposes of colour measurement, objects are generally assumed to be opaque; only the fraction of the radiation that is reflected or absorbed is of interest in this regard. The light reflected by the object stimulates the viewer's retina and is recognised by the brain as a colour, which is a mixture of the different wavelengths.

It has been shown in numerous trials that it is also possible to accurately interpret colours as seen by the human eye if the retina is assumed to have three receptors with different sensitivities, i.e., that colour sensation is prompted by exciting these three centres that then convey the signal to the brain; this means that each colour can be sufficiently described by three colour values.

A number of different scales has been used to graphically represent colour based on the tristimulus system of sensitivity receptors, such as:

- Colour parameters L^* , a^* , b^*
- Colour parameters L^* , C^* , h

These parameters are determined with spectrophotometers, which provide objective, reproducible values for the unequivocal characterisation of colour.

The colour parameters L^* , a^* , b^* are the ones generally used in most colour analysis standards. Their main advantage is that they avoid the perception errors inherent in colour charts. Graphically they are depicted as a three-dimensional chromaticity diagram in which the x-axis ($-a^*$, $+a^*$) represents the variation from green to red, the y-axis ($-b^*$, $+b^*$) from blue to yellow and the z-axis (L^*) represents lightness. The centre of the diagram is achromatic, with colour saturation increasing towards the periphery. The a^* and b^* parameters may range from +60 to -60 units and the L^* value from 0 to 100 units.

realizado periódicamente un seguimiento de las coordenadas cromáticas en su superficie (semanalmente el primer y quincenalmente el segundo mes, y a continuación una vez al mes), hasta completar el año de exposición, momento en el cual se acondicionaron para la realización de los ensayos. Las determinaciones efectuadas al finalizar los tratamientos de exposición ambiental fueron las indicadas seguidamente: succión capilar, carbonatación, porosidad y permeabilidad de agua bajo presión. A partir de ese momento todas las probetas se mantuvieron en condiciones idénticas de almacenamiento durante 16 meses, para conseguir su secado "natural", en un recinto cerrado ventilado, y sobre las probetas resultantes del tratamiento de exposición a la intemperie, se han determinado de nuevo las coordenadas cromáticas, antes y después de un proceso de limpieza selectivo.

- b) Tres probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, utilizadas para determinar la resistencia a compresión normalizada.

3.5. REALIZACION DE ENSAYOS

Determinación de la variación del color del hormigón a través de sus coordenadas cromáticas.

Para una valoración numérica precisa y comparativa entre los cambios cromáticos del hormigón sometido a distintos estados de exposición ambiental, es necesario que las medidas cromáticas se realicen empleando métodos objetivos, como pueden ser las efectuadas con espectrofotómetros en condiciones normalizadas (ASTM E 308 y ASTM D 2244).

La percepción de los colores es una impresión sensorial, pues es el resultado de la luz reflejada en un determinado objeto. La base de la métrica de los colores se basa en los resultados empíricos obtenidos a través del estudio de la visión de los colores sobre un gran número de objetos. La definición y determinación de estos atributos del color están directamente influenciados por varios factores, como pueden ser la distancia entre el observador y el objeto (grandes irregularidades que aparecen como defecto visible cuando se analizan desde un punto cercano, se desvanecen al alejarse), el tipo e intensidad de la fuente luminosa, el entorno, o la capacidad de percepción de cada persona.

El espectro de luz cubre unas longitudes de ondas muy amplias, de las que el ojo humano sólo detecta una pequeña zona localizada entre 380 y 780 nm, denominada zona visible del espectro. Valores superiores a 700 nm representan el infrarrojo, y los inferiores a 380 nm, el ultravioleta. En función de la longitud de onda se produce una estimulación diferente de la retina y se establece así el espectro de color, disponiéndose en orden el rojo, naranja, amarillo, verde, azul y violeta. De estos colores, el rojo, el verde y el azul son considerados como los colores primarios. Los demás se obtienen a partir de la mezcla entre ellos.

Debido al carácter subjetivo de la sensación cromática la descripción objetiva de un color resulta compleja, puesto que representa un atributo psicofísico de los objetos. Éstos absorben toda o parte de la luz, reflejando el resto. Para medir el color de los objetos, se supone generalmente que estos son opacos; sólo nos interesa la fracción de la radiación que es reflejada o absorbida. La luz reflejada del objeto estimula la retina del observador y es reconocida por el cerebro como un color que es una mezcla de las diferentes longitudes de ondas.

Se ha comprobado a través de numerosos ensayos que es posible interpretar también de forma exacta la visión de los colores por el ojo humano, si se admite que existen en la retina tres receptores de sensibilidad diferentes, es decir, que la impresión de los colores está provocada por la excitación de tres centros que conducen al cerebro, lo que significa que cada color puede estar suficientemente descrito por tres valores o coordenadas cromáticas.

Existen diferentes escalas que representan, de manera gráfica, el color, tomando como base los receptores de sensibilidad (triestímulos), como son:

- Coordenadas Cromáticas L^* , a^* , b^*
- Coordenadas Cromáticas L^* , C^* , h

La medida de estas coordenadas se lleva a cabo por medio de espectrofotómetros, que permiten obtener parámetros objetivos y repetitivos, de modo que los atributos de color puedan ser caracterizados inequívocamente.

Las Coordenadas Cromáticas L^* , a^* , b^* son las que se suelen emplear en la gran mayoría de las normativas de análisis del color. Su principal ventaja está en que se evitan los errores de percepción de las cartas de color. Su representación es un diagrama cromático tridimensional en el que el eje x ($-a^*$, $+a^*$) representa la variación del color

Lightness (L^*) quantifies the amount of light stimulus received by the observer and determines the degree of lightness or darkness of the colour. It is measured on a scale ranging from pure black (zero) to pure white (one hundred).

The colour co-ordinates of the concrete studied were measured with a Minolta CM-2002 spectrophotometer at a 10-degree observation angle and using standard illuminant D65, which corresponds to daylight with ultraviolet radiation. This is not only a non-destructive technique, i.e., it does not affect the medium on which the measurements are taken, but one that provides systematised data.

Measurements were taken at a total of 10 points per specimen, always in the same pre-established area, pre-selected on the grounds of homogeneity of colour and tone as seen by the naked eye.

The Cielab (1976) (CIE COLORIMETRY) colour scale was used, based on parameters L^* , a^* and b^* . Colour differences are established on this scale in terms of the variation of the following parameters:

+ ΔL^* = lighter	- ΔL^* = darker
+ Δa^* = redder	- Δa^* = greener
+ Δb^* = yellower	- Δb^* = bluer

The first measurement was taken on the specimens 35 days after manufacture of the concrete. During this initial curing period the specimens were kept in a humid room, with the exception of two of each type, which were kept in an indoor environment (Nos. 9 and 10). Subsequently all the specimens were moved to different exposure conditions for the duration.

A series of systematic measurements was taken on specimens exposed to different environmental conditions to quantify, compare and study the colour co-ordinates L^* , a^* and b^* . For the first month, weekly measurements were taken of the specimens exposed to the different conditions. The following month, the interval was increased to every two weeks and thereafter and for the remainder of the research, one measurement was taken per month. The specimens kept in the humid room were removed immediately before measurement to prevent the water on the surface from evaporating. Efflorescence was detected on the outside of the specimens as the surface began to dry during the measuring process.

Determination of capillary absorption

The specimens used to study water suction in the concrete were subjected to pre-establish drying periods. The water level with respect to the lower base of the specimen was kept at a height of 5 mm throughout the trial by means of an automatic device that corrected water loss due to absorption by the specimen or evaporation.

Environmental conditions, namely relative humidity and test room temperature, were kept stable at $65 \pm 5\%$ and $20 \pm 2^\circ\text{C}$, respectively.

After 72 hours the specimen bases were surface dried to determine the amount of water absorbed by the concrete on the grounds weight differences. Subsequently, the indirect tensile test was carried out as described in UNE 83306 on the side perpendicular to the one used for the capillary absorption test. Generally speaking, the profile of the water penetration front was level, practically coinciding on the outside and inside surfaces of each specimen.

Determination of permeability

The test procedures followed were as set out in UNE 83309. The test variables and parameters are described below.

The specimens were dried at $50 \pm 2^\circ\text{C}$ for 72 hours. The permeability cell was attached immediately thereafter to the flat moulded side of the specimens, where pressure was applied, first at 1 kp/cm^2 for 48 hours, then at 3 kp/cm^2 (for 24 hours), and finally at 7 kp/cm^2 , for a further 24 hours.

No damp spots or bleeding on the underside of the specimens were observed during treatment, so it can be safely asserted that there was no leaking. After pressure was applied at 7 kp/cm^2 , the excess water was wiped off the test side of the specimen and the indirect tensile test was conducted as per UNE 83306, perpendicular to that side. The profile corresponding to the water penetration front was clearly visible in all the specimens tested, so the mean and maximum depths could be accurately determined.

No bleeding was not observed around the outside of the specimens, nor was any water found on the side opposite the side where the pressure was applied.

del verde al rojo, el eje y (-b*,+b*) representa la variación del azul al amarillo, y el eje z (L*) corresponde a la luminosidad. El centro del diagrama es acromático y según nos desplazamos hacia la periferia la saturación del color es mayor. Las coordenadas a* y b* pueden variar de +60 a -60 uds., y la coordenada L* de 0 a 100 uds.

La Luminosidad (L*) cuantifica la cantidad del estímulo luminoso que recibe el observador, determinando el grado de luminosidad, brillo u oscuridad de color. Se mide a través de una escala que va desde el negro puro (cero) hasta el blanco puro (cien).

Las mediciones de las coordenadas cromáticas en los hormigones estudiados fueron realizadas utilizándose un espectrofotómetro CM-2002 de Minolta, con un ángulo de observación de 10 grados, utilizándose un iluminante estándar D65, que corresponde a la luz natural con radiación ultravioleta. Esta es una técnica no destructiva, ya que no afecta al soporte sobre el que se realizan las mediciones, y permite obtener datos sistematizados.

Las mediciones se realizaron directamente sobre un total de 10 localizaciones por probeta, y siempre en el mismo área, seleccionada previamente de acuerdo con su homogeneidad de color y tono, a simple vista.

La escala cromática utilizada fue la Cielab, 1976 (CIE COLORIMETRY), tomando los parámetros L*, a* y b*. En ésta la diferencia de color se establece en función de la variación de los siguientes parámetros:

+ ΔL^* = más Claro	- ΔL^* = más Oscuro
+ Δa^* = más Rojo	- Δa^* = más Verde
+ Δb^* = más Amarillo	- Δb^* = más Azul

La primera medida sobre las probetas fue efectuada a los 35 días de fabricación del hormigón. Durante este período de curado inicial las probetas permanecieron en cámara estándar, a excepción de dos de cada tipología que permanecieron en ambiente interior (nº 9 y nº 10). Posteriormente todas las probetas fueron trasladadas a los distintos ambientes de exposición, donde permanecieron hasta que terminó la investigación.

Con objeto de cuantificar, comparar y estudiar la evolución de las coordenadas cromáticas L*, a* y b*, se llevaron a cabo una serie de mediciones sistemáticas sobre probetas expuestas a los distintos estados ambientales. Durante el primer mes, se realizaron mediciones semanales de las probetas sometidas a los distintos ambientes. En el mes siguiente, el intervalo se aumentó a 15 días, y una vez finalizado este período y hasta completar el año, se pasó a una medida por mes. Las probetas que se mantuvieron en cámara húmeda, eran sacadas de la cámara inmediatamente antes de la medición, para evitar que el agua existente en su superficie se evaporara. Durante la realización de las medidas pudo comprobarse la aparición de eflorescencias en el exterior de las probetas cuando se comenzaban a secar superficialmente.

Determinación de la succión capilar

Las probetas utilizadas para el estudio de la succión de agua en el hormigón fueron sometidas a los períodos de secado prefijados. El nivel de agua respecto a la base inferior de la probeta se mantuvo a una altura de 5 mm durante todo el ensayo, mediante un dispositivo automático que corregía las pérdidas de agua por absorción de la probeta o por evaporación.

Las condiciones ambientales, humedad relativa y temperatura de la sala de ensayo, se mantuvieron estables en torno al $65 \pm 5\%$ y a $20 \pm 2^\circ\text{C}$, respectivamente.

A las 72 horas de tratamiento se secaron superficialmente las bases de las probetas para determinar por diferencia de peso la succión de agua del hormigón. Posteriormente se procedió a la realización del ensayo de tracción indirecta, según UNE 83306, en la cara perpendicular a la utilizada para el ensayo de succión capilar. En general, el perfil definido por el frente de penetración de agua era homogéneo, de forma que prácticamente coincidían en la superficie exterior y en la interior de cada probeta.

Determinación de la permeabilidad

El procedimiento seguido para la realización del ensayo coincide con el descrito en la norma UNE 83309. Las variables y parámetros de ensayo se describen a continuación.

Determination of porosity

The porosity test was carried out as described in ASTM C-642 specifications.

Determination of carbonation depth

A 50% alcohol solution with 1% phenolphthalein was sprayed on one of the fracture surfaces of the specimens after indirect tensile testing. Two minutes later, the depth of the colourless layer was measured to a precision of 1 mm to determine the carbonated area.

4. ANALYSIS OF RESULTS

The experimental data and results obtained in the present research are discussed and analysed below.

COLOUR VARIATION

a) Degree of efflorescence, soiling and variations in chromatic parameters.

- Concrete weathering entails an increase of from 4 to 10 units in lightness values, attributable to the gradual loss of surface humidity in the specimens (leading to paler tones) and a reduction of from 2 to 10 units of colour saturation (leading to less intense, less pure colours).
- In young concrete, the decline in colour saturation appears to be due to abundant efflorescence and, in the longer term, to processes associated with concrete carbonation and leaching (in specimens subjected to cycles of alternating wetting / drying conditions).
- This deterioration of surface appearance is more acute in concrete made with white (BL II 42.5 R) than with grey (CEM II/A-M 42.5 R) cement, and is greater in pigmented than unpigmented specimens.
- The hue, determined by chromatic parameter "h", varies very little or not at all during treatment, even under ultraviolet weathering; the only effect is moderate "yellowing" in white concrete or when black pigment is used.

b) Changes in appearance under different exposure conditions.

- The colour parameters of the different types of concrete remained essentially stable when kept in a humid room (Fig. 3).

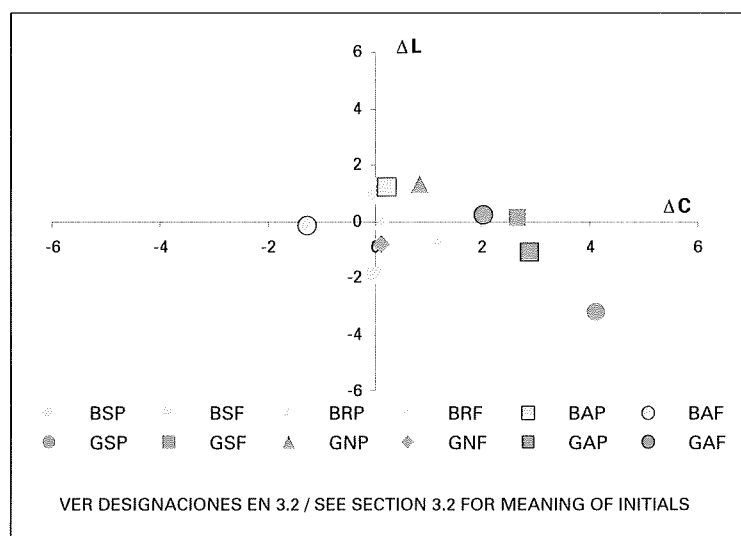


Fig. 3. Variación de la luminosidad y de la croma en las distintas tipologías de hormigón expuestas a ambiente saturado.
Fig. 3. Variation in lightness and chroma in the different types of concrete exposed to a saturated environment.



Fotografía nº 1. Exposición a la intemperie.
Photo No. 1. Exposure to outdoor weathering.



Fotografía nº 2. Exposición a ciclos de humedad y secado.
Photo No. 2. Exposure to wetting-drying cycles.



Fotografía n° 3. Exposición en cámara húmeda estándar (hormigón con cemento blanco, pigmento amarillo y consistencia fluida).
Photo No. 3. Storage in standard humid room (flowing white concrete with yellow pigment).



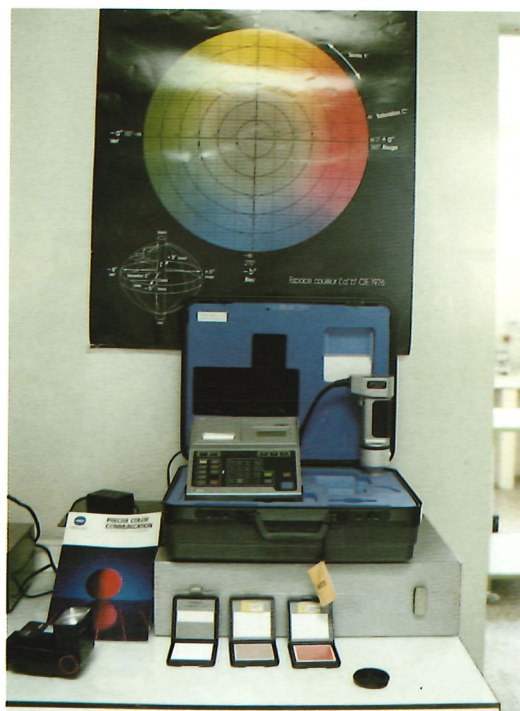
Fotografía n° 4. Exposición en cámara húmeda estándar (hormigón con cemento blanco, pigmento rojo y consistencia fluida).
Photo No. 4. Storage in standard humid room (flowing white concrete with red pigment).



Fotografía nº 5. Exposición a radiación ultravioleta en cámara de envejecimiento artificial acelerado.
Photo No. 5. Exposure to ultraviolet radiation in accelerated weathering chamber.



Fotografía nº 6. Medida de la consistencia (hormigón con cemento blanco y pigmento rojo).
Photo No. 6. Slump measurement (white concrete with red pigment).



Fotografía nº 7. Espectrofotómetro para medida de la coordenadas cromáticas L^* , a^* , b^* .
Photo No. 7. Spectrophotometer to measure colour co-ordinates L^* , a^* , b^* .



Fotografía nº 8. Procedimiento de medida de la coordenadas cromáticas L^* , a^* , b^* , mediante el empleo del espectrofotómetro.
Photo No. 8. Spectrophotometric procedures to measure colour co-ordinates L^* , a^* , b^* .

Las probetas fueron secadas a 50 ± 2 °C durante 72 horas. Seguidamente la célula de permeabilidad fue aplicada sobre la cara plana enmoldada de las probetas y se procedió a la aplicación de una presión de 1 kp/cm² en la superficie tratada, durante 48 horas. A continuación se aumentó la presión hasta 3 kp/cm² (24 horas), y por último, hasta 7 kp/cm², permaneciendo así por otro período de 24 horas.

Durante la aplicación del tratamiento no se observaron manchas de humedad en la superficie, ni exudación en el contorno inferior de las probetas, por lo que se puede garantizar que no hubo pérdidas de agua. Después de la aplicación de la presión de 7 kp/cm², se limpió el exceso de agua de la cara sometida a ensayo y se procedió a la realización del ensayo de tracción indirecta según UNE 83306, perpendicularmente a dicha cara. El perfil producido por el frente de penetración de agua aparecía bien definido en todas las probetas ensayadas, por lo que se ha podido determinar con exactitud las profundidades media y máxima.

No se han observado exudaciones en el contorno exterior de las probetas. Tampoco se observó presencia de agua en la cara opuesta a la aplicación de la presión.

Determinación de la porosidad

El ensayo de porosidad ha sido realizado siguiendo método indicado en la norma ASTM C-642.

Determinación de la profundidad de carbonatación

Sobre una de las caras de fractura de las probetas ensayadas a tracción indirecta, se pulverizó una disolución alcohólica al 50% con 1% de fenolftaleína. Transcurridos 2 minutos, se midió el espesor de la capa incolora con una precisión de 1 mm, determinando así la profundidad de la zona carbonatada.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A partir de los datos experimentales obtenidos en el desarrollo del presente trabajo de investigación, y del análisis de los resultados, pueden establecerse las siguientes consideraciones:

SOBRE LA VARIACION DE COLOR

a) Grado de eflorescibilidad, ensuciamiento y variaciones de los parámetros cromáticos.

- El envejecimiento del hormigón lleva asociado un aumento entre 4 y 10 uds. de los valores de luminosidad, imputable a la pérdida gradual de humedad en la superficie de las probetas (dando tonos más pálidos) y una reducción entre 2 y 10 uds. de la saturación de color (resultando tonos más apagados, menos vivos).
- La reducción de la saturación de color parece estar originada, a cortas edades, por la formación abundante de eflorescencias, y, a largo plazo, por procesos asociados a la carbonatación del hormigón, y lixiviación (en probetas sometidas a ciclos alternos de humedad y secado).
- Este proceso de deterioro del aspecto superficial es más acusado en los hormigones ejecutados con cemento blanco (BL II 42,5 R) respecto al gris (CEM II/A-M 42,5 R), y se manifiesta en mayor medida en las probetas pigmentadas que en las fabricadas sin pigmento.
- El tono, determinado por el parámetro cromático "h", apenas presenta variaciones durante los tratamientos aplicados, incluso en el caso del envejecimiento por radiación ultravioleta, tan sólo se pone de manifiesto un moderado "amarilleamiento" en el hormigón fabricado con cemento blanco, o cuando se emplea pigmento negro.

b) Cambios de aspecto en función de las condiciones de exposición.

- La conservación en cámara húmeda (Fig. 3) mantiene bastante estables los parámetros cromáticos de las distintas tipologías de hormigón.

- When exposed to wetting-drying cycles (Fig. 4), the pigmented specimens show a 2- to 4- unit decline in colour purity (chroma), although their lightness barely varies. The unpigmented control specimens show no significant variations when exposed to such conditions.
- The greatest changes are observed in treatments involving exposure to outdoor weathering (Fig. 5) and ultraviolet radiation. Generally speaking, these two types of ageing cause an increase in lightness from 6 to 16 units, with the variations for white concrete found to be 100% greater than for grey concrete. Moreover, in concrete made with white (BL II 42.5 R) cement and exposed to outdoor weathering, saturation is also observed to decline substantially (by from 5 to 10 units), causing discoloration (loss of intensity), an effect that is particularly striking when red pigment is used (the chroma value drops in white concrete with red pigment by double the amount observed in the unpigmented control specimen).

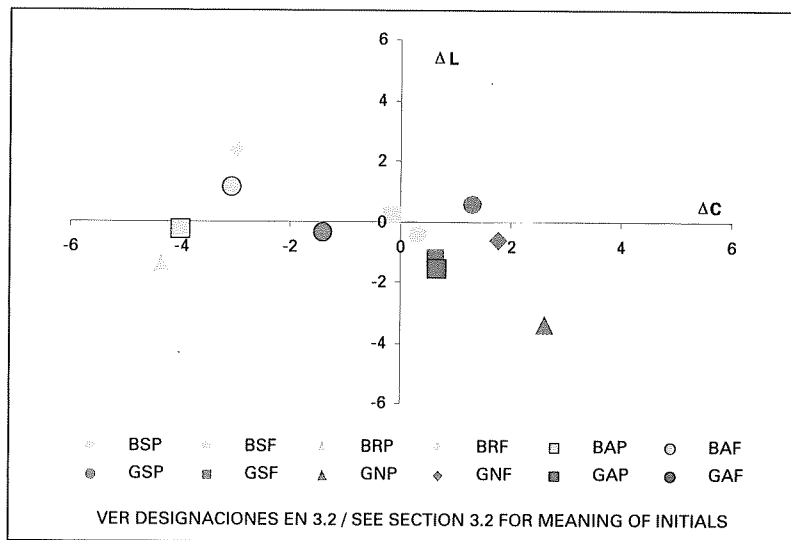


Fig. 4. Variación de la luminosidad y de la croma en las distintas tipologías de hormigón sometidas a ciclos de humedad-secado.

Fig. 4. Variations in lightness and chroma in the different types of concrete exposed to damp-dry cycles.

c) Impact of type of concrete on colour changes.

- The overall colour changes are greater in concrete made with white (BL II 42.5 R) than with grey (CEM II/A-M 42.5 R) cement.
- Greater colour stability is found in (unpigmented) control concrete than in pigmented specimens, especially where white cement was used in their manufacture.
- The impact of the water/cement ratio on chromatic parameters is minor, although in some cases flowing concrete shows greater overall colour changes, regardless of whether or not pigments are added.

d) Effectiveness of the cleaning system.

- As a general rule, cleaning does not restore the concrete to its original colour (Fig. 6).
- The values obtained in grey concrete gain in purity, but the original hues are not fully restored. The specimens made with white concrete not only do not revert to the original colour, but even fade and pale; i.e., cleaning not only fails to restore the initial colour, but distances the colour parameters measured after the end of the weathering experiment even further from the original values.

- Cuando se someten a ciclos de humedad-secado (Fig. 4) las probetas con adición de pigmentos acusan una disminución entre 2 y 4 uds. de la viveza de los colores (croma) y apenas se modifica su luminosidad. Los hormigones patrón, sin pigmento, no presentan variaciones significativas bajo este tipo de exposición.

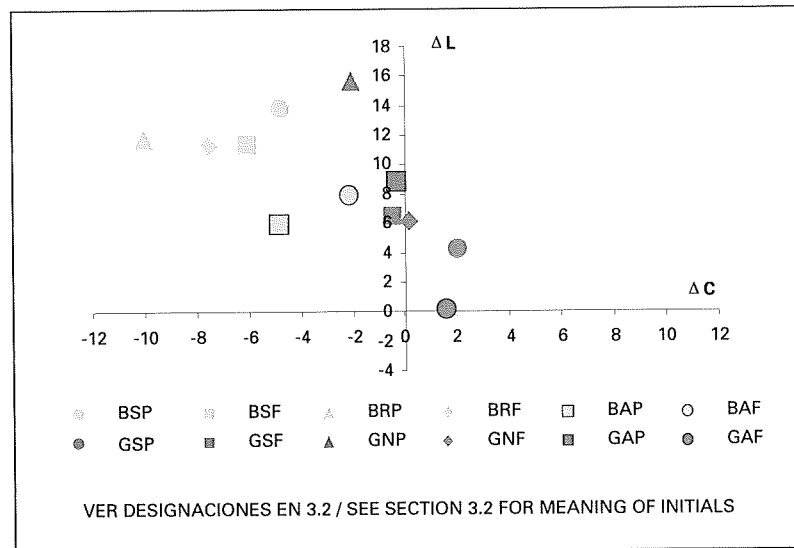


Fig. 5. Variación de la luminosidad y de la croma en las distintas tipologías de hormigón sometidas a intemperie.

Fig. 5. Variations in lightness and chroma in the different types of concrete exposed to outdoor weathering.

- Los mayores cambios se ponen de manifiesto con los tratamientos de exposición a la intemperie (Fig. 5) y a la radiación ultravioleta. En general, estos envejecimientos producen un aumento de la luminosidad comprendido entre 6 y 16 uds. (tonos más pálidos), siendo las variaciones un 100% superiores para el hormigón de cemento blanco respecto a las resultantes para el hormigón de cemento gris. Además, en el caso de los hormigones fabricados con cemento blanco (BL II 42,5 R) expuestos a la intemperie, se observan disminuciones importantes de la saturación (entre 5 y 10 uds.), produciendo una destonificación del color (tonalidades menos vivas), siendo este efecto especialmente llamativo cuando se incorpora pigmento rojo (la disminución de la croma en el hormigón blanco con adición de pigmento rojo es el doble de la observada en el hormigón patrón sin pigmento).
- c) Influencia de la tipología de hormigón en los cambios cromáticos.
- Los cambios cromáticos globales son más acusados en los hormigones fabricados con cemento blanco (BL II 42,5 R) respecto a los que contienen cemento gris (CEM II/A-M 42,5 R).
 - Se observa mayor estabilidad de color en los hormigones patrón (sin pigmento) que en los que se han incorporado pigmentos, especialmente en los fabricados con cemento blanco.
 - La influencia de la relación agua/cemento en los parámetros cromáticos es reducida, si bien, en algunos casos, los hormigones de consistencia fluida llevan asociados mayores cambios cromáticos globales, independientemente de la adición de pigmentos.
- d) Eficacia del sistema de limpieza.
- En general, la limpieza realizada no consigue recuperar el color original del hormigón (Fig. 6).
 - Los valores obtenidos en los hormigones con cemento gris aumentan en parte su viveza de color, pero sin alcanzar los tonos originales. En cambio, los fabricados con cemento blanco no sólo no recuperan su color, sino que en algunos casos la limpieza llega a producir tonos más desvaídos, más apagados, de modo que la limpieza no sólo no revierte la coloración inicial, sino que la distancia más aún respecto a los parámetros cromáticos medidos a la finalización del envejecimiento.

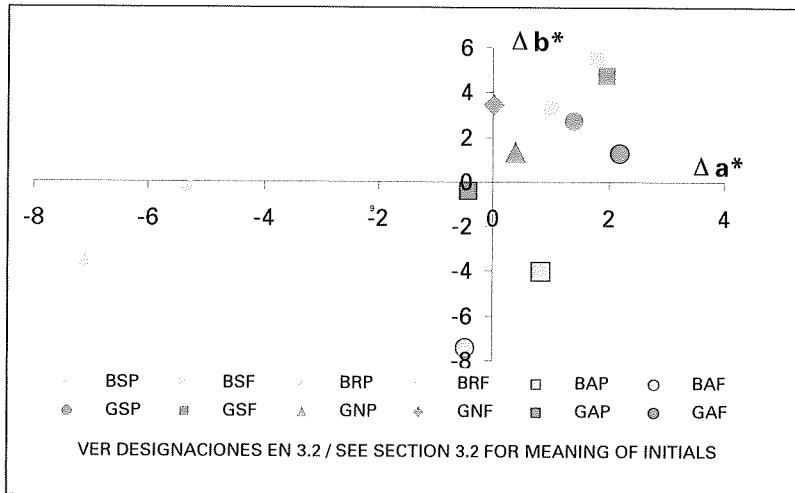


Fig. 6. Cambio de los parámetros cromáticos a* y b* de los hormigones expuestos a ambientes saturados, después de un proceso de limpieza selectivo.

Fig. 6. Change in colour parameters a* and b* in concrete exposed to saturated environments after selective cleaning.

CONCRETE DURABILITY

a) Impact on capillary absorption.

- Capillary absorption values are approximately 50% higher in all types of flowing concrete, regardless of the type of cement or pigment used. The impact of the inclusion of pigment on concrete capillary absorption is negligible compared to the effect of the water/cement ratio (Fig. 7).
- The addition of pigments in concrete with a low w/c ratio (plastic slump) has a scant effect on capillary absorption. When pigment is added to flowing concrete made with grey (CEM II/A-M 42.5 R) cement (Fig. 8), capillary absorption is observed to drop by approximately 30%, whereas the behaviour in concrete made with white (BL II 42.5 R) cement is observed to be the opposite, with particularly poor results with red pigment, where absorption is 20% higher in specimens with this pigment than in the unpigmented control.

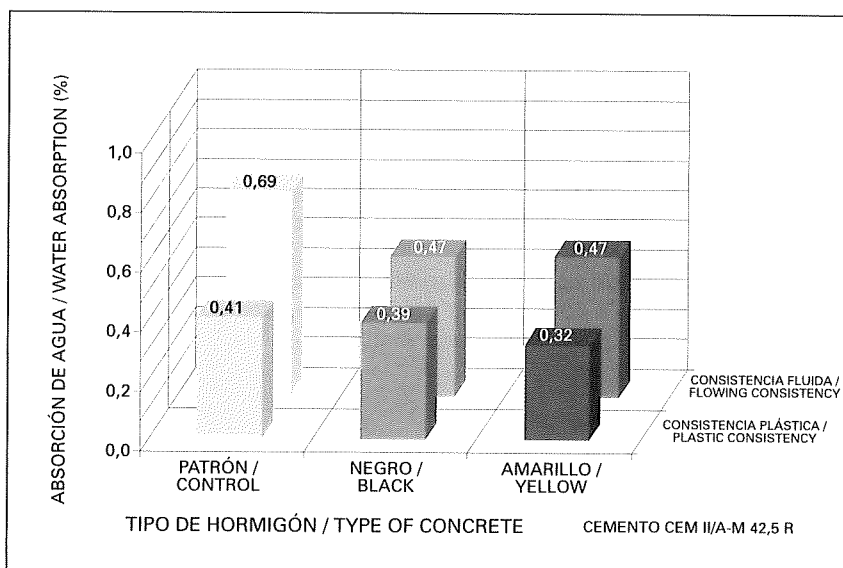


Fig. 7. Influencia de la relación A/C en la absorción capilar del hormigón pigmentado.

Fig. 7. Impact of the W/C ratio on capillary absorption in pigmented concrete.

SOBRE LA DURABILIDAD DEL HORMIGÓN

a) Influencia en la absorción capilar.

- Los valores de absorción capilar son aproximadamente un 50% más elevados en todas aquellas tipologías de hormigón con consistencia fluida, independientemente del tipo de cemento o pigmento utilizado. La influencia de la incorporación de pigmento en la absorción capilar de los hormigones es despreciable frente al efecto que presenta la relación agua/cemento (Fig. 7).

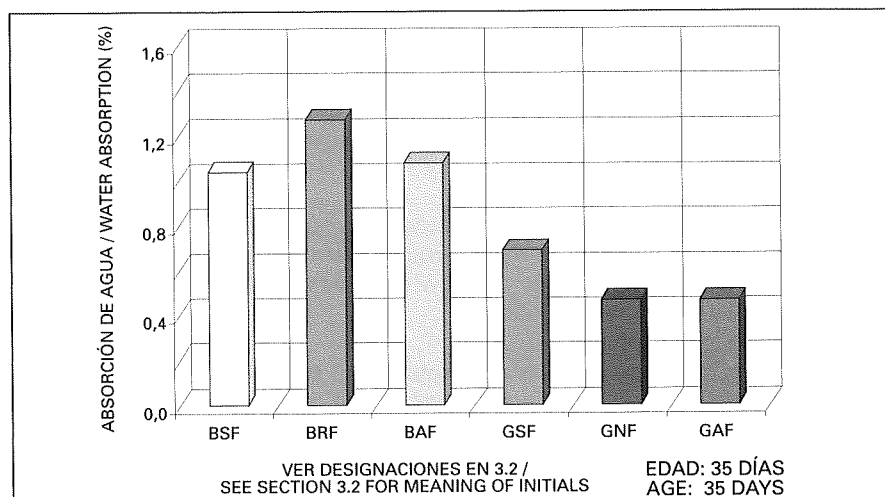


Fig. 8. Influencia del pigmento en la absorción capilar del hormigón de consistencia fluida.
Fig. 8. Impact of pigments on capillary absorption in flowing concrete.

- La adición de pigmentos en los hormigones de reducida relación a/c (consistencia plástica) apenas tiene influencia en la absorción capilar. En los hormigones de consistencia fluida (Fig. 8), al incorporar pigmentos al cemento gris (CEM II/A-M 42,5 R) se detecta un descenso de aproximadamente un 30% en la absorción capilar, pero este comportamiento se invierte en el caso del cemento blanco (BL II 42,5 R), siendo especialmente desfavorable la adición del pigmento rojo, dado que su incorporación aumenta en un 20% la absorción capilar respecto a la del hormigón patrón sin pigmento.

b) Influencia en la permeabilidad.

- Los valores obtenidos ponen de manifiesto que el hormigón fabricado con cemento blanco, para las dosificaciones empleadas, es más permeable que el fabricado con cemento gris, y que la penetración de agua a presión en los hormigones de consistencia fluida es mucho mayor que en los de consistencia plástica (Fig. 9). Dicho aumento se puede cuantificar entre un 30 y un 50% en el caso del hormigón fabricado con cemento blanco.

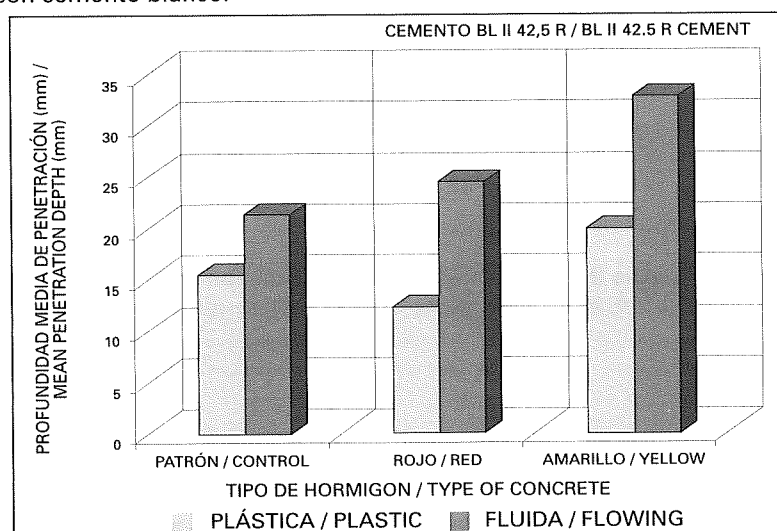


Fig. 9. Influencia de la relación A/C en la permeabilidad del hormigón.
Fig. 9. Impact of the W/C ratio on concrete permeability.

b) Impact on permeability.

- The values obtained show that concrete made with white cement, in the proportions used, is more permeable than grey concrete and that water under pressure penetrates flowing concrete much more readily than plastic concrete (Fig. 9). The increase may be on the order of from 30 to 50% in concrete made with white cement.
- In the permeability tests conducted at the age of 28 days the addition of pigments is not observed to be unfavourable, except in the case of yellow pigment added to white flowing concrete, where high values of penetration by water under pressure are observed (mean of over 30 mm, the maximum value allowable in the Spanish structural concrete code, EHE, for environment types III or IV or in exposure to any specific kind of conditions).
- The results obtained after one year in a humid room (Figs 10 and 11) show an increase in concrete closeness, with a less permeable microstructure attributable to greater cement hydration; this decline in permeability is greater (in relative terms with respect to the initial value) where pigments are added as compared to the (unpigmented) controls.
- Nonetheless, in treatments involving exposure to hygrothermal change, this relative decrease is not only not observed (not even taking account of the maturity of the concrete after one full year), but the water penetration depth values obtained are in fact higher than for 28-day concrete; moreover, the more severe the hygrothermal cycles, the greater the increase.

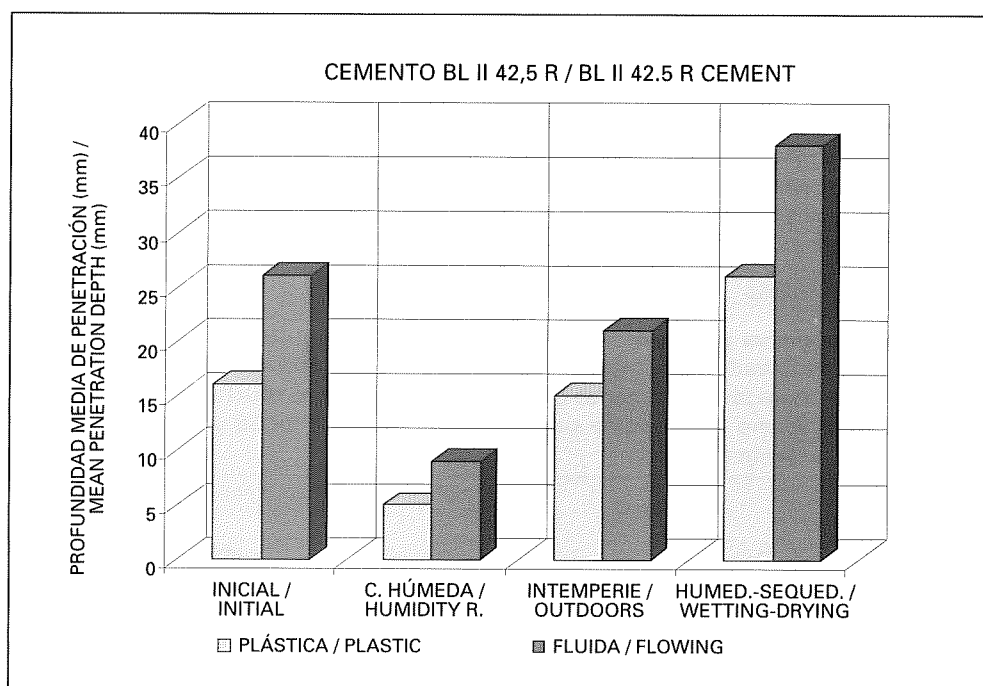


Fig. 10. Influencia del envejecimiento en la permeabilidad del hormigón.
Fig. 10. Impact of ageing on concrete permeability.

c) Impact on porosity.

- Porosity values in all flowing types of concrete are greater than the corresponding values in plastic concrete (between 7 and 9% greater for each porosity value), regardless of the type of cement or pigment used.
- Adding pigments leads to rises in concrete porosity values, with yellow pigment occasioning the greatest increase (Fig. 12).

- En los ensayos de permeabilidad a la edad de 28 días se observa que la adición de pigmentos no resulta desfavorable, salvo en el caso del pigmento amarillo incorporado al hormigón con cemento blanco y consistencia fluida, que presenta una penetración de agua a presión muy elevada (supera los 30 mm de penetración media, especificados como valor máximo en la EHE para obras en ambientes III, IV, o expuestas a cualquier clase específica de exposición).
- Los resultados obtenidos tras un año de conservación en cámara húmeda (Fig. 10 y 11) ponen de manifiesto un aumento de la compacidad del hormigón, con una microestructura menos permeable, imputable a una mayor hidratación del cemento, y esta disminución de la permeabilidad es mayor (en términos relativos respecto al valor inicial) en los casos en los que se han incorporado pigmentos, comparados con los hormigones patrón (sin pigmento).
- Sin embargo, en los tratamientos de exposición que llevan asociados cambios higrotérmicos, esta disminución relativa no sólo no se produce (ni siquiera considerando la madurez del hormigón al haber transcurrido un año), sino que los valores de profundidad de penetración de agua son incluso más elevados que los obtenidos a edades iniciales (28 días), y tanto mayores cuanto más severos sean los ciclos higrotérmicos a los que hayan estado expuestos.

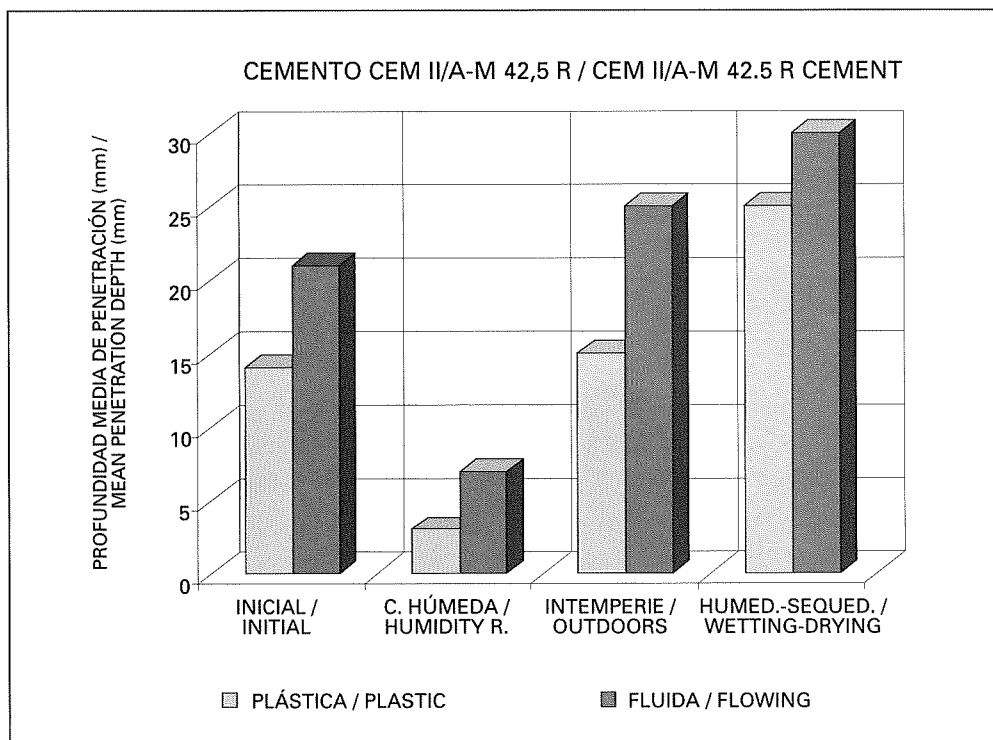


Fig. 11. Influencia del envejecimiento en la permeabilidad del hormigón.
Fig. 11. Impact of ageing on concrete permeability.

c) Influencia en la porosidad.

- Los valores de porosidad en todas aquellas tipologías de hormigón con consistencia fluida son superiores a los correspondientes valores obtenidos sobre los hormigones con consistencia plástica (entre un 7 y un 9% de incremento relativo respecto a cada resultado de porosidad), independientemente del tipo de cemento o pigmento utilizado.
- La incorporación de pigmento lleva asociado un incremento en la porosidad del hormigón, siendo el pigmento amarillo el que produce el mayor aumento (Fig. 12).

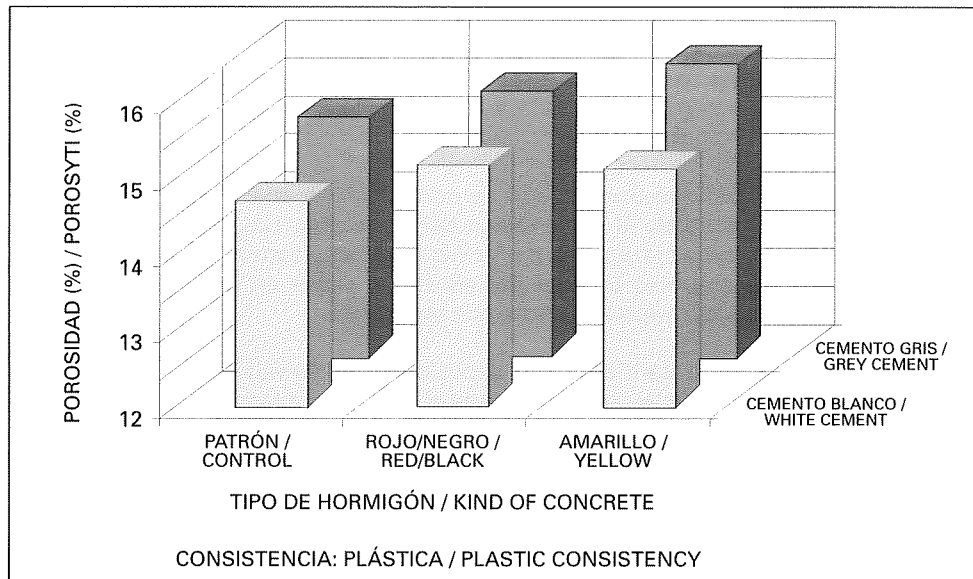


Fig. 12. Influencia del tipo de pigmento en la porosidad del hormigón.
Fig. 12. Impact of the type of pigment on concrete porosity.

- Concrete exposed to outdoor weathering or wetting and drying cycles for a year shows higher porosity values than the respective initial results (in 28-day concrete). This rise is sharper in flowing (Fig. 13) (20-24% higher porosity compared to the initial value for grey concrete) than in plastic concrete (Fig. 14) (12-18% rise).

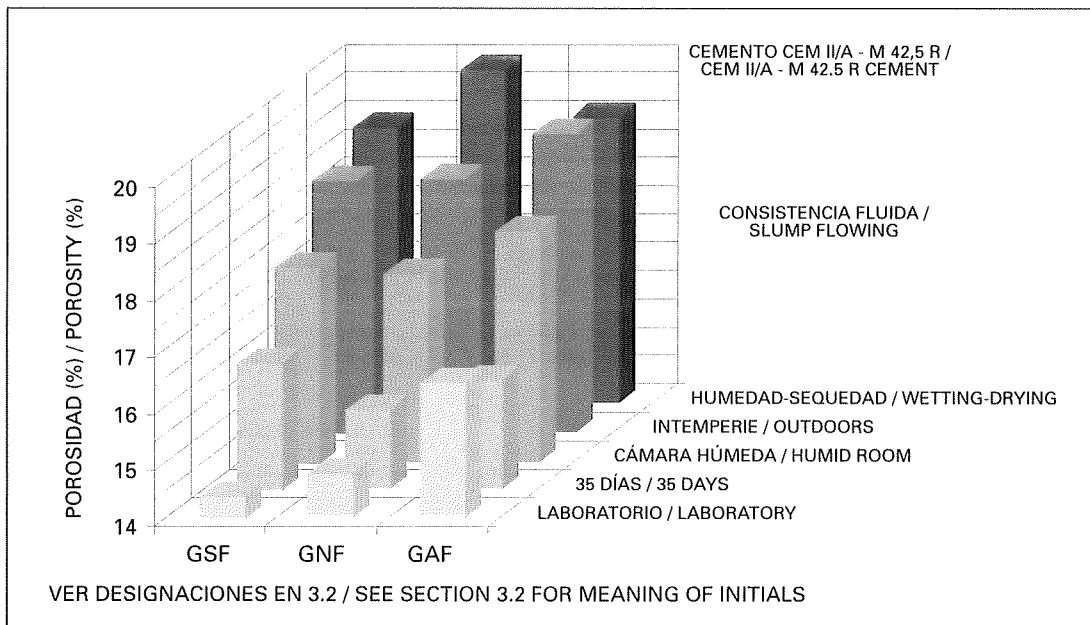


Fig. 13. Influencia del pigmento en la porosidad del hormigón.
Fig. 13. Impact of pigment on concrete porosity.

d) Impact on carbonation.

- Carbonation depth is not significantly affected by the kind of cement used.
- After one year of exposure (Fig. 15), flowing concrete (higher water/cement ratio) shows greater carbonation depths (approximately 2 cm) than the corresponding type of plastic concrete.

- Los hormigones expuestos durante un año a la intemperie o a la acción de ciclos de humedad y secado presentan valores de porosidad superiores a sus respectivos resultados iniciales (a los 28 días de edad). Este incremento es más acusado en las tipologías de hormigón con consistencia fluida (Fig. 13) (20-24% de aumento en la porosidad referido al valor inicial para hormigón de cemento gris) que en las de consistencia plástica (Fig. 14) (12-18% de aumento).

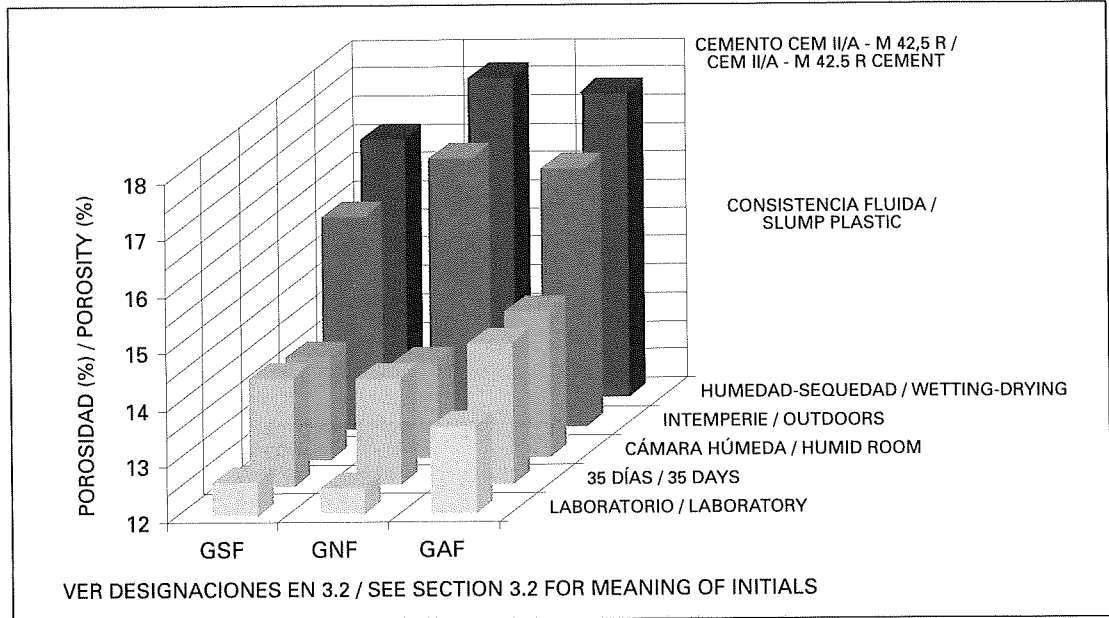


Fig. 14. Influencia del pigmento en la porosidad del hormigón.
Fig. 14. Impact of pigment on concrete porosity.

d) Influencia en la carbonatación.

- El empleo de uno u otro cemento no afecta de forma significativa a la profundidad de carbonatación.
- Tras un año de exposición (Fig. 15), los hormigones de consistencia fluida (con mayor relación agua/cemento) presentan profundidades de carbonatación superiores (2 cm aproximadamente) a las de sus correspondientes tipologías de hormigón pero de consistencia plástica.

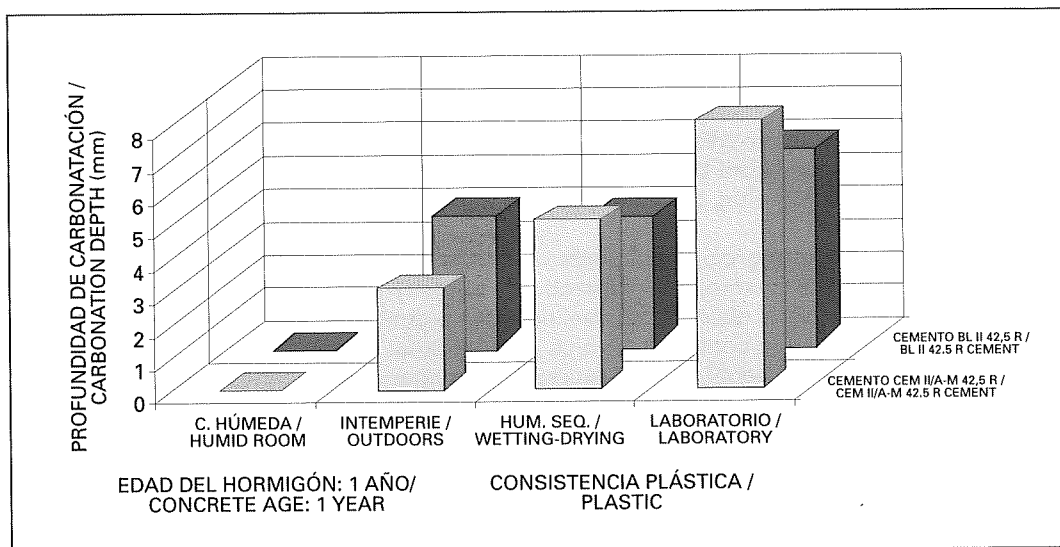


Fig. 15. Efecto del ambiente sobre la carbonatación del hormigón.
Fig. 15. Effect of the environment on concrete carbonation.

- Adding pigments leads to a slight increase in concrete carbonation depth, but only when added to white concrete (Fig. 16); in this case, also, the greatest rise is observed for yellow pigment.

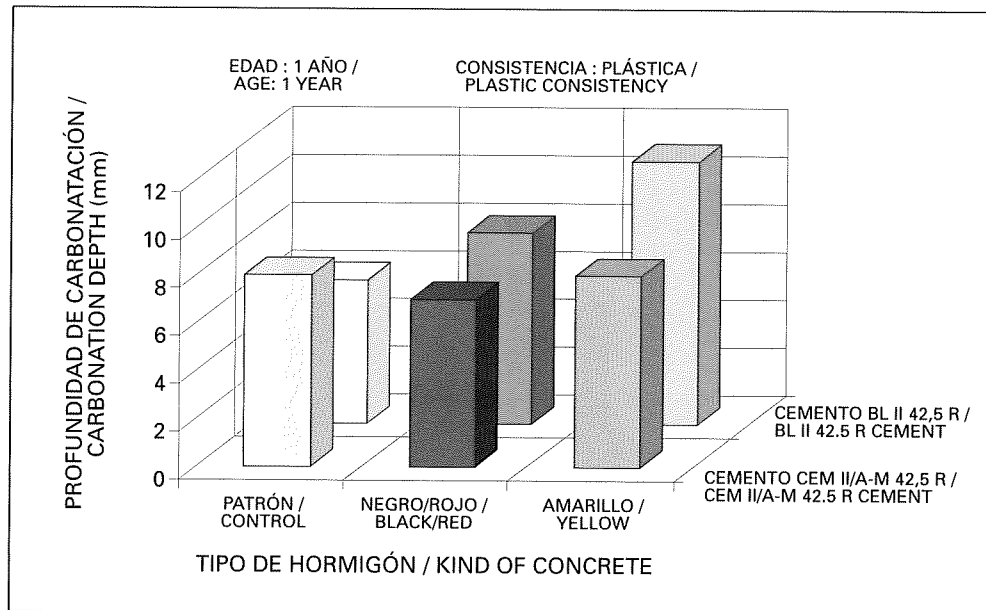


Fig. 16. Influencia del tipo de pigmento en la carbonatación del hormigón.
Fig. 16. Impact of type of pigment on concrete carbonation

5. CONCLUSIONS

The following conclusions may be drawn from the foregoing:

1. The variations in the colour parameters analysed in concrete containing inorganic pigments and exposed to different environmental conditions consist primarily of a decline in lightness (leading to paler hues) and in colour saturation (less intensity of colour). Such weathering is more acute in concrete made from white (BL II 42.5 R) cement. The effect is likewise greater in pigmented concrete than in unpigmented controls.
2. Of the four kinds of exposure conditions applied, the colour parameters are observed to remain stable in a humid room environment only. Exposure to wetting-drying cycles causes scant alterations in unpigmented control specimens, but colour deepness decreases and hues become paler in pigmented concrete. These same alterations are even more intense in concrete exposed to outdoor weathering and ultraviolet radiation, where significant discoloration is observed, particularly as far as red pigment is concerned.
3. The cleaning method applied after weathering, consisting of brushing with slightly acidified water and rinsing with distilled water, does not restore the concrete to its original appearance. In some cases cleaning not only fails to bring back the initial colouring, but in fact has the opposite effect, i.e., it causes the colours to fade.
4. The impact of the inclusion of inorganic pigments on concrete durability has been evaluated in terms of the variation observed in capillary absorption, permeability, porosity and carbonation depth values. Durability as determined by such parameters is observed to decline when pigments are added to the concrete. That is to say, when compared to its respective control (to which no inorganic colouring was added), pigmented concrete shows a more porous and absorbent microstructure, with greater permeability to water and atmospheric CO₂. This lower performance is more acute in concrete containing yellow pigment, whose needle-shaped crystals appear to modify the microstructure of the cement paste and have an adverse effect on durability.

- La incorporación de pigmentos lleva asociado un ligero incremento en la profundidad de carbonatación del hormigón, pero únicamente cuando son adicionados al hormigón con cemento blanco (Fig. 16), siendo también en este caso el pigmento amarillo el que produce un mayor aumento.

5. CONCLUSIONES

Como resumen de las consideraciones presentadas pueden establecerse las siguientes conclusiones:

1. Las variaciones de las coordenadas cromáticas analizadas en hormigones con adición de pigmentos inorgánicos sometidos a distintos tratamientos de exposición ambiental, consisten fundamentalmente en la disminución de la luminosidad (dando tonos más pálidos) y en la reducción de la saturación de color (resultando tonalidades más apagadas). Este envejecimiento es más acusado en las tipologías de hormigón fabricadas con cemento blanco (BL II 42,5 R). Igualmente el efecto se manifiesta en mayor extensión en los hormigones que incorporan pigmentos, respecto a sus respectivos patrones sin adición de pigmento.
2. De los cuatro tratamientos de exposición aplicados, el de conservación en cámara húmeda es el único en el que se mantienen estables los parámetros cromáticos. La exposición a ciclos de humedad-secado apenas produce alteraciones en los hormigones patrón sin pigmento, pero en los hormigones pigmentados pone de manifiesto una disminución de la viveza de los colores y tonos más pálidos. Estas mismas alteraciones se producen de una forma más intensa durante los tratamientos de exposición a la intemperie y a la radiación ultravioleta, llegando a generar una significativa destonificación del color, especialmente cuando se emplea pigmento rojo.
3. El sistema de limpieza aplicado al finalizar los envejecimientos, consistente en un cepillado con agua ligeramente acidulada y posterior aclarado con agua destilada, no consigue recuperar el aspecto original del hormigón. En algunos casos la limpieza no sólo no revierte a la coloración original, sino que produce el efecto contrario, llegando a producir tonos más desvaídos.
4. La influencia de la incorporación de los pigmentos colorantes inorgánicos en la durabilidad del hormigón se ha evaluado en función de la variación que se observa en los valores de absorción capilar, permeabilidad, porosidad y profundidad de carbonatación. En base a estos parámetros, la incorporación de los pigmentos lleva asociada una disminución de la durabilidad. Esta afirmación se basa en que si se comparan los hormigones que incorporan pigmentos con sus respectivos patrones (sin adición de colorante inorgánico), los primeros presentan una microestructura más porosa y absorbente, con mayor permeabilidad al agua y al CO₂ atmosférico. Este comportamiento defectuoso es más acusado en las tipologías de hormigón fabricadas con pigmento amarillo, cuyo factor de forma y tamaño (presenta morfología acicular) parece modificar la microestructura de la pasta de cemento influyendo negativamente en la durabilidad.

6. BIBLIOGRAPHY

- [1] **ACI Committee 201.** *Durabilidad del hormigón.* Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. Editorial LIMUSA. 1979.
- [2] **ACI Committee 311.** *Manual de inspección del hormigón.* American Concrete Institute. 1985.
- [3] **ACI Committee 303.** *Guide to cast-in-place architectural concrete practice.* American Concrete Institute. 1974.
- [4] **ADAM, M.** *Aspectos del hormigón. Técnicas. Realizaciones. Patología.* Editores Técnicos Asociados, S.A. 1975.
- [5] **ADAM, M.** *El hormigón: Material estructural arquitectónico.* Informes de la Construcción. 1982.
- [6] **ARIAS, E.S.** *Coloreando el concreto.* Construcción y Tecnología. IMCYC. 1997
- [7] **ASTM D 2244 - 84.** *Standard test method for calculation of colour differences from instrumentally measured colour coordinates.*
- [8] **ASTM C 979 - 82.** *Standard test method for pigments for integrally coloured concrete.*
- [9] **BAYER AG.** *Bayferrox. La coloración del hormigón. Instrucciones técnicas para el procesado.* 1995.
- [10] **BAYER AG.** *Eflorescencias sobre el hormigón: un problema pasajero.* 1995.
- [11] **BAYER AG.** *Concreto coloreado.* 1977
- [12] **BELL, L.W.** *Especificaciones para concreto arquitectónico.* Construcción y Tecnología. IMCYC. 1997
- [13] **BÜCHNER, G.** *Pigments in concrete production.* Betonwerk Fertigteil Technik. nº 8. 1991.
- [14] **BÜCHNER, G.** *Experience in the production of coloured concrete paving blocks.* Betonwerk Fertigteil Technik. vol. 52 nº 9. 1986.
- [15] **BÜCHNER, G. JUNGE, C.H.** *Colour fluctuations in the production of colored concrete.* Betonwerk-Fertigteil Technik. 1982.
- [16] **BS 1014.** *Pigments for portland cement and portland cement products.* British Standard Institution. 1975
- [17] **CABRERA J.; LYNSDALE, C.** *Coloured concrete. A state of the art review.* Concrete, the Journal of the Concrete Society. Vol. 23. nº 17. 1989.
- [18] **CALAVERA, J.** *Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado.* INTEMAC. 1996
- [19] **CÁNOVAS, M.F.** *Hormigón.* Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid. 1996.
- [20] **CÁNOVAS, M.F.** *Patología y terapéutica del hormigón armado.* Editorial Dossat. 1984
- [21] **CEB.** *Durabilidad de estructuras de hormigón. Guía de diseño CEB.* GEHO-CEB. 1993
- [22] **CIB.** Informe nº 24. *Tolerancias sobre los defectos en el aspecto del hormigón.*
- [23] **CIB.** Informe nº 5. *Producción de hormigón de color uniforme y sin defectos de superficie.*
- [24] **COLES, J. A.** *Colour and pigments.* Concrete. 1978.
- [25] **CROUSHORE, P. N.** *Colour. A force in construction.* Concrete International. 1985.
- [26] **CHAPARO TORRES, F.** *Concreto y morteros coloreados.* Noticreto. nº 20. 1991.
- [27] *Color en el concreto.* Revista IMCYC, vol. 25, num. 191. 1987
- [28] **DABNEY, C. M.** *Five ways to colour concrete.* Concrete Construction vol. 27 - nº 1.
- [29] **DABNEY, C.M.** *Coloured architectural concrete.* Concrete International. 1984.
- [30] **DABNEY, C.M.** *Impact of colour in concrete.* Concrete International. 1990.
- [31] **DELIBES, A.** *Tecnología y propiedades mecánicas del hormigón.* INTEMAC. 1993.
- [32] **EH-91.** *Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado.* MOPT. 1991.
- [33] **DOBROWOLSKI, J.A.** *Formwork removal and architectural concrete.* Concrete International. 1989.
- [34] **DOBROWOLSKI, J.A.** *Texture architectural concrete.* Concrete International. 1984.
- [35] **FORT, R.** *Caracterización cromática de los materiales de construcción.* Madrid. 1996.
- [36] **FORT, R.** *Effects of consolidates and water repellents on the colour of the granite rock of the aqueduct of Segovia.* Degradation and conservation of granitic rocks in monuments. European Commission. Research report nº 5.
- [37] **GAGE, M.** *Guide to exposed concrete finishes.* The Cement and Concrete Association. 1970.
- [38] **GOLDSCHMIDT, M.** *Liquid colouring for concrete. Used correctly in practice.* Betonwerk Fertigteil Technik. 1997.
- [39] **GUDGEON, A.R.** *Decoratives finishes.* Betonwerk Fertigteil Technik. 1987.
- [40] **HAMAD, BILAL S.** *Investigation of chemical and physical properties of white concrete.* American University of Beirut. 1994
- [41] **HARTL, G.** *Physical processes related to concrete.* Viena.
- [42] **HEUFERS, H.; PICKEL, U.; SCHULZE, W.** *Exposed concrete with white cement. Practical experience with Dyckerhoff white.* Betonwerk Fertigteil Technik. 1984.
- [43] **HODSON, R.C.; KUSHNER, D.D.** *Ingredients, texture and integrally coloured concrete.* Concrete International. vol. 14 - nº 9. 1992.
- [44] **HOF, H.; JUNGK, A.E.; QUECKBOERNER, J.** *Coloured concrete.* Betonwerk Fertigteil Technik. vol. 50 - nº 7. 1984.
- [45] **JOFRE, C; DOMINGUEZ, J.R.** *Color y textura en pavimentos de hormigón.* IECA. 1996.
- [46] **JAGER, J; JUNGK, A.E.** *News colours for concrete pavings.* Betonwerk Fertigteil Technik. 1982.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] **ACI Committee 201.** *Durabilidad del hormigón.* Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. Editorial LIMUSA. 1979.
- [2] **ACI Committee 311.** *Manual de inspección del hormigón.* American Concrete Institute. 1985.
- [3] **ACI Committee 303.** *Guide to cast-in-place architectural concrete practice.* American Concrete Institute. 1974.
- [4] **ADAM, M.** *Aspectos del hormigón. Técnicas. Realizaciones. Patología.* Editores Técnicos Asociados, S.A. 1975.
- [5] **ADAM, M.** *El hormigón: Material estructural arquitectónico.* Informes de la Construcción. 1982.
- [6] **ARIAS, E.S.** *Coloreando el concreto.* Construcción y Tecnología. IMCYC. 1997
- [7] **ASTM D 2244 - 84.** *Standard test method for calculation of colour differences from instrumentally measured colour coordinates.*
- [8] **ASTM C 979 - 82.** *Standard test method for pigments for integrally coloured concrete.*
- [9] **BAYER AG.** *Bayferrox. La coloración del hormigón. Instrucciones técnicas para el procesado.* 1995.
- [10] **BAYER AG.** *Eflorescencias sobre el hormigón: un problema pasajero.* 1995.
- [11] **BAYER AG.** *Concreto coloreado.* 1977
- [12] **BELL, L.W.** *Especificaciones para concreto arquitectónico.* Construcción y Tecnología. IMCYC. 1997
- [13] **BÜCHNER, G.** *Pigments in concrete production.* Betonwerk Fertigteil Technik. nº 8. 1991.
- [14] **BÜCHNER, G.** *Experience in the production of coloured concrete paving blocks.* Betonwerk Fertigteil Technik. vol. 52 nº 9. 1986.
- [15] **BÜCHNER, G. JUNGE, C.H.** *Colour fluctuations in the production of colored concrete.* Betonwerk-Fertigteil Technik. 1982.
- [16] **BS 1014.** *Pigments for portland cement and portland cement products.* British Standard Institution. 1975
- [17] **CABRERA J.; LYNSDALE, C.** *Coloured concrete. A state of the art review.* Concrete, the Journal of the Concrete Society. Vol. 23. nº 17. 1989.
- [18] **CALAVERA, J.** *Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado.* INTEMAC. 1996
- [19] **CÁNOVAS, M.F.** *Hormigón.* Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid. 1996.
- [20] **CÁNOVAS, M.F.** *Patología y terapéutica del hormigón armado.* Editorial Dossat. 1984
- [21] **CEB.** *Durabilidad de estructuras de hormigón. Guía de diseño CEB.* GEHO-CEB. 1993
- [22] **CIB.** Informe nº 24. *Tolerancias sobre los defectos en el aspecto del hormigón.*
- [23] **CIB.** Informe nº 5. *Producción de hormigón de color uniforme y sin defectos de superficie.*
- [24] **COLES, J. A.** *Colour and pigments.* Concrete. 1978.
- [25] **CROUSHORE, P. N.** *Colour. A force in construction.* Concrete International. 1985.
- [26] **CHAPARO TORRES, F.** *Concreto y morteros coloreados.* Noticreto. nº 20. 1991.
- [27] *Color en el concreto.* Revista IMCYC, vol. 25, num. 191. 1987
- [28] **DABNEY, C. M.** *Five ways to colour concrete.* Concrete Construction vol. 27 - nº 1.
- [29] **DABNEY, C.M.** *Coloured architectural concrete.* Concrete International. 1984.
- [30] **DABNEY, C.M.** *Impact of colour in concrete.* Concrete International. 1990.
- [31] **DELIBES, A.** *Tecnología y propiedades mecánicas del hormigón.* INTEMAC. 1993.
- [32] **EH-91.** *Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado.* MOPT. 1991.
- [33] **DOBROWOLSKI, J.A.** *Formwork removal and architectural concrete.* Concrete International. 1989.
- [34] **DOBROWOLSKI, J.A.** *Texture architectural concrete.* Concrete International. 1984.
- [35] **FORT, R.** *Caracterización cromática de los materiales de construcción.* Madrid. 1996.
- [36] **FORT, R.** *Effects of consolidates and water repellents on the colour of the granite rock of the aqueduct of Segovia.* Degradation and conservation of granitic rocks in monuments. European Commission. Research report nº 5.
- [37] **GAGE, M.** *Guide to exposed concrete finishes.* The Cement and Concrete Association. 1970.
- [38] **GOLDSCHMIDT, M.** *Liquid colouring for concrete. Used correctly in practice.* Betonwerk Fertigteil Technik. 1997.
- [39] **GUUDGEON, A.R.** *Decoratives finishes.* Betonwerk Fertigteil Technik. 1987.
- [40] **HAMAD, BILAL S.** *Investigation of chemical and physical properties of white cement concrete.* American University of Beirut. 1994
- [41] **HARTL, G.** *Physical processes related to concrete.* Viena.
- [42] **HEUFERS, H.; PICKEL, U.; SCHULZE, W.** *Exposed concrete with white cement. Practical experience with Dyckerhoff white.* Betonwerk Fertigteil Technik. 1984.
- [43] **HODSON, R.C.; KUSHNER, D.D.** *Ingredients, texture and integrally coloured concrete.* Concrete International. vol. 14 - nº 9. 1992.
- [44] **HOF, H.; JUNGK, A.E.; QUECKBOERNER, J.** *Coloured concrete.* Betonwerk Fertigteil Technik. vol. 50 - nº 7. 1984.
- [45] **JOFRE, C; DOMINGUEZ, J.R.** *Color y textura en pavimentos de hormigón.* IECA. 1996.
- [46] **JAGER, J; JUNGK, A.E.** *News colours for concrete pavings.* Betonwerk Fertigteil Technik. 1982.

- [47] **JOHNSTON, R.G.S.** *A colourful face to concrete*. 5th International Congress on Polymers in Concrete. 1987.
- [48] **JUNGK, A.E.; HAUCK, H.G.** *Coloured concrete. A sight for sore eyes?* Betonwerk Fertigteil Technik. 1988.
- [49] **JUNGK, A.E.; HANCH, H.G.** *Coloured concrete. A sight for sore eyes? Part 2*. Betonwerk Fertigteil Technik. 1988.
- [50] **JUNGK, A.E.; EGGER, C.** *Concrete colour synthesiser*. Betonwerk Fertigteil Technik. vol. 58 - nº 3. 1992.
- [51] **JUNGK, A.E.; WOLFERT, B.** *Colouring concrete. A pleasure?* Betonwerk Fertigteil Technik. Nº 1. 1989.
- [52] **KOHNERT, L.** *Colouring of concrete. Instructions for the processing of pigments*. Betonwerk Fertigteil Technik. 1997.
- [53] **KRASOWSKY, J.** *Concreto Arquitectónico. Textura, color, problemas y soluciones*. Construcción y Tecnología. IMCYC.1997
- [54] **KRASOWSKY, J.** *Concreto arquitectónico. Cuidados especiales en su fabricación*. Construcción y Tecnología. IMCYC.1997
- [55] **KRESSE, P.** *Colour changes during the weathering of pigmented concrete*. Betonwerk Fertigteil Technik. vol. 48 - nº 8. 1982.
- [56] **KRESSE, P.** *Use of colour in concrete. The erosion of concrete and plant growth*. Betonwerk Fertigteil Technik. vol 56 - nº 11. 1990.
- [57] **KRESSE, P.** *Efflorescence. Mechanism of occurrence and possibilities of prevention*. Betonwerk Fertigteil Technik. 1987.
- [58] **KROONE, B; BLAKEY, F.A.** *Some aspects of pigmentation of concrete*. Construction Review. (p 25-28). 1968
- [59] **KURZ, G.** *What would architects do without colour?* Betonwerk Fertigteil Technik. Nº 5. 1988.
- [60] **KRÖMER, R.** *Architectural concrete necessitates excellent detail planning*. Betonwerk Fertigteil Technik. 1991
- [61] **LOPEZ, P.** *Durabilidad del hormigón*. Curso sobre patología, rehabilitación y refuerzo de obra de hormigón armado. INTEMAC. 1992.
- [62] **MARSH, P.** *Concrete as visual material*. Cement and Concrete Association.1974.
- [63] **MATHER, B.** *Colored concrete*. Concrete International.1991
- [64] **MATTERN, W.J.** *Colouring concrete. The right way*. Concrete International. Design and Construction. vol. 7 - nº 11. 1985.
- [65] **METHA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M.** *Concreto. Estrutura, propriedades e materiais*. Editora PINI (Brasil). 1994.
- [66] **MONKS, W.** *Visual concrete. Design and production*. Cement and Concrete Association. 1980.
- [67] **MOWAT, G.C.; SYMONS, M.G.** *Physical properties of concrete containing Pigments*. Institution of engineering. Australia civil engineering transactions. vol 24 - nº 2. 1982.
- [68] **NASSAUX, F. A.** *ACI and architectural concrete*. Concrete International. 1984.
- [69] **NEVILLE, A.** *Properties of concrete*. Longman Scientific & Technical. 1995.
- [70] **NEVILLE, A.** *Concrete Technology*. Longman Scientific & Technical. 1994.
- [71] **NORMAS UNE. AENOR**
- [72] **NOVAK, K.** *Test on coloured concrete roofing tiles*. Betonwerk Fertigteil Technik. nº 2. 1989.
- [73] **NOVAK, K.** *Application technology for coloured concrete. What the Chemical industry can do for concrete paving blocks?*. Betonwerk Fertigteil Technik. vol. 55 nº 11 - 1989.
- [74] **PCI.** *Color, form & texture in architectural precast concrete*.
- [75] **PEREPEREZ, B.; BARBERA, O.; ANDRADE PERDIX, C.** *La agresividad ambiental y la durabilidad de las estructuras de hormigón. Informes de la Construcción, vol. 38 - nº 88.*
- [76] **Pigmentos de óxidos de hierro bayferrox.** Hormigón, nº 26. 1996
- [77] **PLENKER, H. H.** *The metering and dispersion of pigments in concrete*. Betonwerk Fertigteil Technik. Nº 9. 1991.
- [78] **PUNDIT.** *A question of color*. Concrete. 1977.
- [79] **RABER, P.** *Pigmentation of concrete and mortar*. Modern Concrete. 1974.
- [80] **ROBINSON, R.C.** *Architectural precast concrete. The complete palette*. Concrete International. 1992
- [81] **PÉREZ LUZARDO, J.M.** *Hormigones coloreados. Textura y color en el hormigón*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Tesis Doctoral dirigida por J. Calavera. Madrid. 1992.
- [82] **PÉREZ LUZARDO, J.M.** *Estética y propiedades del hormigón de color*. Cemento y Hormigón. 1993.
- [83] **PÜTTBACH, E.** *Pigments for the colouring of concrete, the most important pigments. Packaging. Physiological aspects. Disposal*. Betonwerk Fertigteil Technik. Vol. 53 - nº 2. 1987.
- [84] **RIZZO, E.H.; BURNS, M.** *The durability of exposed aggregate concrete*. Concrete International. 1989.
- [85] **RODRIGUEZ-TORICES, M. A.** *Control de calidad de hormigón visto*. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Madrid. 1988.
- [86] **SCHLEUSER, W.** *Colouring concrete with pigments*. Betonwerk Fertigteil Technik. nº 8. 1991.
- [87] **SHAMA, S.** *A touch of color*. Concrete. 1980.
- [88] **SMITH, J.R.** *Architectural concrete: defects, demand, discretion*. Concrete International. 1984.
- [89] **SZADKOWSKI, G.** *The weathering of coloured concrete*. Betonwerk Fertigteil Technik. vol. 57 - nº 1. 1987.
- [90] **SZADKOWSKI, G.** *The weathering behaviour of pigmented paving blocks*. Betonwerk Fertigteil Technik. 1991.
- [91] **TEICHMANN, G.** *Pigment metering in the production of Concrete*

- [47] **JOHNSTON, R.G.S.** *A colourful face to concrete*. 5th International Congress on Polymers in Concrete. 1987.
- [48] **JUNGK, A.E.; HAUCK, H.G.** *Coloured concrete. A sight for sore eyes?* Betonwerk Fertigteil Technik. 1988.
- [49] **JUNGK, A.E.; HANCH, H.G.** *Coloured concrete. A sight for sore eyes?* Part 2. Betonwerk Fertigteil Technik. 1988.
- [50] **JUNGK, A.E.; EGGER, C.**; *Concrete colour synthesiser*. Betonwerk Fertigteil Technik. vol. 58 - nº 3. 1992.
- [51] **JUNGK, A.E.; WOLFERT, B.** *Colouring concrete. A pleasure?* Betonwerk Fertigteil Technik. Nº 1. 1989.
- [52] **KOHNERT, L.** *Colouring of concrete. Instructions for the processing of pigments*. Betonwerk Fertigteil Technik. 1997.
- [53] **KRASOWSKY, J.** *Concreto Arquitectónico. Textura, color, problemas y soluciones*. Construcción y Tecnología. IMCYC.1997
- [54] **KRASOWSKY, J.** *Concreto arquitectónico. Cuidados especiales en su fabricación*. Construcción y Tecnología. IMCYC.1997
- [55] **KRESSE, P.** *Colour changes during the weathering of pigmented concrete*. Betonwerk Fertigteil Technik. vol. 48 - nº 8. 1982.
- [56] **KRESSE, P.** *Use of colour in concrete. The erosion of concrete and plant growth*. Betonwerk Fertigteil Technik. vol 56 - nº 11. 1990.
- [57] **KRESSE, P.** *Efflorescence. Mechanism of occurrence and possibilities of prevention*. Betonwerk Fertigteil Technik. 1987.
- [58] **KROONE, B; BLAKEY, F.A.** *Some aspects of pigmentation of concrete*. Construction Review. (p 25-28). 1968
- [59] **KURZ, G.** *What would architects do without colour?* Betonwerk Fertigteil Technik. Nº 5. 1988.
- [60] **KRÖMER, R.** *Architectural concrete necessitates excellent detail planning*. Betonwerk Fertigteil Technik. 1991
- [61] **LOPEZ, P.** *Durabilidad del hormigón*. Curso sobre patología, rehabilitación y refuerzo de obra de hormigón armado. INTEMAC. 1992.
- [62] **MARSH, P.** *Concrete as visual material*. Cement and Concrete Association.1974.
- [63] **MATHER, B.** *Colored concrete*. Concrete International.1991
- [64] **MATTERN, W.J.** *Colouring concrete. The right way*. Concrete International. Design and Construction. vol. 7 - nº 11. 1985.
- [65] **METHA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M.** *Concreto. Estrutura, propriedades e materiais*. Editora PINI (Brasil). 1994.
- [66] **MONKS, W.** *Visual concrete. Design and production*. Cemento and Concrete Association. 1980.
- [67] **MOWAT, G.C.; SYMONS, M.G.** *Physical properties of concrete containing Pigments*. Institution of engineering. Australia civil engineering transactions. vol 24 - nº 2. 1982.
- [68] **NASSAUX, F. A.** *ACI and architectural concrete*. Concrete International. 1984.
- [69] **NEVILLE, A.** *Properties of concrete*. Longman Scientific & Technical. 1995.
- [70] **NEVILLE, A.** *Concrete Technology*. Longman Scientific & Technical. 1994.
- [71] **NORMAS UNE.** AENOR
- [72] **NOVAK, K.** *Test on coloured concrete roofing tiles*. Betonwerk Fertigteil Technik. nº 2. 1989.
- [73] **NOVAK, K.** *Application technology for coloured concrete. What the Chemical industry can do for concrete paving blocks?* Betonwerk Fertigteil Technik. vol. 55 nº 11 - 1989.
- [74] **PCI.** *Color, form & texture in architectural precast concrete*.
- [75] **PEREPEREZ, B.; BARBERA, O.; ANDRADE PERDIX, C.** *La agresividad ambiental y la durabilidad de las estructuras de hormigón. Informes de la Construcción. vol. 38 - nº 88.*
- [76] *Pigmentos de óxidos de hierro bayferrox*. Hormigón, nº 26. 1996
- [77] **PLENKER, H. H.** *The metering and dispersion of pigments in concrete*. Betonwerk Fertigteil Technik. Nº 9. 1991.
- [78] **PUNDIT.** *A question of color*. Concrete. 1977.
- [79] **RABER, P.** *Pigmentation of concrete and mortar*. Modern Concrete. 1974.
- [80] **ROBINSON, R.C.** *Architectural precast concrete. The complete palette*. Concrete International. 1992
- [81] **PEREZ LUZARDO, J.M.** *Hormigones coloreados. Textura y color en el hormigón*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Tesis Doctoral dirigida por J. Calavera. Madrid. 1992.
- [82] **PEREZ LUZARDO, J.M.** *Estética y propiedades del hormigón de color*. Cemento y Hormigón. 1993.
- [83] **PÜTTBACH, E.** *Pigments for the colouring of concrete, the most important pigments. Packaging. Physiological aspects. Disposal*. Betonwerk Fertigteil Technik. Vol. 53 - nº 2. 1987.
- [84] **RIZZO, E.H.; BURNS, M.** *The durability of exposed aggregate concrete*. Concrete International. 1989.
- [85] **RODRIGUEZ-TORICES, M. A.** *Control de calidad de hormigón visto*. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Madrid. 1988.
- [86] **SCHLEUßER, W.** *Colouring concrete with pigments*. Betonwerk Fertigteil Technik. nº 8. 1991.
- [87] **SHAMA, S.** *A touch of color*. Concrete. 1980.
- [88] **SMITH, J.R.** *Architectural concrete: defects, demand, discretion*. Concrete International. 1984.
- [89] **SZADKOWSKI, G.** *The weathering of coloured concrete*. Betonwerk Fertigteil Technik. vol. 57 - nº 1. 1987.
- [90] **SZADKOWSKI, G.** *The weathering behaviour of pigmented paving blocks*. Betonwerk Fertigteil Technik. 1991.
- [91] **TEICHMANN, G.** *Pigment metering in the production of Concrete*

-
- [92] **TEICHMANN, G.** *Practical methods for determining the tinting strength of pigments in concrete.* Betonwerk Fertigteil Technik. 1993.
- [93] **TEICHMANN, G.** *The use of colorimetric methods in the concrete Industry.* Betonwerk Fertigteil Technik. vol. 56 - nº 11. 1990.
- [94] **TRUB, U.A.** *Superficies de hormigón visto.* Editores Técnicos Asociados. 1977.
- [95] **VALDEOLIVAS, E. M.; POSTIGUILLO, J.R.** *Hormigones vistos: influencia de los materiales constituyentes en sus cualidades superficiales.* Ingeniería Civil. 1984.
- [96] **VALDEOLIVAS, E. M.; POSTIGUILLO, J.R.** *Los hormigones vistos en la edificación y la obra pública.* CEDEX. 1992.
- [97] **VEIT A.M.** *Iron oxides pigments: state of the art.* Betonwerk Fertigteil Technik. 1997.
- [98] **VEIT A.M.** *Suggestions for improving coloured concrete products.* Betonwerk Fertigteil Technik. vol. 60 - nº 11. 1994.
- [99] **VAN WALLENDael, M.** *Pigments study to colour cement based materials.* Scientifique et Technique pour L'Industrie Cimentier rapport de recherche. 1984.
- [100] **WURSCHUM, G.** *Coloured concrete. Weighing and dosing of pigment dye.* Betonwerk Fertigteil Technik. vol. 55 - nº 11. 1989.

-
- [92] **TEICHMANN, G.** *Practical methods for determining the tinting strength of pigments in concrete.* Betonwerk Fertigteil Technik. 1993.
- [93] **TEICHMANN, G.** *The use of colorimetric methods in the concrete Industry.* Betonwerk Fertigteil Technik. vol. 56 - nº 11. 1990.
- [94] **TRUB, U.A.** *Superficies de hormigón visto.* Editores Técnicos Asociados. 1977.
- [95] **VALDEOLIVAS, E. M.; POSTIGUILLO, J.R.** *Hormigones vistos: influencia de los materiales constituyentes en sus cualidades superficiales.* Ingeniería Civil. 1984.
- [96] **VALDEOLIVAS, E. M.; POSTIGUILLO, J.R.** *Los hormigones vistos en la edificación y la obra pública.* CEDEX. 1992.
- [97] **VEIT A.M.** *Iron oxides pigments: state of the art.* Betonwerk Fertigteil Technik. 1997.
- [98] **VEIT A.M.** *Suggestions for improving coloured concrete products.* Betonwerk Fertigteil Technik. vol. 60 - nº 11. 1994.
- [99] **VAN WALLEND AEL, M.** *Pigments study to colour cement based materials.* Scientifique et Technique pour L'Industrie Cimentier rapport de recherche. 1984.
- [100] **WURSCHUM, G.** *Coloured concrete. Weighing and dosing of pigment dye.* Betonwerk Fertigteil Technik. vol. 55 - nº 11. 1989.

Relación de Personal Titulado de INTEMAC

Arquitectos

Fernández Sáez, Ana María
Fraile Mora, Serafín
Gil Vargas, Eduvigis
López-Nava Muñoz, Alberto Ignacio
Luzón Cánovas, José M^a
Sánchez Arroyo, Jesús M^a
Sicilia Mañá, Beatriz

Dra. en Ciencias Físicas

Tejedor Miralles, Beatriz

Dra. en Geografía e Historia

Calavera Vayá, Ana María

Ingenieros de Caminos

Anlló Rodríguez, María
Baena Alonso, Eva
Barrios Corpa, Roberto
Beteta Cejudo, M^a Carmen
*Calavera Ruiz, José
Carpintero García, Ismael
Castillo Fernández, Luis Javier
Cortés Bretón, Juan María
Corral Folgado, Claudio
Dávila Sánchez-Toscano, Suyapa
Díaz Heredia, Elena
Díaz Lozano, Justo
Fernández Fenollera, Salvador
*Fernández Gómez, Jaime Antonio
Garay Sánchez, Raúl
Garrido Baró, Juan Carlos
Gil García, Alfonso
González González, Juan José
*González Valle, Enrique
*Hostalet Alba, Francisco
*Izquierdo Bernaldo de Quirós, José M^a
Jiménez Ortiz, Gonzalo
Ley Urzaiz, Jorge
Molero Rodríguez, Teresa
Munugarren Martínez, Miguel Angel
Recio Cañadas, Alba
Rodríguez Escribano, Raúl Rubén
Rodríguez Romero, Jesús M^a
Roquer i Sala, Ramón
Ruiz Fuentes, M^a Josefa
Ruiz Jiménez-Alfaro, Felipe
Sanz Pérez, Lorenzo
Sirvent Sirvent, Enrique
Tapiá Menéndez, José
Torre Cobo, María Carmen
Valdéz Fernández de Alarcón, Pablo
Vidal Vacas, Ángel

Ingeniero en Cartografía y Geodesia

López-Canti Casas, Elisa

Ingenieros I.C.A.I.

Marín Estévez, Gonzalo
Escarpizo-Lorenzana Martínez, Jorge

Ingenieros Industriales

*Alvarez Cabal, Ramón Amado
Arroyo Arroyo, José Ramón
Bayonne Sopo, Enrique
Estrada Gómez, Rafael
*Santos Olalla, Francisco
Torruella Martínez, Josep M^a
*Valenciano Carles, Federico

Ingeniero de Minas

Ramos Sánchez, Adelina

Profesores Mercantiles

González Alvarez, Vicente
Sampedro Portas, Arturo

Licenciado en Ciencias Ambientales

Gil Esteban, Luis Miguel

Licenciado en C. Económicas y Empresariales

González Chavero, Antonio

Licenciados en Ciencias Geológicas

Abajo Clemente, Angel
Blanco Zorroza, Alberto
Orejas Contreras, M^a Carmen
Postigo Lafarga, Sergio
Usillos Espín, Pablo

Licenciados en Ciencias Químicas

Benito Hijosa, Leticia
Grandes Velasco, Sylvia María
López Sánchez, Pedro
Marín Calvo, Celia
Morgado Sánchez, José Carlos

Licenciado en Derecho

*Jarillo Cerrato, Pedro

Arquitectos Técnicos

Andrés Alarcón, Manuel
Baena Alonso, Carmen
Carrato Moñino, Rosa M^a
Enrici Redondo, M^a Alejandra
Estévez Márquez, Lourdes
Fernández Jiménez, Amelia
Gallego Castro, Sergio
García García, M^a Carmen
Martínez Pérez, Inmaculada
Montejano Jiménez, María del Carmen
Muñoz Mesto, Angel

Ingenieros Técnicos Industriales

Díaz-Trechuelo Laffón, Antonio
González Carmona, Manuel
Madueño Moraño, Antonio
Muñoz Fuentes, Miguel Angel
Ramírez Rodríguez, José Luis
Sánchez Dorado, Carlos Javier

NOTA: Todo el personal de INTEMAC trabaja en dedicación completa y exclusiva, con la excepción de las personas arriba indicadas con, a las que se autoriza la dedicación a la Enseñanza Universitaria en régimen de dedicación parcial.

Ingenieros Técnicos de Minas

López García, Ignacio
Sillero Arroyo, Andrés

Ingenieros Técnicos Obras Públicas

Andrés Alarcón, Manuel
Bobo Guerrero, Jonathan
Carrero Crespo, Rafael
Collazos Ramos, Coral
Freire Peláez, M^a Isabel
Galán de Cáceres, M^a del Puerto
García Menéndez, David
González Isabel, Germán
González Nuño, Luis
Gutiérrez Garrosa, Raúl
Mata Soriano, Juan Carlos
Merino Rodríguez, Pablo
Molina Collell, Blas
Montiel Sánchez, Ernesto
Muelas Moro, Elena
Muñoz Mesto, Angel
Prieto Antón, Eva Sonia
Ramos Valdés, Raquel
Rodríguez García, M^a Vanessa
Romero Taboada, José Vicente
Rosa Moreno, José Andrés
Rosselló Marí, Carlos
Rozas Hernando, José Juan
Sánchez Vicente, Andrés

Sillero Olmedo, Rafael
Soto López, Elena del
Vicente Girón, Susana
Zamora Pérez, Ángel

Técnico en Administración de Empresas

González del Olmo, M^a de la Peña de F.

Ing. Técnico en Informática de Sistemas

Rodríguez Alfonso, Iván

Técnico en Publicidad

Blanco Armas, Cristina

Topógrafo

Alquézar Falceto, Ricardo

Ingenieros Técnicos Topógrafos

Arbesuk Prado, Mónica
Barragán Bermejo, M^a Vicenta
Campos Delgado, Juan Carlos
Carreras Ruíz, Francisco
Galindo Mena, José
Molero Vicente, M^a Isabel
Salado Rodilla, Rafael
Sánchez Martín, María de la O
Torés Campos, Ana M^a
Vicente Conde, M^a Isabel

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.

Precio de la suscripción Año 2002: 21,97 €



ULTIMOS TITULOS PUBLICADOS

Cuaderno N° 42
"Compactación del hormigón. Reglas para el vibrado".
Autor: **R. BARRIOS**.
Ing. de Caminos.

Cuaderno N° 43
"Estudio sobre la variación de color y la durabilidad en hormigones vistos con adición de pigmentos sometidos a tratamientos de exposición ambiental".
Autores: **Fco. CARVALHO de ARRUDA**.
Dr. Ing. de Civil.
Prof. J. CALAVERA RUIZ.
Dr. Ing. de Caminos.
Prof. J. FERNÁNDEZ GÓMEZ.
Dr. Ing. de Caminos.
P. LÓPEZ SÁNCHEZ.
Licenciado en Químicas.

CUADERNOS DE PROXIMA APARICION

Cuaderno N° 44
"Distancias y detalles constructivos para la ejecución en puntas de cerramientos de fachadas de ladrillo".
Autores: **J. M. LUZÓN CÁNOVAS**.
Arquitecto.

A. FERNÁNDEZ SÁENZ.
Arquitecto.

A. MUÑOZ MESTO.
Arquitecto Técnico e ITOP.
J. SÁNCHEZ ARROYO.
Arquitecto.

Cuaderno N° 45
"Mecanismos de respuesta frente al esfuerzo cortante en vigas prefabricadas".
Autor: **D. FERNÁNDEZ-ORDÓÑEZ HERNÁNDEZ**.
Dr. Ing. de Caminos.

MONOGRAFÍAS INTEMAC

A partir de junio de 1998 INTEMAC emprendió una nueva línea de publicaciones con un carácter eminentemente práctico, destinadas a tratar temas muy concretos que, o bien presentan un nivel de problemas acusados en la práctica, o bien están insuficientemente cubiertos por la Normativa y la documentación técnica existente.

MONOGRAFÍA INTEMAC N° 3

"Aspectos visuales del hormigón".

Autores: **Prof. J. Calavera Ruiz, Prof. J. Fernández Gómez, G. González Isabel, P. López Sánchez, Prof. J. M. Pérez Luzardo**.

Precio de la Monografía 31,81 €

MONOGRAFÍA INTEMAC N° 4

"Prefabricación de edificios y naves industriales".

Autores: **Prof. J. Calavera, Prof. J. Fernández Gómez**

Precio de la Monografía 31,81 €



VIDEOS TECNICOS



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

SERIE OBRAS DE HORMIGÓN EN MASA, ARMADO Y PRESENTADO.

REFERENCIA	TÍTULO	CONTENIDO	DURACIÓN	PRECIO
N° 2001 (1-1)	MUESTREO DE HORMIGÓN FRESCO. FABRICACIÓN Y ENSAYO DE PROBETAS DE HORMIGÓN	Contempla de forma completa y detallada el proceso de toma de muestras de hormigón fresco en obra, la medida de la consistencia con el Cono de Abrams, fabricación de probetas, curado en obra, transporte del laboratorio, curado en cámara, refrentado y ensayo a compresión. Esta nueva versión del video 8801 (1), introduce las modificaciones de EHE y un sistema de estudio de la distribución de presiones de la prensa sobre la probeta así como los aspectos particulares del ensayo de hormigones de alta resistencia.	30 minutos	94,79 €

BOLETIN BIBLIOGRAFICO

BOLETIN BIBLIOGRAFICO
9207
SERVICIO DE DOCUMENTACION



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) 144,24 €

CONSULTAS E INFORMES BIBLIOGRAFICOS

INFORMES BIBLIOGRAFICOS
SERVICIO DE DOCUMENTACION



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	18 €
Cantidad a abonar por referencia	0,36 €
Cantidad a abonar por hoja de fotocopia de documento.	0,18 €

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: 90,15 € más la tarifa de la consulta.

ARTICULOS TECNICOS

ARTICULOS TECNICOS
SERVICIO DE DOCUMENTACION



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.

- 66 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 Albarez Caval.
- 67 EL HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA (HSC): LAS CARACTERÍSTICAS QUE CONDICIONAN EL CALCULO ESTRUCTURAL. Enrique González Valle.
- 68 LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE INFORMACIÓN EN LAS OBRAS. Adolfo Delibes Liniers.
- 69 INVESTIGACIÓN SOBRE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO DAÑADAS POR CORROSIÓN DE ARMADURAS. Adolfo Delibes Liniers; Jaime Fernández Gómez.
- 70 HORMIGONADO EN CONDICIONES METEOROLÓGICAS ADVERSAS: ESTUDIO DE LOS ACCIDENTES OCURRIDOS DURANTE EL HORMIGONADO DE UN TABLERO POSTENSADO.
Adolfo Deliniers; Jaime Fernández Gómez; Miguel Angel Acón Robleña.
- 71 LA INFLUENCIA DEL DIAGRAMA TENSIÓN DEFORMACIÓN EN EL CÁLCULO A FLEXIÓN DE SECCIONES REALIZADAS CON HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA.
Enrique González Valle; José M° Izquierdo; Bernaldo de Quirós.
- 72 EFECTOS DINÁMICOS EN PUESTES. VARIACION DEL COEFICIENTE DE IMPACTO.
Enrique López del Hierro Fernández; Juan José Benito Muñoz; Javier Gallego Valarde; Ramón Álvarez Cabal.
- 73 CUBIERTAS METÁLICAS DE GRAN LUZ. Mercedes Gómez Álvarez; Justo Díaz Lozano; Ramón Álvarez Cabal.
- 74 LA INSPECCIÓN Y ENSAYO. ORGANIZACIONES DE CONTROL DE CALIDAD Y LABORATORIOS.
José Calavera Ruiz.

P.V.P. 2,40 € / ejemplar.



NUEVO

2001

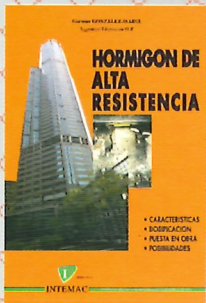
De acuerdo con la nueva instrucción EHE

MUROS DE CONTENCIÓN Y MUROS DE SÓTANO

J. CALAVERA (Dr. Ingeniero de Caminos)

- 374 páginas
- 244 Figuras
- 23 Fotografías
- 88 Referencias Bibliográficas
- Encuadernación en guaflex

Precio: 67,45 €



HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA

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

- 316 páginas
- Encuadernación en guaflex

Precio: 41,97 €

CÁLCULO, CONSTRUCCIÓN Y PATOLOGÍA DE FORJADOS DE EDIFICACIÓN

J. CALAVERA (Dr. Ingeniero de Caminos)

Agotada la 4ª Edición
5ª Edición: Noviembre 2001

AGOTADO

MANUAL DE FERRALLA

J. CALAVERA (Dr. Ingeniero de Caminos)

E. GONZÁLEZ VALLE
(Dr. Ingeniero de Caminos)
J. FERNÁNDEZ GÓMEZ
(Dr. Ingeniero de Caminos)

F. VALENCIANO (Ingeniero Industrial)

Nueva edición: Marzo 2002

AGOTADO



PROYECTO Y CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

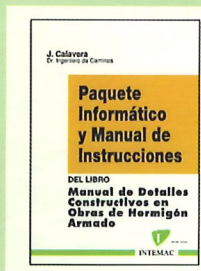
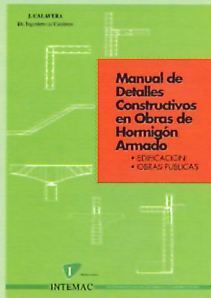
J. CALAVERA
(Dr. Ingeniero de Caminos)

De acuerdo con la nueva instrucción EHE

- EN MASA
- ARMADO
- PRETENSADO

- 2 Tomos con 2014 páginas
 - 1296 Figuras
 - 96 Fotografías
- 47 Ejemplos resueltos
- 139 Gráficos y Tablas de Cálculo
- 634 Referencias Bibliográficas

Precio de la obra completa: 148,95 €



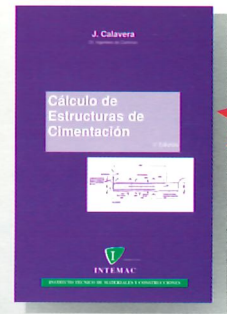
MANUAL DE DETALLES CONSTRUCTIVOS EN OBRAS DE HORMIGÓN ARMADO

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: 106,41 € - Paquete informático: 188,12 €
(Manual de Instrucciones y Disquetes)

El libro y el programa se venden por separado



NUEVO

2000

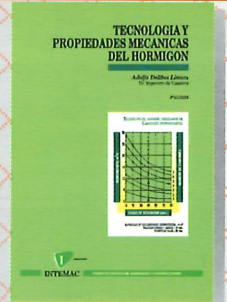
De acuerdo con la nueva instrucción EHE

CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE CIMENTACIÓN

J. CALAVERA (Dr. Ingeniero de Caminos)

- Un volumen con 519 páginas
 - 271 Figuras
 - 24 Ejemplos resueltos
- 39 Gráficos y Tablas de Cálculo
- 30 Tablas para el cálculo directo de Zapatas corridas según EHE, EUROCÓDIGO EC-2 Y ACI 318-99
- 30 Tablas para el cálculo directo de Zapatas aisladas según EHE, EUROCÓDIGO EC-2 Y ACI 318-99
- 90 Referencias Bibliográficas
- Encuadernación en guaflex

Precio: 67,15 €



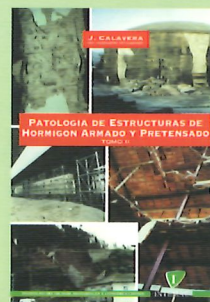
TECNOLOGÍA Y PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN

A. DELIBES (Dr. Ingeniero de Caminos)

2ª Edición

- 396 páginas
- Encuadernación en guaflex

Precio: 51,03 €

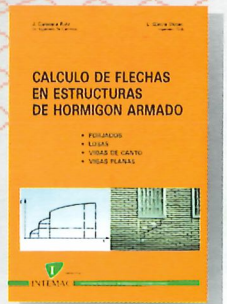


PATOLOGÍA DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO Y PRETENSADO

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: 106,41 €



CÁLCULO DE FLECHAS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

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: 47,41 €
(Libro más paquete Informático)



INTEMAC

BARCELONA: Antón Fortuny 14-16. Esc. C. 4º 2º - Tel. 93 473 85 00 • Fax: 93 473 79 32 - 08950 Esplugues de Llobregat
MADRID: Monte Esquinza, 30, 4º D - Tel. 91 310 51 58 • Fax: 91 308 58 65 - 28010 MADRID
MÁLAGA: Hillera, 15. Oficina 1 - Tel. 95 212 25 76 • Fax: 95 222 88 29 - 29007 MÁLAGA
OVIEDO: Foncalada, 10, 3ª A - Tel: 985 22 29 85 - 33002 OVIEDO
SEVILLA: Héroes de Toledo - Tel. 95 465 64 11 • Fax: 95 465 65 04 - 41006 SEVILLA
VALENCIA: Ciscar, 27, 1º 1ª - Tel. 96 374 99 92 • Fax: 96 374 84 81 - 46005 VALENCIA
VALLADOLID: Pírita, 37 Polg. de San Cristóbal - Tel. 983 29 22 44 • Fax: 983 29 23 78 - 47012 VALLADOLID
<http://www.intemac.es>