

Notas de información
técnica (NIT)
INTEMAC



Estudio experimental sobre la influencia de distintos procedimientos de curado inicial en obra, en la resistencia a compresión de probetas de hormigón

The effect of on-site curing procedures on concrete specimen compressive strength. An experimental study

Prof. José Calavera
Dr. Ingeniero de Caminos

Prof. J. Fernández Gómez
Dr. Ingeniero de Caminos

Germán González Isabel
Ingeniero Técnico O.P.

Jorge Ley Urzaiz
Dr. Ingeniero de Caminos



INTEMAC

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

NIT 1 - 05
Noviembre 2005



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 EXPERIMENTAL SOBRE LA INFLUENCIA DE DISTINTOS
PROCEDIMIENTOS DE CURADO INICIAL EN OBRA, EN LA RESISTENCIA
A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN**

**THE EFFECT OF ON-SITE CURING PROCEDURES ON CONCRETE
SPECIMEN COMPRESSIVE STRENGTH.
AN EXPERIMENTAL STUDY**

JOSÉ CALAVERA RUIZ

PhD. Civil Engineering
President of INTEMAC

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Presidente de INTEMAC

JAIME FERNÁNDEZ-GÓMEZ

PhD. Civil Engineering
Manager, INTEMAC Central Laboratory

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Director del Laboratorio Central de INTEMAC

GERMÁN GONZÁLEZ-ISABEL

Associate Civil Engineer
Manager, INTEMAC Materials Testing Area

Ingeniero Técnico de OO.P.P
Director del Área de Ensayo de Materiales

JORGE LEY URZÁIZ

PhD. Civil Engineering
Manager, INTEMAC Structure Trial Area

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Director del Área de Ensayos de Estructuras de INTEMAC

Copyright © 2005, 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 1885-4575

Depósito legal: M-44196-2005

Infoprint, S.A. - San Vicente Ferrer, 40

CONTENTS

1. INTRODUCTION
2. TECHNICAL COMMITTEE AND MONITORING COMMISSION
3. TEST METHOD
4. TEST VARIABLES
 - 4.1. Types of concrete
 - 4.2. Series cured in the open air
 - 4.2.1. Tests conducted
 - 4.2.2. Initial curing conditions
 - 4.3. Series cured in a climatic chamber
 - 4.3.1. Tests conducted
 - 4.3.2. Initial curing conditions
 - 4.4. Supplementary serie
 - 4.5. Summary of tests conducted
5. TEST RESULTS
 - 5.1. Series cured in the open air
 - 5.2. Series cured in a climatic chamber
 - 5.3. Supplementary serie
6. SUMMARY AND CONCLUSIONS
 - 6.1. Series cured in the open air
 - 6.2. Series cured in a climatic chamber
 - 6.3. Supplementary serie
7. FINAL COMMENTS
8. REFERENCES

INDICE

1. INTRODUCCIÓN
2. COMITÉ TÉCNICO Y COMISIÓN DE SEGUIMIENTO
3. MÉTODO DE ENSAYO
4. VARIABLES DE ENSAYO
 - 4.1. Tipos de hormigón
 - 4.2. Series curadas a la intemperie
 - 4.2.1. Ensayos realizados
 - 4.2.2. Condiciones de curado inicial
 - 4.3. Series curadas en cámara climática
 - 4.3.1. Ensayos realizados
 - 4.3.2. Condiciones de curado inicial
 - 4.4. Serie complementaria
 - 4.5. Conjunto de ensayos realizados
5. RESULTADO DE LOS ENSAYOS
 - 5.1. Series curadas a la intemperie
 - 5.2. Series curadas en cámara climática
 - 5.3. Serie complementaria
6. RESUMEN Y CONCLUSIONES
 - 6.1. Series curadas a la intemperie
 - 6.2. Series curadas en cámara climática
 - 6.3. Serie complementaria
7. CONSIDERACIONES FINALES
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. INTRODUCTION

In keeping with the regulations in force in many countries, Spanish legislation provides that newly manufactured concrete specimens must be kept in the mould, capped with moist burlap or similar and protected from the elements to ensure that the surrounding temperature is kept between 16 and 27 °C to prevent the mix from drying. The temperature range allowed in harmonized European legislation is somewhat wider, from 15 to 30 °C.

Compliance with these requirements entails the use of a specific on-site enclosure to store specimens during the initial curing process. In practice, such enclosures exist only on rare occasions.

Newly manufactured specimens are usually kept in a place where they are exposed to outdoor environmental conditions. In some places in Spain, the temperature rises to over 40 °C in the summer and drops to below 0 °C in winter. To date, there have been only two experimental studies, by J. Fernández (1) and R. Meininger (2), on the effect of such a wide range on the compressive strength of concrete. This effect is analyzed in the present paper and correlated to the procedures usually adopted to protect specimens during initial curing.

2. TECHNICAL COMMITTEE AND MONITORING COMMISSION

The tests were directed by an INTEMAC Technical Committee created for this purpose, whose members were:

- Prof. José Calavera Ruiz, Chairman
- Prof. Jaime A. Fernández Gómez, Head of the Central Laboratory
- Germán González Isabel, Materials Testing Area Manager
- Jorge Ley Urzáiz, Structural Testing Area Manager

In light of the widely divergent stands on the subject defended in engineering circles, an independent Monitoring Commission was also created and mandated to design the research programme and monitor the procedures, instruments and facilities used as well as any other relevant aspects. Its members, all experts in the field, included:

- Prof. Manuel Fernández Cánovas
- Prof. Antonio Garrido Hernández
- Prof. Fernando Rodríguez García

1. INTRODUCCIÓN

La normativa española, acorde con la vigente en gran número de países, establece que, con el fin de evitar la desecación de la masa de hormigón, las probetas recién fabricadas se han de mantener en sus moldes, con su superficie cubierta de arpillera húmeda o similar, y protegida de la intemperie de forma tal que la temperatura alrededor de las mismas esté comprendida entre 16 y 27 °C. Al respecto, la normativa europea armonizada amplía dicho rango a valores comprendidos entre 15 y 30 °C.

El cumplimiento de las condiciones indicadas implica la necesidad de disponer en obra de un recinto específico donde conservar las probetas durante la fase de su curado inicial. En la realidad, y salvo contadas excepciones, dicho recinto no es habitual.

Normalmente, las probetas recién fabricadas permanecen en la obra sometidas a las condiciones ambientales existentes. En algunas zonas de España pueden alcanzarse temperaturas máximas superiores a los 40 °C en verano y temperaturas mínimas inferiores a 0 °C en invierno. La influencia que condiciones climáticas tan distintas ejercen en la resistencia a compresión del hormigón no ha sido suficientemente investigada experimentalmente hasta la fecha, salvo los trabajos de J. Fernández (1) y R. Meininger (2). En este estudio se analiza dicha influencia, correlacionándola, a su vez, con distintos procedimientos de protección inicial de las probetas habitualmente adoptados.

2. COMITÉ TÉCNICO Y COMISIÓN DE SEGUIMIENTO

Los ensayos han sido dirigidos por un Comité Técnico de INTEMAC, nombrado al efecto, compuesto por:

- Prof. José Calavera Ruiz, Presidente
- Prof. Jaime A. Fernández Gómez, Director del Laboratorio Central
- D. Germán González Isabel, Director del Área de Ensayo de Materiales
- D. Jorge Ley Urzáiz, Director del Área de Ensayos Estructurales

Dado que circulaban en los medios técnicos versiones muy discrepantes sobre el tema, se nombró, asimismo, una Comisión de Seguimiento independiente de INTEMAC, compuesta por expertos en la materia, para el planteamiento de la investigación, el seguimiento del proceso, el control del instrumental e instalaciones a utilizar y cualquier otro aspecto relevante, constituida por los siguientes miembros:

3. TEST METHOD

The test procedures used were essentially as defined in Spanish standards UNE 83301:1991 (3); UNE 83303:1984 (4) and UNE 83304:1984 (5), except, naturally, in respect of the variables studied. Such procedures meet the requirements laid down in European standards EN 12390-1:2000 “*Testing hardened concrete. Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds*” (6); EN 12390-2:2000 “*Testing hardened concrete. Making and curing specimens for strength tests*” (7) and EN12390-3:2001 “*Testing hardened concrete. Compressive strength of test specimens*” (8).

4. TEST VARIABLES

4.1. Types of concrete

Two types of concrete were studied: HA-25 (compressive strength 25 MPa) and HA-40 (compressive strength 40 MPa), both manufactured by the INTEMAC Central Laboratory. The applicable specifications contained in the standard generally followed in the manufacture of concrete for research, ASTM C 192/C 192 M-02, “*Practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory*” (9), were likewise followed.

The constituent materials employed were:

- Siliceous gravel
- River sand
- Cement
 - CEM I 42.5 N/SR “CEMEX” (HA-25 + HA-40): SERIES CURED IN THE OPEN AIR
 - CEM II/A-M (V-L) 42.5 R “VALDERRIVAS” (HA-25): SERIES CURED IN A CLIMATIC CHAMBER
 - CEM I 52.5 R “VALDERRIVAS” (HA-40): SERIES CURED IN A CLIMATIC CHAMBER
 - CEM II/A-M (V-L) 42.5 R “VALDERRIVAS” (HA-40): SUPPLEMENTARY SERIES
- Plasticizer MELCRET PF-77 (Degussa)
- Municipal water

4.2. Series cured in the open air

4.2.1. Tests conducted

Two 250-ℓ batches of concrete were made per strength class (HA-25 and HA-40) with a 450-ℓ Teka vertical planetary mixer in the INTEMAC Central Laboratory between 23 July and 24 August 2004. Twenty two (22) 15x30-cm cylindrical specimens were moulded in the open air from each batch and randomly divided into two groups of ten specimens each. The two remaining specimens were placed in a standard chamber ($T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$; $RH \geq 95\%$) (STD) immediately after casting.

After manufacture, the ten specimens in each group were protected and labelled for identification as follows:

- Prof. Manuel Fernández Cánovas
- Prof. Antonio Garrido Hernández
- Prof. Fernando Rodríguez García

3. MÉTODO DE ENSAYO

Se han aplicado, básicamente, los procedimientos de ensayo definidos en las normas UNE 83301:1991 (3); UNE 83303:1984 (4) y UNE 83304:1984 (5), a excepción de las variables que han sido objeto de investigación. Dichos procedimientos satisfacen las especificaciones que establecen las normas europeas EN 12390-1:2000 “*Forma, medidas y otras características de las probetas y moldes*” (6); EN 12390-2:2000 “*Fabricación y curado de probetas para ensayo de resistencia*” (7) y EN12390-3:2001 “*Determinación de la resistencia a compresión de probetas*” (8).

4. VARIABLES DE ENSAYO

4.1. Tipos de hormigón

Se han estudiado dos hormigones: HA-25 (25 MPa de resistencia a compresión) y HA-40 (40 MPa de resistencia a compresión), fabricados en el Laboratorio Central de INTEMAC. Se han seguido las especificaciones aplicables al caso de la norma ASTM C 192/C 192 M-02 “*Practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory*” (9), que es la norma de empleo habitual para la fabricación de hormigones en trabajos de investigación.

Se han empleado los materiales constituyentes siguientes:

- Grava silícea
- Arena de río
- Cemento
 - CEM I 42,5 N/SR “CEMEX” (HA-25 + HA-40): SERIES CURADAS A LA INTEMPERIE
 - CEM II/A-M (V-L) 42,5 R “VALDERRIVAS” (HA-25): SERIES CURADAS EN CÁMARA CLIMÁTICA
 - CEM I 52,5 R “VALDERRIVAS” (HA-40): SERIES CURADAS EN CÁMARA CLIMÁTICA
 - CEM II/A-M (V-L) 42,5 R “VALDERRIVAS” (HA-40): SERIE COMPLEMENTARIA
- Aditivo plastificante MELCRET PF-77 (Degussa)
- Agua procedente del suministro urbano

4.2. Series curadas a la intemperie

4.2.1. Ensayos realizados

En el período de tiempo comprendido entre los días 23 de Julio y 24 de Agosto de 2004, por cada resistencia (HA-25 y HA-40) se han efectuado en el Laboratorio Central de INTEMAC, dos amasadas de 250 litros de hormigón utilizando una amasadora planetaria Teka de eje vertical y 450 litros de capacidad. A partir del hormigón resultante de cada amasada se han fabricado, a la intemperie, veintidós (22) probetas cilíndricas de 15x30 cm divididas aleatoriamente en dos grupos de diez probetas cada uno. Las dos probetas restantes una vez fabricadas, fueron inmediatamente introducidas en la cámara estándar ($T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$; $HR \geq 95\%$) (STD).

-
- Air-tight plastic bag containing a piece of moist burlap to cover the exposed face of the specimen (BB) (2 units).
 - Plastic bag without burlap (B) (2 units).
 - Piece of moist nankeen fabric placed directly over top of the specimen (NF) (2 units).
 - No protection whatsoever (NP) (2 units).
 - Glass disk, 5 mm thick, resting directly on the exposed concrete surface of the specimen (GD) (2 units).

SERIES 1 (HA-25)

Ten (10) of the twenty two (22) specimens in each series were stored where they were made and protected from direct sunlight (PR) under a suitably sized polystyrene foam cover. Another ten (10) were stored where they were made, with no sunlight protection whatsoever (SUN). The remaining two were stored in a standard curing chamber ($R = 20 \pm 2^\circ$; $RH \geq 95$).

Twenty four hours after casting, all the specimens were de-moulded and stored in a standard chamber.

SERIES 2 (HA-25)

A second batch was made, with the same characteristics as above. The variable in this experiment was the initial curing time, 72 ± 1 hours in this case.

SERIES 3 and 4 (HA-40)

The same process was followed as for series 1 and 2, but using HA-40 concrete.

4.2.2. Initial curing conditions

The curing conditions for series 1 and 2 (HA-25) were as follows:

$$23 \text{ }^\circ\text{C} \leq T \leq 40.5 \text{ }^\circ\text{C}$$
$$56\% \geq RH \geq 32\%$$

and for series 3 and 4 (HA-40) they were:

$$19.5 \text{ }^\circ\text{C} \leq T \leq 37.5 \text{ }^\circ\text{C}$$
$$70\% \geq RH \geq 27\%$$

where T is the temperature in $^\circ\text{C}$ and RH the relative humidity in% during open air curing.

The Graph below shows the temperature and relative humidity values recorded in the surrounding area during the initial curing period.

Finalizada la fabricación de probetas, se han aplicado a ambos grupos de diez probetas los sistemas de protección e identificación siguientes:

- Bolsa de plástico con cierre hermético y arpillera previamente humedecida, apoyada directamente sobre la cara superior de la probeta (BA) (2 uds.)
- Bolsa de plástico sin arpillera (B) (2 uds.)
- Tela de Mahón, previamente humedecida, apoyada directamente sobre la cara superior de la probeta (TM) (2 uds.)
- Sin protección alguna (SP) (2 uds.)
- Disco de vidrio de 5 mm de espesor aplicado directamente a la cara de acabado (DV) (2 Uds.).

1ª SERIE (HA-25)

Diez (10) de las veintidós (22) probetas de cada serie fueron mantenidas en su lugar de fabricación y protegidas de la acción directa del sol (PR) mediante un tablero de poliestireno expandido de dimensiones adecuadas. Otras diez (10), fueron mantenidas en su lugar de fabricación sin protección alguna (SOL). Las dos restantes fueron introducidas en la cámara de curado estándar ($T = 20 \pm 2 \text{ °C}$; $HR \geq 95\%$).

Transcurridas 24 ± 1 horas de su fabricación todas las probetas fueron desmoldadas e introducidas en la cámara estándar.

2ª SERIE (HA-25)

Se fabricó una nueva amasada de las mismas características que la anterior. En este caso, la variable introducida consistió en el tiempo de curado inicial que, en este caso, fue de 72 ± 1 horas.

3ª y 4ª SERIE (HA-40)

Se repitió el proceso descrito para las series 1 y 2 utilizando para estas nuevas series un hormigón HA-40.

4.2.2. Condiciones de curado inicial

Las condiciones de curado para las series 1ª y 2ª (HA-25) fueron las siguientes:

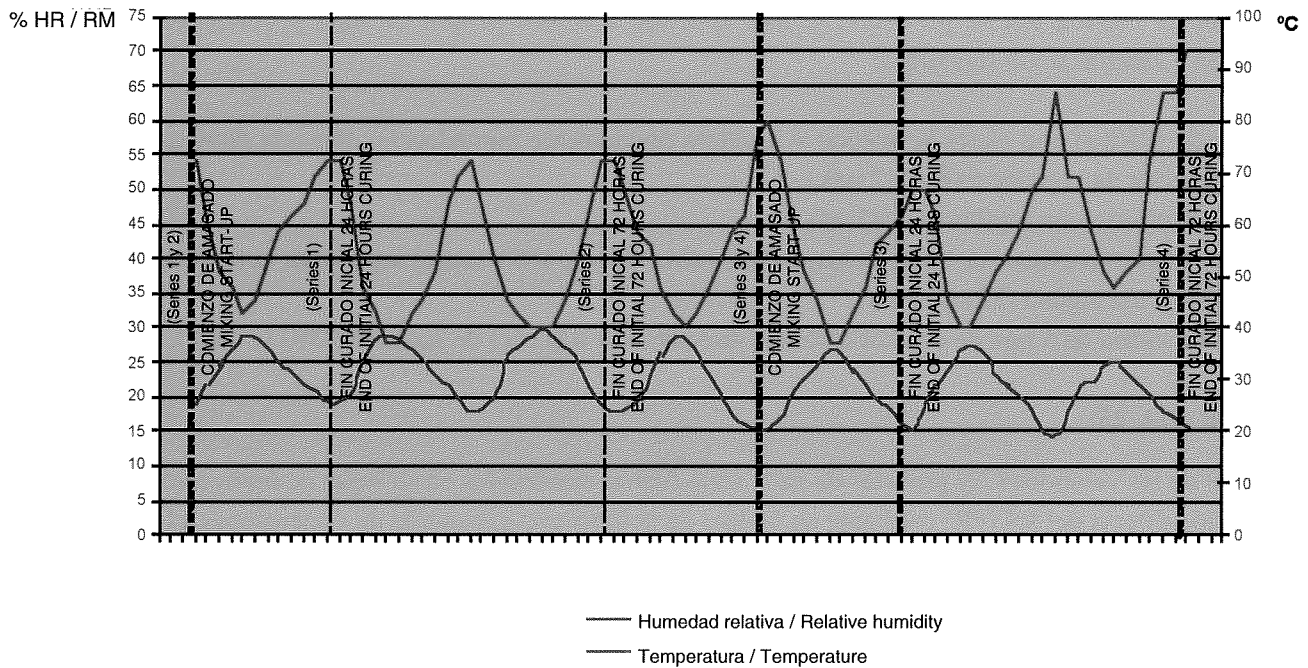
$$23 \text{ °C} \leq T \leq 40,5 \text{ °C}$$
$$56\% \geq HR \geq 32\%$$

y para las series 3ª y 4ª (HA-40):

$$19,5 \text{ °C} \leq T \leq 37,5 \text{ °C}$$
$$70\% \geq HR \geq 27\%$$

siendo T la temperatura en °C y HR la humedad relativa en% durante el curado a la intemperie.

En el Gráfico siguiente puede verse el registro de temperaturas y humedad relativa en la zona de curado inicial durante la permanencia de las probetas en ella.



4.3. Series cured in a climatic chamber

4.3.1. Tests conducted

A total of eight batches were made for each type of concrete and numbered consecutively from 1 to 8. Series 1 to 5 were protected with a “plastic bag and burlap” (BB), “plastic bag only” (B), “nankeen fabric” (NK) and “no protection” (NP). In series 6 to 8 the “plastic bag only” was replaced by “glass disk” (GD).

Sixteen (16) 15x30 cm cylindrical specimens were manufactured per series for 28-day tests. After manufacture, the specimens were fitted with the protection and labelling systems described in Item 4.2.1.

In addition, four supplementary specimens were manufactured per series for 24-hour initial curing in a chamber at a temperature of 20 ± 1 °C and a relative humidity of $70 \pm 5\%$. The four specimens were then placed in a wet closet until they were tested after 7 or 28 days (STD) (2 units each). These specimens were kept in the above conditions, which represent the mid-point of the range specified in the standard for the exposed on-site storage of specimens, to determine the 7- and 28-day concrete quality when the test procedures laid down in the standard are followed (i.e., a temperature of 16 to 27 °C and RH = 70%, the usual value in most of Spain).

All the plastic bags used in protection systems (BB), (B) and (STD) bore an air-tight seal.

A TEKA 450-ℓ vertical planetary mixer was used throughout to make the 250-ℓ batches of concrete.

4.3.2. Initial curing conditions

Immediately after manufacture, the specimens were placed in the INTEMAC Laboratory’s DIMETAL climatic chamber, serial No. 2041/04. During the test, the temperature and relative humidity in the chamber ranged from 3 ± 1 to 40 ± 2 (°C) and 30 ± 5 to 80 ± 5 (%), respectively.

4.3. Series curadas en cámara climática

4.3.1. Ensayos realizados

En total, se han efectuado ocho amasadas por cada tipo de hormigón, numeradas correlativamente con los n^{os} 1 a 8. En la series n^{os} 1 a 5 se han incorporado los sistemas de protección de probetas “bolsa de plástico con arpillera” (BA), “bolsa de plástico sin arpillera” (B), “tela de Mahón” (TM) y “sin protección” (SP). En las series n^{os} 6 a 8 la “bolsa de plástico sin arpillera” (B), utilizada en las anteriores, ha sido sustituida por un “disco de vidrio” (DV).

Se han fabricado dieciséis (16) probetas cilíndricas de 15x30 cm por serie para su ensayo a los 28 días de edad. Finalizada su fabricación, se han incorporado a las probetas los sistemas de protección e identificación detallados en el Apartado 4.2.1.

Complementariamente, se han fabricado cuatro probetas adicionales por serie para su curado inicial, durante 24 horas, en cámara a 20 ± 1 °C de temperatura y $70 \pm 5\%$ de humedad relativa. Transcurrido dicho período de tiempo las cuatro probetas fueron trasladadas a la cámara húmeda hasta las fechas de su ensayo a 7 días (2 uds.) y 28 días (STD) (2 uds.). Estas probetas se han fabricado para definir la calidad del hormigón a 7 y 28 días, siguiendo correctamente la norma de ensayo, y para ello se han mantenido en esas condiciones, que representan el intervalo central marcado en la norma para la conservación de probetas en obra conseguido en condiciones de ambiente natural. (Temperatura de 16 °C a 27 °C y HR = 70%, valor usual en la mayor parte de España).

Finalmente, cabe destacar que las bolsas de plástico que incorporaban sistemas de protección (BA), (B) y (STD) fueron cerradas herméticamente mediante precinto.

Se han realizado, en cada caso, amasadas de 250 litros de hormigón utilizando una amasadora planetaria TEKA de eje vertical y 450 litros de capacidad máxima.

4.3.2. Condiciones de curado inicial

Inmediatamente después de finalizado el proceso de fabricación, las probetas han sido introducidas en una cámara climática DIMETAL. N° DE SERIE 2041/04, existente en el laboratorio de INTEMAC. Dicha cámara ha permitido el mantenimiento en las condiciones del ensayo, con un rango de temperatura comprendido entre 3 ± 1 y 40 ± 2 (°C) y entre 30 ± 5 y 80 ± 5 (%) de humedad relativa.

Transcurridas 24 ± 1 horas de permanencia en cámara climática la mitad de las probetas (8) de cada una de las series fueron desmoldadas y trasladadas a la cámara de curado normalizada ($T = 20 \pm 2$ °C; $HR \geq 95\%$) donde permanecieron hasta la fecha de ensayo.

Las ocho probetas restantes fueron trasladadas a la cámara húmeda una vez transcurridas 72 ± 1 horas de permanencia en la cámara climática.

After 24 ± 1 hours in the climatic chamber, half the specimens (8) of each of the series were de-moulded and moved to a standardized curing chamber ($T = 20 \pm 2$ °C; $RH \geq 95\%$), where they were kept until tested.

The remaining eight specimens were moved to the wet closet after 72 ± 1 hours in the climatic chamber.

4.4. Supplementary series

There is no environmental equivalent in our own or any neighbouring countries to the extreme and constant initial storage conditions to which the climatic chamber series was exposed, namely $T = 40$ °C and $RH = 30\%$: in mid-summer the average daily temperature barely exceeds 30 °C and the relative humidity hovers between 40 and 50%.

A supplementary series was prepared to verify the effect of the type of cement in such extreme initial curing conditions. Here, instead of CEM I 52.5 R, a cement with a lower heat of hydration (CEM II/A-M (V-L) 42.5 R) was used to manufacture HA-40 concrete for the series cured in a climatic chamber at $T = 40$ °C and $RH = 30\%$.

4.5. Summary of tests conducted

Table 1 gives a summary of the batches manufactured and the combination of variables for each, along with the series and initial curing conditions applied.

The meanings of the codes and abbreviations are as follows:

HA-25, HA-40:	Types of concrete
SUN:	Direct sunlight
PR	Protected from the sun
24, 72:	24, 72 hours of initial curing time
BB, B, GD, NF, NP:	Protection system (see Item 4.2.1.)
STD:	Control specimens, standardized initial curing

4.4. Serie complementaria

El estado de conservación inicial impuesto en la serie de cámara climática correspondiente a $T = 40\text{ °C}$ y $HR = 30\%$ supone unas condiciones climáticas extremas y constantes, que no tienen equivalencia con las condiciones ambientales habituales en nuestro país y en los países de nuestro entorno, en los cuales, en épocas de máximo calor estival, la temperatura media diaria difícilmente supera los 30 °C y la humedad relativa media del aire está comprendida entre el 40 y el 50%.

Para verificar la influencia del tipo de cemento en este curado inicial tan extremo se ha realizado una serie complementaria, en la cual en las series curadas en cámara climática correspondientes al HA-40 y $T = 40\text{ °C}$ y $HR = 30\%$ se ha sustituido el cemento utilizado (CEM I 52,5 R) por un cemento de menor calor de hidratación (CEM II/A-M (V-L) 42,5 R), fabricando un hormigón de la misma resistencia.

4.5. Conjunto de ensayos realizados

A modo de resumen, en el Cuadro nº 1 se recoge el conjunto de amasadas fabricadas con la combinación de variables que procede, la serie a la que pertenecen y las condiciones de curado inicial aplicadas.

Las claves de identificación son las siguientes:

HA-25, HA-40:	Tipos de hormigón
SOL:	Soleamiento directo
PR:	Protegida del sol
24, 72:	24 horas, 72 horas de curado inicial
BA, B, DV, TM, SP:	Sistema de protección (véase Apartado 4.2.1.)
STD:	Probetas de referencia en curado inicial normalizado

Table 1. Summary of batches mixed

SERIES	CONCRETE	BATCH	DESIGNATION	PROTECTION SYSTEM							INITIAL CURING TIME (hours)	ENVIRONMENTAL CONDITIONS
				BB	B	GD	NF	NP	STD			
Cured in the open air	HA-25	1	HA-25/SUN/24 HA-25/PR/24	X	X	X	X	X	X	X	24	Sunlight Protected
		2	HA-25/SUN/72 HA-25/PR/72	X	X	X	X	X	X	X	72	Sunlight Protected
	HA-40	3	HA-40/SUN/24 HA-40/PR/24	X	X	X	X	X	X	X	24	Sunlight Protected
		4	HA-40/SUN/72 HA-40/PR/72	X	X	X	X	X	X	X	72	Sunlight Protected
Cured in a climatic chamber	HA-25	1	HA-25/1/24 HA-25/1/72	X	X		X	X	X	X	24 72	T = 3 °C RH = 80%
		2	HA-25/2/24 HA-25/2/72	X	X		X	X	X	X	24 72	T = 10 °C RH = 60%
		3	HA-25/3/24 HA-25/3/72	X	X		X	X	X	X	24 72	T = 20 °C RH = 60%
		4	HA-25/4/24 HA-25/4/72	X	X		X	X	X	X	24 72	T = 30 °C RH = 60%
		5	HA-25/5/24 HA-25/5/72	X	X		X	X	X	X	24 72	T = 40 °C RH = 30%
		6	HA-25/6/24 HA-25/6/72	X		X	X	X	X	X	24 72	T = 3 °C RH = 80%
		7	HA-25/7/24 HA-25/7/72	X		X	X	X	X	X	24 72	T = 20 °C RH = 60%
		8	HA-25/8/24 HA-25/8/72	X		X	X	X	X	X	24 72	T = 40 °C RH = 30%
	HA-40	1	HA-40/1/24 HA-40/1/72	X	X		X	X	X	X	24 72	T = 3 °C RH = 80%
		2	HA-40/2/24 HA-40/2/72	X	X		X	X	X	X	24 72	T = 10 °C RH = 60%
		3	HA-40/3/24 HA-40/3/72	X	X		X	X	X	X	24 72	T = 20 °C RH = 60%
		4	HA-40/4/24 HA-40/4/72	X	X		X	X	X	X	24 72	T = 30 °C RH = 60%
		5	HA-40/5/24 HA-40/5/72	X	X		X	X	X	X	24 72	T = 40 °C RH = 30%
		6	HA-40/6/24 HA-40/6/72	X		X	X	X	X	X	24 72	T = 3 °C RH = 80%
		7	HA-40/7/24 HA-40/7/72	X		X	X	X	X	X	24 72	T = 20 °C RH = 60%
		8	HA-40/8/24 HA-40/8/72	X		X	X	X	X	X	24 72	T = 40 °C RH = 30%
Supplementary series	HA-40	9	HA-40/9/24 HA-40/9/72	X	X	X	X	X	X	24 72	T = 40 °C RH = 30%	

Cuadro n° 1. Conjunto de amasadas fabricadas

SERIE	HORMIGÓN	AMASADA	DESIGNACIÓN	SISTEMAS DE PROTECCIÓN								TIEMPO DE CURADO INICIAL (horas)	CONDICIONES AMBIENTALES	
				BA	B	DV	TM	SP	STD					
Curadas a la intemperie	HA-25	1	HA-25/SOL/24 HA-25/PR/24	X	X	X	X	X	X	X	X	24	Soleamiento Protegidas	
		2	HA-25/SOL/72 HA-25/PR/72	X	X	X	X	X	X	X	X	72	Soleamiento Protegidas	
		3	HA-40/SOL/24 HA-40/PR/24	X	X	X	X	X	X	X	X	24	Soleamiento Protegidas	
		4	HA-40/SOL/72 HA-40/PR/72	X	X	X	X	X	X	X	X	72	Soleamiento Protegidas	
	Curadas en cámara climática	HA-25	1	HA-25/1/24 HA-25/1/72	X	X		X	X	X	X	X	24 72	T = 3 °C HR = 80%
			2	HA-25/2/24 HA-25/2/72	X	X		X	X	X	X	X	24 72	T = 10 °C HR = 60%
			3	HA-25/3/24 HA-25/3/72	X	X		X	X	X	X	X	24 72	T = 20 °C HR = 60%
			4	HA-25/4/24 HA-25/4/72	X	X		X	X	X	X	X	24 72	T = 30 °C HR = 60%
HA-40		5	HA-25/5/24 HA-25/5/72	X	X		X	X	X	X	X	24 72	T = 40 °C HR = 30%	
		6	HA-25/6/24 HA-25/6/72	X	X	X	X	X	X	X	X	24 72	T = 3 °C HR = 80%	
		7	HA-25/7/24 HA-25/7/72	X	X	X	X	X	X	X	X	24 72	T = 20 °C HR = 60%	
		8	HA-25/8/24 HA-25/8/72	X	X	X	X	X	X	X	X	24 72	T = 40 °C HR = 30%	
Complementaria	HA-40	1	HA-40/1/24 HA-40/1/72	X	X		X	X	X	X	X	24 72	T = 3 °C HR = 80%	
		2	HA-40/2/24 HA-40/2/72	X	X		X	X	X	X	X	24 72	T = 10 °C HR = 60%	
		3	HA-40/3/24 HA-40/3/72	X	X		X	X	X	X	X	24 72	T = 20 °C HR = 60%	
		4	HA-40/4/24 HA-40/4/72	X	X		X	X	X	X	X	24 72	T = 30 °C HR = 60%	
		5	HA-40/5/24 HA-40/5/72	X	X		X	X	X	X	X	24 72	T = 40 °C HR = 30%	
		6	HA-40/6/24 HA-40/6/72	X	X	X	X	X	X	X	X	24 72	T = 3 °C HR = 80%	
		7	HA-40/7/24 HA-40/7/72	X	X		X	X	X	X	X	24 72	T = 20 °C HR = 60%	
		8	HA-40/8/24 HA-40/8/72	X	X		X	X	X	X	X	24 72	T = 40 °C HR = 30%	
9	HA-40/9/24 HA-40/9/72	X	X	X	X	X	X	X	X	24 72	T = 40 °C HR = 30%			

5. TEST RESULTS

5.1. Series cured in the open air

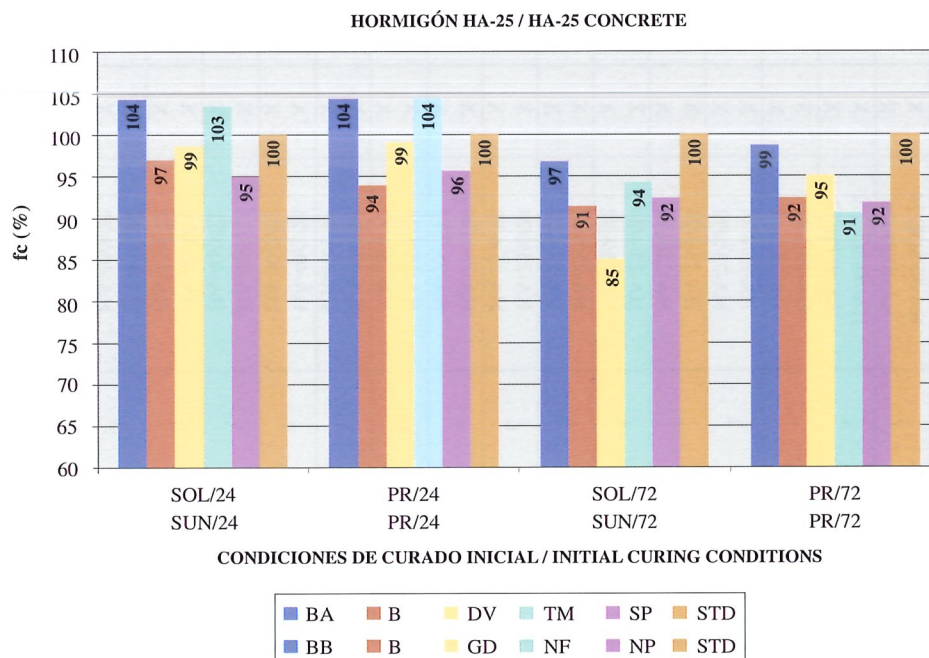
The mean values obtained are given in Table 2. The graph in Figure 1 shows the values found for each combination of variables, expressed as a percentage of the values found for initial curing in a standard chamber.

Table 2. Results for series cured in the open air
28-day compressive strength, MPa (f_c)^(*)

SERIES No.	BATCH DESIGNATION	PROTECTION SYSTEM					
		BB	B	GD	NF	NP	STD
1	HA-25/SUN/24	24.2	22.5	22.9	24.0	22.0	23.2
	HA-25/PR/24	24.2	21.8	23.0	24.1	22.2	23.2
2	HA-25/SUN/72	23.8	22.5	20.9	23.2	22.7	24.6
	HA-25/PR/72	24.3	22.7	23.4	22.3	22.6	24.6
3	HA-40/SUN/24	37.8	36.6	37.3	39.7	39.3	38.3
	HA-40/PR/24	38.0	38.2	39.5	40.7	38.2	38.3
4	HA-40/SUN/72	40.1	40.5	38.4	42.4	41.8	40.9
	HA-40/PR/72	39.7	39.2	39.9	40.6	40.1	40.9

(*) Mean values for two trials

Figura nº 1a. Resultados de las Series curadas a la intemperie
Figure 1a. Results for series cured in the open air



5.2. Series cured in a climatic chamber

The results obtained are given in Tables 3 and 4. The graphs in Figures 2 and 3 show the mean values obtained for each combination of variables expressed as a percentage of the control values. The figures shown depict a

5. RESULTADO DE LOS ENSAYOS

5.1. Series curadas a la intemperie

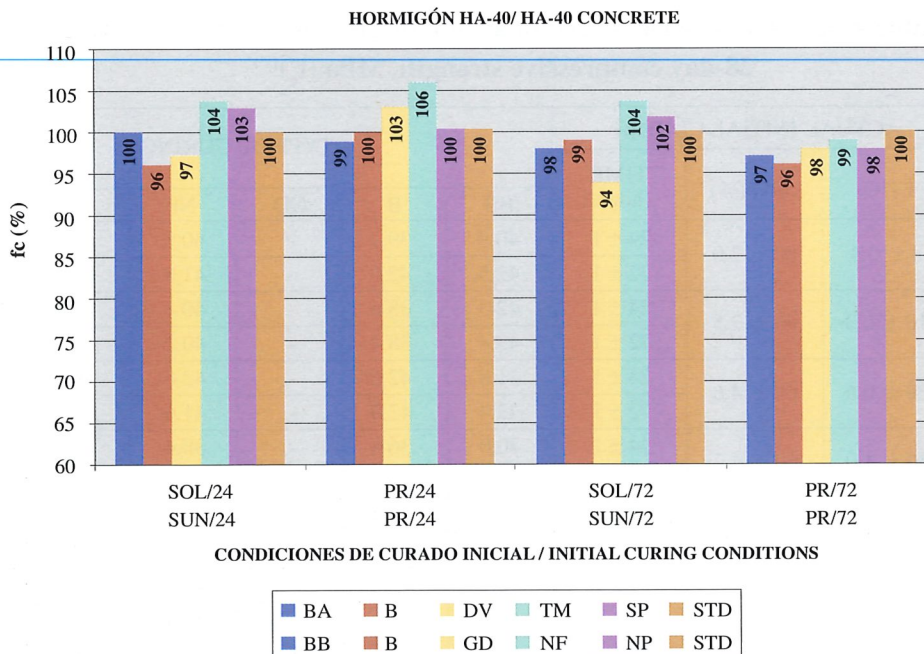
En el Cuadro n° 2 se recogen los valores medios obtenidos. En la Figura n° 1 se representan gráficamente los valores porcentuales obtenidos para cada combinación de variables, tomando como referencia los valores del curado inicial en cámara estándar.

Cuadro n° 2. Resultados de las Series curadas a la intemperie
Resistencia a compresión a 28 días, MPa (f_c) (*)

N° DE SERIE	DESIGNACIÓN DE LA AMASADA	SISTEMA DE PROTECCIÓN					
		BA	B	DV	TM	SP	STD
1	HA-25/SOL/24	24,2	22,5	22,9	24,0	22,0	23,2
	HA-25/PR/24	24,2	21,8	23,0	24,1	22,2	23,2
2	HA-25/SOL/72	23,8	22,5	20,9	23,2	22,7	24,6
	HA-25/PR/72	24,3	22,7	23,4	22,3	22,6	24,6
3	HA-40/SOL/24	37,8	36,6	37,3	39,7	39,3	38,3
	HA-40/PR/24	38,0	38,2	39,5	40,7	38,2	38,3
4	HA-40/SOL/72	40,1	40,5	38,4	42,4	41,8	40,9
	HA-40/PR/72	39,7	39,2	39,9	40,6	40,1	40,9

(*) Valores medios de dos determinaciones

Figura n° 1b. Resultados de las Series curadas a la intemperie
Figure 1b. Results for series cured in the open air



5.2. Series curadas en cámara climática

En los Cuadros n°s 3 y 4 se recogen los resultados obtenidos. En las Figuras n°s 2 y 3 se representan gráficamente los valores medios porcentuales de cada combinación de variables con respecto al curado tomado como referencia.

single value in the case of the “bag” (B) and “glass disk” (GD) protection systems and initial curing temperatures of 10 and 30 °C and the mean of the values obtained for two different batches in all other cases.

**Table 3. Results for series cured in a climatic chamber. HA-25 concrete
28-day compressive strength, MPa (f_c)^(*)**

SERIES	ACTUAL INITIAL CURING			TYPE OF CURING					
	T (°C)	RH (%)	TIME (hours)	BB	B	GD	NF	NP	STD**
1	3 ± 0,4	80 ± 2,0	24 ± 1	27.5	27.0	-	28.6	27.5	28.3
			72 ± 1	28.0	27.9	-	27.5	26.6	28.3
2	10 ± 0,3	60 ± 2,5	24 ± 1	26.4	25.7	-	28.2	25.6	28.2
			72 ± 1	26.7	26.8	-	26.0	25.2	28.2
3	20 ± 0,6	60 ± 4,6	24 ± 1	27.6	27.5	-	26.6	25.5	28.8
			72 ± 1	27.5	27.2	-	26.4	24.4	28.8
4	30 ± 1,0	60 ± 4,2	24 ± 1	27.8	24.9	-	26.2	24.8	29.0
			72 ± 1	27.7	25.9	-	26.6	24.0	29.0
5	40 ± 1,2	30 ± 3,0	24 ± 1	26.8	24.8	-	27.4	24.6	29.1
			72 ± 1	26.2	24.7	-	27.2	23.9	29.1
6	3 ± 0,5	80 ± 3,4	24 ± 1	28.3	-	27.0	28.8	27.5	29.5
			72 ± 1	28.6	-	27.4	28.6	27.2	29.5
7	20 ± 0,6	60 ± 4,1	24 ± 1	28.0	-	26.6	27.9	25.6	29.0
			72 ± 1	28.3	-	27.6	27.5	25.2	29.0
8	40 ± 1,7	30 ± 8,6	24 ± 1	26.6	-	22.8	26.2	24.0	29.5
			72 ± 1	25.6	-	23.0	25.2	23.6	29.5

(*) Mean values for two trials

(**) Initial curing at T = 20 ± 1 °C; RH = 70 ± 5% (mid-range for initial on-site curing under environmental conditions as specified in the standard)

**Table 4. Results for series cured in a climatic chamber. HA-40 concrete
28-day compressive strength, MPa (f_c)^(*)**

SERIES	ACTUAL INITIAL CURING			TYPE OF CURING					
	T (°C)	RH (%)	TIME (hours)	BB	B	GD	NF	NP	STD**
1	3 ± 0,4	80 ± 2,0	24 ± 1	40.9	39.2	-	40.8	39.9	43.0
			72 ± 1	42.5	42.0	-	41.8	41.2	43.0
2	10 ± 0,3	60 ± 2,5	24 ± 1	42.3	38.6	-	40.1	36.6	42.8
			72 ± 1	43.4	38.4	-	40.2	39.2	42.8
3	20 ± 0,6	60 ± 4,6	24 ± 1	41.8	42.6	-	42.0	39.6	43.0
			72 ± 1	42.4	42.0	-	41.6	40.4	43.0
4	30 ± 1,0	60 ± 4,2	24 ± 1	40.0	36.4	-	38.4	36.4	42.8
			72 ± 1	39.2	36.2	-	38.6	37.0	42.8
5	40 ± 1,2	30 ± 3,0	24 ± 1	32.8	30.4	-	33.8	31.4	42.6
			72 ± 1	30.8	28.7	-	33.4	30.9	42.6
6	3 ± 0,5	80 ± 3,4	24 ± 1	42.2	-	38.1	41.9	39.9	43.4
			72 ± 1	44.3	-	41.8	42.4	41.2	43.4
7	20 ± 0,6	60 ± 4,1	24 ± 1	42.0	-	38.4	41.4	38.7	43.0
			72 ± 1	41.8	-	40.5	40.7	41.2	43.0
8	40 ± 1,7	30 ± 8,6	24 ± 1	34.1	-	29.8	34.7	33.7	44.0
			72 ± 1	33.1	-	29.1	33.6	32.6	44.0

(*) Mean values for two trials

(**) Initial curing at T = 20 ± 1 °C; RH = 70 ± 5% (mid-range for initial on-site curing under environmental conditions as specified in the standard)

En el caso de los sistemas de protección “bolsa” (B), “disco de vidrio” (DV) y temperaturas de 10 °C y 30 °C de curado inicial es un único dato, y en el resto es la media de los valores obtenidos en dos amasadas diferentes.

Cuadro nº 3. Resultados de las Series curadas en cámara climática. Hormigón H-25
Resistencia a compresión a 28 días, MPa (f_c) (*)

SERIE	CURADO INICIAL REAL			TIPO DE CURADO					
	T (°C)	HR (%)	TIEMPO (horas)	BA	B	DV	TM	SP	STD**
1	3 ± 0,4	80 ± 2,0	24 ± 1	27,5	27,0	-	28,6	27,5	28,3
			72 ± 1	28,0	27,9	-	27,5	26,6	28,3
2	10 ± 0,3	60 ± 2,5	24 ± 1	26,4	25,7	-	28,2	25,6	28,2
			72 ± 1	26,7	26,8	-	26,0	25,2	28,2
3	20 ± 0,6	60 ± 4,6	24 ± 1	27,6	27,5	-	26,6	25,5	28,8
			72 ± 1	27,5	27,2	-	26,4	24,4	28,8
4	30 ± 1,0	60 ± 4,2	24 ± 1	27,8	24,9	-	26,2	24,8	29,0
			72 ± 1	27,7	25,9	-	26,6	24,0	29,0
5	40 ± 1,2	30 ± 3,0	24 ± 1	26,8	24,8	-	27,4	24,6	29,1
			72 ± 1	26,2	24,7	-	27,2	23,9	29,1
6	3 ± 0,5	80 ± 3,4	24 ± 1	28,3	-	27,0	28,8	27,5	29,5
			72 ± 1	28,6	-	27,4	28,6	27,2	29,5
7	20 ± 0,6	60 ± 4,1	24 ± 1	28,0	-	26,6	27,9	25,6	29,0
			72 ± 1	28,3	-	27,6	27,5	25,2	29,0
8	40 ± 1,7	30 ± 8,6	24 ± 1	26,6	-	22,8	26,2	24,0	29,5
			72 ± 1	25,6	-	23,0	25,2	23,6	29,5

(*) Valores medios de dos determinaciones.

(**) Curado inicial a T = 20 °C ± 1 ; HR = 70 ± 5% (representativo del intervalo central del curado inicial en obra, en condiciones naturales, considerado por la norma).

Cuadro nº 4. Resultados de las Series curadas en cámara climática. Hormigón H-40
Resistencia a compresión a 28 días, MPa (f_c) (*)

SERIE	CURADO INICIAL			TIPO DE CURADO					
	T (°C)	HR (%)	TIEMPO (horas)	BB	B	GD	NF	NP	STD**
1	3 ± 0,4	80 ± 2,0	24 ± 1	40,9	39,2	-	40,8	39,9	43,0
			72 ± 1	42,5	42,0	-	41,8	41,2	43,0
2	10 ± 0,3	60 ± 2,5	24 ± 1	42,3	38,6	-	40,1	36,6	42,8
			72 ± 1	43,4	38,4	-	40,2	39,2	42,8
3	20 ± 0,6	60 ± 4,6	24 ± 1	41,8	42,6	-	42,0	39,6	43,0
			72 ± 1	42,4	42,0	-	41,6	40,4	43,0
4	30 ± 1,0	60 ± 4,2	24 ± 1	40,0	36,4	-	38,4	36,4	42,8
			72 ± 1	39,2	36,2	-	38,6	37,0	42,8
5	40 ± 1,2	30 ± 3,0	24 ± 1	32,8	30,4	-	33,8	31,4	42,6
			72 ± 1	30,8	28,7	-	33,4	30,9	42,6
6	3 ± 0,5	80 ± 3,4	24 ± 1	42,2	-	38,1	41,9	39,9	43,4
			72 ± 1	44,3	-	41,8	42,4	41,2	43,4
7	20 ± 0,6	60 ± 4,1	24 ± 1	42,0	-	38,4	41,4	38,7	43,0
			72 ± 1	41,8	-	40,5	40,7	41,2	43,0
8	40 ± 1,7	30 ± 8,6	24 ± 1	34,1	-	29,8	34,7	33,7	44,0
			72 ± 1	33,1	-	29,1	33,6	32,6	44,0

(*) Valores medios de dos determinaciones.

(**) Curado inicial a T = 20 °C ± 1 ; HR = 70 ± 5% (representativo del intervalo central del curado inicial en obra, en condiciones naturales, considerado por la norma).

Figura n° 2. Resultados de las Series curadas en cámara climática. Hormigón H-25
Figure 2. Results for series cured in a climatic chamber. H-25 concrete

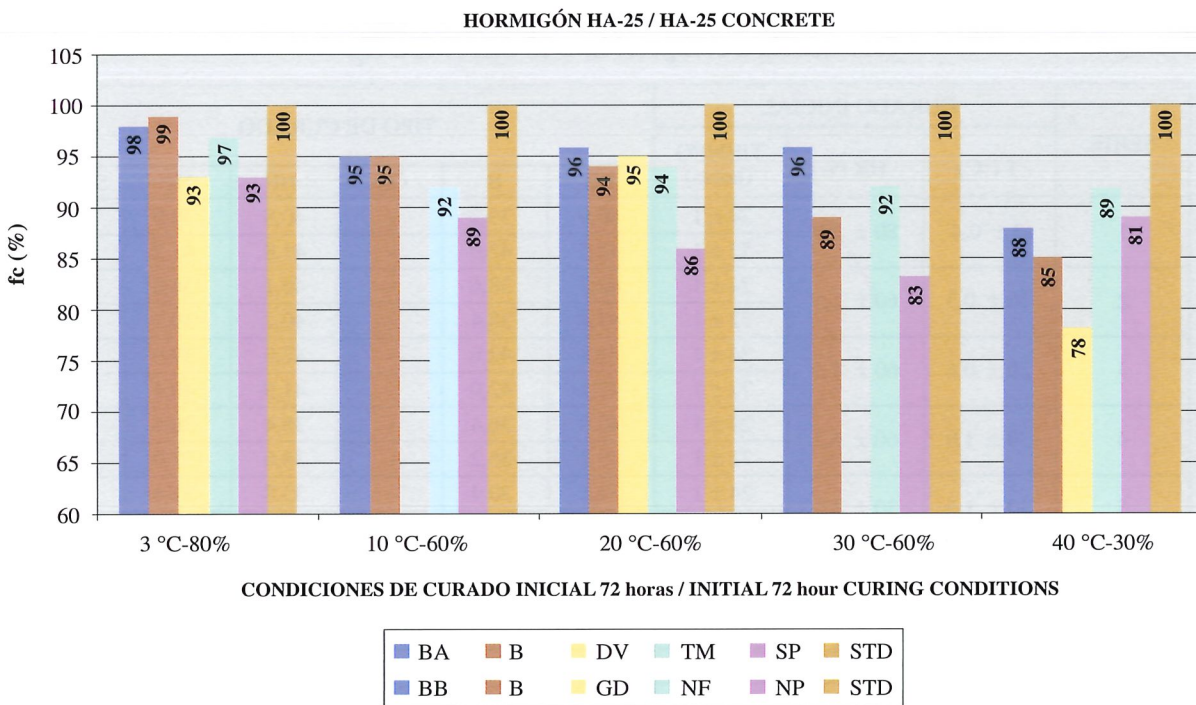
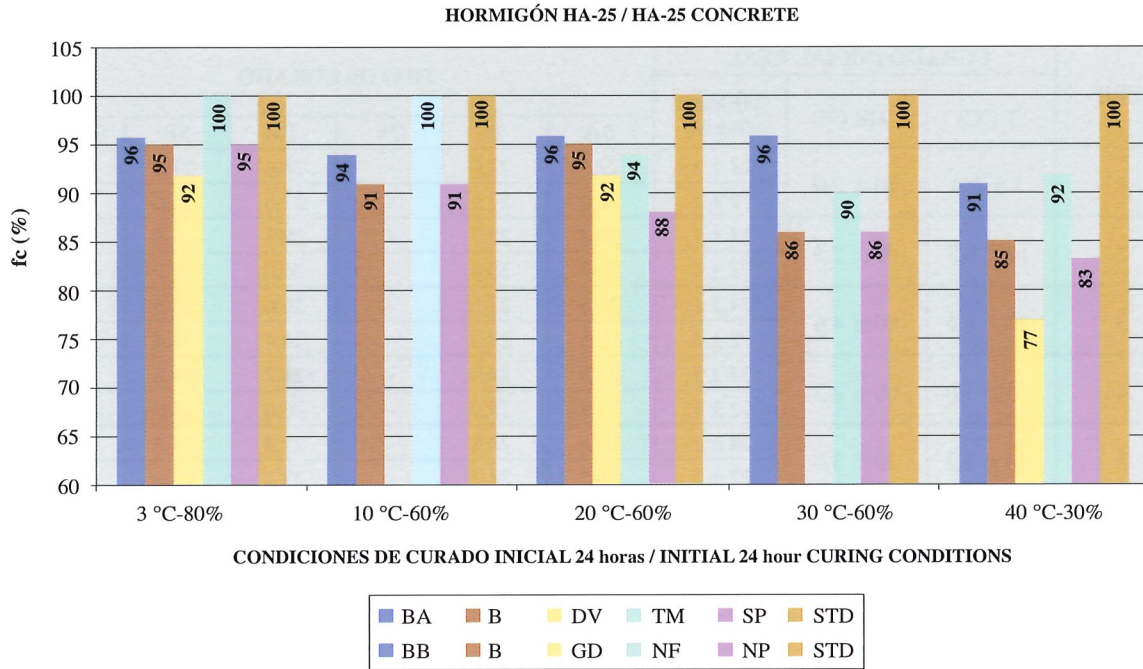
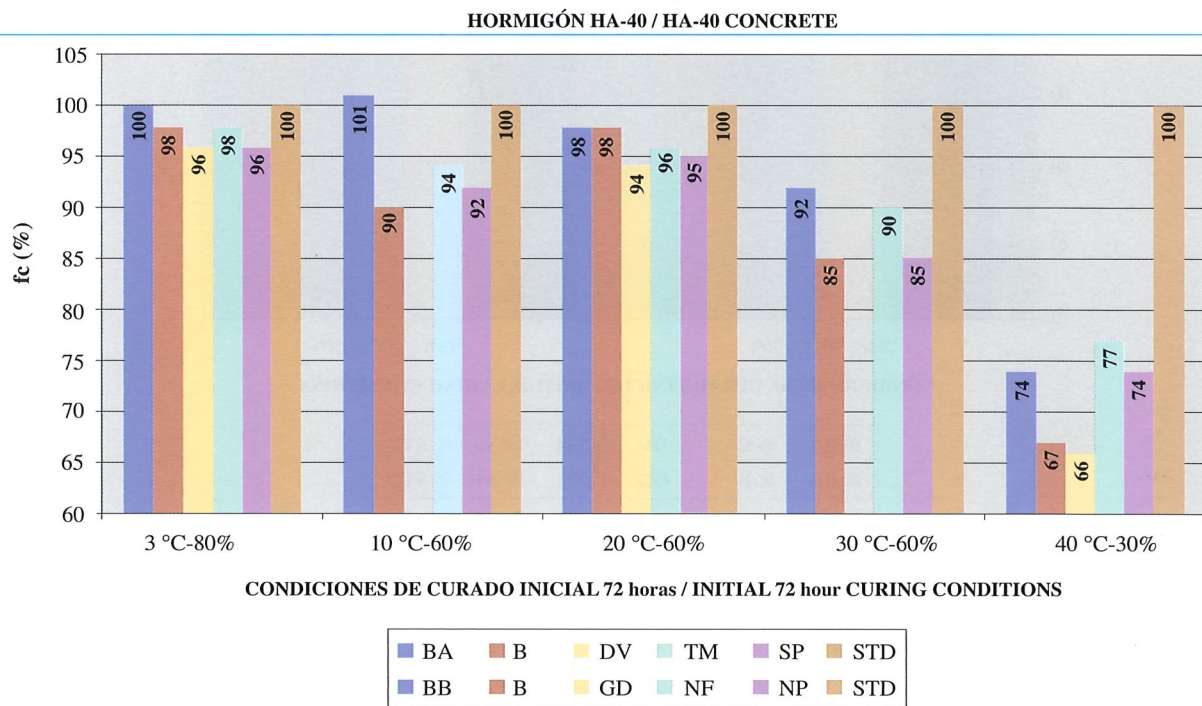
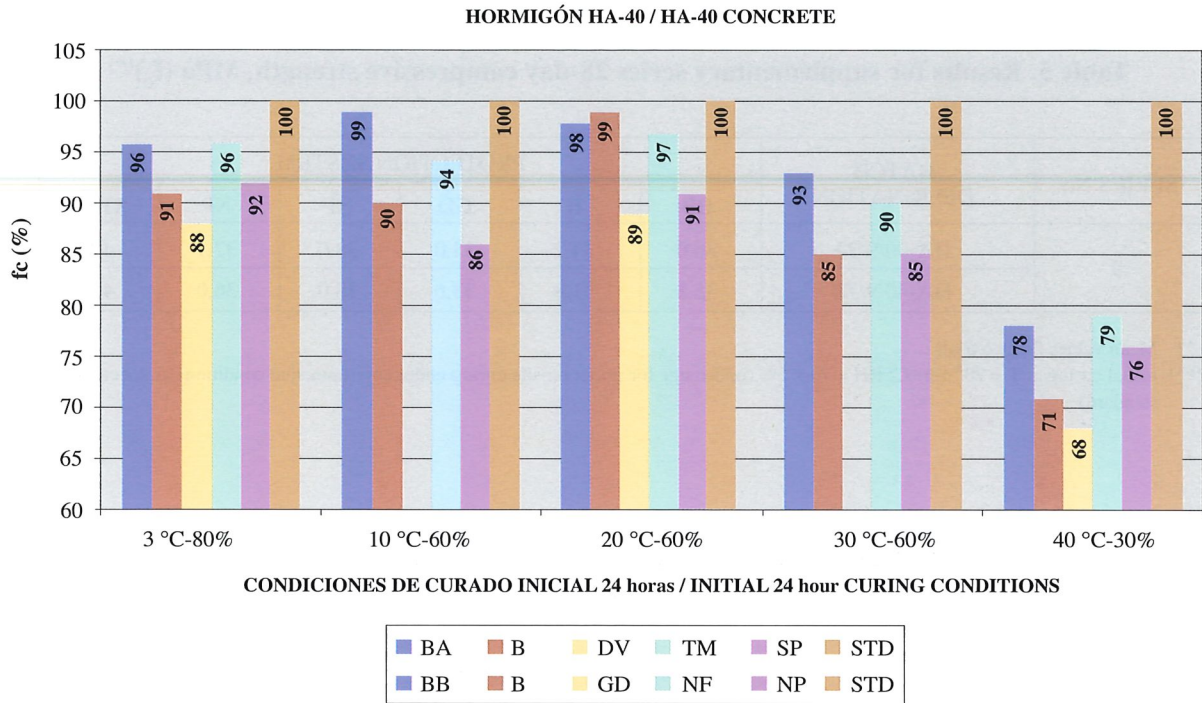


Figura n° 3. Resultados de las Series curadas en cámara climática. Hormigón H-40
Figure 3. Results for series cured in a climatic chamber. H-40 concrete



5.3. Supplementary series

The results obtained are shown in Table 5. Figure 4 gives the percentage values for each combination of variables.

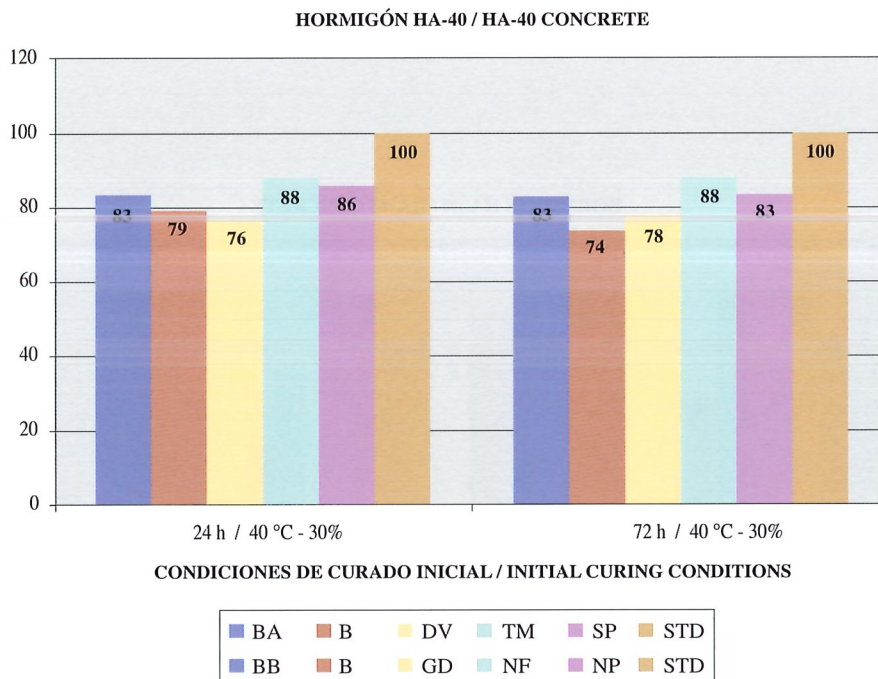
Table 5. Results for supplementary series 28-day compressive strength, MPa (f_c)^(*)

SERIES No.	BATCH DESIGNATION	PROTECTION SYSTEM					
		BB	B	GD	NF	NP	STD**
9	HA-40/9/72	36.0	34.2	33.0	38.0	37.1	43.2
	HA-40/9/72	35.8	31.8	33.6	38.0	36.0	43.2

(*) Mean values for two trials

(**) Initial curing at $T = 20^\circ \pm 1^\circ \text{C}$; $RH = 70 \pm 5\%$ (mid-range for initial on-site curing under environmental conditions as specified in the standard)

Figura n° 4. Resultados de la Serie Complementaria
Figure 4. Results for supplementary series



6. SUMMARY AND CONCLUSIONS

Pursuant to the initial test plan guidelines, the tests described above were conducted in INTEMAC's Central Laboratory under the supervision of the Institute's Committee. The chief conclusions drawn are summarized below.

5.3. Serie complementaria

En el Cuadro nº 5 se recogen los resultados obtenidos. En la Figura nº 4 pueden verse los valores porcentuales correspondientes a cada combinación de variables.

Cuadro nº 5. Resultados de la Serie Complementaria Resistencia a compresión a 28 días, MPa (f_c)^(*)

NÚMERO DE SERIE	DESIGNACIÓN DE LA AMASADA	SISTEMA DE PROTECCIÓN					
		BA	B	DV	TM	SP	STD(**)
9	HA-40/9/24	36,0	34,2	33,0	38,0	37,1	43,2
	HA-40/9/72	35,8	31,8	33,6	38,0	36,0	43,2

(*) Valores medios de dos determinaciones.

(**) Curado inicial a $T = 20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1$; $HR = 70 \pm 5\%$ (representativo del intervalo central del curado inicial en obra, en condiciones naturales, considerado por la norma).

6. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Siguiendo las directrices definidas en el plan inicial de ensayo y bajo la dirección del Comité de Investigación de INTEMAC, se han realizado en el Laboratorio Central del Instituto los ensayos cuyos resultados han sido presentados con anterioridad. A continuación se resumen las conclusiones más destacables obtenidas.

6.1. Series curadas a la intemperie

Los ensayos permiten valorar la influencia de unas condiciones climáticas extremas producidas en Madrid en el verano del año 2004. A partir del conjunto de resultados obtenidos, se pueden establecer las siguientes conclusiones en el rango de temperaturas altas, como fueron las registradas:

- El sistema de protección que representa con más precisión el curado inicial en cámara estándar es la “bolsa con arpillera” (BA), ofreciendo prácticamente los mismos valores que la cámara estándar (STD). Concretamente, para todos los casos investigados, los resultados varían entre el 104% y el 97%.
- La tela de Mahón (TM) presenta un intervalo más amplio, variando entre el 106% y el 91%.
- Efectuar el curado de las probetas sin protección alguna (SP) conduce a mejores resultados que utilizar como protección una bolsa de plástico (B) cerrada herméticamente pero sin arpillera, y ambos sistemas ofrecen peores resultados que la bolsa y arpillera (BA).
- El comportamiento más disperso se presenta con la utilización del disco de vidrio (DV), cuyos resultados varían entre el 103% y el 85%.

6.1. Series cured in the open air

The tests made it possible to evaluate the effect of the extreme climatic conditions that prevailed in Madrid in the summer of 2004. On the grounds of the results obtained, the following conclusions may be drawn for the high end of the temperature range, as recorded at that time:

- The protection system that mimics initial curing in a standard chamber most closely is the “plastic bag with burlap” (BB), with results that were nearly the same as found for the standard chamber (STD). Specifically, the results for all the cases studied ranged from 104% to 97%.
- Nankeen fabric (NF) ranged over a wider interval, from 106% to 91%.
- Curing the specimens with no protection whatsoever (NP) provided better results than using an air-tight plastic bag as protection, but neither system was as effective as the bag and burlap method.
- Use of a glass disk (GD) yielded the widest range of results, from 103% to 85%.

6.2. Series cured in a climatic chamber

The data for curing at 40 °C and 30% relative humidity are not analyzed in the following discussion, inasmuch as none of the systems produced satisfactory results and could therefore not be regarded to be valid under these conditions. It should nonetheless be stressed that there is no natural equivalent to a constant temperature of 40 °C in ours or neighbouring countries.

- Lengthening the time that the specimens were kept on site from 24 to 72 hours had little impact on the compressive strength values recorded under any of the climatic conditions studied; the broadest differences were found when the system used was a glass disk (GD), a bag with no burlap (B) or no protection (NP).
- Of all the systems analyzed, the protection method that performed best was a bag with moist burlap (BB). The strength value obtained for this method ranged from 101% to 92% of the control strength under all the test conditions.

The system providing next best protection was nankeen fabric (NF), with values ranging from 100% to 90%.

Viewing the test results, none of the other protection systems, the bag method (B), with values ranging from 99% to 85%, the no protection method (NP) (96%-83%) and the glass disk cover (96%-88%) (*), can be regarded to be suitable.

- At the three lower temperatures ($T_1 = 3$ °C; $T_2 = 10$ °C y $T_3 = 20$ °C), the most intense drop in strength detected in the best performing protection system (BB) was just 6%. An 8% decline was observed at a temperature of 30 °C. Poorer results were recorded for the other systems.

(*) No tests were run at $T = 30$ °C and $HR = 60$ %, but the results at $T = 40$ °C and $HR = 60$ % were found to be the least favourable in all cases.

6.2. Series curadas en cámara climática

En lo que sigue no se analizan los datos del curado a 40 °C y 30% de humedad relativa, dado que los datos obtenidos con todos los sistemas no son satisfactorios y no podrían considerarse válidos para estas condiciones. Hay que señalar que una temperatura de 40 °C constante no tiene una equivalencia con condiciones naturales que puedan darse en nuestro país o los países de nuestro entorno.

- En cualquiera de las condiciones climáticas consideradas, la prolongación del tiempo de permanencia de las probetas en obra de 24 a 72 horas tiene escasa influencia en los valores de resistencia a compresión determinados, detectándose las mayores diferencias cuando se emplea el disco de vidrio (DV), la bolsa sin arpillera (B) o sin protección (SP).
- En el conjunto de sistemas analizados, el método de protección que presenta un mejor comportamiento es el de la bolsa y arpillera humedecida (BA). Con este método el valor de resistencia obtenido se mantiene en el rango 101% - 92% en todas las condiciones ensayadas frente al curado patrón.

El siguiente sistema que proporciona mejor protección es el de la tela de Mahón (TM), cuyos valores se mantienen en el rango 100% - 90%.

Le siguen en eficacia el método de la bolsa (B) (99% - 85%), el de ausencia de protección (SP) (96% - 83%) y el disco de vidrio (DV) (96% - 88%)(*). Ninguno de estos métodos puede considerarse adecuado, a la vista de los resultados que ofrecen.

- En los tres estados de menor temperatura ($T_1 = 3\text{ °C}$; $T_2 = 10\text{ °C}$ y $T_3 = 20\text{ °C}$) la baja máxima de resistencia detectada por el mejor de los sistemas de protección (BA) no supera el 6%. Para la temperatura de 30 °C alcanza el 8%. Los otros sistemas ofrecen resultados peores.

6.3. Serie complementaria

Esta serie se realizó para ver la influencia de un cemento de menor categoría en la fabricación del hormigón HA-40 con las condiciones de curado inicial más calurosas ($T = 40\text{ °C}$ y $HR = 30\%$). En las series en cámara climática, en este caso, los dos sistemas que mejor funcionan ofrecían valores (en 24 horas de curado inicial) del 78% para la “bolsa de arpillera” (BA) y del 79% para la “tela de Mahón” (TM) con respecto al patrón, que en cualquier caso no podrían considerarse como aceptables a la vista de los resultados.

En la serie complementaria, aunque las bajas son menores, siguen siendo inaceptables, pues en las mismas condiciones ambos sistemas presentan valores del 83% (BA) y del 88% (TM) con respecto al patrón.

Aunque como ya se señaló anteriormente este curado representa unas condiciones climatológicas imposibles en nuestras latitudes, en las zonas donde pudieran ser representativas (algunos lugares de África, Asia y Sudamérica) es inevitable disponer cámaras de curado inicial en obra.

(*) No se ensayó a $T = 30\text{ °C}$ y $HR = 60\%$, pero los resultados con $T = 40\text{ °C}$ y $HR = 60\%$ son, en todos los casos, los más desfavorables de los ensayados.

6.3. Supplementary series

This series was used to determine the impact of a lower category of cement in the manufacture of concrete HA-40 at the warmest initial curing conditions ($T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $\text{RH} = 30\%$). In the climatic chamber series, the two systems that performed best had unacceptable strength values (after 24 hours of initial curing) of 78% - “burlap bag” (BB) - and 79% - “nankeen fabric (NF) – of the control strength.

Whilst this decline was less intense under the same conditions in the supplementary series, the values were likewise unacceptable: 83% (BB) and 88% (NF) of the control values.

Although as mentioned above such weather conditions are unprecedented at this latitude, in areas where they might be representative (certain places in Africa, Asia and South America), on-site initial curing chambers are imperative.

7. FINAL COMMENTS

The present study was prompted, among others, by the complaints lodged by certain concrete manufacturers in the summer of 2003 to the effect that builders did not have on-site curing chambers that would guarantee the 16 to 27 °C temperature range specified for specimen curing in the Spanish UNE standard. The decline in strength values detected that summer – which was unusually warm – was attributed to that fact.

Initially, research conducted by J. Fernández (1) in 1987 confirmed the results of US certain authors, specifically Meininger in 1983 (2), that found working at climatologically normal values outside this interval to have scant impact on concrete strength. This was further reinforced by the fact that the 16 to 27 °C range, originally laid down in US legislation, had not been changed for reasons of tradition. Nonetheless, several US experts consulted on the occasion of the present paper confirmed that given the wide variety of climates in that country, these limits are obviously often exceeded. And yet none of them felt that working outside the specified range was of any consequence, an assumption confirmed by the present study.

At around the same time as when the above complaints were lodged, a paper circulated in concrete certification institutions and control laboratories but never formally published concluded, with no substantiation, that the best method for protecting systems was nankeen fabric and that the use of plastic bags should be avoided. This finding is obviously countered by the results of the present study, according to which the best solution is a plastic bag with moist burlap. Nankeen fabric was found to be an acceptable but not a better method and is more vulnerable (may be accidentally removed; blown away by the wind and so on). Moreover, in some cases it leads to higher strengths than recorded for specimens cured in a standard chamber.

The only curing conditions under which nankeen fabric performed appreciably better than a plastic bag with moist burlap was at a constant temperature of 40 °C and RH of 30%, but the very steep declines recorded for both methods with respect to standard chamber curing made neither acceptable.

A constant temperature of 40 °C is equivalent to an environmental temperature ranging from a low of 30 °C and a high of 50 °C, approximately, conditions that are only found in specific spots in Asia, Africa and South America. In such situations on-site curing chambers would be necessary, since none of the methods studied here would be valid.

7. CONSIDERACIONES FINALES

Uno de los motivos que condujo a la presente investigación fueron las quejas, de algunos fabricantes de hormigón preparado en el verano del 2003, sobre el hecho de que los constructores no disponían en obra de cámaras de curado que garantizaran el rango de temperaturas de 16 a 27 °C durante el curado en obra, tal como prescribe la Norma UNE. A tal hecho atribuían las bajas de resistencia detectadas en aquel verano, que por otra parte fue altamente caluroso.

Ya inicialmente, las investigaciones realizadas por J. Fernández (1) en 1987 confirmaban otras investigaciones norteamericanas, Meininger 1983 (2), sobre la escasa trascendencia de sobrepasar ese margen en valores climatológicamente habituales. Abundaba en ello el que el citado margen de 16 a 27 °C procede de la normativa de Estados Unidos que, por motivos tradicionales, no se ha cambiado. Sin embargo, dada la diversidad de climas en Estados Unidos, es evidente que el margen es excedido habitualmente y las consultas previas que realizamos a diversos investigadores norteamericanos lo confirmaban, si bien nadie consideraba que exceder el citado margen tuviese importancia significativa alguna, como lo ha confirmado la presente investigación.

Por la misma época en que se produjeron las quejas mencionadas, circuló un documento en el ámbito de la Certificación de hormigones y de los Laboratorios de Control, no publicado de manera formal, que concluía sin justificación de las conclusiones que el mejor método era la tela de Mahón y rechazaba el empleo de bolsas de plástico, cosa claramente en contradicción con los resultados de la presente investigación, que indica que la solución mejor es la bolsa de plástico con arpillera húmeda y que la tela de Mahón constituye un procedimiento aceptable pero no mejor, si bien es un método muy vulnerable (accidentalmente puede ser retirada; viento, etc..) y en algunas ocasiones conduce a resistencias superiores a las obtenidas en la cámara estándar.

La única situación en que la tela de Mahón es sensiblemente mejor que la bolsa con arpillera, es para curado en cámara a temperatura constante de 40 °C y HR= 30%, pero ambos métodos conducen a bajas muy importantes respecto al curado en cámara estándar y por tanto ambos serían rechazables.

Una temperatura constante de 40 °C es equivalente a un ambiente oscilando entre 30 °C de mínima y 50 °C de máxima, aproximadamente y esas condiciones sólo se dan en puntos concretos de Asia, África y Sudamérica. En tales situaciones sería necesario disponer cámaras de curado en obra, ya que ninguno de los métodos investigados es válido.

8. REFERENCES

- (1) Fernández, J. “Estudio experimental de la influencia de las condiciones de curado inicial en la resistencia de probetas moldeadas de hormigón”. Hormigón y Acero, nº 164, 3^{er} trimestre 1987, pp. 129-145.
- (2) Meininger, R. “Effects of initial field curing on standard 28 day cylinder strength”, Cement, Concrete and Aggregates, CCAGDP. VOL. 5, N° 2, Winter 1983, pp. 137-141.
- (3) UNE 83301:1991 “Ensayos de hormigón. Fabricación y conservación de probetas”.
- (4) UNE 83303:1984 “Ensayos de hormigón. Refrentado de probetas con mortero de azufre”
- (5) UNE 83304:1984 “Ensayos de hormigón. Rotura por compresión”
- (6) EN 12390-1:2000 “Forma, medida y otras características de las probetas y moldes”.
- (7) EN 12390-2:2000 “Fabricación y curado de probetas para ensayo de resistencia”
- (8) EN 12390-3:2000 “Determinación de la resistencia a compresión de probetas”
- (9) ASTM C 192/C 192M-02 “Practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory”
- (10) ASTM C-31/C 31M-03a. “Standard method of making and curing concrete test specimens in the field”
- (11) BS 1881. Part 3. “Methods of making and curing test specimens”
- (12) BS 1881. Part 1. “Methods of sampling fresh concrete”
- (13) RILEM CPC-3. “Making and curing of concrete specimens”
- (14) DIN 1048. “Ensayos de hormigón”

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Fernández, J. “Estudio experimental de la influencia de las condiciones de curado inicial en la resistencia de probetas moldeadas de hormigón”. Hormigón y Acero, nº 164, 3^{er} trimestre 1987, pp. 129-145.
- (2) Meininger, R. “Effects of inicial field curing on standard 28 day cylinder strength”, Cement, Concrete and Aggregates, CCAGDP. VOL. 5, N° 2, Winter 1983, pp. 137-141.
- (3) UNE 83301:1991 “Ensayos de hormigón. Fabricación y conservación de probetas”.
- (4) UNE 83303:1984 “Ensayos de hormigón. Refrentado de probetas con mortero de azufre”
- (5) UNE 83304:1984 “Ensayos de hormigón. Rotura por compresión”
- (6) EN 12390-1:2000 “Forma, medida y otras características de las probetas y moldes”.
- (7) EN 12390-2:2000 “Fabricación y curado de probetas para ensayo de resistencia”
- (8) EN 12390-3:2000 “Determinación de la resistencia a compresión de probetas”
- (9) ASTM C 192/C 192M-02 “Practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory”
- (10) ASTM C-31/C 31M-03a. “Standard method of making and curing concrete test specimens in the field”
- (11) BS 1881. Part 3. “Methods of making and curing test specimens”
- (12) BS 1881. Part 1. “Methods of sampling fresh concrete”
- (13) RILEM CPC-3. “Making and curing of concrete specimens”
- (14) DIN 1048. “Ensayos de hormigón”

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 2005: 27 €



ULTIMOS TITULOS PUBLICADOS

Cuaderno N° 57

"Influencia del tipo de refrentado y de la clase de probeta: cúbica o cilíndrica, en la medida de la resistencia del hormigón".

Autores: CLAUDIA PATRICIA GARAVITO; J. CALAVERA RUIZ.

Cuaderno N° 58

"Sistema de posicionamiento global. Fundamentos y aplicación en obras de ingeniería".

Autores: P. VALDÉS FDEZ. DE ALARCÓN; E. LÓPEZ-CANTÍ CASAS.

CUADERNOS DE PROXIMA APARICION

Cuaderno N° 59

"Pruebas de carga de recepción de las estructuras de la circunvalación de Madrid M-50 y las radiales R-3 y R-5".

Autor: J. LEY URZAIZ.

Cuaderno N° 60

"Recintos y huecos para instalaciones en edificios de viviendas".

Autores: G. MARTÍ ESTÉVEZ; F. VALENCIANO CARLES.

Consulte lista completa de la Colección

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° 5

"Mantenimiento y reparación de paramentos de hormigón".

Autores: R. Barrios Corpa, C. Beteta Cejudo, E. Díaz Heredia, Prof. J. Fernández Gómez, J. M^a. Rodríguez Romero.

Precio de la Monografía 33 €

MONOGRAFÍA INTEMAC N° 6

"Patología, técnicas de intervención y limpieza de fábricas de ladrillo".

Autores: P. López Sánchez, J. M^a. Luzón Cánovas, I. Martínez Pérez, A. Muñoz Mesto, A. Fernández Sáez.

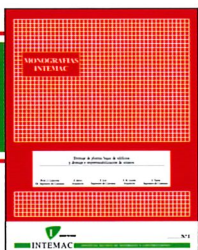
Precio de la Monografía 33 €

MONOGRAFÍA INTEMAC N° 7

"Estructuras de madera".

Autores: J. M^a. Izquierdo y Bernaldo de Quirós.

Precio de la Monografía 33 €



NOTAS DE INFORMACIÓN TÉCNICA NIT

En INTEMAC se producen, con frecuencia, notas de información sobre temas que pensamos que no solamente tienen una utilidad interna sino que pueden resultar interesantes para muchos Técnicos de la Construcción.

NOTAS DE INFORMACIÓN TÉCNICA NIT 1 (05)

"Estudio experimental sobre la influencia de distintos procedimientos de curado inicial en obra, en la resistencia a compresión de probetas de hormigón".

Autores: J. Calavera Ruiz, J. Fernández Gómez, G. González Isabel, J. Ley Urzaiz

Edición bilingüe (español e inglés) en color.

Precio 11 €



NOTAS DE INFORMACIÓN TÉCNICA NIT 2 (05)

"El Incendio del Edificio Windsor de Madrid. Investigación del comportamiento al fuego y de la capacidad resistente residual de la estructura tras el incendio".

Autores: J. Calavera Ruiz, E. González Valle, J. Díaz Lozano, J. L. Cano Muñoz, J. Fernández Gómez, J. M^a. Izquierdo y Bernaldo de Quirós, J. Ley Urzaiz.

Edición bilingüe (español e inglés) en color.

Precio 15,5 €

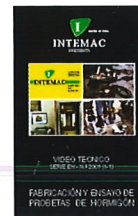
VÍDEOS TÉCNICOS

Muestreo de hormigón fresco. Fabricación y ensayo de probetas de hormigón.

N° 2001 (1-1)

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 al laboratorio, curado en cámara, refrentado y ensayo a compresión.

Esta nueva versión del vídeo 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 - 25 €



Fabricación y control de calidad de barras y mallas para hormigón armado.

N° 2002 (1-2)

Muestra el proceso de laminación en fábrica de las barras y alambres, la fabricación de mallas y los ensayos de tracción, doblado, arrancamiento de nudos y determinación de las características geométricas del corrugado y el ensayo de Beam-test para la determinación de las características de adherencia. 30 minutos - 25 €



Compresión centrada en hormigón armado.

N° 2002 (1-4)

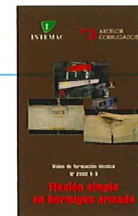
Contempla la rotura de siete pilares a escala real, variando resistencias de hormigón desde 25 N/mm² a 100N/mm², las cuantías de armaduras, la separación de estribos y la velocidad de carga conectando todo ello con las fórmulas de cálculo. 35 minutos - 25 €



Flexión simple en hormigón armado.

N° 2002 (1-3)

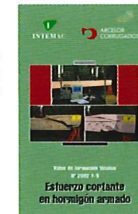
Incluye el ensayo a rotura de cinco vigas a escala real, con diferentes cuantías y diferentes desarrollos de adherencia conectando todo ello con las fórmulas de cálculo. 35 minutos - 25 €



Esfuerzo cortante en hormigón armado.

N° 2002 (1-5)

Muestra el ensayo a rotura de cinco vigas a escala real, con diferentes formas de rotura por corte (Tracción diagonal, corte flexión, compresión diagonal, etc.) conectando todo ello con las fórmulas de cálculo. 25 minutos - 25 €



BOLETÍN BIBLIOGRÁFICO

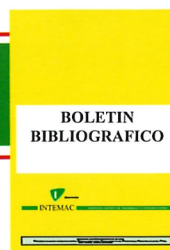
INTEMAC viene realizando desde su fundación un BOLETIN BIBLIOGRAFICO para uso interno, que ofrece, en una lectura rápida, un panorama general de todas las publicaciones técnicas disponibles. Desde 1991, esta publicación bimestral, ha sido puesta a disposición del público.

EL BOLETIN BIBLIOGRAFICO incluye:

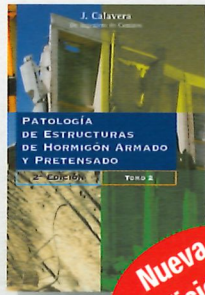
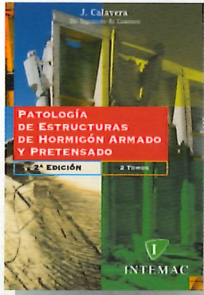
Fotocopia del índice y de los resúmenes de los artículos contenidos en las 105 revistas técnicas que se reciben en el Instituto referentes a los campos de la Edificación, Instalaciones, Obras Públicas y Urbanismo. Una sección de Normativa reciente, nacional y extranjera. Secciones de Bibliografía y Cursos.

Una sección de Congresos, Reuniones Técnicas y Ferias de próxima celebración en todo el mundo.

Tarifa de suscripción anual (6 números) 152 €



PUBLICACIONES

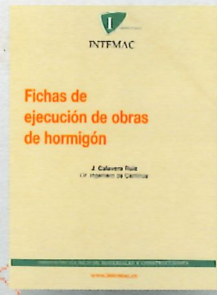


Nueva edición

Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado 2ª edición (2 tomos)

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 120 €

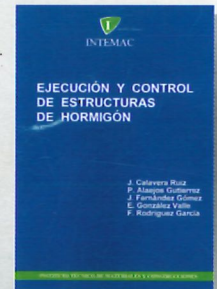


Nueva publicación

Fichas de ejecución de obras de hormigón

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 30 €



Nueva publicación

Ejecución y control de estructuras de hormigón

J. Calavera, P. Alaejos Gutiérrez, J. Fernández Gómez, E. González Valle, F. Rodríguez García

Precio: 100 €



Manual para la redacción de informes técnicos en construcción

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 72 €



Manual de Ferralla 3ª edición

J. Calavera, E. González Valle, J. Fernández Gómez, F. Valenciano

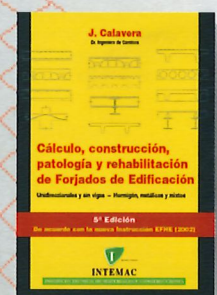
Precio: 38 €



Proyecto de estructuras de hormigón con armaduras industrializadas

J. Calavera, E. González Valle, J. Fernández Gómez, F. Valenciano

Precio: 47 €



Cálculo, construcción, patología y rehabilitación de forjados de edificación 5ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 100 €



Evaluación de la capacidad resistente de estructuras de hormigón

J. Fernández Gómez, G. González Isabel, F. Hostalet Alba, J. Mª Izquierdo, J. Ley Urzaiz

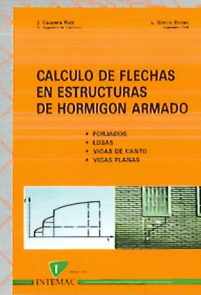
Precio: 58 €



Muros de contención y muros de sótano 3ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

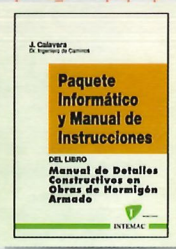
Precio: 71 €



Cálculo de flechas en estructuras de hormigón armado

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos), L. García Dutari (Ingeniero Civil)

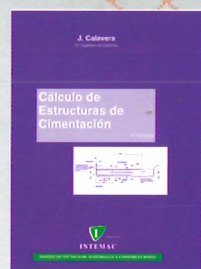
Precio: 50 €



Manual de detalles constructivos en obras del hormigón armado

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Libro: 112 € - Paquete informático: 198 €



Cálculo de estructuras de cimentación 4ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 71 €



Hormigón de alta resistencia

G. González-Isabel (Ingeniero Técnico de O. P.)

Precio: 44 €



Tecnología y propiedades mecánicas de hormigón

A. Delibes (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 54 €



INTEMAC

Mario Roso de Luna, 29, Ed. 12 - 28022 MADRID

TEL.: 91 327 74 00 • FAX: 91 327 74 20

e-mail: intemac@intemac.es

www.intemac.es