

CUADERNOS INTEMAC

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

**Effect of capping methods and specimen shape, cubic or cylindrical,
in concrete strength measurements**

Claudia Patricia Garavito
Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos

Prof. José Calavera Ruiz
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos



METIRE UT SCIAS

INTEMAC

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

N.º 57

1.º TRIMESTRE '05



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

INFLUENCIA DEL TIPO DE REFRENTADO Y DE LA CLASE DE PROBETA: CÚBICA O CILÍNDRICA, EN LA MEDIDA DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN ¹

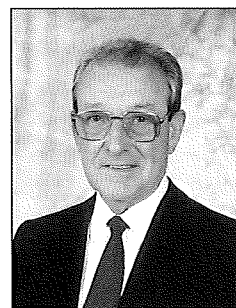
EFFECT OF CAPPING METHODS AND SPECIMEN SHAPE, CUBIC OR CYLINDRICAL, IN CONCRETE STRENGTH MEASUREMENTS ¹



Claudia Patricia Garavito

Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos

PhD., Civil Engineering



Prof. José Calavera Ruiz

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

PhD., Civil Engineering

¹ Este trabajo es un resumen de la tesis doctoral realizado por C.P. Garavito bajo la dirección de J. Calavera en la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la U.P.M. en 2004. El trabajo fue realizado con una Beca de INTEMAC y los ensayos fueron realizados en su Laboratorio Central.

¹ This article is a summary of a doctor's thesis written by C.P. Garavito under the supervision of J. Calavera in the School of Civil Engineering, Polytechnic University of Madrid in 2004. The study was conducted under a grant from INTEMAC and the tests were performed in its Central Laboratory.

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 1133-9365

Depósito legal: M-9893-2005

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

CONTENTS

- 1. INTRODUCTION**
- 2. DIFFERENT CAPPING METHODS
IN USE TODAY**
- 3. RESEARCH OUTLINE**
 - 3.1. PURPOSE**
 - 3.2. EXPERIMENTAL MODEL**
 - 3.2.1. CONCRETE CYLINDERS**
 - 3.2.2. CONCRETE CUBES**
 - 3.3. CAPPING METHODS USED IN
THE STUDY**
 - 3.3.1. GRINDING**
 - 3.3.2. SULPHUR MORTAR CAPPING**

ÍNDICE

- 1. INTRODUCCIÓN**
- 2. DIFERENTES MÉTODOS DE
REFRENTADO QUE EXISTEN
HOY EN DÍA**
- 3. PLANTEAMIENTO DE LA
INVESTIGACIÓN**
 - 3.1. OBJETIVO**
 - 3.2. DEFINICIÓN DEL MODELO
EXPERIMENTAL**
 - 3.2.1. PROBETAS CILÍNDRICAS**
 - 3.2.2. PROBETAS CÚBICAS**
 - 3.3. MÉTODOS DE REFRENTADO
EMPLEADOS EN LA
INVESTIGACIÓN**
 - 3.3.1. PULIDO**
 - 3.3.2. REFRENTADO CON MORTERO
DE AZUFRE**

3.3.3. ALUMINOUS CEMENT PASTE
CAPPING

3.3.4. DANISH CAPPING METHOD

3.4. COMPRESSION TEST INSTRUMENTS

4. RESULTS

4.1. CONCRETE CYLINDERS

4.1.1. EFFECT OF CAPPING METHOD

4.1.2. TESTING MACHINE-INDUCED PRESSURE
DISTRIBUTION BY CAPPING METHOD

4.1.2.1. GRINDING

4.1.2.2. THREE-MM SULPHUR MORTAR

4.1.2.3. EIGHT-MM SULPHUR MORTAR

4.1.2.4. THREE-MM HIGH STRENGTH
SULPHUR MORTAR

3.3.3. REFRENTADO CON PASTA DE
CEMENTO ALUMINOSO

3.3.4. REFRENTADO POR EL
MÉTODO DANÉS

3.4. INSTRUMENTACIÓN EMPLEADA PARA
ADQUIRIR LA DISTRIBUCIÓN DE
PRESIONES EN EL ENSAYO
A COMPRESIÓN DE LAS PROBETAS
CILÍNDRICAS Y CÚBICAS

4. RESULTADOS OBTENIDOS

4.1. ANÁLISIS SOBRE PROBETAS
CILÍNDRICAS

4.1.1. INFLUENCIA DEL MÉTODO DE
REFRENTADO

4.1.2. DISTRIBUCIÓN DE PRESIONES
TRANSMITIDA POR LA PRENSA
A LAS PROBETAS DE HORMIGÓN
SEGÚN EL MÉTODO DE
REFRENTADO EMPLEADO

4.1.2.1. PULIDO

4.1.2.2. MORTERO DE AZUFRE DE
3 mm DE ESPESOR

4.1.2.3. MORTERO DE AZUFRE DE
8 mm DE ESPESOR

4.1.2.4. MORTERO DE AZUFRE
DE ALTA RESISTENCIA
(e = 3 mm)

4.1.2.5. THREE-MM ALUMINOUS
CEMENT PASTE

4.1.2.6. DANISH METHOD

4.1.3. GRINDING AS THE STANDARD

CAPPING METHOD

4.1.3.1. APPARATUS

4.1.3.2. GRINDING TIME

4.1.3.3. FINISH SURFACE TOLERANCES

4.2. CONCRETE CUBES

4.2.1. UNIT STRAIN IN CONCRETE CUBES
TESTED ALONG THE AXIS PERPENDICULAR
TO THE DIRECTION OF CONCRETE
PLACEMENT

5. CONCLUSIONS

6. REFERENCES

4.1.2.5. PASTA DE CEMENTO
ALUMINOSO

(espesor = 3 mm)

4.1.2.6. MÉTODO DANÉS

4.1.3. EL PULIDO COMO MÉTODO DE

REFRENTADO DE REFERENCIA

4.1.3.1. EL EQUIPO

4.1.3.2. TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL
MÉTODO

4.1.3.3. TOLERANCIAS DE LA CARA
DE ACABADO

4.2. ANÁLISIS DE PROBETAS CÚBICAS

4.2.1. ACORTAMIENTOS UNITARIOS EN LA
PROBETA CÚBICA ENSAYADA
EN LA DIRECCIÓN PERPENDICULAR
AL HORMIGONADO

5. CONCLUSIONES

6. BIBLIOGRAFÍA

ABSTRACT

The research setted out on this report, is based on the analysis of the influence wich exert six different capping methods using cylindrical cores from three different kinds of concrete, bearing in mind not only the values obtained on the compression test, but also the pressures distribution that the press exerced over the face of the capped core on each particular case using a very modern software.

1. INTRODUCTION

Compressive strength is regarded to be the most important structural property of concrete for the ease with which it can be determined and, possibly, because many other concrete characteristics, such as mechanical properties, volumetric stability, tensile strength and strain modulus, can be related to this parameter.

According to **TORRENTI and BOULAY (12)** as well as many other researchers, concrete compression testing is a standard and straightforward procedure that poses no particular difficulties. But with the eruption of new testing machines on the market, the discussion around a Europe-wide regulation (cubic or cylindrical specimen) and the evolution of concrete strength over time, new questions arise, such as: What sort of testing machine should be used for the different compression tests? What type of specimen is most appropriate for the test, cubic or cylindrical? If a cylindrical specimen is used, which capping method is most suitable and which yields the most reliable test results? and so on.

This survey aims to address these issues, taking account of the studies conducted on the subject to date and using the technology available today to analyze the effect of three essential factors on concrete specimen testing:

- 1º.- The capping material on the stress distribution across the surface of cylindrical specimens in contact with the upper platen of the testing machine.
- 2º.- The type of rupture obtained.
- 3º.- Testing direction with respect to the concrete pouring direction when cubic specimens are adopted as a pattern for comparison with cylindrical specimens.

2. DIFFERENT CAPPING METHODS IN USE TODAY

Capping is the operation used to correct flatness and/or inter-face parallelism flaws to ensure uniform stress distribution when the surface of the specimen is loaded and to obtain representative compression test results for assessing compliance with strength and quality control requirements.

The concentration of compression loading-induce stress due to possible flatness irregularities on the specimen surface gives rise to either lower strength readings or a scattering of results. Such strength reduction is greater when the surface is convex than when it is concave due to the high concentration of stress generated in the former case.

RESUMEN

El estudio que se expone en este trabajo se basa en el análisis de la influencia que seis diferentes materiales de refrentado ejercen sobre probetas cilíndricas de tres gamas distintas de hormigón, teniendo en cuenta no solamente los valores obtenidos en el ensayo de rotura por compresión, sino también la distribución de presiones que la prensa ejerce sobre la cara de la probeta refrentada para cada caso en particular empleando un novísimo sistema informático.

1. INTRODUCCIÓN

La **resistencia a compresión** se considera la propiedad estructural más importante del hormigón debido a la facilidad para ser determinada y, posiblemente, porque muchas otras propiedades del hormigón se pueden relacionar con su resistencia, por ejemplo, sus propiedades mecánicas, la estabilidad volumétrica, la resistencia a tracción y el módulo de deformación.

De acuerdo con TORRENTI y BOULAY (12) y muchos otros investigadores, el ensayo a compresión del hormigón es un ensayo normalizado, y que no supone ningún tipo de problema en particular, pero con la incursión en el mercado de nuevas prensas de ensayo, de la discusión de una reglamentación europea (probeta cúbica o cilíndrica) o de la evolución de las resistencias del hormigón con el paso del tiempo, surgen preguntas como: ¿Qué tipo de máquina de ensayo emplear para las diferentes resistencias a compresión?, ¿Qué tipo de probeta es más apropiada para el ensayo, cúbica o cilíndrica?, ¿Si se emplea probeta cilíndrica, cuál es el método de refrentado más idóneo para unos resultados confiables de ensayo?, entre otras.

Por tales motivos, se ha decidido realizar esta investigación considerando los estudios sobre el tema desarrollados a lo largo del tiempo y empleando la tecnología existente hoy en día para analizar cómo influyen tres factores fundamentales a la hora de ensayar probetas de hormigón:

- 1º.- El material de refrentado en la distribución de tensiones sobre la cara de probetas cilíndricas en contacto con el plato superior de la prensa.
- 2º.- El tipo de rotura obtenido.
- 3º.- La dirección de ensayo con respecto a la dirección del hormigonado en el caso de adoptar la probeta cúbica como patrón de comparación con la probeta cilíndrica.

2. DIFERENTES MÉTODOS DE REFRENTADO QUE EXISTEN HOY EN DÍA

El refrentado es la operación que tiene por objeto corregir defectos de planeidad y/o paralelismo entre las caras con el fin de obtener una uniformidad en la distribución de las tensiones durante la aplicación de la carga sobre la superficie de la probeta, y obtener así resultados representativos del ensayo a compresión, para evaluar el cumplimiento de los requerimientos de resistencia y control de calidad.

Las irregularidades de planeidad que la cara de la probeta pueda presentar originan una concentración de tensiones en el momento de la compresión, ocasionando bien disminución en la resistencia, o bien dispersión en los resultados. Si la superficie final de la probeta es convexa, se produce una mayor reducción que cuando la superficie sea cóncava, ya que se alcanzan altas concentraciones de tensiones.

Declines in strength measurements are even more visible and of greater consequence in high-strength concrete, since the friability of these materials, which reduces their capacity to redistribute point load stress originating along discontinuities between the test specimen and the test machine platen, makes them more sensitive to the effects of surface flatness flaws.

To prevent the appearance of the strength reductions referred to in the preceding paragraph, standard ASTM.C.39 (1) provides that the surface in contact with the testing machine platens should not have irregularities of over 0.05 mm and that where this condition is not met, the specimens must be ground or capped in accordance with standards ASTM C-617 (2) or ASTM C-1231.

Spanish standard UNE 83.303.84 (8) stipulates that after capping, the specimen should not have surface irregularities greater than 0.1 mm and the planes of the two surfaces must be perpendicular to the centreline to a tolerance of 0.5°.

Different capping methods are used to meet the above flatness and perpendicularity requirements and, according to DELIBES and GONZÁLEZ ISABEL (5):

"The requirements that any concrete specimen capping material or system should meet are generally well known and can be summarized as follows:

- Concrete specimens must be capped to comply with the existing tolerances for flatness and perpendicularity to the centre line.
- The capping thickness must be as small as possible, and no greater than the maximum stipulated in the standards in effect.
- The capping material must be stronger than the concrete in the specimen.
- As a general rule, capping material dosing and placing are performed to the specifications laid down in the standards in effect in each country

By way of example, Table 1 summarizes the specifications laid down in 4 different standards.

There are several capping methods in use today: grinding, sulphur mortar, cement paste, cement mortar, neoprene, sandbox and high-strength plaster pastes, among others; this diversity is a result of the pursuit of an alternative to grinding, for the cost and time involved in this process, and to sulphur mortar, for the lower strength values and greater scattering attributed to this method, primarily when testing high-strength concrete, as well as for the environmental problems inherent in its use.

Esa reducción en la medida de resistencia es aún más notoria e importante en hormigones de alta resistencia, ya que son más sensibles a los efectos que en el ensayo de rotura a compresión se derivan de defectos de planeidad en la superficie de las caras en contacto con los platos de la prensa, debido a la friabilidad que presentan y que reduce su capacidad de redistribuir concentraciones puntuales de tensión originadas en puntos en los que se manifiestan discontinuidades de contacto entre la probeta de ensayo y los platos de la prensa.

Para evitar estas disminuciones de resistencia a las que se hace mención en el párrafo anterior, la norma ASTM.C.39 (1) menciona que la cara que se encuentre en contacto con los platos de la prensa de ensayo no debe presentar en su superficie irregularidades superiores a 0.05 mm, y en caso de que no se cumpla esta tolerancia, las probetas serán pulidas o refrentadas de acuerdo con las normas ASTM C-617 (2) ó ASTM C-1231.

La norma española UNE 83.303.84 (8) establece que una vez realizado el refrentado de la probeta, ésta no debe presentar en su superficie irregularidades superiores a 0.1 mm y los planos de las dos caras serán perpendiculares al eje con una tolerancia de 0.5°.

Para cumplir entonces con dichas tolerancias de planeidad y perpendicularidad al eje a las que se hace referencia en los párrafos anteriores, se recurre a los diferentes métodos de refrentado que, de acuerdo con DELIBES y GONZÁLEZ ISABEL (5), se tiene:

“Los factores comunes en que deben coincidir todos los materiales o sistemas de refrentado de probetas de hormigón, son de conocimiento casi general y pueden resumirse en los puntos siguientes:

- Existen tolerancias relativas a la planeidad y perpendicularidad al eje de las probetas de hormigón, que para su cumplimiento hacen necesario el refrentado de la cara de acabado.
- El espesor del refrentado debe ser mínimo, estando acotado superiormente por las normas en vigor.
- La resistencia del material de refrentado debe ser superior a la del hormigón de la probeta.
- La dosificación de materiales de refrentado y su ejecución se siguen, en líneas generales, con las especificaciones de la normativa de cada país.”

En el Cuadro Nº 1 puede verse un ejemplo de 4 normativas diferentes que recogen dichos factores de forma general.

Es evidente que hoy en día existen numerosos métodos de refrentado: Pulido, mortero de azufre, pasta de cemento, mortero de cemento, neopreno, la caja de arena, pastas de yeso de alta resistencia, entre otros, y que han surgido como alternativa al pulido por el coste y tiempo que éste conlleva, y al mortero de azufre no solamente por las bajas de resistencia y dispersión en los resultados que se le adjudican principalmente en los hormigones de alta resistencia, sino también por los problemas medioambientales a que da lugar.

Country/standard	Specimen characteristics that mandate capping	Capping method	Thickness allowed
Spain	<ul style="list-style-type: none"> • UNE 83.303.84 Surface irregularities > 0.1 mm Perpendicularity > 1.5° 	<ul style="list-style-type: none"> • UNE 83.304.84 Sulphur mortar After capping, specimen must conform to the following tolerances Irregularities under 0.1 mm and perpendicularity < 0.5° 	<ul style="list-style-type: none"> • UNE 83.304.84 3 mm and 8 mm (Minimum average thickness of capped surface and maximum thickness at any point on surface, respectively)
United States	<ul style="list-style-type: none"> • ASTM C-39 Surface irregularities > 0.05 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • ASTM C-617-98 Pure cement paste, high-strength plaster, sulphur mortar and material not bonded to the specimen surface (such as neoprene or sandbox) 	<ul style="list-style-type: none"> • ASTM C-617-98 1.5 mm * < th < 3 mm
European standards (Entered into force on 01-01-04)	<ul style="list-style-type: none"> • UNE EN 12390-1 - Flatness: > ± 0.0006 d (mm) - Perpendicularity between generatrices > ± 0.5 mm - Height tolerance: > ± 5% 	<ul style="list-style-type: none"> • UNE EN 12390-3 Grinding, aluminous cement mortar, sulphur and sandbox mix 	<ul style="list-style-type: none"> • UNE EN 12390-3 th ≤ 5 mm, small deviations allowed
RILEM Technical recommendations for the testing and use of construction materials		<ul style="list-style-type: none"> • CPC 3.2 $f_{c,MR} < 25\% f_{c,concrete}$: Grinding. Sulphur mortar, high-strength plaster paste, aluminous cement mortar, Portland cement mortar. After capping, specimen must conform to the following tolerances Irregularities < 0.05% d and perpendicularity < 0.5° 	<ul style="list-style-type: none"> • CPC 3.2 4 mm < th < 8 mm th_{medio} = 3 mm

Notes:

$f_{c,MR}$: Compressive strength of capping material.
Grinding is the reference method for all intents and purposes.

Table 1. Conditions requiring concrete specimen capping under four different standards.

* According to different authors, thicknesses of under 1.5 mm are not recommended, not only because air bubbles may form between the capping material and the surface of the specimen, but also because such thin covers may crack when loaded.

Further to the above, the European standard limits the use of sulphur mortar as a capping material to 50 MPa and it, like the RILEM standard, requires both sides of the specimen to be capped. This is questioned by many researchers, the authors of the present article among them.

ACI recently published its "Guide to Quality Control and Testing of High Strength Concrete", which allows sulphur mortar as a capping material for strengths of up to 70 MPa.

Normativa del país	Las probetas que presenten las siguientes condiciones deben refrentarse	Métodos de refrentado	Espesor permitido (e)
España	<ul style="list-style-type: none"> • UNE 83.303.84 Irregularidades en superficie > 0,1 mm Perpendicularidad > 1.5° 	<ul style="list-style-type: none"> • UNE 83.304.84 Mortero de azufre una vez refrentada la probeta se deben de cumplir las siguientes tolerancias: irregularidades menores a 0,1 mm y la perpendicularidad < 0,5° 	<ul style="list-style-type: none"> • UNE 83.304.84 3 mm y 8 mm (Mínimo espesor medio de la cara refrentada y el espesor máximo en cualquier punto de la cara respectivamente)
Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> • ASTM C-39 Irregularidades en la superficie > 0,05 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • ASTM C-617-98 Pasta de cemento pura, Yeso de alta resistencia, Mortero de azufre y Materiales no adheridos a la cara de la probeta (tales como el Neopreno o la Caja de Arena) 	<ul style="list-style-type: none"> • ASTM C-617-98 1,5 1,5 mm * < e < 3 mm
Normativa Europea (Ha entrado en vigor el 01-01-04)	<ul style="list-style-type: none"> • UNE EN 12390-1 - Planeidad: > ± 0,0006 d (mm) - Perpendicularidad entre generatrices > ± 0,5 mm - Tolerancia de Altura > ± 5 % 	<ul style="list-style-type: none"> • UNE EN 12390-3 Pulido, Mortero de cemento aluminoso, Mezcla de azufre y caja de arena 	<ul style="list-style-type: none"> • UNE EN 12390-3 e ≤ 5 mm, se permiten pequeñas desviaciones
RILEM Technical recommendations for the testing and use of construction materials		<ul style="list-style-type: none"> • CPC 3.2 $f_{c,MR} < 25\% f_{c,hormigón}$: Pulido. Mortero de Azufre, Pasta de yeso de alta resistencia, mortero de cemento aluminoso, mortero de cemento Portland. Una vez refrentada la probeta se deben de cumplir las siguientes tolerancias Irregularidades < 0,05% d y perpendicularidad < 0.5° 	<ul style="list-style-type: none"> • CPC 3.2 4 mm < e < 8 mm e medio = 3 mm

Notas:

$f_{c,MR}$: Resistencia a compresión del material de refrentado.

A todos los efectos el Pulido es tomado como el método de referencia.

Cuadro 1. Condiciones que se exigen para refrentar probetas de hormigón de acuerdo con cuatro normativas

* De acuerdo con diferentes investigadores no se recomienda utilizar espesores inferiores a 1.5 mm no solamente por las burbujas que se pueden presentar entre el material de refrentado y la cara de la probeta sino también porque bajo carga un espesor tan delgado puede dar lugar a fisuraciones.

Adicionalmente a lo anterior, es importante mencionar que la Normativa Europea limita a 50 MPa el empleo del mortero de azufre como material de refrentado y exige junto con la norma de la RILEM refrentar las dos caras de la probeta. Esto es rechazado por muchos investigadores y en particular por los Autores.

Recientemente se ha publicado la "Guide to Quality Control and Testing of High Strength Concrete" del ACI (6) en la que se permite el empleo del mortero de azufre como material de refrentado hasta 70 MPa.

3. RESEARCH OUTLINE

3.1 PURPOSE

The primary purpose of this research is to analyze the effect of the various types of capping and models of testing machines on the pressure distribution and crushing strength obtained for standard size (150 x 300 mm) cylindrical specimens, capped using six different methods, and loaded to rupture with two testing machines of different qualities and maximum capacity: 2000 and 3000 kN, on concretes ranging from H-25 to H-80.

In addition, tests were conducted to analyze the effect of the testing direction with respect to the concreting direction on pressure distribution and crushing strength values found for 150-mm cubic specimens.

3.2 EXPERIMENTAL MODEL

3.2.1 Concrete cylinders

A total of 72 cylindrical specimens, 150 x 300 mm, were moulded and cured in a moist closet at a temperature of $20 \pm 2^\circ \text{C}$ and relative humidity of $\geq 95\%$.

Twenty four cylinders were made for each of the strength ranges to be analyzed - H-25, H-50 and H-80 – and capped, in groups of four, by each of the six methods.

After 28 days, the specimens in each group were tested by pairs in two testing machines owned by INTEMAC, with different maximum capacities and quality: 2000 kN and 3000 kN

3.2.2 Concrete cubes

Concrete from the same batches as used to make the cylindrical specimens was poured into a total of twelve 150 mm cubic moulds and cured in the above moist closet.

The four specimens made for each of the strength ranges to be analyzed - H-25, H-50 and H-80 – were tested by pairs, perpendicularly or in parallel to the direction the cubes were concreted. In the specimens tested in the same direction as the concrete was poured, the finish surface that was to be in contact with the upper platen was ground to ensure flatness.

Two equal layers of concrete were poured into cubic or cylindrical steel dyes and consolidated with a needle vibrator to mould the specimens. The specimens were cured in the moist closet in INTEMAC Central Laboratory's at Torrejón de Ardoz at a temperature of $20 \pm 2^\circ \text{C}$ and a relative humidity of $\geq 95\%$. Tests were conducted 28 days after the specimens were moulded.

3.3 CAPPING METHODS USED IN THE STUDY

The most common capping methods were studied to compare their behaviour with concretes of differing strength.

- Grinding or rectifying.
- Sulphur mortar, with two thicknesses: 3.0 and 8.0 mm.
- High strength sulphur mortar, 3 mm thick.
- Aluminous cement paste, 3 mm thick.
- Danish method

The neoprene and sandbox capping methods, presently in use in a number of quality control laboratories, were not analyzed hereunder because of the considerable damage they can cause to the sensor chosen for taking pressure distribution readings.

3.3.1 Grinding

The specimens were ground with the aid of a grinding wheel fitted with a manual or automatic positioning feature. Grinding was performed after 21 days for H-25, 14 days for H-50 and 7 days for H-80 concrete. Both specimens of each pair were removed from the moisture room for grinding at the same time and returned to the chamber for storage until the day they were tested.

3. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 OBJETIVO

El objetivo primordial de esta investigación es analizar la influencia de los distintos tipos de refrentado y de diferentes clases de prensa de ensayo sobre la distribución de presiones y la resistencia a rotura obtenida en probetas cilíndricas de tamaño estándar (150 x 300 mm) refrentadas por 6 métodos distintos, y llevadas a rotura empleando para ello, dos prensas de ensayo de diferente calidad y de diferente capacidad máxima: 2000 y 3000 kN, todo ello en la gama de hormigones desde H-25 hasta H-80.

Adicionalmente, analizar sobre probetas cúbicas de 150 mm de arista la influencia de la dirección de ensayo con respecto a la del hormigonado en la distribución de presiones y en los valores de resistencia a rotura obtenidos.

3.2 DEFINICIÓN DEL MODELO EXPERIMENTAL

3.2.1 Probetas cilíndricas

Se fabricaron en total 72 probetas cilíndricas de 150 x 300 mm que fueron curadas en una cámara húmeda que garantizaba una temperatura de 20 ± 2 °C y una humedad relativa $\geq 95\%$.

Cada una de las gamas de resistencias a analizar - H-25, H-50 y H-80 - estaba conformada por 24 probetas refrentadas en grupos de 4 por cada uno de los 6 métodos diferentes y que se exponen en el Apartado **3.3.- Métodos de refrentado empleados en la investigación.**

Las probetas pertenecientes a cada uno de los grupos conformados por los diferentes métodos de refrentado aplicados, se ensayan entonces por parejas en dos prensas de diferente capacidad máxima y calidad: 2000 kN y 3000 kN, de propiedad de Intemac, a los 28 días de edad.

3.2.2 Probetas cúbicas

De las mismas amasadas de las probetas cilíndricas, se fabricaron en total 12 probetas cúbicas de 150 mm de arista que fueron curadas en la cámara húmeda descrita anteriormente.

Cada una de las gamas de resistencias a analizar - H-25, H-50 y H-80 - estaba conformada por 4 probetas que serían ensayadas por parejas en dirección perpendicular al hormigonado y en la misma dirección del hormigonado. Las probetas que se ensayan en la misma dirección del hormigonado llevan pulida la cara de acabado, que queda en contacto con el plato superior de la prensa para asegurar su planeidad.

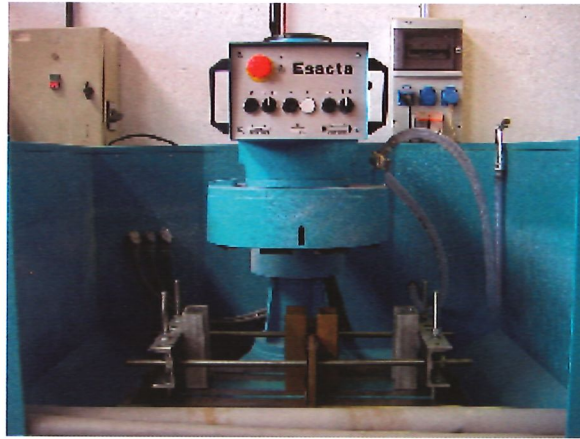
Todas las probetas, tanto cúbicas como cilíndricas, fueron fabricadas en moldes de acero, estando cada probeta conformada por dos capas iguales, y en ellas el método de compactación empleado fue un vibrador de aguja. El curado de las probetas fue realizado en la cámara húmeda del Laboratorio Central de Intemac en Torrejón de Ardoz a una temperatura de 20 ± 2 °C y a una humedad relativa $\geq 95\%$. El ensayo se realizó a los 28 días contados desde el momento de fabricación de las probetas.

3.3 MÉTODOS DE REFRENTADO EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN

Se adoptan los métodos de refrentado más comunes para ver su comportamiento en los diferentes tipos de resistencias.

- Pulido o rectificado.
- Mortero de Azufre variando su espesor como sigue: 3.0 y 8.0 mm
- Refrentado con mortero de azufre de alta resistencia con 3 mm de espesor.
- Pasta de cemento aluminoso con 3 mm de espesor.
- El método Danés.

Sistemas como el neopreno y la caja de arena, que actualmente se están utilizando como métodos de refrentado en diferentes laboratorios de control de calidad, no fueron empleados, ya que ellos pueden dañar considerablemente el sensor encargado de realizar la toma de la distribución de presiones que se empleará en esta investigación.



Vista general de la pulidora
Overview of grinding wheel
Fig. 1

3.3.2 Sulphur mortar capping

Two thicknesses were used in this capping method, 3 and 8 mm. The mean minimum thicknesses on the capped side and the maximum thickness at any point of that side were as specified in Spanish standard UNE 83.303.84 (8). The capping layer was prepared and applied as recommended in the above standard.

Since the maximum thickness attainable with the capping plates used was 3 mm, a ring had to be placed on the surface of the specimen to apply the first 5 mm of capping; this ring was removed after 45 seconds and the upper surface was scraped with a metal spatula to facilitate bonding with the 3 mm layer laid over top.

Specimens were capped after 21 days for H-25, 14 days for H-50 and 7 days for H-80 concrete, counting from the day of manufacture. This involved removing the specimens from the moist closet for no more than 2 hours and, after the process was completed returning them to the curing chamber where they were stored until the 28th day. This methodology ensures less scattered results, since the state of saturation is the same for all specimens when tested, and the sulphur mortar reaches its highest strength in the curing chamber.

High strength sulphur mortar, in turn, a commercial product that must be heated to the melting point, was prepared and applied to the same recommendations and with the same care as conventional sulphur capping. The specimens were capped with this product at the ages specified above for conventional sulphur mortar.

3.3.3 Aluminous cement paste capping

A 3 mm thick steel capping plate was placed in the bottom of the mould before casting the specimen to leave room for an aluminous cement paste with a w/c ratio of 0.30 that would be added later; the specimen was then moulded to the stipulations of Spanish standard UNE 83-301-91 (2).

After the concrete was poured into the mould to cast the specimen, the finish face was trowelled level and then brushed with a steel brush to roughen the surface for a better bond between the cement and the concrete.

After 24 hours, the specimen was de-moulded and the steel capping plate removed. When the concrete cylinder was set back flush against the bottom of the mould, the empty space left at the top was used for capping. In this operation, the paste was trowelled onto the sponge-moistened surface of the specimen.

Finally, the capped cylinder was stored in the curing chamber for 24 hours, after which it was de-moulded, labelled and returned to the curing cabinet for storage until the compression test was conducted at the age of 28 days.

3.3.4 Danish capping method

The purpose of this method is to avoid having to cap the exposed side of the specimen with some additional material, by generating a seal between the concrete and the lid of the mould tight enough to perform the capping function.

3.3.1 Pulido

Este procedimiento es realizado con la ayuda de una máquina que puede ser de orientación manual o automática. El procedimiento se llevó a cabo a los 21 días para el H-25, a los 14 días para el H-50 y a los 7 días para el H-80, con lo cual las probetas se retiraban por parejas de la cámara húmeda para realizar el pulido y se volvían a poner en ella nuevamente para permanecer allí hasta el día del ensayo.

3.3.2 Refrentado con Mortero de Azufre

Para este Método de refrentado se utilizaron dos espesores: 3 mm y 8 mm, estando el mínimo espesor medio de la cara refrentada y el espesor máximo en cualquier punto de la cara respectivamente de acuerdo con la norma española UNE 83.303.84 (8). El procedimiento de elaboración y ejecución se lleva a cabo siguiendo las recomendaciones de la normativa en mención.

Como los platos de refrentado utilizados permiten solamente alcanzar un espesor de 3 mm, fue necesario recurrir al empleo de un collarín colocado sobre la cara de la probeta para permitir alcanzar los primeros 5 mm de espesor de la capa de refrentado; a los 45 segundos se retiraba el collarín y se raspaba la capa con una espátula metálica para facilitar la adherencia con la siguiente capa, que sería la de 3 mm de espesor.

El método de refrentado aplicado a las probetas en cada uno de los hormigones a analizar fue aplicado a la edad de 21 días para el H-25, a 14 días para el H-50 y a 7 días para el H-80, contados desde el momento de su fabricación; para tal efecto, las probetas se extraen de la cámara húmeda en un período no mayor a 2 horas, y una vez finalizado el proceso son introducidas nuevamente en la cámara de curado, hasta los 28 días; esto asegura que las probetas presentan menos dispersión en los resultados obtenidos, ya que en el momento del ensayo tienen el mismo estado de saturación y el mortero de azufre ha alcanzado su máxima resistencia durante el tiempo de permanencia en la cámara de curado.

En el caso del mortero de azufre de alta resistencia, este es un material fundible suministrado por una casa comercial. Para su preparación y ejecución se siguen las mismas recomendaciones y cuidados empleados con el mortero de azufre convencional. La aplicación del refrentado se llevó a cabo en las mismas fechas en que se realizó el refrentado con mortero de azufre convencional.

3.3.3 Refrentado con Pasta de Cemento Aluminoso

Antes de fabricar la probeta de hormigón, se colocó en el fondo del molde una placa de acero de 3 mm de espesor, espacio que sería utilizado posteriormente para colocar la pasta de cemento aluminoso con una relación $a/c = 0.30$; a continuación se fabrica la probeta de acuerdo con los procedimientos estipulados en la norma UNE 83-301-91 (10).

Una vez finalizado el proceso de fabricación de la probeta, la cara de acabado se enrasa con una llana metálica y posteriormente se repasa con un cepillo de cerdas de acero para darle rugosidad a la superficie y facilitar así la adherencia entre la pasta de cemento y el hormigón.

A las 24 horas, las probetas se desmoldan con el fin de retirar la placa de acero y se colocan nuevamente en su molde para poder realizar el refrentado en el espacio logrado con dicha placa. A continuación se humedece la superficie de la probeta con una esponja, y se aplica la pasta con ayuda de una llana.

Una vez finalizado el proceso, la probeta es llevada a la cámara de curado por un período de 24 horas, al cabo del cual es desmoldada, marcada y colocada nuevamente en el sitio de curado para realizar el ensayo de resistencia a compresión a los 28 días de edad.

3.3.4 Refrentado por el Método Danés

El objetivo de éste Método es evitar el refrentado con algún material adicional sobre la cara de la probeta, ya que el propio contacto generado entre el hormigón y las tapas del molde desarrollan la función de refrentar.

Este procedimiento se realiza sobre probetas cilíndricas según lo estipulado en la norma NT-BUILD 201 (7).

La fabricación de las probetas que llevan este Método de refrentado es realizada de acuerdo con la norma española UNE 83.301.91 (10).

The specimens in question – which were moulded to Spanish standard UNE 83.301.91 (10) specifications - were capped as described in standard NT-BUILD 201 (7).

Apparatus:

Moulds: Pursuant to Spanish standard UNE 83.301.91 (10), non-absorbent, concrete-inert – i.e., steel – moulds were used throughout the present experiment.

Unlike conventional moulds, the ones used for this trial had holes around the top edge for attaching a lid made of the same steel as the mould and designed to eliminate the need to cap the exposed side of the specimen.

Capping procedure:

Before making the specimen, the holes referred to in the preceding paragraph were stuffed with non-adherent paper to prevent clogging with concrete.

After pouring the concrete into the mould, the top was levelled with a trowel or float and the non-adherent paper removed.

The specimen was allowed to settle for the 30 minutes needed for the concrete to exude, after which the lid was set into place and tightened onto the mould.

The resulting drum was then stored in a horizontal position under laboratory conditions for approximately 24 hours. The aim of positioning the mould on its side was to ensure a good bond between the lid and the concrete. After 24 hours, the specimen was de-moulded, labelled and stored in the moist closet until testing on the 28th day. Note that once de-moulded, the specimen was treated like an ordinary concrete cylinder.

A photographic record of the Danish method is given below:



Proceso de retirar los papeles no adherentes y limpieza de los orificios para permitir el ensamblaje de la tapa del molde

Withdraw non-adherent paper and cleaning holes to attach lid to mould

Fig. 2



**Reposo de la probeta por un período de 30 minutos
Specimen settling for 30 minutes**

Fig. 3

3.4. COMPRESSION TESTING INSTRUMENTS

The highly versatile instruments used surmounted the difficulties inherent in measuring pressures acting on two different surfaces, while furnishing pressure distribution data in real time and enabling the operator to regulate the speed at which the data were generated.

The instrument used to ascertain pressure distribution is a patented system acquired by the INTEMAC Central Laboratory. This extremely thin (≈ 0.076 mm thick), flexible, reusable polyester sensor has an orthogonal array of electrodes – 44 rows and 44 columns – that measure the pressure at the intersections or cells, each of which has an area of approximately 31.22 mm². Rows and columns are set at 0.56-cm intervals. The sensor, with over 2288 pressure detection cells, is designed to resist pressures of up to 21,800 psi or 152.6 MPa.

Aparatos empleados:

Moldes: El molde a emplear en la fabricación de las probetas cumple con lo indicado en la norma UNE 83.301.91 (10): de acero, de material no absorbente y que no reaccione con el hormigón.

A diferencia de los moldes convencionales, los aquí empleados llevan en el borde de su cara superior unos orificios para poder ensamblar una tapa del mismo material del molde – acero –, y que al quedar en contacto con el hormigón suprime el refrentado en la cara de la probeta.

Procedimiento de la ejecución del refrentado:

Antes de iniciar la fabricación de la probeta, en los orificios (a los cuales se hace referencia en el párrafo anterior) se dejan insertados unos papeles no adherentes para evitar la entrada de material en los mismos.

Una vez fabricada la probeta se engrasa la cara superior de la misma con ayuda de una llana o de un fratás y se retiran los papeles no adherentes.

La probeta se deja en reposo por un período de 30 minutos para permitir la exudación del hormigón, y una vez transcurridos se procede a la colocación y ajuste de la tapa superior del molde.

A continuación, el conjunto es colocado en posición horizontal, en condiciones de laboratorio durante 24 horas aproximadamente. El objetivo de dicha posición, es permitir la adherencia del hormigón con la tapa del molde. Finalizado este período, la probeta es desmoldada, identificada y llevada a la cámara húmeda hasta el momento del ensayo, que en este caso fueron 28 días.

Es importante anotar que una vez se ha desmoldado la probeta ésta es tratada como una probeta común y corriente.

El siguiente registro fotográfico corresponde al procedimiento del Método Danés:



Ajuste de la tapa sobre el molde
Tightening lid on mould
Fig. 4



Forma de colocación de las probetas para llevar a cabo el refrentado
Specimen laying for capping
Fig. 5

3.4. INSTRUMENTACIÓN EMPLEADA PARA REALIZAR LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN DE LAS PROBETAS

La instrumentación a utilizar, consiste en una tecnología que resuelve los problemas de la medida de la presión entre dos superficies, siendo un sistema versátil, capacitado para transmitir la distribución de presión en tiempo real, y donde las velocidades en la adquisición de datos pueden ser reguladas.

La tecnología de la instrumentación es un sistema patentado, adquirido por el Laboratorio Central de Intemac, que consta de un sensor flexible, reutilizable, de material poliéster, y extremadamente fino ≈ 0.076 mm de espesor, que contiene unos electrodos conductores dispuestos de forma ortogonal – 44 filas y 44 columnas – que crean una localización de detección de presión en cada intersección (celdas), siendo el área de cada intersección de aproximadamente 31.22 mm², y el espacio entre filas y columnas de 0.56 cm. Así, el sensor estará conformado por más de 2288 celdas de detección de presión, y diseñado para resistir una presión de hasta 21.800 psi equivalente a 152.6 MPa.

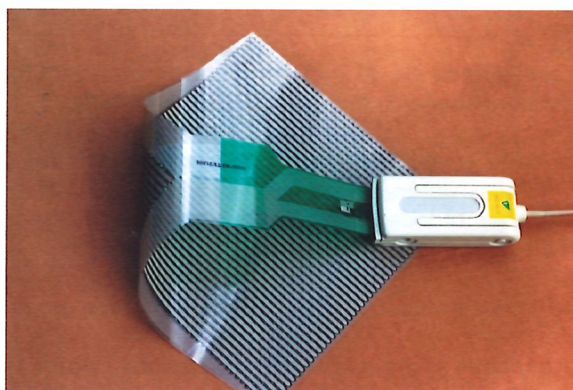
The number of cells needed to cover the area in contact with the upper platen in the two forms of specimen studied was as follows:

- Cylinders 150 mm in diameter 566 cells
- Cubes measuring 150 mm on each side 720 cells.

See Figure 6 for a photograph of the sensor.

The pressure distribution was recorded in each specific case by plugging the transducer, in turn connected to the computer by the transducer.

The sensor was placed on the surface of each specimen in contact with the upper platen of the compression testing machine to record the transmitted load, which was applied to conventional procedure.



Detalle del sensor y el transductor
Sensor and transducer detail
Fig. 6

The pressure distribution recorded corresponded in each specific case to 56% of the crushing strength found for the other member of the pair. This decision was made to avoid the damage caused to the sensor when the specimen was loaded to its full crushing strength, given that the pressure distribution found at such percentage was very similar to the pattern recorded at specimen failure. This finding was reported by BURG, CALDARONE et al. (3), who observed that the pressure distribution obtained for their tests at 1112 kN was very similar to the distribution at specimen rupture. Moreover, at this percentage, the crushing strength values obtained were not affected by such pre-compression.

4. RESULTS

4.1. CONCRETE CYLINDERS

4.1.1 Effect of capping method

The chief conclusion drawn regarding the effect of the various capping materials on the ultimate compression strength values for the 150 x 300 mm concrete cylinders studied was that high-strength concretes were more sensitive, in the compression test, to the effects of surface flatness flaws. This was due to the lesser development of internal microcracking and the concomitant reduction in the ability to redistribute the stresses transmitted by the testing machines at points presenting discontinuities. In the present study, performance for concrete H-80 was optimal for three of the six capping methods tested only (grinding, 3 mm sulphur mortar and the Danish method).

Contrary to common belief that (high quality) sulphur mortar applied at controlled temperatures is not apt for strengths of over 50 MPa, the research reported here proved that it performs at least as well if not better than grinding. The existence of a layer of another material between the testing machine platen and the specimen prevents the concentration of pressure on the aggregate grains that remain on the surface after grinding.

The following may be deduced from Figure 8:

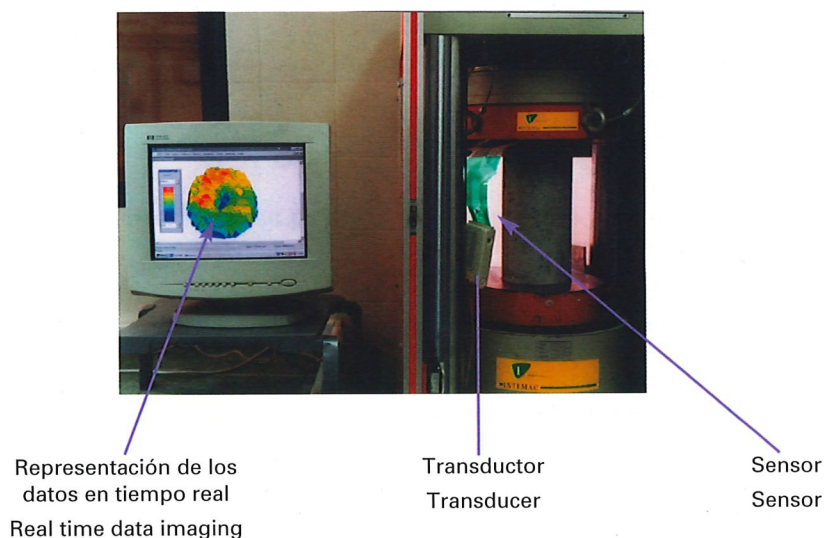
El número de celdas que abarca entonces el área en planta de las dos formas de probeta consideradas es el siguiente:

- Cilíndricas de 150 mm de diámetro: 566 celdas.
- Cúbicas de 150 mm de arista: 720 celdas.

Una vista general del sensor se indica en la Figura 6.

La forma de registrar la distribución de presión en cada caso en particular, consiste en conectar al ordenador el transductor en el que a su vez se ha insertado previamente el sensor.

El sensor es entonces colocado sobre la cara de la probeta en contacto con el plato superior de la prensa de ensayo, donde se inicia la aplicación de la carga de manera convencional, registrando así la distribución de presión transmitida por la prensa a la probeta.



Elementos del sistema de instrumentación
Instrumentation System Elements
Fig. 7

La distribución de presiones registrada corresponde para cada caso en particular al 56% de la carga de rotura de su probeta compañera, decisión que fue tomada en primer lugar por los daños que se producían en el sensor cuando la probeta se llevaba a rotura y en segundo lugar porque la distribución de presión para la condición de fallo de la probeta era muy similar a la distribución de presión obtenida con este porcentaje, hecho que fue registrado por BURG, CALDARONE y otros autores (3), en los que la distribución de presión obtenida para sus ensayos a una carga de 1112 kN era muy similar a la obtenida en la rotura de las probetas; es importante mencionar que en muchos de esos ensayos esta carga era muy inferior al 56% del valor de la carga de rotura. Adicionalmente, en este porcentaje de carga los valores de rotura obtenidos no se veían afectados por dicha precompresión.

4. RESULTADOS OBTENIDOS Y CONCLUSIONES

4.1. ANÁLISIS SOBRE PROBETAS CILÍNDRICAS

4.1.1 Influencia del método de refrentado

Al analizar los diferentes materiales de refrentado en los valores de rotura a compresión de probetas cilíndricas de 150 x 300 mm para los hormigones considerados, se concluye que los Hormigones de Alta Resistencia son más sensibles a los efectos que en el ensayo de rotura a compresión se derivan de la presencia de defectos en la planeidad de sus caras por el menor desarrollo del estado de microfisuración interno y que reduce la posibilidad de redistribuir las tensiones transmitidas por las prensas de ensayo en los puntos donde se presentan

Grinding proved to be an effective capping method in the range of concrete strengths analyzed; even though this method was used as the reference standard, however, the strength values obtained were 1.26% and 1.05% lower than observed with 3 mm sulphur mortar for H-50 and H-80 concrete, respectively. These results indicate that the intuitive belief that grinding is the best capping method is inaccurate.

ACI Guide 363.2R-98 (6) regards sulphur mortar to be a valid capping method for concretes of up to 70 MPa; in the present study optimal results were obtained for concrete of up to 80 MPa. Such good performance can be attained providing the following recommendations are followed:

- The capping layer should be as thin as possible and compliant with existing standards to avoid divergent results. Pursuant to Spanish standard UNE 83.303.84 the sulphur mortar layer should be no more than 3 mm thick.
- Sulphur should not be re-used.
- The material should be prepared as recommended in item 4.1 of Spanish standard UNE 83.303.84: the melting temperature should be between 147 °C and 148 °C and mortar kept at temperatures ranging from 120 °C to 125 °C.
- Capping should be performed with extreme care and by qualified personnel.

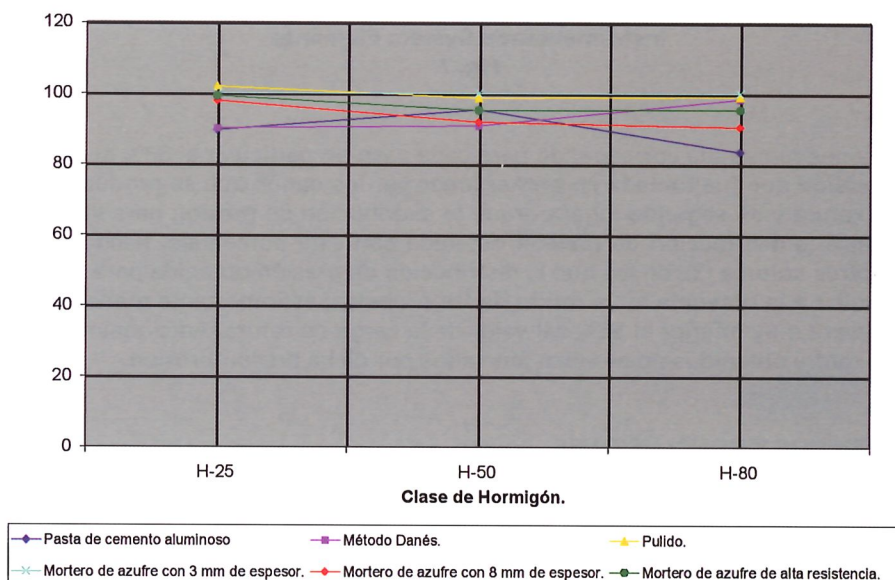
The Danish method, in turn, has been shown to be effective only for soft or very fluid concretes, the only type for which a suitable bond can be established between the concrete and the lid of the mould. The condition of the mould and the lid also affects the final results. The method is not a recommendable for plastic or dry concrete.

Neither 8 mm sulphur mortar nor aluminous cement paste are suitable for capping concrete specimens, since they cause strength values to decline; the higher the concrete strength, moreover, the steeper the decrease.

As far as high strength sulphur mortar is concerned, care should be taken when choosing the manufacturer, since these compounds are formulation-sensitive.

The damage typology varied for the three concrete strength ranges depending on the capping method used. In H-25 and H-50 concrete cylinders capped by grinding or application of 3 mm or high-strength sulphur mortar, vertical cracking was observed along the entire length of the specimen; for the other three capping systems, i.e., aluminous cement paste, high strength sulphur mortar and the Danish method, cracking was more intense and severe concrete damage was found in the areas closest to the capping layer.

For H-80 concrete, classic failure in the form of two cones attached at the vertex was observed only when the capping method used was grinding, 3 mm sulphur mortar or the Danish method. The other three capping methods gave rise to anomalous breakage.



Tensión de rotura media obtenida con los diferentes métodos de refrentado aplicados sobre probetas cilíndricas de 150 x 300 mm, y expresada en porcentaje con respecto al método de refrentado eficaz: *Mortero de azufre de 3 mm de espesor*
Average breaking stress read by different capping methods applied on 150 x 300 mm concrete cylinders, and percentaged as for the effective capping method: 3 mm sulphur mortar

Fig. 8

discontinuidades. En nuestro caso para el hormigón H-80, el comportamiento es óptimo únicamente en tres de los seis materiales de refrentado investigados (Pulido, Mortero de azufre de 3 mm de espesor, y el Método Danés).

En contra de la creencia común de que el mortero de azufre (de alta calidad y con temperatura controlada) no sea apto para resistencias mayores de 50 MPa, la investigación realizada prueba que es igual o mejor que el pulido. Al interponer una capa entre el plato de la prensa y la probeta, se evitan las concentraciones de presión que se producen sobre los granos de árido que quedan superficiales en el pulido.

De acuerdo con la Figura 8, se deduce lo siguiente:

El Pulido como método de refrentado ha presentado un comportamiento eficaz en la gama de hormigones analizados; sin embargo, y a pesar de tomarlo como método de referencia, los valores obtenidos presentan bajas de resistencia estipuladas en 1.26% y 1.05% al ser comparados con el mortero de azufre de 3 mm de espesor para H-50 y H-80 respectivamente, lo que indica que la creencia de que el pulido es el mejor método de refrentado es algo intuitivo pero no cierto.

La guía ACI 363.2R-98 (6) considera válido el refrentado con mortero de azufre para hormigones de hasta 70 MPa; en nuestro caso el resultado fue óptimo para hormigones de hasta 80 MPa. Este comportamiento óptimo se logra siempre y cuando se tengan en cuenta las siguientes recomendaciones:

- El espesor de la capa de refrentado debe ser lo más delgada posible siguiendo la normativa en vigor para evitar dispersiones en los resultados. De acuerdo con la norma española UNE 83.303.84: el espesor del mortero de azufre será de 3 mm como máximo.
- Debe evitarse la reutilización del azufre.
- El material debe ser preparado siguiendo las recomendaciones del Apartado 4.1 de la norma UNE 83.303.84: Temperatura de fusión entre 147 °C y 148 °C, y conservación del mortero a temperaturas que oscilen entre 120 °C y 125 °C.
- El procedimiento de ejecución del refrentado deberá realizarse cuidadosamente, contando para ello con personal cualificado.

En cuanto al método danés, los datos demuestran que es un método efectivo únicamente en el caso de hormigones con consistencia blanda o fluida para que el contacto y la adherencia del hormigón con la tapa del molde sean los adecuados, y donde influye el estado del molde y la condición de la tapa. Es un método poco recomendable en hormigones cuya consistencia sea plástica o seca.

No se consideran aptos para refrentar probetas de hormigón, en ninguna de las gamas de hormigones ensayadas, el mortero de azufre con 8 mm de espesor y la pasta de cemento aluminoso ya que dan lugar a bajas de resistencia, que son más importantes a medida que se incrementa la resistencia del hormigón.

En cuanto al Mortero de azufre de alta resistencia, es importante tener en cuenta la casa que suministre el material, ya que estos productos son unos compuestos sensibles a las formulaciones del material.

En cuanto al esquema de la tipología de daño para las probetas de las 3 gamas de resistencia refrentadas por los diferentes métodos se observa que en el caso del H-25 y H-50, el pulido, mortero de azufre de 3 mm de espesor y mortero de azufre de alta resistencia presentan una fisuración vertical en toda la longitud de la probeta, sin embargo, los otros tres métodos de refrentado: Pasta de cemento aluminoso, mortero de azufre de alta resistencia y método danés presentan dicha fisuración de forma más acusada e inclusive se presentan serios daños del material hormigón en las inmediaciones de la cara refrentada.

Para el caso del H-80, las roturas en forma de dos conos unidos por el vértice son obtenidas únicamente en el caso del Pulido, Mortero de azufre de 3 mm de espesor y el Método danés. Los otros tres métodos de refrentado dan lugar a roturas anómalas.

4.1.2 TESTING MACHINE-INDUCED PRESSURE DISTRIBUTION BY CAPPING METHOD

The results and analysis are given in Figures 9, 10 and 11.

4.1.2.1 Grinding

The pressure distribution obtained with this capping method was very uniform. Nonetheless, point loading concentrations were recorded on the surface of the specimen due to imperfections arising during the grinding process itself. Such flaws may be occasioned by aggregate that works its way to the surface during the procedure, bubbles inherent in the material or craters left when aggregate breaks away during grinding, depending on the random position of medium or large grains of sand. Such craters are inevitable, particularly in poorer quality concrete.

4.1.2.2 Three-mm sulphur mortar

The pressure conveyed to the specimen by the testing machine was distributed even more uniformly when sulphur mortar was used as a capping material, which minimized or practically eliminated the imperfections caused by grinding.

4.1.2.3 Eight-mm sulphur mortar

Although the pressure on the specimen surface was found to be uniformly distributed in all the ranges of concrete studied when an 8 mm layer of sulphur mortar was applied, the graphs show greater uniformity at higher concrete strengths, with higher pressure values tending to concentrate around the edge of the specimen surface. In the case of H-25 concrete, the unit stress values recorded amounted to over 75% of the crushing load, σ_{CR} , whereas for H-80 concrete the pressures observed barely exceeded that percentage.

4.1.2.4 Three-mm high strength sulphur mortar

The pressure distribution obtained with this capping method was uniform in all cases. Nonetheless, the mean stress observed was lower than for ground specimens or cylinders with a 3 mm layer of sulphur mortar.

4.1.2.5 Three-mm aluminous cement paste

The higher the concrete quality, the more uneven was the pressure distribution afforded by this capping method; point load concentrations were observed alongside whole areas on the specimen surface where loading was totally absent.

4.1.2.6 Danish method

The conspicuous irregularities found when this method was used with lower strength concrete adopted the form of point load concentrations and areas on the specimen surface with no loading at all.

An excellent method for concrete with a very fluid consistency such as high-strength concrete, it is, however unsuitable for other consistencies.

4.1.2 DISTRIBUCIÓN DE PRESIONES TRANSMITIDA POR LA PRENSA A LAS PROBETAS DE HORMIGÓN SEGÚN EL MÉTODO DE REFRENTADO EMPLEADO

El análisis se realiza con base en las figuras 9,10 y 11.

4.1.2.1 Pulido

La distribución de presiones que se obtiene con éste método de refrentado es muy homogénea, sin embargo da lugar a concentraciones máximas de carga en distintos puntos sobre la cara de la probeta, debido a imperfecciones que se originan en el proceso mismo del pulido y que son debidas a áridos que afloran a la superficie durante la ejecución del procedimiento, burbujas inherentes al material, o cráteres originados por el salto de algún árido dependiendo de la posición al azar de los granos de arena de tamaño mediano y grande durante este último proceso, y que son inevitables principalmente en los hormigones de menor calidad.

4.1.2.2 Mortero de Azufre de 3 mm de espesor

La distribución de presiones que transmite la prensa a la probeta cuando se emplea como material de refrentado el mortero de azufre es aún más homogénea, debido a que se minimizan o prácticamente se eliminan las imperfecciones a que puede dar lugar el pulido como tal.

4.1.2.3 Mortero de Azufre de 8 mm de espesor

En el caso del mortero de azufre con 8 mm de espesor, aunque la distribución de presiones sobre la superficie de la probeta se distribuye de forma uniforme en todos los casos, las gráficas indicaron que cuanto mayor la resistencia del hormigón hay una mayor homogeneidad, resaltando que los mayores valores de presión tienden a concentrarse, principalmente, en el contorno de la cara de la probeta, presentando en el caso del H-25 valores de tensiones unitarias que superan el 75% de la carga de rotura σ_{CR} , y en el caso del H-80 presiones que difícilmente superan dicho porcentaje.

4.1.2.4 Mortero de Azufre de Alta Resistencia (espesor = 3 mm)

La distribución de presiones obtenida con este método de refrentado es homogénea en todos los casos; Sin embargo, los valores obtenidos registran un promedio de tensión inferior al que se obtiene con el pulido o con el mortero de azufre de 3 mm de espesor.

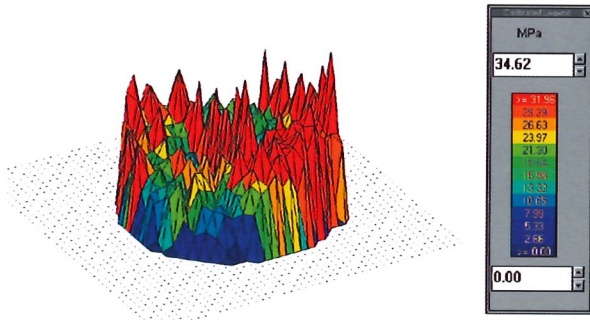
4.1.2.5 Pasta de cemento aluminoso (espesor = 3 mm)

A medida que se mejora la calidad del hormigón, este método de refrentado presenta una distribución de presiones más heterogénea que se manifiesta con concentraciones puntuales de carga, o incluso zonas con ausencia de carga sobre la cara de la probeta.

4.1.2.6 Método Danés

Son notorias las irregularidades que presenta este método de refrentado en los hormigones de menor resistencia, y que se manifiesta por concentraciones de puntuales de carga, o bien por zonas de la cara de la probeta con ausencia de carga.

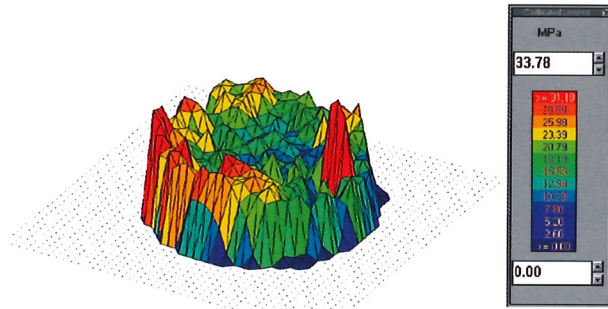
El método es excelente para hormigones de consistencia fluida como es el caso de los H.A.R, pero no es válido para otras consistencias.



a. Capping Method: Grinding

$N_R = 564.8$ kN. $\sigma_{CR} = 31.96$ MPa.

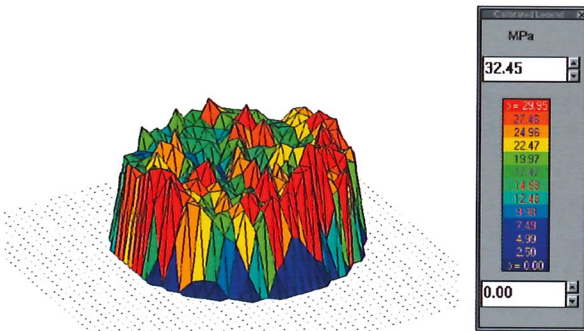
$\sigma_C = 56\%$ de $\sigma_{CR} \approx 17.89$ MPa.



b. Capping Method: Three-mm sulphur mortar

$N_R = 551.0$ kN. $\sigma_{CR} = 31.18$ MPa.

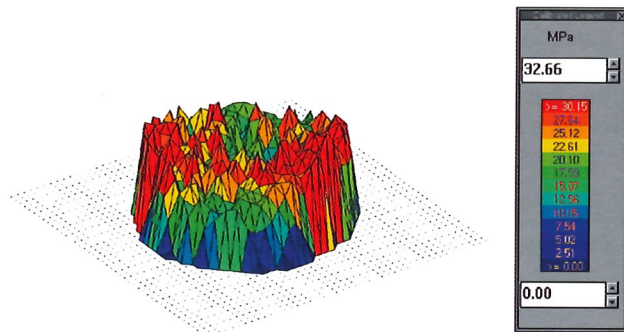
$\sigma_C = 56\%$ de $\sigma_{CR} \approx 17.46$ MPa.



c. Capping Method: Three-mm high strength sulphur mortar

$N_R = 529.3$ kN. $\sigma_{CR} = 29.95$ MPa.

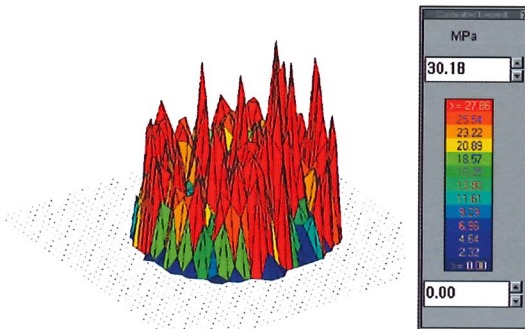
$\sigma_C = 56\%$ de $\sigma_{CR} \approx 16.77$ MPa.



d. Capping Method: Eight-mm sulphur mortar

$N_R = 532.7$ kN. $\sigma_{CR} = 30.15$ MPa.

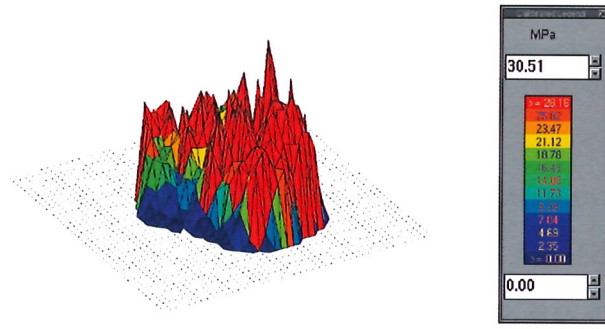
$\sigma_C = 56\%$ de $\sigma_{CR} \approx 16.88$ MPa.



e. Capping Method: Aluminous Cement Paste

$N_R = 492.4$ kN. $\sigma_{CR} = 27.86$ MPa.

$\sigma_C = 56\%$ de $\sigma_{CR} \approx 15.60$ MPa.



f. Capping Method: Danish Method

$N_R = 497.7$ kN. $\sigma_{CR} = 28.16$ MPa.

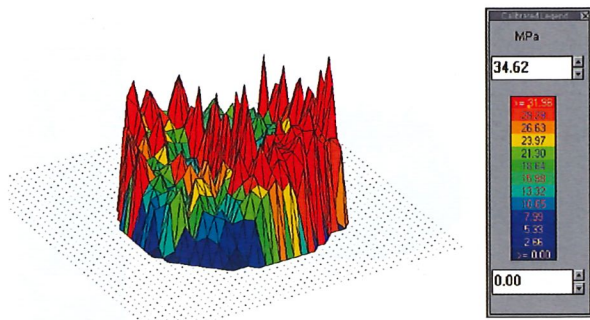
$\sigma_C = 56\%$ de $\sigma_{CR} \approx 15.77$ MPa.

Note:

- The proposed results fall to the value of the twin core on each case

Pressure distribution on the top side of 150 x 300 mm cylindrical cores produced for H-25 depending on the capping method used. Testing press: 300 kN maximum capacity (3D view).

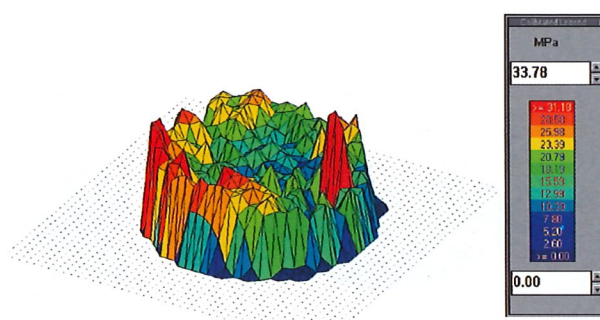
Fig. 9



a. Refrentado: Pulido.

$N_R = 564.8 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 31.96 \text{ MPa}$.

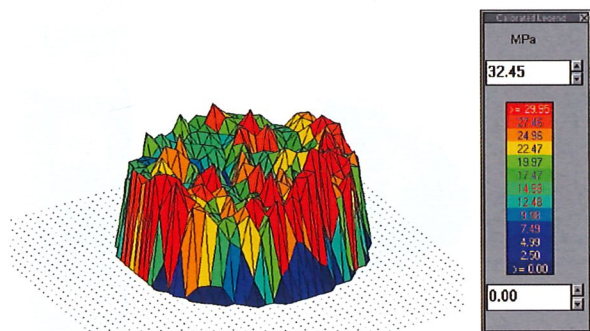
$\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 17.89 \text{ MPa}$.



b. Refrentado: Mortero de Azufre de 3 mm de espesor.

$N_R = 551.0 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 31.18 \text{ MPa}$.

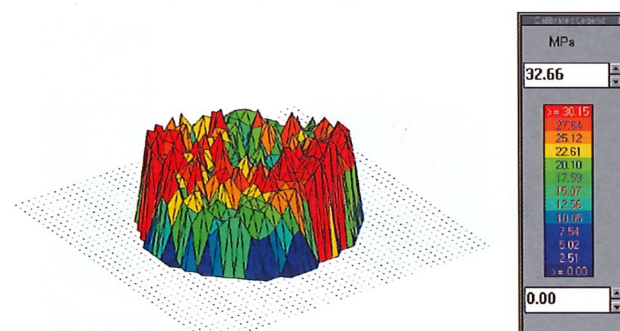
$\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 17.46 \text{ MPa}$.



c. Refrentado: Azufre de Alta Resistencia.

$N_R = 529.3 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 29.95 \text{ MPa}$.

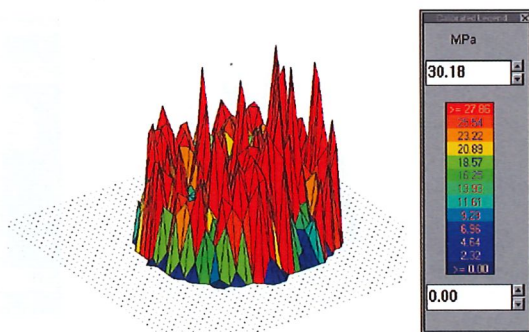
$\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 16.77 \text{ MPa}$.



d. Refrentado: Mortero de Azufre de 8 mm de espesor.

$N_R = 532.7 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 30.15 \text{ MPa}$.

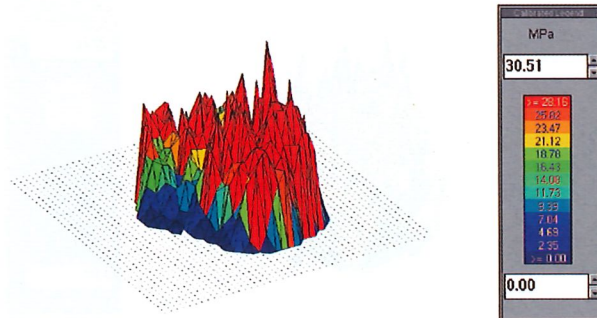
$\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 16.88 \text{ MPa}$.



e. Refrentado: Pasta de cemento aluminoso.

$N_R = 492.4 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 27.86 \text{ MPa}$.

$\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 15.60 \text{ MPa}$.



f. Refrentado: Método Danés.

$N_R = 497.7 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 28.16 \text{ MPa}$.

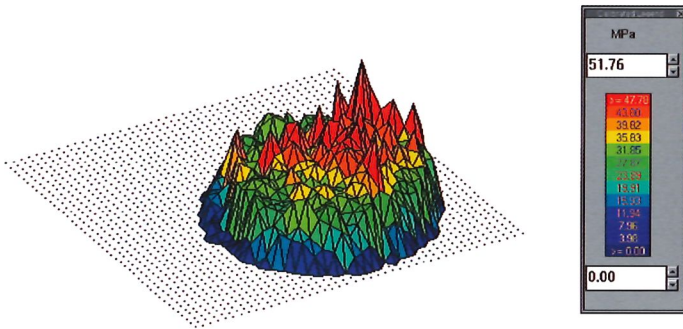
$\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 15.77 \text{ MPa}$.

Nota:

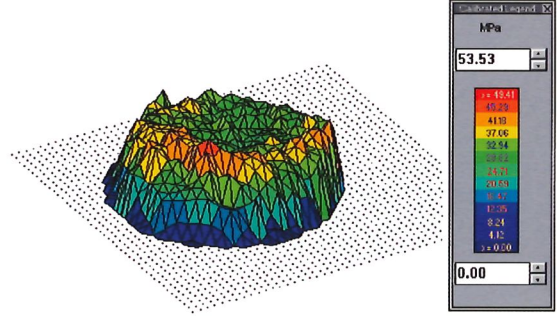
- Los resultados indicados corresponden al valor de la probeta compañera en cada caso.

Distribución de presiones sobre la cara superior de probetas cilíndricas de 150 x 300 mm fabricados para H-25, según el método de refrentado aplicado. Prensa de ensayo: 3000 kN de capacidad máxima (Vista en 3D).

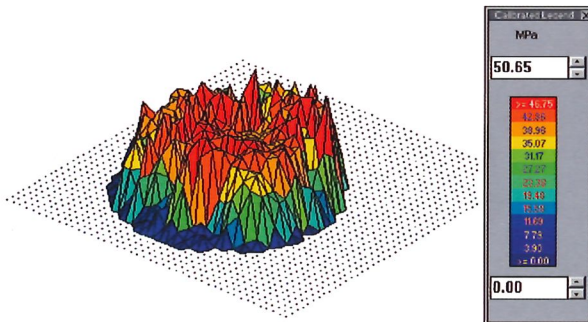
Fig. 9



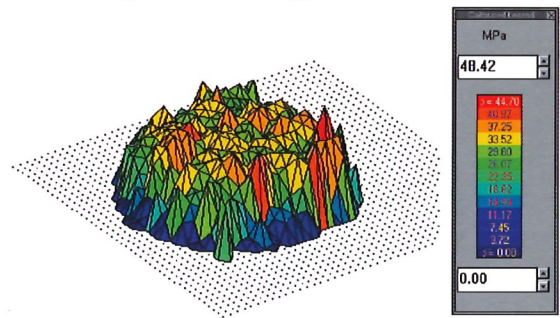
a. Capping Method: Grinding
 $N_R = 844.3 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 47.78 \text{ MPa}$.
 $\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 26.76 \text{ MPa}$.



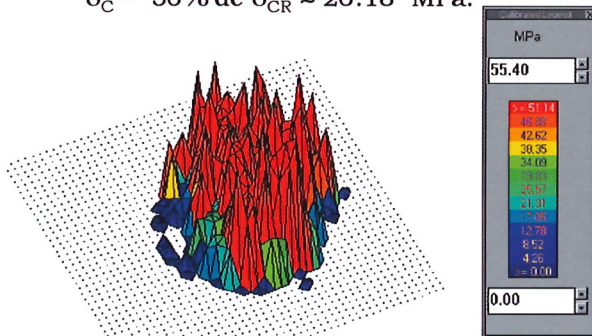
b. Capping Method: Three-mm sulphur mortar
 $N_R = 873.1 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 49.41 \text{ MPa}$.
 $\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 27.67 \text{ MPa}$.



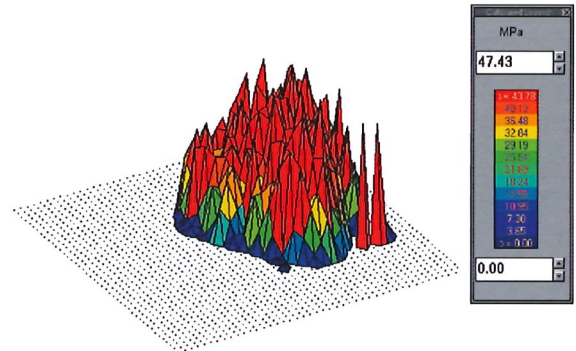
c. Capping Method: Three-mm high strength sulphur mortar
 $N_R = 826.1 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 46.75 \text{ MPa}$.
 $\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 26.18 \text{ MPa}$.



d. Capping Method: Eight-mm sulphur mortar
 $N_R = 789.8 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 44.70 \text{ MPa}$.
 $\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 25.03 \text{ MPa}$.



e. Capping Method: Aluminous Cement Paste
 $N_R = 903.7 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 51.14 \text{ MPa}$.
 $\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 28.64 \text{ MPa}$.



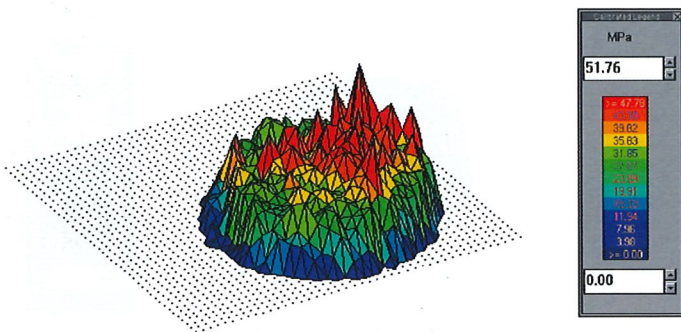
f. Capping Method: Danish Method
 $N_R = 773.7 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 43.78 \text{ MPa}$.
 $\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 24.52 \text{ MPa}$.

Note:

- The proposed results fall to the value of the twin core on each case

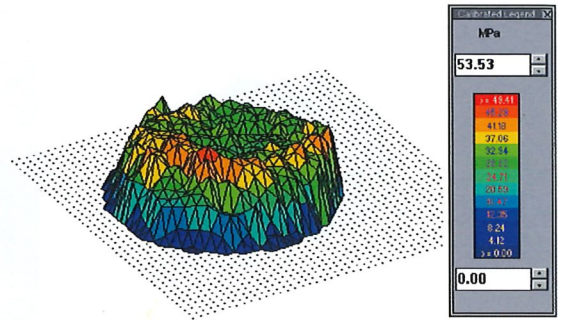
Pressure distribution on the top side 150 x 300 mm cylindrical cores produced for H-50 depending on the capping method used. Testing press: 3000 kN maximum capacity (3D view).

Fig. 10



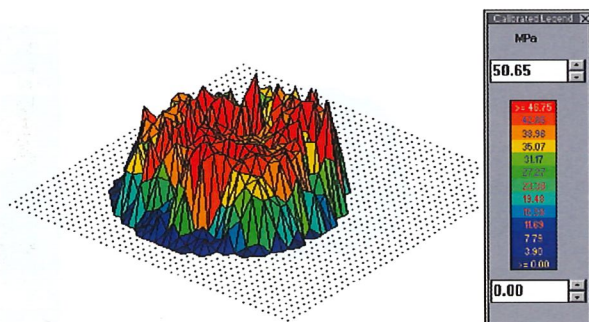
a. Refrentado: Pulido.

$N_R = 844.3 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 47.78 \text{ MPa}$.
 $\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 26.76 \text{ MPa}$.



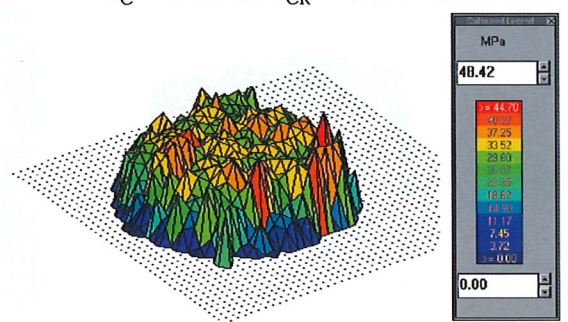
b. Refrentado: Mortero de Azufre de 3 mm de espesor.

$N_R = 873.1 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 49.41 \text{ MPa}$.
 $\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 27.67 \text{ MPa}$.



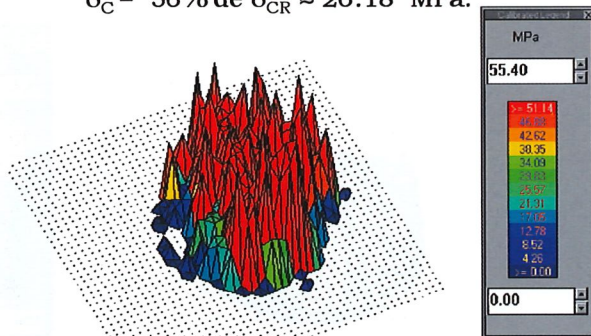
c. Refrentado: Azufre de Alta Resistencia.

$N_R = 826.1 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 46.75 \text{ MPa}$.
 $\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 26.18 \text{ MPa}$.



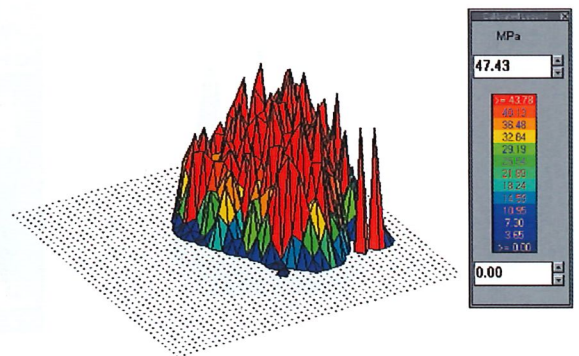
d. Refrentado: Mortero de Azufre de 8 mm de espesor.

$N_R = 789.8 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 44.70 \text{ MPa}$.
 $\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 25.03 \text{ MPa}$.



e. Refrentado: Pasta de cemento aluminoso.

$N_R = 903.7 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 51.14 \text{ MPa}$.
 $\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 28.64 \text{ MPa}$.



f. Refrentado: Método Danés.

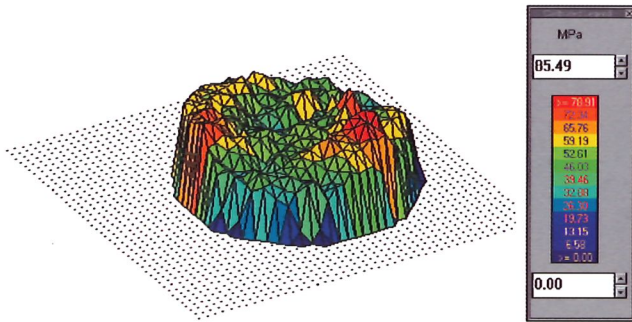
$N_R = 773.7 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 43.78 \text{ MPa}$.
 $\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 24.52 \text{ MPa}$.

Nota:

- Los resultados indicados corresponden al valor de la probeta compañera en cada caso.

Distribución de presiones sobre la cara superior de probetas cilíndricas de 150 x 300 mm fabricados para H-50, según el método de refrentado aplicado. Prensa de ensayo: 3000 kN de capacidad máxima (Vista en 3D).

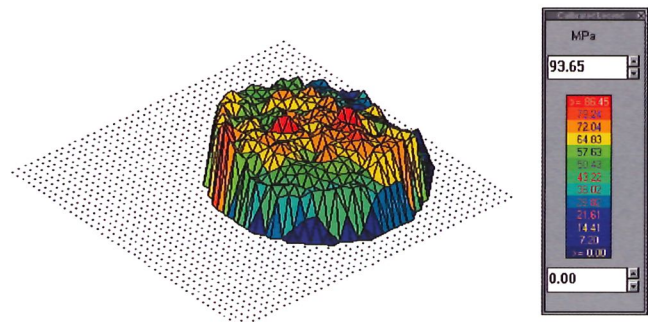
Fig. 10



a. Capping Method: Grinding

$N_R = 1394.4 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 78.91 \text{ MPa}$.

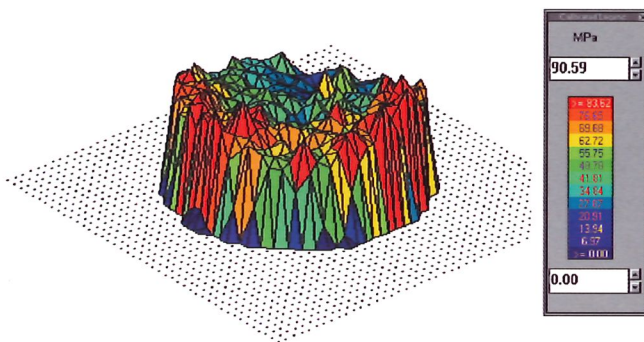
$\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 44.18 \text{ MPa}$.



b. Capping Method: Three-mm sulphur mortar

$N_R = 1527.6 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 86.45 \text{ MPa}$.

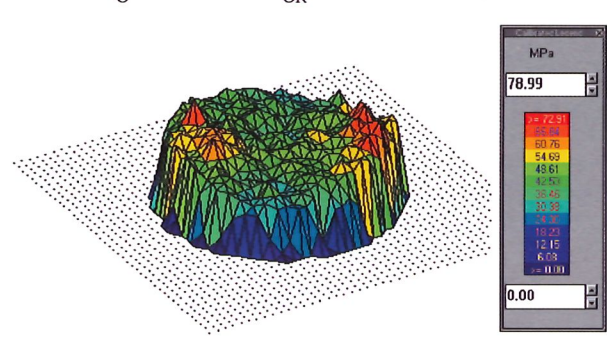
$\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 48.41 \text{ MPa}$.



c. Capping Method: Three-mm high strength sulphur mortar

$N_R = 1477.7 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 83.62 \text{ MPa}$.

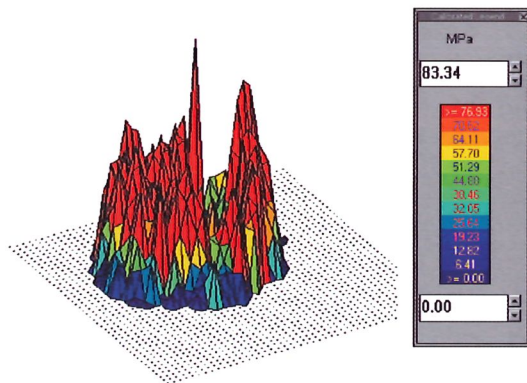
$\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 46.82 \text{ MPa}$.



d. Capping Method: Eight-mm sulphur mortar

$N_R = 1288.3 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 72.91 \text{ MPa}$.

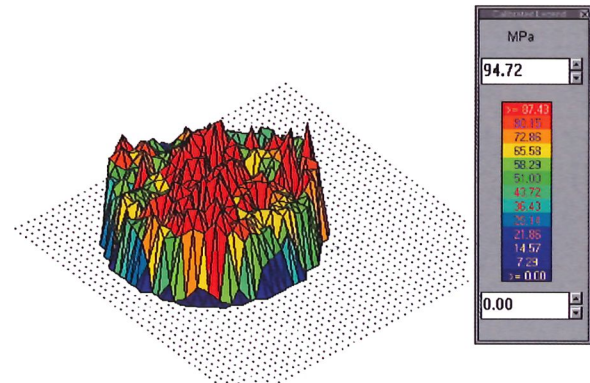
$\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 40.83 \text{ MPa}$.



e. Capping Method: Aluminous Cement Paste

$N_R = 1359.5 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 76.93 \text{ MPa}$.

$\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 43.08 \text{ MPa}$.



f. Capping Method: Danish Method

$N_R = 1545.0 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 87.43 \text{ MPa}$.

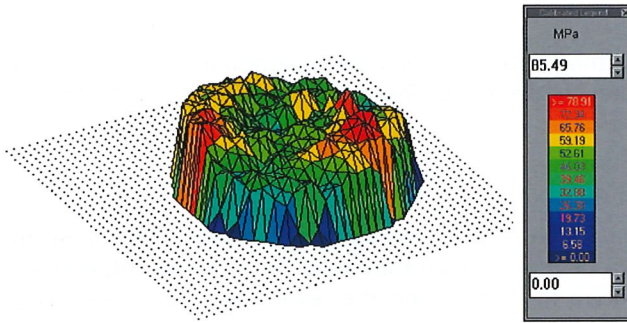
$\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 48.96 \text{ MPa}$.

Note:

- The proposed results fall to the value of the twin core on each case

Pressure distribution on the top side 150 x 300 mm cylindrical cores produced for H-80 depending on the capping method used. Testing press: 3000 kN maximum capacity (3D view).

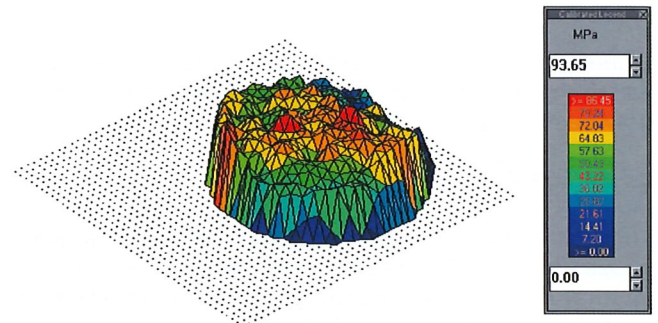
Fig. 11



a. Refrentado: Pulido.

$N_R = 1394.4 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 78.91 \text{ MPa}$.

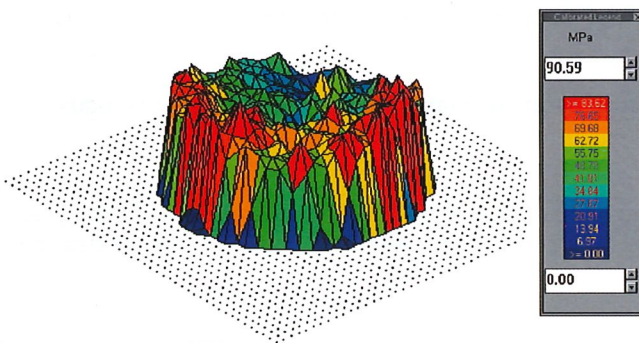
$\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 44.18 \text{ MPa}$.



b. Refrentado: Mortero de Azufre de 3 mm de espesor.

$N_R = 1527.6 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 86.45 \text{ MPa}$.

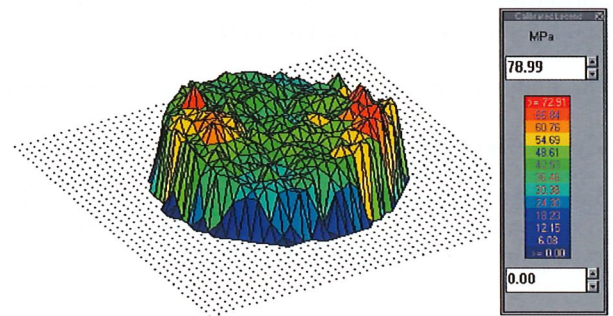
$\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 48.41 \text{ MPa}$.



c. Refrentado: Azufre de Alta Resistencia.

$N_R = 1477.7 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 83.62 \text{ MPa}$.

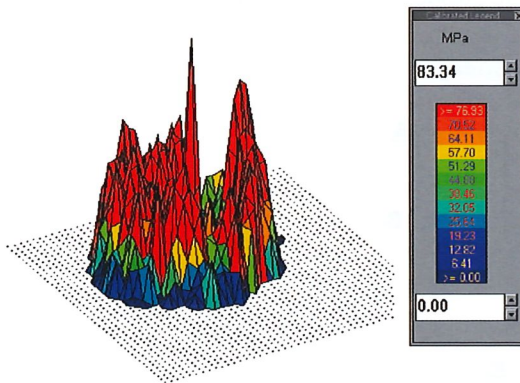
$\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 46.82 \text{ MPa}$.



d. Refrentado: Mortero de Azufre de 8 mm de espesor.

$N_R = 1288.3 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 72.91 \text{ MPa}$.

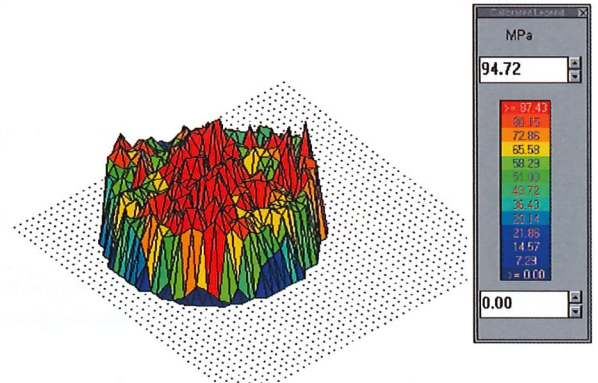
$\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 40.83 \text{ MPa}$.



e. Refrentado: Pasta de cemento aluminoso.

$N_R = 1359.5 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 76.93 \text{ MPa}$.

$\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 43.08 \text{ MPa}$.



f. Refrentado: Método Danés.

$N_R = 1545.0 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 87.43 \text{ MPa}$.

$\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 48.96 \text{ MPa}$.

Nota:

- Los resultados indicados corresponden al valor de la probeta compañera en cada caso.

Distribución de presiones sobre la cara superior de probetas cilíndricas de 150 x 300 mm fabricados para H-80, según el método de refrentado aplicado. Prensa de ensayo: 3000 kN de capacidad máxima (Vista en 3D).

Fig. 11

4.1.3 Grinding as the standard capping method

Grinding is generally accepted to be the standard capping method and the codes and recommendations in place establish no limits to its application within the range of concretes in use today. There are, however, certain inherent drawbacks to the method, as discussed below.

4.1.3.1 Apparatus

The cost of the equipment required is in itself a drawback, not to mention the need for an area of at least 6.00 m² to house each grinding wheel, in addition to a minimum clearance of 1.00 m on all four sides for visibility of the entire apparatus and its surroundings from the workstation. A system for evacuating the water used in the grinding process must also be provided.

4.1.3.2 Grinding time

Given that it takes an average of 20 minutes to grind a medium strength concrete specimen, laboratories such as INTEMAC's where an average of 250 specimens are tested per day would need around 10 grinding wheels (and consequently an area of no less than 100 m² to house them) and 10 operators; add to that the fair amount of time and operator skill required to replace worn blades.

For all the foregoing, grinding is not a viable procedure for routine capping in laboratories with heavy work loads.

4.1.3.3 Finish surface tolerances

Specimen surface finish tolerance requirements before capping should be even stricter than the ± 2.5 mm stipulated in the standard to minimize both the amount of time needed to grind the specimen and wear on the blades, an important cost consideration in this capping method.

4.2. CONCRETE CUBES

The water in concrete members tends to seep outward to the surface due to exudation, generating a higher water/cement ratio in these areas. This gives no cause for concern in cylindrical specimens, inasmuch as they are tested in the same direction as the concrete is poured. In concrete cubes, however, in which test loading is perpendicular to the direction of concrete placement, water/cement ratio, strength and modulus of elasticity differences are observed between the bottom and exposed top surface of the specimen.

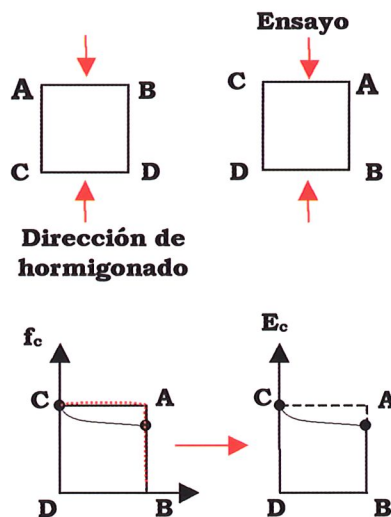


Fig. 12

Fuente: J. Calavera Ruiz - 2003 (4)

This observation was explored in all the strength ranges studied by comparing the pressure distribution in concrete cubes when loaded on axes perpendicular and parallel to the concreting direction (see Figures 13, 14 and 15).

4.1.3 El Pulido como método de refrentado de referencia

El pulido es comúnmente aceptado como el método de refrentado de referencia y las diferentes normativas no tienen ningún límite de exigencia para su uso en la gama de hormigones que se manejan hoy en día. Sin embargo hay que tener en cuenta que este método presenta las siguientes desventajas:

4.1.3.1 El equipo

El costo del equipo es ya por sí mismo un inconveniente, además de ser necesario, como mínimo, disponer de un espacio útil de 6.00 m² por máquina para la instalación de la misma, una distancia mínima de 1.00 m entre equipos para dejar paso al técnico encargado de la alimentación de los mismos y el espacio disponible para que el técnico sea capaz de ver todo el equipo en sí y a su alrededor desde el lugar de trabajo. A lo anterior, hay que añadir las obras necesarias para poder evacuar el agua producto del proceso del pulido.

4.1.3.2 Tiempo de ejecución del método

Si se tiene en cuenta que pulir una probeta de hormigón de resistencia media conlleva unos 20 minutos, para un laboratorio como INTEMAC donde se rompen en promedio 250 probetas/día, serían necesarias entonces unas 10 pulidoras (lo que implica que la zona de pulidoras ocupe no menos de 100 m²) que a su vez requieren 10 operarios, esto sin tener en cuenta, además, el tiempo que implica cambiar las cuchillas en caso de desgaste y en donde es necesaria una gran habilidad del operario.

Esta situación hace inviable el pulido como un método de refrentado convencional para ser llevado en un laboratorio que tenga una actividad apreciable.

4.1.3.3 Tolerancias de la cara de acabado

La cara de acabado de las probetas antes de refrentar deben de tener unas tolerancias aún menores que las estipuladas en la normativa: ± 2.5 mm no sólo por el aumento en el tiempo que implica pulir la cara de la probeta sino también para evitar un excesivo desgaste de las cuchillas, lo que genera un alto costo en el proceso de este método de refrentado.

4.2. ANÁLISIS SOBRE PROBETAS CÚBICAS

Es claro que en los elementos de hormigón el agua tiende a subir a la superficie por efecto de la exudación y este hecho ocasiona entonces que en estas zonas se presente una mayor relación agua/cemento. Esta situación no es observada en las probetas cilíndricas debido a que ellas son ensayadas en la misma dirección del hormigonado, sin embargo, las probetas cúbicas al ser ensayadas en dirección perpendicular al hormigonado presentan entonces entre la cara correspondiente al fondo del molde y la cara correspondiente a la superficie libre del hormigonado una diferencia de rigidez y de módulo de deformación por tal efecto.

Para comprobar este hecho, se registró entonces la distribución de presiones sobre las probetas cúbicas ensayadas en dirección perpendicular al hormigonado y en la misma dirección del hormigonado para cada una de las gamas de resistencias ensayadas (Ver figuras 13, 14 y 15).

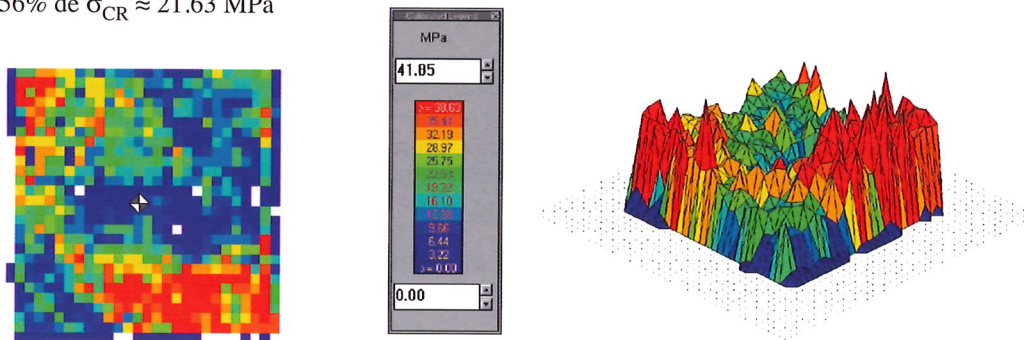
De dichas figuras se concluye lo siguiente:

- 1.- Cuando la probeta se ensaya en la misma dirección del hormigonado, la distribución de presiones presenta una mayor uniformidad a medida que se mejora la resistencia del hormigón.
- 2.- Cuando la probeta se ensaya en dirección perpendicular al hormigonado, las caras en contacto con los platos de la prensa presentan en las zonas de su superficie una diferencia de rigidez y por tanto una variación en el módulo de deformación por causa de la diferencia en la relación agua/cemento debida a la exudación - aumentando desde el fondo (cara en contacto con la pared del molde) hasta la superficie de la probeta (cara correspondiente a la superficie libre del hormigonado)-. Esto se manifestó de forma notoria en la distribución de presiones obtenida para la probeta fabricada con el hormigón H-80.

These figures show that:

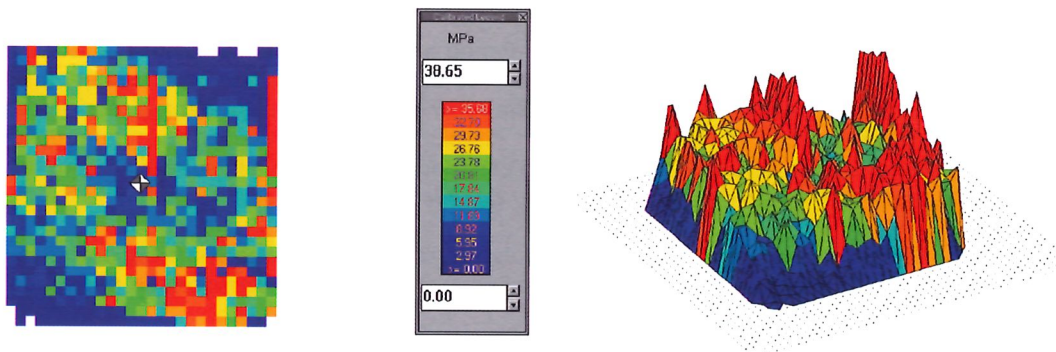
- 1.- When the specimen was tested in the same direction as the concrete was poured, pressure distribution uniformity increased with concrete strength.
- 2.- When the specimen was tested along the axis perpendicular to the concreting direction, the surfaces in contact with the testing machine platens exhibited stiffness differences and therefore variations in the strain modulus due to exudation-mediated increases in the water/cement ratio, which was higher at the top (exposed surface) than at the bottom (surface in contact with the mould) of the specimen. Such differences were particularly visible in the pressure distribution obtained for the H-80 concrete specimen.

$N_R = 869.2 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 38.63 \text{ MPa}$.
 $\sigma_c = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 21.63 \text{ MPa}$



**a.-H-25. Testing in the same direction as the concrete is being poured.
 Capping: Grinding**

$N_R = 811.1 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 36.05 \text{ MPa}$.
 $\sigma_c = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 20.19 \text{ MPa}$



b.-H-25. Testing along the axis perpendicular to the concreting direction.

Note:

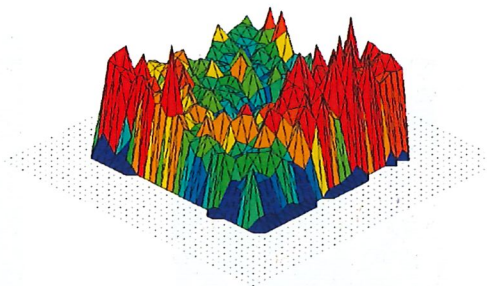
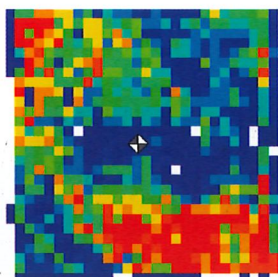
- Results registered correspond to the twin core value on each case.

◆ = c.d.g. of the pressures on the core side.

**Pressure distributions on the H-25 concrete cube surface in contact with the upper platen on the testing machine,
 by the loading direction with respect to the concreting direction**

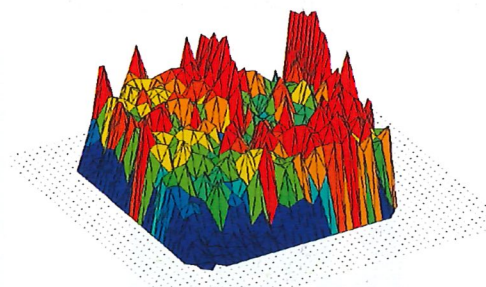
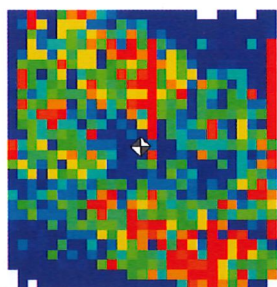
Fig. 13

$N_R = 869.2 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 38.63 \text{ MPa}$.
 $\sigma_c = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 21.63 \text{ MPa}$



**a.-H-25. Ensayo en la misma dirección del hormigonado.
 Refrentado: Pulido.**

$N_R = 811.1 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 36.05 \text{ MPa}$.
 $\sigma_c = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 20.19 \text{ MPa}$



b.-H-25. Ensayo en la dirección perpendicular al hormigonado.

Nota:

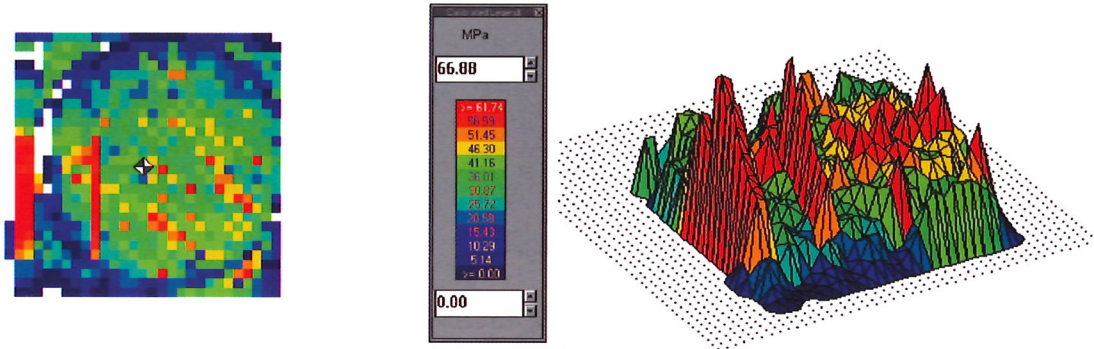
- Los resultados indicados corresponden al valor de la probeta compañera en cada caso.

◆ = c.d.g. de las presiones sobre la cara de la probeta.

Distribución de presiones sobre la cara de una probeta cúbica en contacto con el plato superior de la prensa teniendo en cuenta la dirección del eje de aplicación de la carga con respecto a la dirección de hormigonado para un hormigón H-25

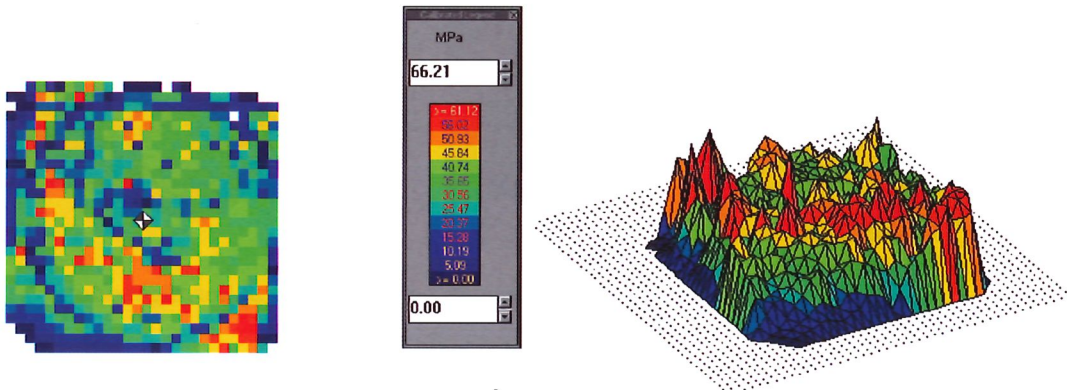
Fig. 13

$N_R = 1389.1 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 61.74 \text{ MPa}$.
 $\sigma_C = 56 \% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 34.57 \text{ MPa}$.



**a.-H-25. Testing in the same direction as the concrete is being poured.
 Capping: Grinding**

$N_R = 1375.3 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 61.12 \text{ MPa}$.
 $\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 34.23 \text{ MPa}$.



b.-H-25. Testing along the axis perpendicular to the concreting direction.

Note:

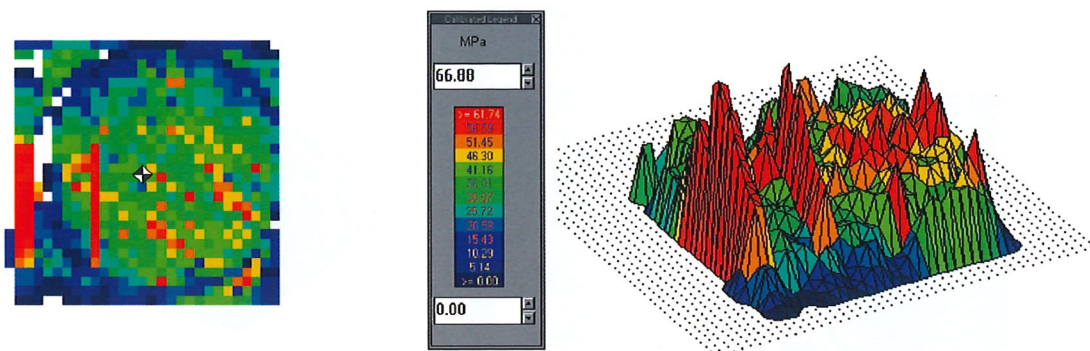
- Results registered correspond to the twin core value on each case.

◀ = c.d.g. of the pressures on the core side.

Pressure distributions on the H-50 concrete cube surface in contact with the upper platen on the testing machine, by the loading direction with respect to the concreting direction

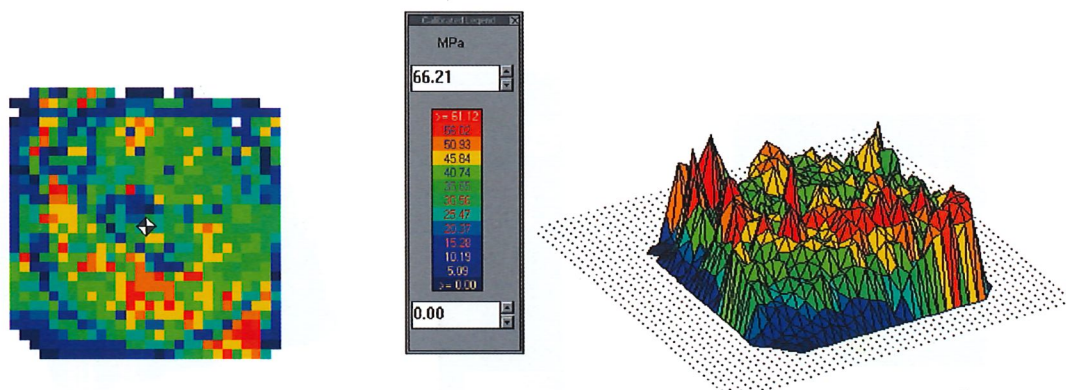
Fig. 14

$N_R = 1389.1 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 61.74 \text{ MPa}$.
 $\sigma_C = 56 \% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 34.57 \text{ MPa}$.



**a.- H-50. Ensayo en la misma dirección del hormigonado.
 Refrentado: Pulido.**

$N_R = 1375.3 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 61.12 \text{ MPa}$.
 $\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 34.23 \text{ MPa}$.



b.- H-50. Ensayo en la dirección perpendicular al hormigonado.

Nota:

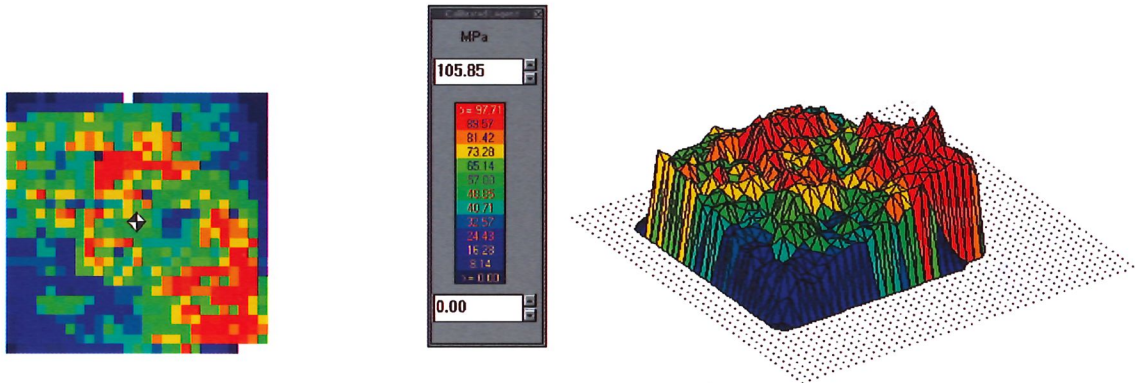
- Los resultados indicados corresponden al valor de la probeta compañera en cada caso.

◆ = c.d.g. de las presiones sobre la cara de la probeta.

Distribución de presiones sobre la cara de una probeta cúbica en contacto con el plato superior de la prensa teniendo en cuenta la dirección del eje de aplicación de la carga con respecto a la dirección de hormigonado para un hormigón H-50

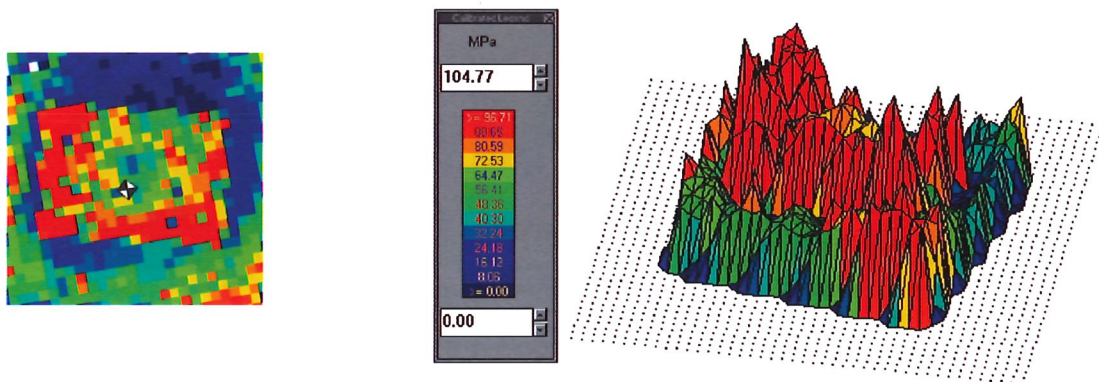
Fig. 14

$N_R = 869.2 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 38.63 \text{ MPa}$.
 $\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 21.63 \text{ MPa}$.



**a.-H-25. Testing in the same direction as the concrete is being poured.
 Capping: Grinding**

$N_R = 2176.0 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 96.71 \text{ MPa}$.
 $\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 54.15 \text{ MPa}$.



b.-H-25. Testing along the axis perpendicular to the concreting direction.

Note:

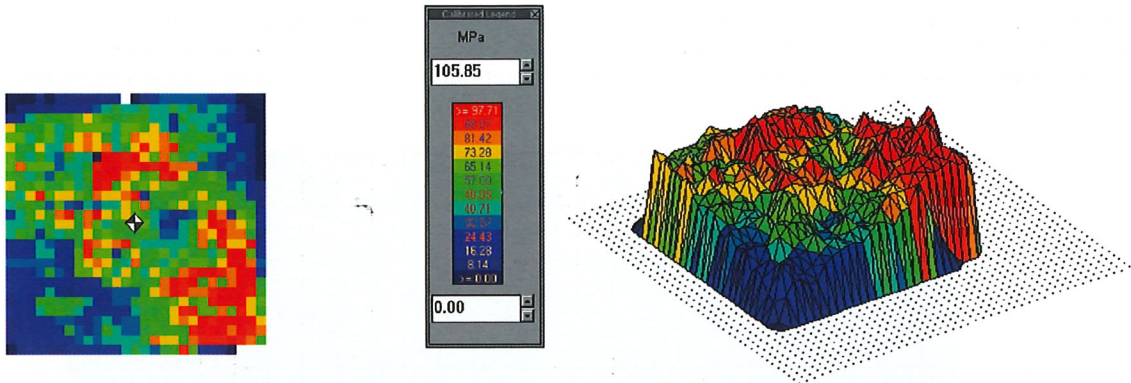
- Results registered correspond to the twin core value on each case.

◆ = c.d.g. of the pressures on the core side.

**Pressure distributions on the H-80 concrete cube surface in contact with the upper platen on the testing machine,
 by the loading direction with respect to the concreting direction**

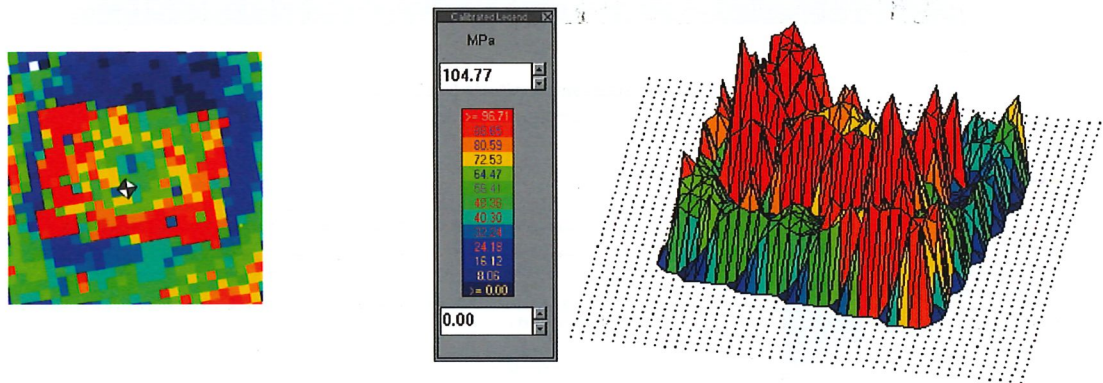
Fig. 15

$N_R = 869.2 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 38.63 \text{ MPa}$.
 $\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 21.63 \text{ MPa}$.



**a.- H-80. Ensayo en la misma dirección del hormigonado.
 Refrentado: Pulido.**

$N_R = 2176.0 \text{ kN}$. $\sigma_{CR} = 96.71 \text{ MPa}$.
 $\sigma_C = 56\% \text{ de } \sigma_{CR} \approx 54.15 \text{ MPa}$.



b.- H-80. Ensayo en la dirección perpendicular al hormigonado.

Nota:

- Los resultados indicados corresponden al valor de la probeta compañera en cada caso.

◆ = c.d.g. de las presiones sobre la cara de la probeta.

Distribución de presiones sobre la cara de una probeta cúbica en contacto con el plato superior de la prensa teniendo en cuenta la dirección del eje de aplicación de la carga con respecto a la dirección de hormigonado para un hormigón H-80

Fig. 15

4.2.1 Unit strain in concrete cubes tested under axial loads perpendicular to the direction of concrete placement

Strain gauges (2 per surface, for a total of 8) were used to determine the strain on an H-80 concrete cube tested at an angle perpendicular to the direction of concrete placement. The greatest strain was observed, as might be expected, on the exposed concrete surface and the smallest on the opposite surface (surface in contact with the bottom of the mould), due to the difference in stiffness between the two; by contrast, the strain values recorded for the two lateral surfaces, which had the same exudation-related water/cement ratio distribution along their entire length, were similar.

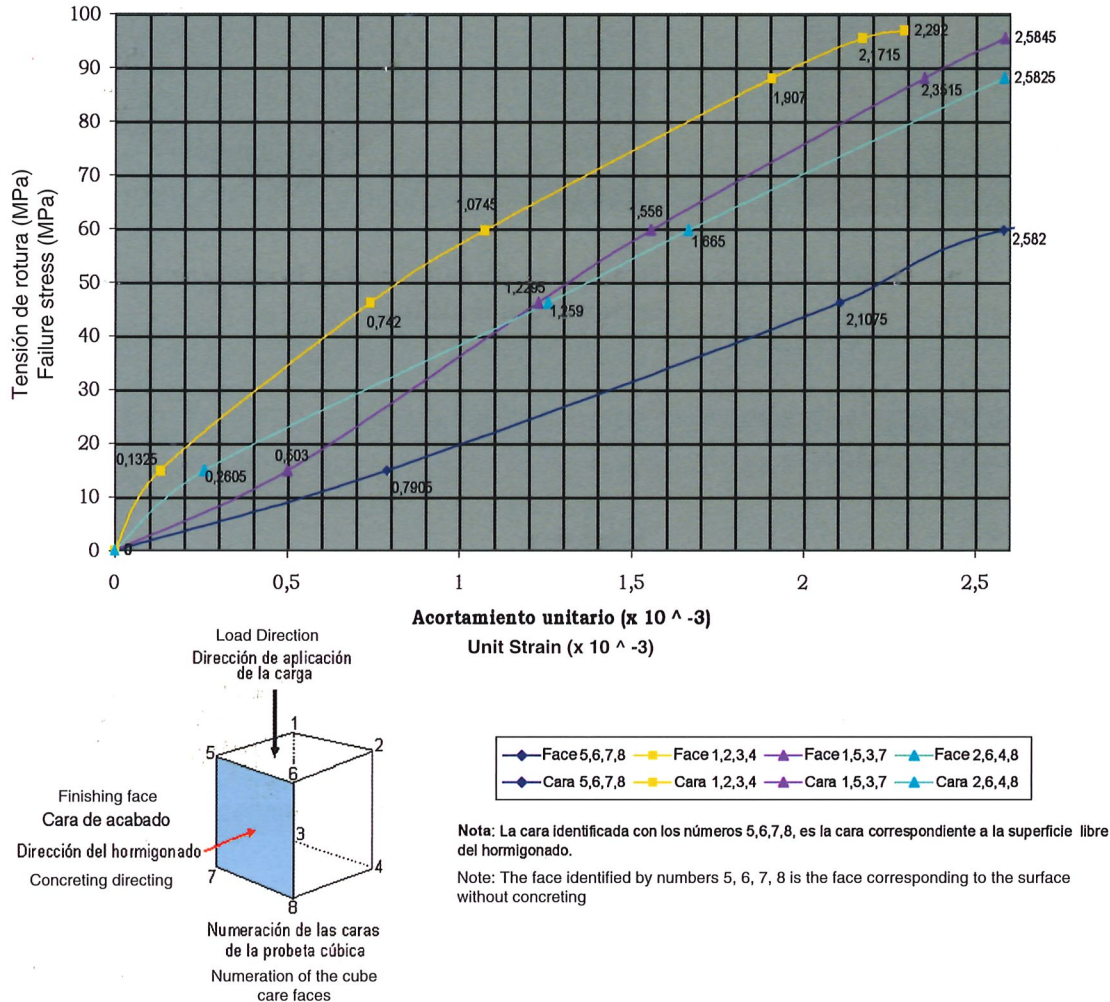


Diagrama de tensión-acortamiento unitario para una probeta cúbica fabricada con un hormigón H-80, ensayada hasta la rotura en dirección perpendicular al hormigonado
Unit stress-strain diagram for H-80 concrete tested to failure in a direction perpendicular to the concreting direction.

Fig. 16

With the strain values obtained for the specimen as illustrated in the above figure, the hinge rotation angle was found to be on the order of $0^{\circ} 5' 11.05''$. This makes concrete cube testing more sensitive than cylindrical specimens to the rotation capacity of the testing machine.

Moreover, if cubes are used for concrete quality control, testing at an angle perpendicular to the concreting direction to avoid having to cap the specimen (as suggested in a number of standards) yields lower strength values than obtained when the specimens are tested in the direction in which the concrete was poured. The differences are quantified in the figure below.

Such differences, moreover, affect the correlation between the strength values for 150 mm concrete cubes and 150 x 300 mm cylinders, with increases in the cylinder/cube ratio of over 5% when loads are applied perpendicular

4.2.1.- Acortamientos unitarios en la probeta cúbica ensayada en dirección perpendicular al hormigonado

Para el caso de la probeta cúbica H-80 ensayada en dirección perpendicular al hormigonado se determinaron los acortamientos unitarios empleando para tal fin bandas extensométricas (2 bandas por cada cara que hacen un total de 8 bandas). Como resultado, el mayor acortamiento se presenta como era de esperarse en la cara correspondiente a la zona libre del hormigonado y el menor acortamiento unitario en la cara opuesta (cara en contacto con el fondo del molde) debido a la diferencia de rigidez entre las caras; las caras laterales al presentar la misma distribución en la relación agua/cemento a lo largo de su superficie por efecto de la exudación, registran un acortamiento semejante.

Con los acortamientos obtenidos sobre la probeta tal y como se expuso en la figura anterior, se halla entonces que el giro de la rótula de la prensa de ensayo es del orden de $0^{\circ} 5' 11.05''$. Ello hace que el ensayo de probetas cúbicas sea más sensible a la capacidad de giro de la rótula que el de probetas cilíndricas.

Por otro lado, en el caso de emplear las probetas cúbicas como elemento de control, el hecho de ensayar en dirección perpendicular al hormigonado para evitar el proceso del refrentado (tal y como lo indican las diferentes normativas), trae consigo bajas de resistencia con respecto a los resultados obtenidos cuando las probetas se ensayan en la misma dirección del hormigonado, que se cuantifican en:

- 5,6% para H-25
- 4,9% para H-50
- 3,6% para H-80

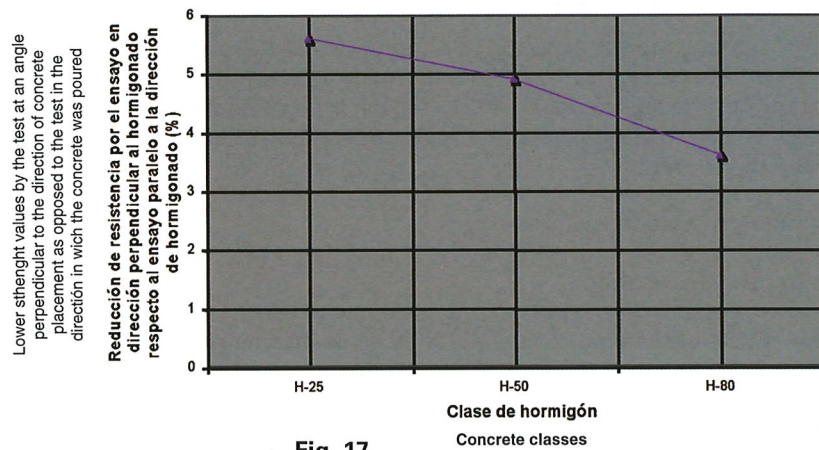


Fig. 17

Por otro lado, esta diferencia hallada entre las dos direcciones de ensayo con respecto al hormigonado influye en la correlación de resistencias entre la probeta cúbica de 150 mm y la probeta cilíndrica de 150 x 300 mm, obteniendo un incremento en los valores para la correlación cilíndrica/cúbica superiores al 5% cuando el ensayo se realiza en dirección perpendicular al hormigonado. Esto indica entonces, que si en un país se pasan los valores resistencia a compresión de probeta cúbica a probeta cilíndrica, el diseño de los hormigones en planta tendría que incrementar su resistencia en un 5% para compensar dicho efecto (4).

En cuanto a la tipología de daño observada, en el caso de los hormigones H-25 y H-50 es claro que para el ensayo a rotura en la dirección perpendicular al hormigonado se afecta mucho más la cara correspondiente a la superficie libre del hormigonado, y en el caso del H-80 la forma de rotura es por explosión quedando fragmentos de material.

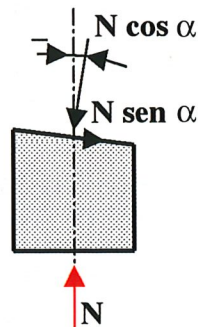


Fig. 18

to the concreting direction. The practical consequences of this finding for design are that the conversion of concrete cube compression strength values to cylindrical values in any given country would necessitate a 5% increase in strength to offset the effect of the differences described (4).

Finally, for H-25 and H-50 concrete, when the test was conducted in a direction perpendicular to the concreting direction, the exposed concrete surface was much more severely damaged, while H-80 concrete failure under these test conditions led to the explosion of the specimen into tiny fragments.

Figure 18 shows the position of the loads and the shape of the specimen prior to rupture.

With a value of $\alpha \approx 5'$, the tangential component is $N \sin \alpha \approx 0,0015N$ which, for concrete with a strength of 80 MPa, comes to a value of 2.7 kN, translating into a shear stress of 0.12 N/mm².

6. CONCLUSIONS

The following conclusions can be drawn from the results of the tests conducted on 150 x 300 mm cylinders capped with different methods to smooth the surface in contact with the upper platen on the testing machine:

- i. Three-mm sulphur mortar capping was found to be effective for the concrete ranges tested, particularly for high-strength concrete, not only for the crushing strength values obtained, which are comparable to the readings for ground specimens, but also for the ease of application of this mortar compared to other materials in use today. The following recommendations should be observed, however, if optimum results are to be obtained with this method
 - Control the fusion temperature.
 - Do not reuse the material.
 - Use thin layers of material, not over 3 mm, since increasing the thickness to 8 mm leads to strength losses of 1.98% for H-25, and over 9% for H-80 concrete.
 - The material must be applied by qualified personnel.
- ii. Aluminous cement paste, in turn, was found to be unsuitable as a capping material, not only for the scattered results obtained, but also for the lower strength values recorded compared to the numbers for ground specimens, with differences of up to 15% in high-strength concrete.

Not to mention the shortcomings discussed above in respect of specimen preparation and curing.
- iii. The results of compression tests on specimens capped with a commercially available high-strength sulphur mortar were 3.3% lower on average than the strength values recorded for ground specimens.
- iv. The Danish method proved to yield optimum results only for concretes fluid enough to establish a suitable bond with the lid of the mould, the condition of which was also observed to affect the strength of the bond. In the present study, only H-80 concrete had a high enough fluidity to be able to obtain crushing strength values.
- v. The pressure transmitted by the testing machine was distributed most uniformly on ground specimens and cylinders capped with 3-mm sulphur mortar, which were also the specimens with the highest strength values. With the Danish method, uniform pressure distribution was obtained only for H-80 concrete – as noted above – in which case the crushing strength values were comparable to the figures for grinding and 3-mm sulphur mortar capped cylinders.
- vi. A comparison of the types of rupture found for each capping method clearly showed that the best rupture (two cones joined at the vertex) was obtained for ground specimens.

The conclusions drawn from the results for the 150-mm cubic specimens are as follows:

- vii. The use of cubes pursuant to the specifications laid down in the existing standards led to concrete strength values lower than the intrinsic strength of the material; this finding was verified by other procedures in addition to the comparison of the pressure distributions for the two loading directions with respect to the concreting axis.

En la figura 18 se indica la posición de las cargas y la forma de la probeta antes de la rotura.

Con un valor de $\alpha \approx 5'$ la componente tangencial vale $N \text{sen} \alpha \approx 0,0015N$ que para una resistencia del hormigón de 80 MPa alcanza el valor de 2,7 kN. El esfuerzo cortante que ello supone es de 0,12 N/mm².

6. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en los ensayos realizados para los diferentes métodos de refrentado, aplicados sobre la cara en contacto con el plato superior de la prensa, para las probetas cilíndricas de 150 x 300 mm, se concluye lo siguiente:

i. Se comprueba la eficacia del comportamiento del refrentado de mortero de azufre de 3 mm de espesor para las gamas de hormigones ensayados y principalmente los hormigones de alta resistencia, no solamente por los valores de resistencia a rotura por compresión obtenidos que son comparables con el pulido, sino también por su facilidad de aplicación con respecto a muchos otros materiales que se están utilizando hoy en día. Es importante tener en cuenta que dicho método de refrentado debe de cumplir con las siguientes recomendaciones para obtener unos resultados óptimos:

- Controlar la temperatura de fundición del material.
- No reutilizar el material.
- Emplear espesores de material delgados como máximo de 3 mm, ya que el hecho de incrementar el mismo a 8 mm trae como consecuencia pérdidas de resistencia cuantificadas en 1.98% para el caso del hormigón H-25, llegando inclusive a superar el 9% en el caso del H-80.
- La aplicación debe ser llevada a cabo por personal cualificado.

ii. En cuanto a la incertidumbre existente de la idoneidad del empleo de la pasta de cemento aluminoso como material de refrentado, se corrobora que es un método no adecuado, no sólo por las altas dispersiones obtenidas en los resultados, sino también por las pérdidas de resistencia registradas cuando se comparan dichos valores con el método de refrentado pulido, y que llegan a superar incluso el 15% en los hormigones de alta resistencia.

Adicionalmente, es importante recordar los inconvenientes de su preparación y curado en los que se hizo énfasis anteriormente.

- iii. El empleo del mortero de azufre de alta resistencia disponible en el ámbito comercial como método de refrentado, ha conducido a una disminución media de resistencia del 3.3 % cuando se compara con el método de refrentado pulido.
- iv. El método danés es un procedimiento de refrentado óptimo únicamente en el caso de que los hormigones tengan una fluidez considerable para que la adherencia del hormigón con la tapa del molde sea adecuada, y donde influye el estado de la misma. En nuestro caso, solamente se obtienen valores de resistencia a rotura por compresión en el caso del H-80 debido a la alta fluidez que presentaba.
- v. Al registrar la distribución de presiones transmitida por la prensa a cada uno de los métodos de refrentado, se obtiene una mayor homogeneidad con el pulido y con el mortero de azufre de 3 mm de espesor, situación que coincide con los mayores valores de resistencia obtenidos. En el caso del método danés, dicha uniformidad en la distribución de presiones se obtiene únicamente en el caso del H-80 - tal y como se mencionó anteriormente -, situación que coincide con unos valores de resistencia a rotura por compresión comparables con el pulido y el mortero de azufre de 3 mm de espesor.
- vi. Después de haber obtenido los tipos de rotura para cada uno de los métodos de refrentado aplicados, queda claro que la mejor rotura (dos conos unidos por el vértice), se manifiesta cuando el método de refrentado aplicado es el pulido.

De los resultados obtenidos en los ensayos realizados para las probetas cúbicas de 150 mm de arista, se concluye lo siguiente:

-
- viii. When the specimen was tested along the axis perpendicular to the direction the concrete was poured, the surfaces in contact with the testing machine platens exhibited stiffness differences and therefore variations in the strain modulus due to exudation-mediated increases in the water/cement ratio, which rose from the bottom (surface in contact with the mould) to the top (exposed surface) of the specimen. Such differences were particularly visible in the pressure distribution obtained for the H-80 concrete specimen.
- ix. In light of the variations in the strain and stiffness values referred to in the preceding paragraph, concrete cube testing can be sustained to be more sensitive than cylindrical specimens to rotation capacity of the testing machine, whose rotation angle was found to be on the order of $0^{\circ} 5' 11.05''$ at a load approximately 60% of the ultimate load.

-
- vii. La utilización de probetas cúbicas, siguiendo las especificaciones de la normativa vigente, conduce a resistencias de hormigón inferiores a las intrínsecas al material, y esto se comprueba adicionalmente no sólo cuando se realiza la comparación en la distribución de presión para los dos casos de ensayo con respecto a la dirección del hormigonado.
 - viii. Cuando la probeta se ensaya en dirección perpendicular al hormigonado, las caras en contacto con los platos de la prensa presentan en las zonas de su superficie una diferencia de rigidez y por tanto una variación en el módulo de deformación por causa de la diferencia en la relación agua/cemento debida a la exudación - aumentando desde el fondo (cara en contacto con la pared del molde) hasta la superficie de la probeta (cara correspondiente a la superficie libre del hormigonado)- . Esto se manifestó de forma notoria en la distribución de presiones obtenida para la probeta fabricada con el hormigón H-80.
 - ix. Se comprueba que la variación en el módulo de deformación y rigidez a las que se hace mención en el párrafo anterior, traen entonces como consecuencia que el ensayo de las probetas cúbicas sea más sensible a la capacidad de giro de la rótula de la prensa que el de las probetas cilíndricas, obteniendo valores del orden de $0^{\circ} 5' 11.05''$ cuando la aplicación de la carga era de aproximadamente el 60% de la carga de rotura.

REFERENCES

1. ASTM C 39/96 *STANDARD TEST METHOD FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS*.
2. *ASTM Designation: C 617-98. Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens*.
3. BURG, R.G, CALDARONE M.A., DETWILLER G., JANSEN D.C., and WILLEMS T.J. *Compression Testing of HSC: Latest Technology. Concrete International. August 1999*.
4. CALAVERA, J. Nota para la Comisión Permanente del Hormigón sobre las ventajas e inconvenientes de las probetas cilíndricas y cúbicas para el control de hormigones. Marzo 14 2003.
5. DELIBES LINIERS, Adolfo, GONZÁLEZ ISABEL Germán. Estudio de la influencia que los distintos tipos de refrentado ejercen en el ensayo a la compresión de probetas de hormigón. Publicación No.10. 1977. Separata de la Revista Hormigón y Acero No. 119 – 120.
6. *Guide to quality control and testing of High-Strength Concrete. ACI 363.2R-98. Reported by ACI Committee 363. 1998. American Concrete Institute.*
7. *Nordtest Method. NT BUILD 201 Edition 2. Approved 1984-05. Concrete: Making and curing of moulded test specimens for strength tests. Published by NORDTEST. Classification: UDC 666.97/691.32.*
8. Norma española UNE 83.303.84. Refrentado de probetas con mortero de azufre. AENOR. Ensayos de hormigón y sus componentes. Construcción – Tomo 5. Recopilación Normas UNE. 1991.
9. Norma española UNE 83.304.84. Rotura por compresión. Diciembre 1984. AENOR. Ensayos de hormigón y sus componentes. Construcción – Tomo 5. Recopilación Normas UNE. 1991.
10. Norma española UNE 83.301.91. Ensayos de Hormigón. Fabricación y conservación de probetas. Agosto 1991. AENOR. Ensayos de hormigón y sus componentes. Construcción – Tomo 5. Recopilación Normas UNE. 1991.
11. RILEM *Technical Recommendations for the testing and use of construction Materials*. 1994. Printed in Great Britain by St Edmundsbury Press, Bury St Edmunds. Published by E & FN Spon. ISBN 0 419 18810 X.
12. TORRENTI Jean Michel, BOULAY, Claude. *Résultats récents concernant l'essai de compression du béton. ANNALES del institut technique du batiment et des travaux publics*. No. 513 Mai 1993. Série: Essais et mesures 244.
13. TROXELL, G.E, 1941, "The Effects of Capping Methods and End conditions Before Capping upon Compressive Strength of Concrete Cylinders", ASTM Proceedings, Vol 41. Pp.1039-1052.
14. VADAKAN, Vichit, CARINO N.J, MULLINGS G.M. *Effect of Elastic Modulus of Capping Material on Measured Strength of High-Strength Concrete Cylinders. Cement Concrete and Aggregates*, Vol 20 No.2, 227 – 234. December 1998.
15. Vídeo de Formación Técnica, Serie EH – No.8801 (1). Fabricación y Ensayo de Probetas de Hormigón. Laboratorio de INTEMAC, Control de Calidad.
16. WERNER George, "The effect of type of capping material on the comprssive strength of concrete Cylinders" *Proceedings*, ASTM V.58, 1958, pp 1166-1186.

DOCTOR'S THESIS CONSULTED

1. ALAEJOS GUTIERREZ, M^a Pilar. Civil Engineer. Doctor's thesis directed by M. Fernández Cánovas: Contribución al estudio del comportamiento mecánico de los Hormigones de Alta Resistencia. School of Civil Engineering, Polytechnic Univesity of Madrid, December 1993.
2. CAÑAS MARTINS, María Luisa. Civil Engineer. Doctor's thesis directed by M. Fernández Cánovas: Análisis del comportamiento mecánico del Hormigón de Alta Resistencia mediante probetas testigo y probetas moldeadas con distintas condiciones de hormigonado. School of Civil Engineering, Polytechnic Univesity of Madrid, February 1997.

BIBLIOGRAFÍA

1. ASTM C 39/96 STANDARD TEST METHOD FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS.
2. ASTM Designation: C 617-98. Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens.
3. BURG, R.G, CALDARONE M.A., DETWILLER G., JANSEN D.C., and WILLEMS T.J. *Compression Testing of HSC: Latest Technology. Concrete International. August 1999.*
4. CALAVERA, J. Nota para la Comisión Permanente del Hormigón sobre las ventajas e inconvenientes de las probetas cilíndricas y cúbicas para el control de hormigones. Marzo 14 2003.
5. DELIBES LINIERS, Adolfo, GONZÁLEZ ISABEL Germán. Estudio de la influencia que los distintos tipos de refrentado ejercen en el ensayo a la compresión de probetas de hormigón. Publicación No.10. 1977. Separata de la Revista Hormigón y Acero No. 119 – 120.
6. *Guide to quality control and testing of High-Strength Concrete. ACI 363.2R-98. Reported by ACI Committee 363. 1998. American Concrete Institute.*
7. *Nordtest Method. NT BUILD 201 Edition 2. Approved 1984-05. Concrete: Making and curing of moulded test specimens for strength tests. Published by NORDTEST. Classification: UDC 666.97/691.32.*
8. Norma española UNE 83.303.84. Refrentado de probetas con mortero de azufre. AENOR. Ensayos de hormigón y sus componentes. Construcción – Tomo 5. Recopilación Normas UNE. 1991.
9. Norma española UNE 83.304.84. Rotura por compresión. Diciembre 1984. AENOR. Ensayos de hormigón y sus componentes. Construcción – Tomo 5. Recopilación Normas UNE. 1991.
10. Norma española UNE 83.301.91. Ensayos de Hormigón. Fabricación y conservación de probetas. Agosto 1991. AENOR. Ensayos de hormigón y sus componentes. Construcción – Tomo 5. Recopilación Normas UNE. 1991.
11. RILEM *Technical Recommendations for the testing and use of construction Materials. 1994. Printed in Great Britain by St Edmundsbury Press, Bury St Edmunds. Published by E & FN Spon. ISBN 0 419 18810 X.*
12. TORRENTI Jean Michel, BOULAY, Claude. *Résultats récents concernant l'essai de compression du béton. ANNALES del institut technique du bâtiment et des travaux publics. No. 513 Mai 1993. Série: Essais et mesures 244.*
13. TROXELL, G.E, 1941, "The Effects of Capping Methods and End conditions Before Capping upon Compressive Strength of Concrete Cylinders", ASTM Proceedings, Vol 41. Pp.1039-1052.
14. VADAKAN, Vichit, CARINO N.J, MULLINGS G.M. *Effect of Elastic Modulus of Capping Material on Measured Strength of High-Strength Concrete Cylinders. Cement Concrete and Aggregates, Vol 20 No.2, 227 – 234. December 1998.*
15. Vídeo de Formación Técnica, Serie EH – No.8801 (1). Fabricación y Ensayo de Probetas de Hormigón. Laboratorio de INTEMAC, Control de Calidad.
16. WERNER George, "The effect of type of capping material on the compressive strength of concrete Cylinders" *Proceedings, ASTM V.58, 1958, pp 1166-1186.*

TESIS DOCTORALES CONSULTADAS.

1. ALAEJOS GUTIERREZ, M^a Pilar. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Tesis Doctoral bajo la dirección de M. Fernández Cánovas: Contribución al estudio del comportamiento mecánico de los Hormigones de Alta Resistencia. U.PM. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Diciembre 1993.
2. CAÑAS MARTINS, María Luisa. Ingeniero Civil. Tesis Doctoral bajo la dirección de M. Fernández Cánovas: Análisis del comportamiento mecánico del Hormigón de Alta Resistencia mediante probetas testigo y probetas moldeadas con distintas condiciones de hormigonado. U.PM. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, Febrero de 1997.

-
3. DELIBES LINIERS, Adolfo. Civil Engineer. Doctor's thesis directed by J. Calavera Ruiz: Microfisuración del hormigón por compresión y su influencia en la resistencia a tracción. School of Civil Engineering, Polytechnic University of Madrid, 1985.
 4. JAI, Jamaledine. Civil Engineer. Doctor's thesis directed by J. Calavera Ruiz: Estudio de las propiedades mecánicas de HAR curados en diversas condiciones de humedad y temperatura. School of Civil Engineering, Polytechnic University of Madrid, June 1993.

-
3. DELIBES LINIERS, Adolfo. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Tesis Doctoral bajo la dirección de J. Calavera Ruiz: Microfisuración del hormigón por compresión y su influencia en la resistencia a tracción. U.P.M. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1985.
 4. JAI, Jamaledine. Ingeniero Civil. Tesis Doctoral bajo la dirección de J. Calavera Ruiz: Estudio de las propiedades mecánicas de HAR curados en diversas condiciones de humedad y temperatura. U.P.M. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid Junio 1993.

Relación de Personal Titulado de INTEMAC

Arquitectos

Fernández Sáez, Ana María
Fraile Mora, Serafín
Gibernau Ponsa, Luis
González Balseyro, María José
López-Nava Muñoz, Alberto Ignacio
Luzón Cánovas, José M^a
Sánchez Arroyo, Jesús M^a
Sicilia Mañá, Beatriz

Ingenieros Aeronáutico

Peraita Colsa, Carlos

Ingenieros de Caminos

Anlló Rodríguez, María
Baena Alonso, Eva
Barrios Corpa, Jorge
Barrios Corpa, Roberto
Beteta Cejudo, M^a Carmen
* Calavera Ruiz, José
Calderón Bello, Enrique
Carpintero García, Ismael
Castillo Fernández, Luis Javier
Corbacho Vicioso, José Angel
Cortés Bretón, Juan María
Corral Folgado, Claudio
De la Cuerda del Olmo, Francisco Javier
De la Fuente Gómez, Ana Isabel
Dávila Sánchez-Toscano, Suyapa
Díaz Heredia, Elena
Díaz Lozano, Justo
Díaz Pavón Cuaresma, Eduardo
Encinar Arroyo, Antonio
Fernández García, Susana
* Fernández Gómez, Jaime Antonio
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
Rocha Muñoz, Sergio de la
Rodríguez Escribano, Raúl Rubén
Rodríguez Romero, Jesús M^a
Rueda Contreras, Jorge Ladislao
Ruiz Jiménez-Alfaro, Felipe
Sanz Pérez, Lorenzo
Sirvent Sirvent, Enrique
Tapia Menéndez, José
Torre Cobo, María Carmen
Torres Pérez, Elisa
Valdés Fernández de Alarcón, Pablo
Villanueva Ramírez, Santiago

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
Muñoz Fuentes, Miguel Angel
Torruella Martínez, Josep M^a
* Valenciano Carles, Federico

Ingeniero de Minas

Ramos Sánchez, Adelina

Dra. en Geografía e Historia

Calavera Vayá, Ana María

Licenciada en Administración y Dirección de Empresas

Perales Gómez, Natalia

Licenciado en Ciencias Ambientales

Gil Esteban, Luis Miguel

Licenciado en C. Económicas y Empresariales

González Chavero, Antonio

Licenciados en Ciencias Químicas

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

Licenciados en Derecho

González del Olmo, Alfredo
* Jarillo Cerrato, Pedro

Licenciada en Filología Hispánica

Valentín Sierra, M^a Consuelo

Licenciados en Geología

Blanco Zorroza, Alberto
Baz Lorenzo, María Ascensión
Casado Chinarro, Alejandro
García Tascón, Jorge
López Velilla, Oscar
Orejas Contreras, M^a Carmen
Peguero Orta, Carlos
Usillos Espín, Pablo

Arquitectos Técnicos

Carrato Moñino, Rosa M^a
Fernández Jiménez, Amelia
Gago Morales, Ana María
Gallego Castro, Sergio
Montejano Jiménez, María del Carmen
Muñoz Mesto, Angel
Ochoa Marañón, Ainara
Sánchez Marina, Alberto

Ingenieros Técnicos Industriales

Alcubilla Villanueva, Rubén
Cruz Rodríguez, Sandra Inés
Díaz-Trechuelo Laffón, Antonio
González Carmona, Manuel
López Aguilar, Fernando
Madueño López, Javier
Madueño Moraño, Antonio
Sánchez Bueno, Juan Jesús
Verdú Hoys, David
Villar Riñones, Jesús

Ingeniero Técnico en Informática de Gestión

Esteban Pérez, Ramón

Ingeniero Técnico de Minas

Sillero Arroyo, Andrés

Ingenieros Técnicos Obras Públicas

Alfaro Martínez, Juan Manuel
Carrero Crespo, Rafael
Galán de Cáceres, M^a del Puerto
García Menéndez, David
González Isabel, Germán
González Nuño, Luis
Gutiérrez Garrosa, Raul
Mata Soriano, Juan Carlos
Mazuecos Salas, Ildefonso
Montiel Sánchez, Ernesto
Muñoz Mesto, Angel
Ortiz del Campo, Natalia
Prieto Antón, Eva Sonia
Ramos Valdés, Raquel
Rodríguez Carvajal, Cecilia Gloria
Romero García, Daniel
Rosa Moreno, José Andrés
Rozas Hernando, José Juan
Salgado Vinuesa, Beatriz

Sánchez Tomé, Elena
Sánchez Vicente, Andrés
Sillero Olmedo, Rafael
Soto López, Elena del
Suárez Ramos, M^a Pilar
Vaquero Andrés, Laura
Vicente Girón, Susana

Ingenieros Técnicos Topógrafos

Blasco Talaván, Rubén
Barragán Bermejo, M^a Vicenta
Carreras Ruiz, Francisco
Lana Campos, Rebeca
López de Castro, Daniel
López Jiménez, Luis
Molero Vicente, M^a Isabel
Salado Rodilla, Rafael
Sánchez Martín, María de la O
Shaw Molina, María Belén
Torés Campos, Ana M^a
Vicente Conde, M^a Isabel

Ingeniero Técnico Aeronáutico

De Castro Asensio, Felipe

Profesor Mercantil

Sampedro Portas, Arturo

Técnicos en Administración de Empresas

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

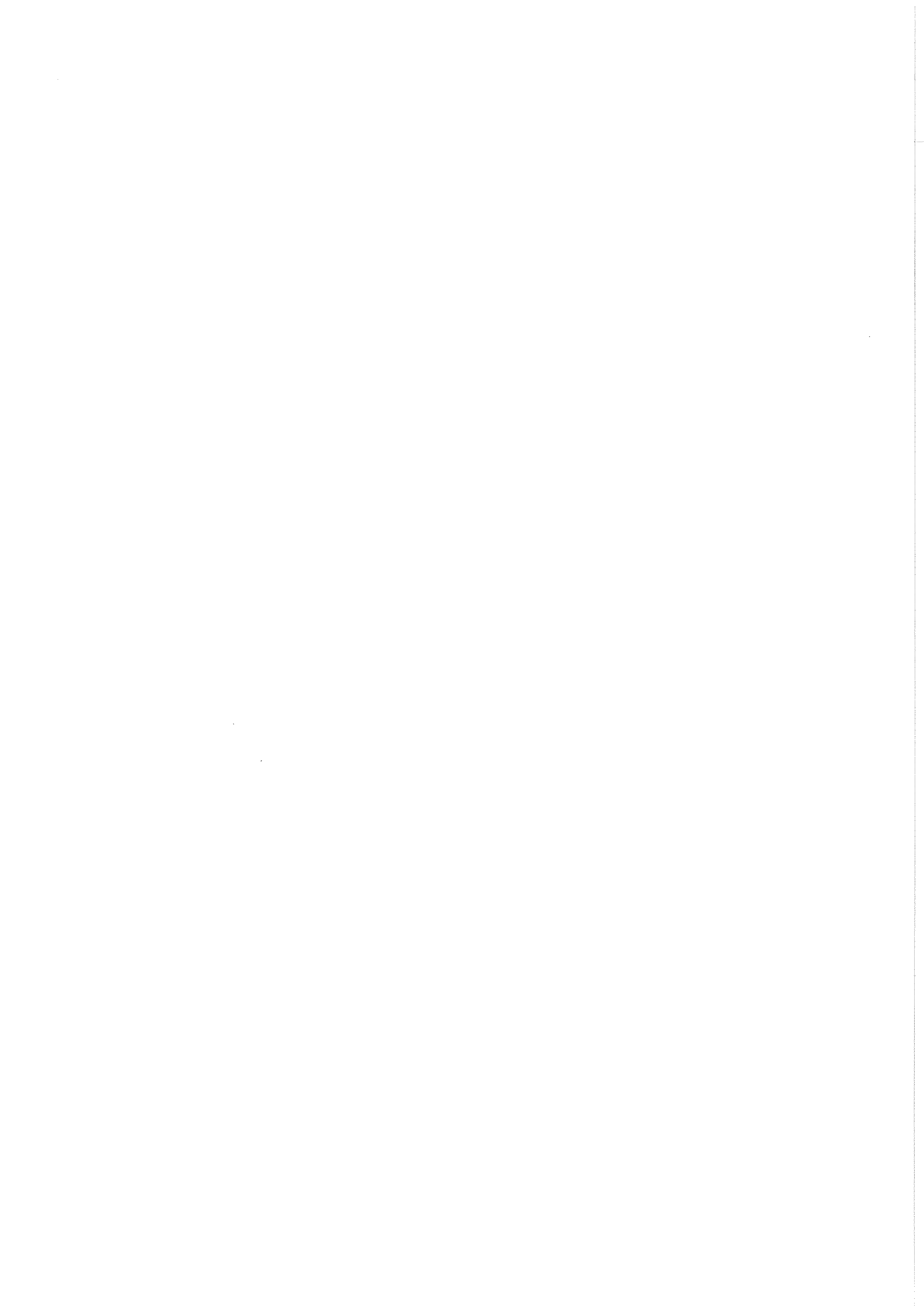
Técnico en Publicidad

Blanco Armas, Cristina

Topógrafo

Alquézar Falceto, Ricardo

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.

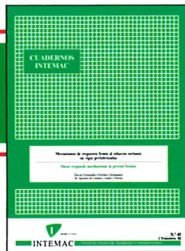


CUADERNOS INTEMAC

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° 56
"Empalme por solapo de las armaduras en los nudos de esquina de pórticos sometidos a flexión".
Autora: **PROF. KARIN LÜNDGREN.**
Ing. Civil.

Cuaderno N° 57
"Influencia del tipo de refrendado y de la clase de probeta: cúbica o cilíndrica, en la medida de la resistencia del hormigón".
Autores: **CLAUDIA PATRICIA GARAVITO.**
Dra. Ing. de Caminos, Canales y Puertos
J. CALAVERA
Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos.

CUADERNOS DE PROXIMA APARICION

Cuaderno N° 58
"Sistema de posicionamiento global -GPS- en trabajos de ingeniería".
Autores: **E. LÓPEZ-CANTI CASAS**
Ing. Superior en Cartografía y Geodesia,
P. VALDÉS FDEZ. DE ALARCÓN
Ing. de Caminos.

MONOGRAFIAS INTEMAC

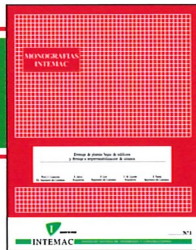
A partir de junio de 1998 INTEMAC emprendió una nueva línea de publicaciones con un carácter eminentemente práctico, destinadas a tratar temas muy concretos que, o bien presentan un nivel de problemas acusados en la práctica, o bien están insuficientemente cubiertos por la Normativa y la documentación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

MONOGRAFÍA INTEMAC N° 5

"Mantenimiento y reparación de parámetros de hormigón".
Autores: **J. R. Barrios Corpa, C. Bateta Cejudo, E. Díaz Heredia, Prof. J. Fernández Gómez, J. M°. Rodríguez Romero.**
Precio de la Monografía 33 €

MONOGRAFÍA INTEMAC N° 6

"Mantenimiento y reparación de parámetros de ladrillo".
Autores: **P. López Sánchez, J. M°. Luzón Cánovas, I. Martínez Pérez A. Muñoz Mesto, A. Fernández Sáez.**
Precio de la Monografía 33 €



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, refrendado 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 €



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

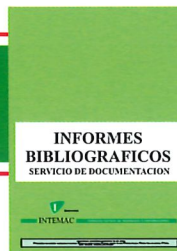
INFORMES BIBLIOGRAFICOS
SERVICIO DE DOCUMENTACION

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 PUENTES. 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.



PUBLICACIONES



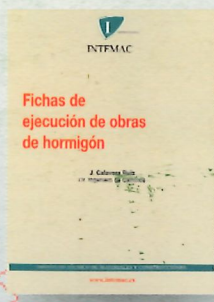
Nueva edición

Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado

2ª edición (2 tomos)

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 120 €

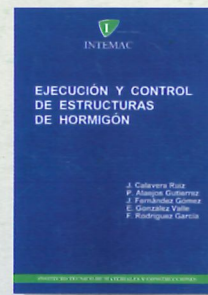


Nueva publicación

Fichas de ejecución de obras de hormigón

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 30 €

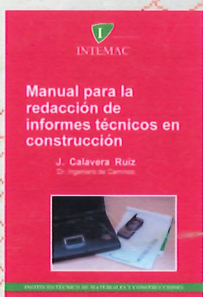


Nueva publicación

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 €

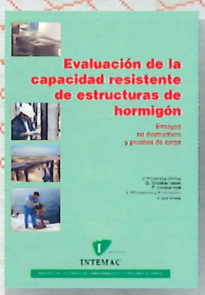


Cálculo, construcción, patología y rehabilitación de forjados de edificación

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 €

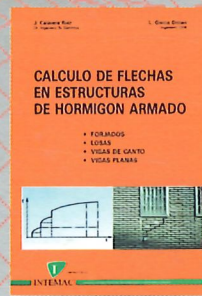


Muros de contención y muros de sótano

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)

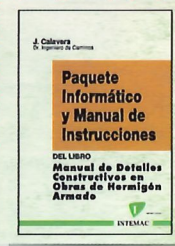
Precio: 50 €



Manual de detalles constructivos en obras del hormigón armado

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Libro: 112 € - Paquete informático: 198 €



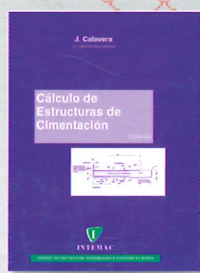
INTEMAC

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



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 €