

CUADERNOS INTEMAC

La estimación in-situ de la resistencia del hormigón endurecido. Aplicación al caso de hormigones de estructuras de edificación

Strength evaluation of in-situ hardened concrete. Application to the case of concrete in buildings.

Prof. Francisco Hostalet Alba
Dr. Ingeniero de Caminos



INTEMAC

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

N.º 16
4.º TRIMESTRE '94

INTEMAC



METIRE UT SCIAS

INTEMAC

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

CONTROL DE PROYECTO

CONTROL DE OBRA

GARANTIA DE CALIDAD

SONDEOS, ENSAYOS E INFORMES GEOTECNICOS

INFORMES DE PATOLOGIA, REHABILITACION Y REFUERZOS DE CONSTRUCCIONES

OBRAS PUBLICAS
EDIFICACION
INSTALACIONES



INTEMAC
AUDIT

AUDITORIA TECNICO-ECONOMICA DE CONSTRUCCIONES

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



INTEMAC
ECO

AUDITORIA TECNICA MEDIOAMBIENTAL

CONTROL DE IMPACTO AMBIENTAL

Obras Públicas
Edificación
Instalaciones

CONTROL DE CALIDAD AMBIENTAL

Aire
Agua
Ruido

AUDITORIA MEDIOAMBIENTAL

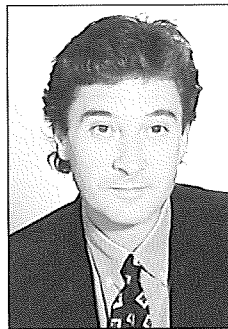
ASESORAMIENTO EN MATERIA DE MEDIO AMBIENTE

En el Cuaderno N° 16, pág. 16 aparece una errata en la Tabla 7.

En la 2ª Columna, fila 5,
donde dice RT28 + VE28
debe decir RT28 – VE28.

**LA ESTIMACION IN-SITU DE LA RESISTENCIA DEL
HORMIGON ENDURECIDO. APLICACION AL CASO DE
HORMIGONES DE ESTRUCTURAS DE EDIFICACION**

**STRENGTH EVALUATION OF IN-SITU HARDENED
CONCRETE. APPLICATION TO THE CASE
OF CONCRETE IN BUILDINGS.**



Prof. Francisco HOSTALET ALBA
Dr. Ingeniero de Caminos
Director del Area II de INTEMAC.

Dr. Civil Engineer
Regional Director of INTEMAC.
Area II

Copyright © 1994, 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-38538-1.994
Infoprint, S.A. - San Vicente Ferrer. 40

I N D E X

1. INTRODUCTION
2. SOME PRELIMINARY CONSIDERATIONS
3. CONDITIONS OF SPANISH STANDARDS
4. INVESTIGATION CARRIED OUT
5. RECOMMENDATIONS FOR INTERVENTION IN REAL CASES
6. BIBLIOGRAPHY

I N D I C E

1. INTRODUCCION
2. ALGUNAS CONSIDERACIONES PREVIAS
3. SITUACION DE LA NORMATIVA ESPAÑOLA
4. INVESTIGACION DESARROLLADA
5. RECOMENDACIONES DE ACTUACION EN CASOS REALES
6. BIBLIOGRAFIA

SUMMARY

The presentation and analysis of results obtained from experimental investigation, carried out in order to evaluate the application and degrees of accuracy obtained from the in-situ evaluation of the compressive strength of hardened concrete, placed in abacuses of flat slab concrete floors and in column sections in real building structures.

The testing techniques examined were those of core samples of hardened concrete, rate of surface rebound with a Schmidt hammer and the ultrasonic pulse velocity. An evaluation is also made of the potential increase in accuracy offered by the combined method (rebound-ultrasounds) when estimating the parameters of strength of hardened concrete in-situ.

1. INTRODUCTION

Over the last 55 years extensive and varied research has been carried out internationally into the techniques of semi-destructive or non-destructive tests on hardened concrete.

However, interest in these types of tests has notably increased over the last two decades as a result of the number of concrete structures, and particularly those of recent construction, which show evident signs of deterioration. Over this period substantial changes have been made in concrete technology, such as those affecting cement manufacture, the introduction and commercialization of a wide range of additives and unfortunately the progressive lack of specialization of the workforce.

One of the more common applications -and also one of the most controversial- of these techniques, in the past and present, is the in-situ evaluation of the strength of concrete, an aspect which depending on the objective sought in the investigation will affect -to a greater or lesser extent- the type of technique to be used, the position of the tests on the member and the procedure employed to interpret the results.

Of all the testing techniques which may be employed to evaluate the strength of hardened concrete, those regarding the following stand out:

- * Extraction and compression testing of cores.
- * Rate of surface rebound using the Schmidt Hammer.
- * Ultrasonic pulse velocity in the interior of a concrete mass.

All of these techniques have been fully investigated and this has given rise to the appearance and technological development of the lightweight, compact, portable and digital instruments in use today.

More recently the appearance of the "combined method" which simultaneously offers sclerometric and ultrasonic readings, has attracted the attention of the experts in the field, as it aims to increase the levels of accuracy obtained in the investigation of the quality of a particular concrete.

In this respect, it should be pointed out that the bulk of the investigation carried out regarding the said techniques - including the combined method- have been made on cast specimens or on laboratory made structural elements and, therefore, there is insufficient information regarding their application to real structures and the levels of accuracy which may be obtained in these cases.

RESUMEN

Se presentan y analizan los resultados obtenidos en una investigación experimental, llevada a cabo para evaluar la aplicabilidad y los niveles de precisión que se obtienen en el proceso de estimación in-situ de la resistencia a compresión del hormigón endurecido, colocado en ábacos de forjados sin vigas y en tramos de pilares de estructuras reales de edificación.

Las técnicas de ensayo investigadas han sido las correspondientes a probetas testigo de hormigón endurecido, índice de rebote superficial con esclerómetro Schmidt y velocidad de propagación de los ultrasonidos. También se entra a valorar el potencial incremento de precisión que proporciona el método combinado (rebote-ultrasonidos) en la estimación in-situ del parámetro resistente del hormigón endurecido.

1. INTRODUCCION

Durante los últimos 55 años se ha desarrollado, en el ámbito internacional, una extensa y variada investigación sobre técnicas de ensayo semidestructivas o no destructivas del hormigón endurecido.

Es en las dos últimas décadas, sin embargo, cuando el interés por este tipo de ensayos ha aumentado de forma notable debido al número de estructuras de hormigón, en especial las de origen reciente, que muestran signos de evidente deterioro. Durante este período se han producido, además, cambios sustanciales en la tecnología del hormigón, como son los que afectan a la fabricación de cementos, introducción y comercialización de una amplia gama de aditivos y a una no deseable pero real pérdida progresiva de la especialización en la mano de obra.

Una de las aplicaciones más usuales -y también más controvertidas- de estas técnicas ha sido, y es en la actualidad, la estimación "in-situ" del nivel resistente del hormigón, aspecto que, dependiendo del objetivo perseguido en la investigación, condiciona -en mayor o menor medida- el tipo de técnica a utilizar, la posición de los ensayos en la pieza y el procedimiento que se sigue para la interpretación de los resultados.

De entre las técnicas de ensayo que pueden ser utilizadas para la estimación de la resistencia del hormigón endurecido, destacan las relativas a:

- * Extracción y ensayo a compresión de probetas testigo.
- * Índice de rebote superficial con esclerómetro Schmidt.
- * Velocidad de propagación de un impulso ultrasónico en el interior de la masa de hormigón.

Son todas ellas técnicas sobre las que la experimentación desarrollada ha sido muy intensa, propiciando la aparición y desarrollo tecnológico del instrumental ligero, portátil, compacto y digital que hoy en día manejamos.

Más recientemente la aparición del "método combinado" que hace intervenir de forma simultánea las lecturas esclerométricas y ultrasónicas, ha requerido la atención de los expertos en este campo, ya que con su aplicación se pretenden mejorar los niveles de precisión alcanzados en la investigación de la calidad de un hormigón determinado.

En este sentido, debe comentarse que la mayor parte de la investigación desarrollada en torno a las técnicas mencionadas -incluido el método combinado- ha sido realizada al ensayar probetas moldeadas o sobre elementos estructurales fabricados en laboratorio y, por tanto, no se dispone de suficiente información sobre su aplicabilidad a las estructuras reales, ni de los niveles de precisión que pueden alcanzarse en estos casos.

Throughout 1988 INTEMAC carried out an investigation which served as the experimental basis for the Doctoral Thesis of the author of this Quarterly ¹.

The investigation was based on the study of the degree of application of the aforementioned testing techniques and the levels of accuracy obtained, when evaluating the values of compressive strength of concrete, throughout construction, in real building structures ($f_{ck} \approx 200 \text{ kp/cm}^2$), and on precast beams ($f_{ck} \approx 350 \text{ to } 450 \text{ kp/cm}^2$) which were specially cast for this investigation, parallel to standard members for use on site.

2. SOME PRELIMINARY CONSIDERATIONS

As a general rule, the purpose of the in-situ evaluation of a concrete's compressive strength, be it in a well determined structural element or in a wider area of the structure, is to analyse the behaviour of the element or area investigated from the values considered with regards to the safety levels facing ultimate limit states of both strength and usage.

As a result it very important to consider the techniques of strength evaluation of hardened concrete and these should be approached before beginning an investigation of this type.

The following considerations are more worthy of mention:

a) Situations where these testing techniques are employed. **Specific motives.** There should be a clear answer to the question regarding why the investigation should be carried out.

The answer to this question should define important aspects such as:

- Whether the tests are to be carried out in a specific area of the structure or in various areas.
- Whether information is required on the quality of the concrete close to the surface of the structural elements to be investigated, or at greater depths.
- Whether absolute values of the compressive strength of the concrete are required, or if one only wishes to compare values which are doubtful in principle with other already accepted values.

b) **Objectives sought** and, subsequently, the establishment of a detailed plan of tests which are suitably approved by the different parties involved. One aims to answer why the investigation should be carried out.

With regards to the in-situ evaluation of concrete strength one must deal with two very different aspects, depending on the objective sought:

- * in-situ verification of the correspondence between the supplied concrete and the specified concrete (Verify in-situ the quality of the concrete supply, normally specified in terms of the compression test on a cast specimen after normal curing).
- * Evaluation of the compressive strength of the concrete placed in-situ, in order to introduce the said value in verifications of structural safety.

Authors such as H.N.Tomsett, N.Petersons and J.H.Bungey, together with some national standards or codes and international recommendations (RILEM), make a clear distinction between the two aforementioned objectives, indicating that the most appropriate testing methods for each case should be selected, without losing sight of the variations in strength in the same concrete recorded in one structural element or in various structural elements of the same type. One should also bear in mind the type of structural element in question (columns, beams, slabs, walls).

c) **Position of tests** in the members to be investigated and the number of tests to be carried out, over one or several periods of time.

d) **Analysis and interpretation** of the results obtained from testing. Methods proposed.

The procedure employed to analyse the results probably poses one of the most important problems when trying to evaluate the compressive strength of concrete in-situ. As an example, the interpretation of the results obtained from testing may be made in two different stages, according to the results to be employed, namely:

- Analysis of the values obtained **directly** from the tests, be it as a result of the test plan in question, as the first phase of action in successive stages.
- Analysis of the values estimated for the compressive strength of the concrete (or the parameter being investigated) obtained **indirectly**, by establishing the appropriate regressions between this parameter and the magnitude that is really measured in testing.

(1) HOSTALET ALBA, F. "The in-situ Evaluation of the Strength of Hardened Concrete". Doctoral Thesis. Higher Technical College of Civil Engineers. Universidad Politécnic de Barcelona. 1989.

Durante el año 1988 INTEMAC desarrolló una investigación que aportó la base experimental para la redacción de la Tesis Doctoral del autor de este Cuaderno ¹.

La investigación se centró en el estudio sobre el grado de aplicación de las técnicas de ensayo mencionadas y los niveles de precisión que se obtienen, en la estimación del valor de la resistencia a compresión del hormigón colocado en estructuras reales de edificación ($f_{ck} \approx 200 \text{ kp/cm}^2$) a medida que se iban construyendo, y sobre unas vigas de central de prefabricación ($f_{ck} \approx 350$ a 450 kp/cm^2) que se hormigonaban especialmente para esta investigación, en paralelo con las piezas de mercado.

2. ALGUNAS CONSIDERACIONES PREVIAS

Por regla general, el propósito de la estimación in-situ de la resistencia a compresión del hormigón, ya sea en un elemento estructural bien determinado o en una zona más amplia de la estructura, es analizar, a partir de los valores estimados, el comportamiento del elemento o zona investigada, en términos de los niveles de seguridad frente a estados límites últimos resistentes o estados límites de utilización.

En este sentido, adquieren mucha importancia algunas consideraciones que son aplicables a las técnicas de estimación de la resistencia del hormigonado endurecido y que deberían de abordarse previamente al inicio de una investigación de este tipo.

Entre ellas merecen destacarse las siguientes:

a) Situaciones en las que estas técnicas de ensayos son utilizadas. **Motivaciones específicas.** Se trata de que exista una respuesta clara a la pregunta ¿Por qué se realiza la investigación?

La respuesta a ésta pregunta, deberá dejar definidos aspectos tan importantes como:

- Si los ensayos se han de realizar en una zona localizada de la estructura o en varias zonas.
- Si se necesita información sobre la calidad del hormigón cerca de la superficie de los elementos estructurales que se investigan, o a mayores profundidades.
- Si se requieren valores absolutos de la resistencia a compresión del hormigón, o simplemente se pretende comparar valores en principio dudosos con otros ya aceptados.

b) **Objetivos perseguidos** y, en consecuencia, establecimiento de un plan detallado de ensayos convenientemente consensuado por las diversas partes implicadas. Se trata de responder a la pregunta ¿Para qué se realiza la investigación?

En relación con la estimación in-situ de la resistencia del hormigón se deben de manejar dos aspectos bien diferentes, dependiendo del objetivo perseguido:

- * Comprobar in-situ la correspondencia entre el hormigón suministrado y el especificado (Comprobar in-situ la calidad del suministro del hormigón, normalmente especificado en términos del ensayo a compresión en probeta moldeada con curado normalizado).
- * Estimar el valor de la resistencia a compresión del hormigón colocado en la estructura, con objeto de introducir dicho valor en las comprobaciones de seguridad estructural.

Autores como H.N.Tomsett, N.Petersons y J.H.Bungey, así como algunas normativas o códigos nacionales y recomendaciones internacionales (RILEM), distinguen claramente los dos objetivos anteriores, señalando que han de seleccionarse los métodos de ensayo más apropiados a cada caso, sin perder de vista las variaciones de resistencia que, para un mismo hormigón, se registran en un mismo elemento estructural o entre elementos estructurales de un mismo tipo. Igualmente se ha de tener en cuenta el tipo de elemento estructural sobre el que se investiga (pilares, vigas, forjados, muros, losas).

c) **Localización de los ensayos** en las piezas a investigar y número de ensayos a realizar, actuando en una única etapa o en varias.

d) **Análisis e interpretación** de los resultados obtenidos en los ensayos. Métodos propuestos.

El procedimiento mediante el cual se analizan los resultados es, muy probablemente, uno de los problemas más importantes a resolver cuando se pretende estimar in-situ el valor de la resistencia a compresión del hormigón. A título de ejemplo, la interpretación de los resultados obtenidos en los ensayos podría ser realizada en dos estadios diferentes, dependiendo de los resultados que se utilicen, a saber:

(1) HOSTALET ALBA, F. "La estimación in-situ de la resistencia del hormigón endurecido". Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Barcelona. 1989.

3. CONDITIONS OF SPANISH STANDARDS

In this country, the appearance of the UNE Standards (Spanish Standards) regarding sclerometer (UNE 83.307-86) and ultrasonic (UNE 83.308-86) techniques may be seen as a very important step towards the use of both methods in the auscultation of hardened concrete.

These standards describe the main areas of application of the said techniques, test procedures and enumeration of the variables that may affect the results obtained in the tests. However, it is easy to find gaps or omissions which may be vital to the success of the investigation, this is because our standard fails to give the slightest consideration to the influence of the variables which affect the test (some of which are more decisive than others depending on the objective of the investigation), neither does it establish any method for interpreting the test results, with regards to the in-situ evaluation of the compressive strength of the concrete, this being one of the more controversial applications of both techniques and the most widely used.

On the other hand, the said UNE Standards do state that the technique in question should not replace the destructive tests (semi-destructive) used to establish the compressive strength of concrete, and should be used, instead, as an additional or complementary method.

They also state that the strength can only be evaluated if it is possible to establish a reliable correlation for each concrete investigated with tests on cores or specimens cast during construction, and which are representative of the structural area in question and set under the same conditions as the concrete on site.

With regards to this last statement, the technician in charge of the investigation may ask himself the following:

- What is the recommended minimum number of cores necessary to obtain a reliable regression between destructive and non-destructive tests and which, in turn, **provide suitable levels of accuracy** in the in-situ evaluation of concrete strength?
- Are the mathematical correlations obtained for the same concrete the same or similar, depending on whether they are established from the test of core samples or from testing specimens cured under site conditions? Are the levels of accuracy achieved similar or comparable?
- In these processes of calibration or evaluation of the strength of the concrete through correlation, what is the effect of variables such as the age of the concrete being examined, its level of strength or the dimensions of the member?

All these considerations are very common in the day to day practice of our profession and should lead us to consider the advisability and imperative need for a wider ranging standard, which incorporates criteria of application and interpretation of results, similar to those contained in the Recommendations RILEM NDT-1 and NDT-3; or in the British Standards BS 6089 and BS 1881, part 201, to quote a few examples of sufficiently prestigious standards based on the latest international research (particularly with regards to the British Standards).

However, with regards to the preparation and compression testing of cores of hardened concrete, the Spanish Standard UNE 83.302-84 has introduced and completed a number of questions which were not suitably defined in the previous standard (UNE 7240 and 7242). Though, this UNE standard also needs to be adapted to the more up-to-date standards such as the BS-1881, part 120, particularly with regards to:

- Coefficients of correction for slenderness.
- Influence of the concrete's level of strength.
- Influence of the possible presence of transversal reinforcement embedded in the core and its position.
- Small diameter cores ($45 \leq \phi < 75\text{mm}$).
- Influence of the type of structural element investigated and the position of the core in the member.

All the said variables may significantly affect the result obtained in the compression test of the cores.

Once again we are faced with a standard in force (UNE 83.302-84), which is a standard of "extraction, preparation and conservation of cores" and not a standard of interpretation of results giving a reasonable and suitably precise evaluation of the concrete strength. As such all this is pending for our standard and the consideration of this would lead, from a technical point of view, to a more uniform treatment of the results obtained in any investigation into the quality of hardened concrete.

Finally, and in order to complete this section, we should mention that article 70 of Instruction EH-91, currently in force, "authorizes" methods related to rebound and ultrasonic techniques as **reliable** non-destructive methods, specifically stating that they have to be used complementarily to semi-destructive tests and duly correlated with the same. In the section of comments in the said article, it says that the "reliability" in the evaluation of the concrete strength increases when surface rebound and ultrasonic techniques are combined with the extraction and compression testing of cores of hardened concrete (Combined Method).

- Análisis de los valores obtenidos **directamente** de los ensayos, bien porque sea este el plan de ensayos, bien porque se trate de una primera fase de actuación en sucesivas etapas.
- Análisis de los valores estimados para la resistencia a compresión del hormigón (o el parámetro que se investiga) obtenidos de una forma **indirecta**, a través del establecimiento de las oportunas regresiones entre ese parámetro y la magnitud que realmente medimos en el ensayo.

3. SITUACION DE LA NORMATIVA ESPAÑOLA

En nuestro país, la aparición de las Normas UNE relativas a la técnica esclerométrica (UNE 83.307-86) y ultrasónica (UNE 83.308-86) ha supuesto un paso muy importante de cara a la utilización de ambos métodos en la auscultación del hormigón endurecido.

Estas normas dan cuenta de los principales campos de aplicación de las técnicas mencionadas, procedimientos de ensayo y enumeración de las variables que pueden ejercer influencia sobre los resultados que obtenemos en los ensayos. Sin embargo, es bien cierto que nos encontramos con "lagunas" o "vacíos" que pueden ser determinantes para el éxito de la investigación, ya que nuestra normativa no entra a valorar mínimamente la influencia de las variables que afectan al ensayo (algunas más decisivas que otras dependiendo del objetivo de la investigación), ni establece ningún procedimiento para la interpretación de los resultados de los ensayos, con vistas a la estimación in-situ de la resistencia a compresión del hormigón, que es una de las aplicaciones más controvertidas de ambas técnicas y la más utilizada.

Por el contrario, las normas UNE mencionadas sí que hacen referencia a que la técnica en cuestión no debe sustituir a los ensayos destructivos (semidestructivos) utilizados para determinar la resistencia a compresión del hormigón, sino que más bien debe de utilizarse como un método adicional o complementario.

También se precisa que la resistencia sólo podrá estimarse si es posible establecer para cada hormigón investigado una correlación fiable, con ensayos sobre probetas testigo, o sobre probetas moldeadas realizadas durante la construcción, representativas de la zona estructural en cuestión y curadas en las mismas condiciones que el hormigón de la obra.

Respecto a este último comentario, el técnico responsable de la investigación puede preguntarse lo siguiente:

- ¿Cuál es el mínimo número de testigos recomendable para obtener una regresión fiable entre ensayos destructivos y no destructivos y que, a su vez, **proporcione unos niveles adecuados de precisión** en la estimación in-situ del valor de la resistencia a compresión del hormigón?.
- Para un mismo hormigón, las correlaciones matemáticas que se obtienen ¿Son las mismas o similares, según que se establezcan en base al ensayo de probetas testigo o al ensayar probetas moldeadas curadas en ambiente de obra? ¿Los niveles de precisión conseguidos, pueden ser similares o comparables?
- ¿Cómo intervienen en estos procesos de calibración o estimación de valores resistentes del hormigón a través de correlaciones, variables tales como la edad del hormigón que se está investigando, su nivel de resistencia o las dimensiones de la pieza?.

Todas estas consideraciones, que son muy habituales en nuestra práctica profesional del día a día, deben de hacernos reflexionar sobre la oportunidad y sobre la imperiosa necesidad de disponer de una normativa más amplia, que incorpore criterios de aplicación e interpretación de resultados, similares a los contenidos en las Recomendaciones RILEM NDT-1 y NDT-3; o en la normativa Británica BS 6089 y BS 1881, parte 201, por citar algunos ejemplos de normativas suficientemente prestigiadas, basadas -sobre todo la británica- en la investigación internacional más reciente.

Por otra parte, la norma UNE 83.302-84 relativa a la preparación y ensayo a compresión de probetas testigo de hormigón endurecido, ha introducido y completado una serie de cuestiones que no quedaban suficientemente definidas en la normativa anterior (UNE 7240 y 7242). No obstante, esta norma UNE está también necesitada de alguna adaptación al contenido de normativas más vanguardistas, como es el caso de la BS-1881, parte 120, sobre todo en el tratamiento de:

- Coeficientes de corrección por esbeltez.
- Influencia del nivel de resistencia del hormigón.
- Influencia de la posible presencia de armadura transversal embebida en el testigo y su posición.
- Probetas testigo de pequeño diámetro ($45 \leq \varnothing < 75$ mm).
- Influencia del tipo de elemento estructural que se investiga y la posición del testigo en la pieza.

Todas estas variables mencionadas pueden afectar significativamente al resultado que se obtiene en el ensayo a compresión de las probetas testigo.

With regards to the question of "reliability", N.Petersons established the differentiation between the terms of "reliability" and "accuracy", two concepts which are apparently similar in meaning but which are very different when it comes to their interpretation.

By "reliability", the said author understands the degree of concordance between the different results of the repeated measurements of a specific physical magnitude, and "accuracy" by the level of approximation between the values measured and the real values. He indicates that a **highly reliable** test technique does not necessarily offer **high levels of accuracy** when evaluating a property of the concrete.

4. INVESTIGATION CARRIED OUT

A detailed study of the broad bibliography available shows that the majority of the research carried out into the degree of application of sclerometric and ultrasonic techniques to evaluate the strength of hardened concrete, have been carried out in laboratory conditions, a circumstance which also applies to the case of the combined method.

Our country is no exception in this regard, and as such the Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (INTEMAC) organized the development of an experimental investigation into the degree of application and levels of accuracy that may be obtained on applying the said techniques to real structures with different levels of strength for the concrete in question.

The test plan, was carried out during 1988, and covered the spectrum of concretes placed in **real building structures** and of high strength concretes placed in **precast prestressed beams**.

In this Quarterly, we have selected some of the results obtained from the tests carried out on moderate strength concretes ($f_{ck} \approx 175$ to 200 Kp/cm²) placed in structural elements such as columns and flat-slab concrete floors in buildings.

A summary of the results obtained on testing precast prestressed beams ($f_{ck} \approx 350$ to 450 Kp/cm²) may be seen in No. 175 of the magazine "HORMIGON y ACERO" ("CONCRETE & STEEL").

The techniques investigated were those relative to:

- Extraction, preparation, facing and compression testing of hardened concrete core samples.
- Ratio of surface rebound using a Model N Schmidt Hammer
- Ultrasonic pulse velocity in the concrete
- Combined method, with the simultaneous use of the three previous methods.

The tests were carried out in four (4) building structures, which were denominated E1, E2, E3 and E4. However, the set of values obtained in structures E2, E3 and E4 were grouped together in one sole analysis denominated ES (ES =E2 + E3 + E4).

Some of the more significant results obtained in the investigation are given below.

4.1. Ratio between the compressive strength of core specimens and standard cured cast specimens.

Tables 1 and 2 summarize the basic statistical parameters of the populations obtained for this purpose. Table 1 refers to floor slab capitals (E1F and ESF) and table 2 to column elements (E1P and ESP)

ESTRUCTURA STRUCTURE	RELACIÓN RATIO	n	χ	s	δ (%)
E1F	RT28/RM28	19	0,81	0,105	13,0
	RT45/RM28	10	0,92	0,059	6,5
ESF	RT28/RM28	41	0,85	0,175	20,7
	RT45/RM28	37	0,98	0,215	22,0

Tabla 1.- FORJADOS. Relación entre la resistencia a compresión en probeta testigo y en probeta moldeada estándar. Parámetros estadísticos fundamentales (E1F y ESF).

Table 1.- FLOOR SLABS. Ratio between the compressive strength of cores and standard cast specimens. Basic statistical parameters (E1F and ESF).

De nuevo nos encontramos con una normativa en vigor (UNE 83.302-84), que es una norma de "extracción, preparación y conservación de probetas testigo" y no una norma de interpretación de resultados que permita proceder a una estimación razonable y suficientemente precisa de la resistencia del hormigón. Es esta, por tanto, una asignatura pendiente de nuestra normativa cuya consideración contribuirá a un tratamiento más uniforme, desde el punto de vista técnico, de los resultados obtenidos en cualquier investigación de la calidad del hormigón endurecido.

Por último, para finalizar este apartado, cabe comentar que la vigente Instrucción EH-91, en su artículo 70, "autoriza" como métodos no destructivos **fiabiles** los relacionados con las técnicas de rebote y ultrasonidos, indicándose de forma expresa que han de ser utilizados como complemento de los ensayos semidestructivos y debidamente correlacionados con estos últimos. En el apartado de comentarios del citado artículo, se indica que la "fiabilidad" en la estimación de la resistencia del hormigón aumenta cuando se combinan las técnicas de rebote superficial y ultrasónica, con la extracción y ensayo a compresión de probetas testigo de hormigón endurecido (Método Combinado).

Al respecto del concepto de "fiabilidad", N. Petersons estableció la diferenciación entre dos conceptos aparentemente similares en su significado, como son los términos "fiabilidad" y "precisión", pero bien distintos en cuanto a su adecuada interpretación.

Por "fiabilidad" entiende el citado autor el grado de concordancia entre los diversos resultados de las medidas repetidas de una determinada magnitud física y por "precisión" el nivel de aproximación entre los valores medidos y los reales. Señala que una técnica de ensayo que tenga una **fiabilidad alta** no tiene por qué proporcionar **niveles de precisión elevados** en la estimación de una propiedad del hormigón.

4. INVESTIGACION DESARROLLADA

Un examen detallado de la amplia bibliografía existente, revela que la mayor parte de la investigación desarrollada en torno al grado de aplicación de las técnicas esclerométrica y ultrasónica para estimar los niveles resistentes de un hormigón endurecido, ha sido realizada en condiciones de laboratorio, circunstancia que también se ha producido para la investigación a través del método combinado.

Nuestro país no es una excepción a este respecto y, por este motivo, el Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (INTEMAC), se planteó desarrollar una investigación experimental que permitiera conocer el grado de aplicación y los niveles de precisión que pueden lograrse al aplicar las técnicas mencionadas en estructuras reales con diversos niveles resistentes para el hormigón en estudio.

El plan de ensayos previstos se llevó a cabo durante el año 1988, y cubrió el mundo de los hormigones colocados en **estructuras reales de edificación** y el de los hormigones de mayores niveles resistentes, colocados estos últimos en **vigas pretensadas prefabricadas**.

Para este Cuaderno, se han seleccionado algunos de los resultados obtenidos en los ensayos realizados sobre hormigones de valores resistentes moderados ($f_{ck} \approx 175$ a 200 Kp/cm²) colocados en elementos estructurales tipo pilares y ábacos de forjados sin vigas, de estructuras de edificación.

Un resumen de los resultados obtenidos al ensayar sobre vigas pretensadas prefabricadas ($f_{ck} \approx 350$ a 450 Kp/cm²) puede verse en el nº 175 de la Revista "HORMIGON y ACERO".

Las técnicas investigadas fueron las relativas a:

- Extracción, preparación, refrentado y ensayo a compresión de probetas testigo de hormigón endurecido.
- Índice de rebote superficial, obtenido mediante esclerómetro Schmidt, modelo N.
- Velocidad de propagación de un impulso ultrasónico en el hormigón.
- Método combinado, haciendo intervenir simultáneamente los tres métodos de ensayo anteriores.

Los ensayos fueron realizados en cuatro (4) estructuras de edificación, a las que se denominaron E1, E2, E3 y E4. Sin embargo, el conjunto de valores obtenidos en las estructuras E2, E3 y E4 se agrupó en un único análisis bajo la denominación ES (ES = E2 + E3 + E4),

Se presentan a continuación algunos de los resultados más significativos obtenidos en la investigación desarrollada.

ESTRUCTURA STRUCTURE	RELACIÓN RATIO	n	χ	s	δ (%)
E1P	RTM28/RM28	18	0,87	0,135	15,5
	RTA28/RM28	6	0,80	0,094	11,8
	RTM45/RM28	8	0,98	0,156	15,9
	RTA45/RM28	6	0,86	0,182	21,2
ESP	RTM28/RM28	30	0,93	0,148	15,9
	RTA28/RM28	20	0,78	0,136	17,5
	RTM45/RM28	19	0,97	0,139	14,2
	RTA45/RM28	19	0,83	0,105	12,7

Tabla 2.- PILARES. Relación entre la resistencia a compresión en probeta testigo (Zonas media y alta de pilares) y en probeta moldeada estándar (Parámetros estadísticos fundamentales) (E1P y ESP).

Table 2.- COLUMNS. Ratio between the compressive strength of cores (Middle and upper areas of columns) and standard cast specimens (Basic statistical parameters) (E1P and ESP).

The abbreviations employed stand for the following:

RM28: Compressive strength at 28 days in cast specimen (Standard curing).

RT28: Compressive strength at 28 days in cores.

E1P: Columns. Structure E1.

ESF: Floor slabs. Structure ES.

E1F: Columns. Structure E1.

ESP: Columns. Structures ES = E2 + E3 + E4.

RTM28: Compressive strength, at 28 days, in cores taken from middle area of columns.

RTA28: Compressive strength at 28 days in cores taken from the upper part of columns.

RTM45: Compressive strength, at 45 days, in cores taken from middle area of columns.

RTA45: Compressive strength at 45 days in cores taken from the upper part of columns.

RT45: Compressive strength at 45 days in cores.

4.2. Evaluation of the compressive strength of concrete by the statistical fitting of the Rate of regression for rebound-Strength. Comparison with the general calibration of the apparatus.

Thus separate correlations were established for each structure (E1 and ES) and structural element differentiated in the investigation (Floor slabs and columns) for concrete ages of 28 and 45 days and grouped information at 28 and 45 days.

In this way the analysis carried out included the establishment of the following experimental fits:

RM28 - IM28
RT45 - IE45

RT28 - IE28
RT(28+45) - IE(28+45)

The abbreviations employed, in addition to those mentioned earlier, are as follows:

IM28: Rate of sclerometric rebound at 28 days on standard cast specimens. (Normal curing).

IE28: Rate of sclerometric rebound at 28 days on the structure.

IE45: Rate of sclerometric rebound at 45 days in the structure.

IE(28+45): Group of results for sclerometric rebound at 28 and 45 days in the structure.

4.1. Relación entre la resistencia a compresión en probetas testigo y en probetas moldeadas con curado normalizado.

En las tablas 1 y 2 se presentan, a modo de resumen, los parámetros estadísticos fundamentales de las poblaciones obtenidas para esta relación.

La tabla 1 hace referencia a capiteles de forjados (E1F y ESF) y la tabla 2 a elementos tipo pilar (E1P y ESP)

El código de abreviaturas que se ha utilizado en dichas tablas es el siguiente:

RM28: Resistencia a compresión, a 28 días, en probeta moldeada (Curado normalizado).

E1P: Pilares. Estructura E1.

E1F: Forjados. Estructura E1.

RTM28: Resistencia a compresión, a 28 días, en probeta testigo obtenida de zona media de pilares.

RTM45: Resistencia a compresión, a 45 días, en probeta testigo obtenida de zona media de pilares.

RT45: Resistencia a compresión, a 45 días, en probetas testigo.

RT28: Resistencia a compresión, a 28 días, en probeta testigo.

ESF: Forjados. Estructura ES

ESP: Pilares. Estructuras ES = E2+E3+E4

RTA28: Resistencia a compresión, a 28 días, en probeta testigo obtenida de zona alta de pilares.

RTA45: Resistencia a compresión, a 45 días, en probeta testigo obtenida de zona alta de pilares.

4.2. Estimación de la resistencia a compresión del hormigón mediante el ajuste estadístico de regresiones Índice de rebote-Resistencia. Comparación con la calibración general del aparato.

Para cada estructura (E1 y ES) y elementos estructurales diferenciados en la investigación (Abacos de forjados y pilares) se establecieron ajustes separados para edades del hormigón de 28 y 45 días y datos agrupados de 28 y 45 días.

De este modo, el análisis efectuado conllevó el establecimiento de los siguientes ajustes experimentales:

RM28 – IM28
RT45 – IE45

RT28 – IE28
RT(28+45) – IE (28+45)

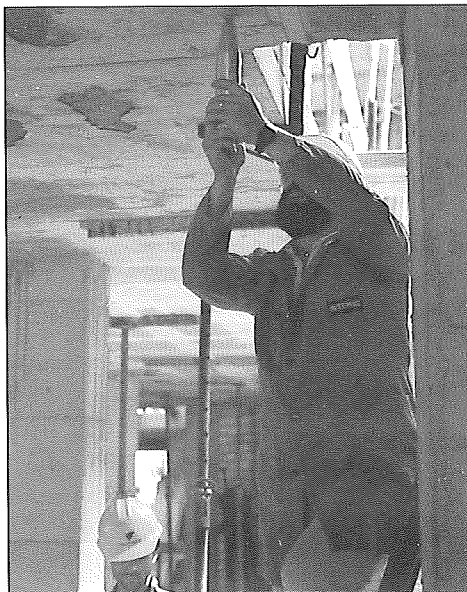
Las abreviaturas utilizadas, adicionales a las mencionadas anteriormente, son las siguientes:

IM28: Índice de rebote esclerométrico, a 28 días, sobre probetas moldeadas estándar (Curado normalizado).

IE45: Índice de rebote esclerométrico, a 45 días, en la estructura.

IE28: Índice de rebote esclerométrico, a 28 días, en la estructura.

IE(28+45): Conjunto de resultados del índice esclerométrico, a 28 días y 45 días, en la estructura.



Fotografía 1. Aplicación de la técnica esclerométrica en ábacos de forjados sin vigas.

Photograph 1. Application of the sclerometric technique in abacuses of flat slab concrete floors.

By way of example of the results obtained, tables 3 and 4 include the fits obtained when testing cast specimens in the laboratory, and on structural elements taken from columns on site.

ESTRUCTURA STRUCTURE	VARIABLES CORRELACIONADAS CORRELATED VARIABLES	n	r	CALIFICACIÓN DE LA CORRELACIÓN ASSESSMENT OF THE CORRELATION	AJUSTE OBTENIDO FIT OBTAINED	ERROR MEDIO (N.C. 90%) AVERAGE ERROR (C.I. 90%)
E1 (F+P)	RM28-IM28	6	0,715	Mediocre Mediocre	$R = -126,75 + 11,37 \cdot I_R$	$\pm 31,8 \text{ Kp/cm}^2$
ES (F+P)	RM28-IM28	22	0,80	Excelente Excellent	$R = -26,78 + 8,94 \cdot I_R$	$\pm 38,3 \text{ Kp/cm}^2$

Tabla 3.- Regresiones obtenidas $I_R - R$, en ensayos realizados sobre PROBETAS MOLDEADAS (Forjados + Pilares. Estructuras de Edificación).

Table 3.- Regressions obtained $I_R - R$, in tests carried out on CAST SPECIMENS (Floor slabs and Columns. Building Structures).

ESTRUCTURA STRUCTURE	VARIABLES CORRELACIONADAS CORRELATED VARIABLES	n	r	CALIFICACIÓN DE LA CORRELACIÓN ASSESSMENT OF THE CORRELATION	AJUSTE OBTENIDO FIT OBTAINED	ERROR MEDIO (N.C. 90%) AVERAGE ERROR (C.I. 90%)
E1P	RT28-IE28	26	0,54	Buena / Good	$R = 74,09 + 3,88 \cdot I_R$	$\pm 21,2 \text{ Kp/cm}^2$
	RT45-IE45	15	0,86	Excelente / Excellent	$R = -198,7 + 12,76 \cdot I_R$	$\pm 22,2 \text{ kP/cm}^2$
	RT(28+45)-IE(28+45)	41	0,67	Excelente / Excellent	$R = -4,06 + 6,52 \cdot I_R$	$\pm 25,5 \text{ Kp/cm}^2$
ESP	RT28+IE28	41	0,75	Excelente / Excellent	$R = -155,32 + 11,36 \cdot I_R$	$\pm 53,2 \text{ Kp/cm}^2$
	RT45-IE45	26	0,52	Buena / Good	$R = -86,60 + 10,07 \cdot I_R$	$\pm 52,8 \text{ Kp/cm}^2$
	RT(28+45)-IE(28+45)	67	0,67	Excelente / Excellent	$R = -143,6 + 11,34 \cdot I_R$	$\pm 57,9 \text{ Kp/cm}^2$

Tabla 4.- Regresiones obtenidas $I_R - R$, en ensayos realizados en PILARES (Zonas medias + altas). Estructuras E1P y ESP.

Table 4.- Regressions obtained $I_R - R$, in tests carried out on COLUMNS (Middle and upper areas). Structures E1P and ESP.

The graphical representation of the fits obtained in the ES structure for cast specimens, floor slabs and columns, and their comparison with the general calibration of the apparatus (Schmidt Hammer) is given in Fig. 1, where the rates of rebound obtained in abacuses of floor slabs (investigated on their smooth lower face) are already corrected in order to take into account the vertical position of the apparatus at the time of impact.

4.3. Evaluation of the compressive strength of concrete by the statistical fit of regressions between ultrasonic pulse velocity and strength.

Generally, the exponential fit $R = a \cdot e^{bv}$, gave the best approximation to the groups of experimental points in the tests carried out either in the laboratory on standard cured cast specimens, or on column sections in the structure.

In the tests carried out in the solid areas (abacuses) of the flat slab concrete floors, the fit according to a straight line comes closest to the group of experimental points. ($R = a + b \cdot v$).

The following abbreviations were used for the ultrasonic investigation.

VM28: Ultrasonic pulse velocity, at 28 days in standard cast specimens (Normal curing).

VE28: Ultrasonic pulse velocity, at 28 days in the structure.

VE(28+45): Group of results of ultrasonic pulse velocity at 28 and 45 days in the structure.

VE45: Ultrasonic pulse velocity, at 45 days in the structure

A título de ejemplo de los resultados obtenidos, las tablas 3 y 4 incorporan los ajustes obtenidos al ensayar sobre probetas moldeadas en laboratorio, y sobre elementos estructurales tipo pilar en obra.

La representación gráfica de los ajustes obtenidos en la estructura ES para probetas moldeadas, forjados y pilares, y su comparación con la calibración general del aparato (Esclerómetro Schmidt) se presenta en la figura nº1, en la que los valores del Índice de Rebote obtenidos en ábacos de forjados (investigados por la cara lisa inferior) ya fueron corregidos para tener en cuenta la posición vertical del aparato en el momento del impacto.

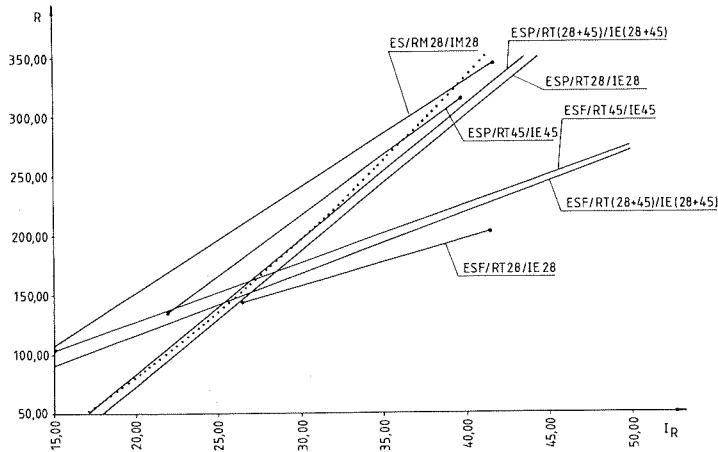


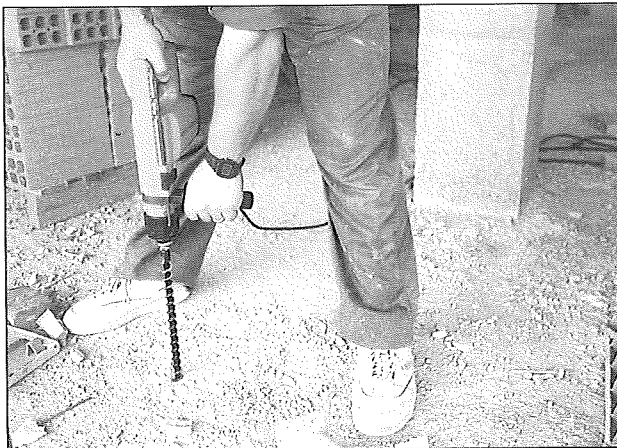
Figura 1.- Estructura ESF y ESP.- Ajustes obtenidos al realizar ensayos sobre probetas moldeadas estándar y en la estructura (Forjados o pilares). Comparación con la calibración general del aparato esclerómetro (Modelo N).

Figure 1.- Structure ESF and ESP.- Fits obtained from tests on standard cast specimens and on core specimens from the structure (Floor slabs and columns). Comparison with the general calibration of the Schmidt Hammer (Model N).

4.3. Estimación de la resistencia a compresión del hormigón mediante el ajuste estadístico de regresiones entre la velocidad de ultrasonidos y resistencia.

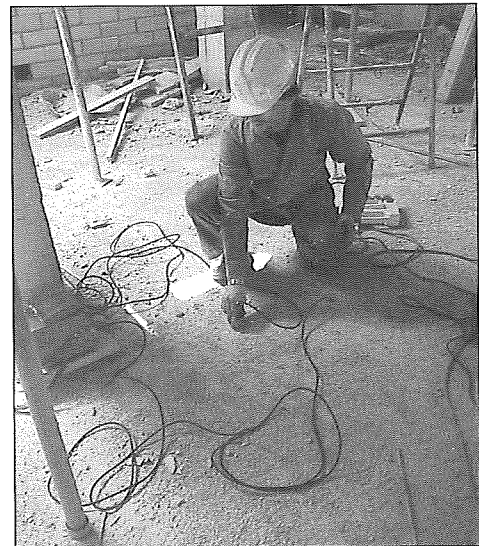
En general, el ajuste de tipo exponencial en la forma $R = a \cdot e^{bv}$, es el que mejor aproximó la nube de puntos experimentales en los ensayos realizados en laboratorio sobre probetas moldeadas con curado normalizado, o bien sobre tramos de pilar en la estructura.

Para los ensayos realizados en zonas macizadas (ábacos) de forjados sin vigas, es el ajuste según una línea recta el que mejor aproximó la nube de puntos experimentales ($R = a + b \cdot v$).



Fotografía 2. Perforación previa practicada en ábacos de forjados, para paso de los cables del aparato ultrasonidos

Photograph 2. Preliminary perforation of the abacuses of floor slabs to enable the passage of cables for the ultrasonic apparatus.



Fotografía 3. Auscultación ultrasónica en ábacos de forjado.

Photograph 3. Ultrasonic auscultation at the abacus of floor slabs.

Para la investigación ultrasónica, se utilizaron las siguientes abreviaturas:

VM28: Velocidad ultrasónica, a 28 días, en probetas moldeadas estándar (Curado normalizado).

VE(28+45): Conjunto de resultados de la velocidad ultrasónica, a 28 y 45 días, en la estructura.

VE28: Velocidad ultrasónica, a 28 días, en la estructura.

VE45: Velocidad ultrasónica, a 45 días, en la estructura.

ESTRUCTURA STRUCTURE	VARIABLES CORRELACIONADAS CORRELATED VARIABLES	n	r	CALIFICACIÓN DE LA CORRELACIÓN ASSESSMENT OF THE CORRELATION	AJUSTE OBTENIDO FIT OBTAINED	ERROR MEDIO (N.C. 90%) AVERAGE ERROR (C.I. 90%)
E1 (F+P)	RM28-VM28	8	0,83	Buena / Good	$R = 0,198 \cdot e^{1,801 \cdot v}$	$\pm 28,2 \text{ Kp/cm}^2$
ES (F+P)	RM28-VM28	25	0,79	Excelente / Excellent	$R = 4,42 \cdot e^{0,94 \cdot v}$	$\pm 48,6 \text{ Kp/cm}^2$

Tabla 5.- Regresiones obtenidas v - R, en ensayos realizados sobre PROBETAS MOLDEADAS. (Forjados + Pilares. Estructuras de edificación).

Table 5.- Regressions obtained v - R, in tests carried out on CAST SPECIMENS (Floor slabs + Columns. Building structures).

ESTRUCTURA STRUCTURE	VARIABLES CORRELACIONADAS CORRELATED VARIABLES	n	r	CALIFICACIÓN DE LA CORRELACIÓN ASSESSMENT OF THE CORRELATION	AJUSTE OBTENIDO FIT OBTAINED	ERROR MEDIO (N.C. 90%) AVERAGE ERROR (C.I. 90%)
ESF	RT28-VE28	8	0,71	Buena / Good	$R = -179,02 + 89,2 \cdot v$	$\pm 18,3 \text{ Kp/cm}^2$
	RT45-VE45	15	0,67	Buena / Good	$R = -29,16 + 60,2 \cdot v$	$\pm 38,5 \text{ Kp/cm}^2$
	RT(28+45)-VE(28+45)	23	0,47	Buena / Good	$R = 8,99 + 46,9 \cdot v$	$\pm 43,2 \text{ Kp/cm}^2$

Tabla 6.- Regresiones obtenidas v - R, en ensayos realizados en CAPITELES DE FORJADOS. Estructura ESF.

Table 6.- Regressions obtained v - R, in tests carried out on ABACUSES OF FLOOR SLABS. Structure ESF.

ESTRUCTURA STRUCTURE	VARIABLES CORRELACIONADAS CORRELATED VARIABLES	n	r	CALIFICACIÓN DE LA CORRELACIÓN ASSESSMENT OF THE CORRELATION	AJUSTE OBTENIDO FIT OBTAINED	ERROR MEDIO (N.C. 90%) AVERAGE ERROR (C.I. 90%)
E1P	RT28-VE28	17	0,58	Buena / Good	$R = 57,38 \cdot e^{0,302 \cdot v}$	$\pm 19,4 \text{ Kp/cm}^2$
	RT45-VE45	11	0,74	Buena / Good	$R = 18,96 \cdot e^{0,622 \cdot v}$	$\pm 20,8 \text{ Kp/cm}^2$
	RT(28+45)-VE(28+45)	28	0,52	Buena / Good	$R = 68,17 \cdot e^{0,262 \cdot v}$	$\pm 22,2 \text{ Kp/cm}^2$
ESP	RT28+VE28	42	0,83	Excelente / Excellent	$R = 5,36 \cdot e^{0,92 \cdot v}$	$\pm 56,0 \text{ Kp/cm}^2$
	RT45-VE45	23	0,82	Excelente / Excellent	$R = 15,76 \cdot e^{0,66 \cdot v}$	$\pm 37,4 \text{ Kp/cm}^2$
	RT(28+45)-VE(28+45)	65	0,81	Excelente / Excellent	$R = 7,66 \cdot e^{0,83 \cdot v}$	$\pm 57,0 \text{ Kp/cm}^2$

Tabla 7.- Regresiones obtenidas v - R, ensayos realizados en PILARES (zonas medias + altas). Estructuras E1P y ESP.

Table 7.- Regressions obtained v - R, in tests carried out on COLUMNS (Middle and upper areas). Structure E1P and ESP.

Table 5 gives the results obtained for regressions in cast specimens, and tables 6 and 7 give those corresponding to tests carried out on abacuses of floor slabs of the structure ES (ESF) and on column sections in the structures (E1P and ESP), respectively.

Fig. 2 shows, by way of example, the fits obtained at 45 days between the experimental population derived from the abacuses and columns in structure ES, while Fig. 3 shows, by way of comparison, the experimental fits obtained in the structure ES in concretes at 28 days in relation to those established by testing standard cast specimens in the laboratory.

4.4. Evaluation of the compressive strength of concrete by the combined method.

In every case analyzed by the different methods -as already indicated for regressions between two variables- the experimental fit was obtained by studying the triple correlation between compressive strength of the specimens - cast or core- the rebound rates and the fourth powers of the pulse velocity, in the form:

$$R(\text{Kp/cm}^2) = a + b \cdot I_R + c \cdot v^4$$

The specific data included in any given analysis were processed and introduced in a computer programme designed by the civil engineer at INTEMAC, José M^a Izquierdo.

La tabla 5 contiene los resultados obtenidos para las regresiones sobre probetas moldeadas, y las tablas 6 y 7 los correspondientes a ensayos realizados, respectivamente, en ábacos de forjados de la estructura ES (ESF) y en tramos de pilares de las estructuras investigadas. (E1P y ESP).

En la figura 2, se han representado, a título de ejemplo, los ajustes obtenidos a 45 días entre la población experimental procedente de ábacos y pilares de la estructura ES, y en la figura 3 se han agrupado, también a efectos comparativos, los ajustes experimentales obtenidos en la estructura ES para hormigones de 28 días de edad, en relación con los establecidos al ensayar en laboratorio sobre probetas moldeadas estándar.

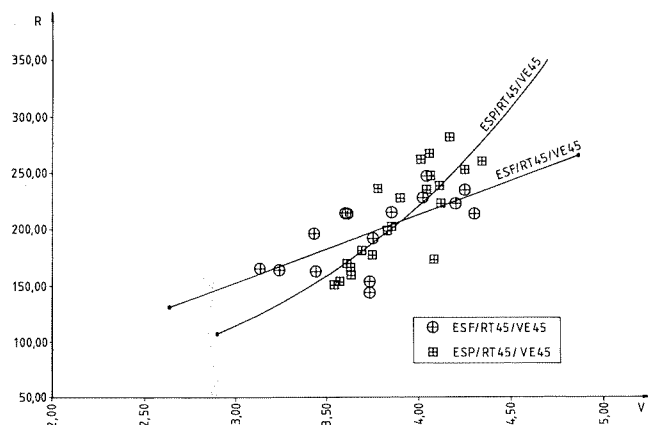


Figura 2.- Estructura ES.- Comparación entre las regresiones v - R obtenidas a 45 días en ensayos realizados en capiteles de forjados y en pilares.

Figure. 2.- Structure ES.- Comparison between regressions v - R obtained at 45 days in tests carried out on the capitals of floor slabs and on columns.

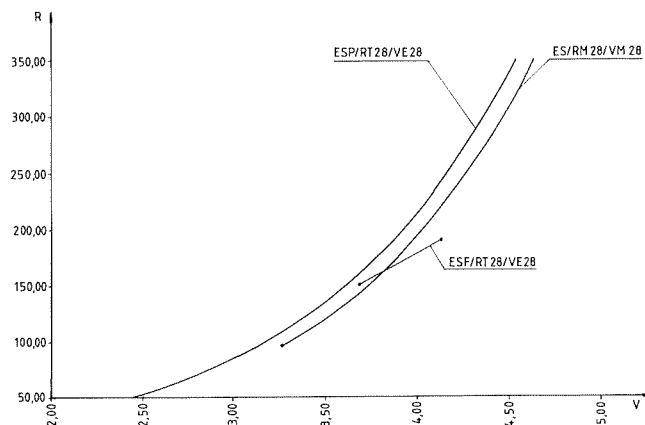
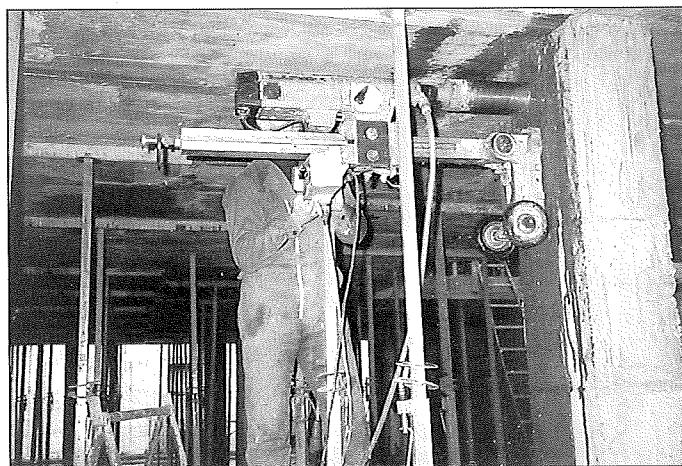


Figura 3.- Estructura ES.- Comparación entre las regresiones v - R obtenidas a 28 días en ensayos realizados sobre probetas moldeadas, capiteles de forjados y pilares

Figure. 3.- Structure ES.- Comparison between regressions v - R obtained at 28 days in tests carried out on the capitals of cast specimens, capitals of floor slabs and columns.



Fotografía 4. Extracción de testigos en zona alta del fuste de pilares

Photograph 4. Core extraction from the upper part of columns

4.4. Estimación de la resistencia a compresión del hormigón mediante la utilización del método combinado

Para cada caso que fué analizado de forma diferenciada -tal y como se ha comentado para las regresiones entre dos variables- el ajuste experimental se obtuvo mediante un estudio de correlación triple entre la resistencia a compresión de las probetas -moldeadas o testigo- los índices de rebote y las cuartas potencias de la velocidad de propagación de los ultrasonidos, en la forma:

$$R(\text{Kp/cm}^2) = a + b \cdot I_R + c \cdot v^4$$

Los datos específicos que se incorporaban a un determinado análisis, fueron tratados e introducidos en un programa informático del que es autor el Ingeniero de Caminos de INTEMAC, D. José M^a Izquierdo.

ESTRUCTURA	VARIABLES CORRELACIONADAS	n	r	AJUSTE OBTENIDO	CALIFICACIÓN DE LA CORRELACIÓN	n _F
STRUCTURE	CORRELATED VARIABLES			FIT OBTAINED	ASSESSMENT OF THE CORRELATION	
E1P	RT28-IE28-VE28	17	0,65	$R=64,29+2,44 I_R+0,216.v^4$	Buena / Good	0
	RT45-IE45-VE45	10	0,82	$R=-193,83+9,61 I_R+0,48.v^4$	Buena / Good	0
	RT(28+45)IE(28+45)VE(28+45)	27	0,61	$R=32,01+3,57 I_R+0,229.v^4$	Excelente / Excellent	0
ESP	RT28-IE28-VE28	35	0,91	$R=-149,53+7,51 I_R+0,58.v^4$	Excelente / Excellent	0
	RT45-IE45-VE45	19	0,82	$R=-142,11+8,64 I_R+0,38.v^4$	Excelente / Excellent	0
	RT(28+45)IE(28+45)VE(28+45)	54	0,89	$R=-145,76+7,65 I_R+0,49.v^4$	Excelente / Excellent	0

Tabla 8.- Correlaciones triples $R - I_R - v$, obtenidas al ensayar en PILARES. ESTRUCTURAS E1 y ES. n_F= Número de puntos experimentales que quedan fuera del campo de validez de la correlación.

Table 8.- Triple Correlations obtained $R - I_R - v$, in tests carried out on COLUMNS. STRUCTURES E1 and ES. n_F = Number of sample points outside the valid range of the correlation.

Table 8 shows, by way of example, the regression profiles for the different ages investigated in column sections from structures E1 and ES, and Fig. 4 shows the experimental fit obtained at 28 days in abacuses of floor slabs in structure ES. The valid range of the fit found is given -in terms of its application- by the hatched area.

4.5. Levels of accuracy obtained on evaluating the compressive strength of concrete in-situ.

From the fit obtained in each different case, each non-destructive value ($I_R, v, I_R - v$) found within the area of validity of the corresponding fit, has been given the resulting value of compressive strength, according to the fit (C.I. 50%) or the envelope (N.I. 95%).

These estimated values were compared with the experimental results (compression failure of concrete cores taken from abacuses or columns, at the corresponding ages) to obtain the levels of accuracy attributable to each technique, as described below.

The level of accuracy in the evaluation of the compressive strength of concrete was taken in each case or experimentally established fit, as the extremes of the interval in which 90% of the experimental results of the population of relative errors were found.

VARIABLES CORRELACIONADAS	EDAD DEL HORMIGÓN (DÍAS)		
	AGE OF CONCRETE (DAYS)		
CORRELATED VARIABLES	28	45	28+45
RT-IE-VE	—	-8,4% a 9,0%	-9,7% a + 9,5%
RT-IE	-10,3% a + 10,7%	17,7% a + 20%	-17,3% a + 20%
RT-VE	-12,3% a 13,1%	-21,9% a + 25%	-22,7% a 26,7%

Tabla 9.- Estructura ESF (FORJADOS). Comparación de niveles de precisión (N.C. 50%) en la estimación in-situ de la resistencia a compresión por diversos métodos.

Table 9.- Structure ESF (FLOOR SLABS). Comparison of levels of accuracy (C.L. 50%) in the in-situ evaluation of the compressive strength by different methods.

Table 9 shows, by way of example, the levels of accuracy obtained in the in-situ evaluation of the compressive strength of concrete (C.L 50%) in abacuses of flat slab concrete floors, and Table 10 gives those corresponding to

En la tabla 8 se presentan, a título de ejemplo, las superficies de regresión obtenidas para las diferentes edades investigadas, en tramos de pilares de la estructuras E1 y ES, y en la figura nº4 se ha representado el ajuste experimental obtenido a la edad de 28 días en ábacos de forjado de la estructura ES. El campo de validez del ajuste encontrado queda constituido -a nivel de aplicabilidad del mismo- por la zona rayada.

4.5. Niveles de precisión obtenidos al estimar in-situ la resistencia a compresión del hormigón.

A partir de los ajustes obtenidos en cada caso diferenciado, a cada valor no destructivo ($I_{R,v}$, I_{R-v}) que se encontraba dentro del campo de validez del ajuste correspondiente, se le ha asignado el consiguiente valor de resistencia a compresión, bien según el ajuste (N.C. 50%), bien según la envolvente (N.C. 95%).

Estos valores estimados fueron comparados con los resultados experimentales (rotura a compresión de probetas testigo de hormigón extraídas de ábacos o tramos de pilares, a las edades correspondientes) para obtener los niveles de precisión que pueden ser atribuidos a cada técnica, aspecto que se comenta a continuación.

Como nivel de precisión en la estimación in-situ de la resistencia a compresión del hormigón se ha tomado, para cada caso o ajuste experimental establecido, los extremos del intervalo en el que se encontraba el 90% de los resultados experimentales de la población de errores relativos.

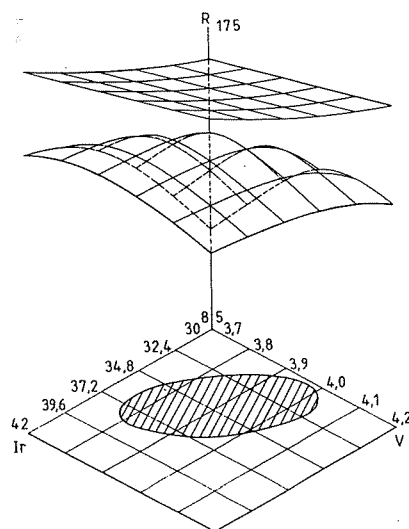


Figura 4.- Representación gráfica del ajuste experimental obtenido, por el método combinado, en ensayos realizados a 28 días en CAPITELES DE FORJADOS. Estructura ESF.

Figure 4.- Graphical representation of the experimental fit obtained by the combined method in tests carried out at 28 days on the CAPITALS OF FLOOR SLABS. Structures EF.

VARIABLES CORRELACIONADAS CORRELATED VARIABLES	EDAD DEL HORMIGÓN (DÍAS) AGE OF CONCRETE (DAYS)		
	28	45	28+45
RT-IE-VE	- 23,9% a + 14,2%	-26,3% a + 18,5%	-22,4% a + 14,9%
RT-IE	- 28,4% a + 17,9%	- 26,2% a 20,2%	-29,8% a + 26,1%
RT-VE	- 32,6% a + 18,1%	- 21,1% a + 12,6%	- 27,8% a + 17,3%

Tabla 10.- Estructura ESP (PILARES). Comparación entre los niveles de precisión (N.C. 95%) en la estimación in-situ de la resistencia del hormigón por diversos métodos.

Table 10.- Structure ESP (COLUMNS). Comparison of levels of accuracy (C.L. 95%) in the in-situ evaluation of the compressive strength by different methods.

La tabla 9 presenta, a título de ejemplo, los niveles de precisión obtenidos en la estimación in-situ de la resistencia a compresión del hormigón (N.C. 50%) colocado en ábacos de forjados sin vigas, y en la tabla 10 se han incorporado los obtenidos en pilares de la estructura ES, pero para un nivel de confianza (N.C) del 95%, ya que aunque puede proporcionar niveles de precisión algo inferiores, la predicción del valor resistente del hormigón según la curva o superficie envolvente es la que debe utilizarse cuando se pretenden acometer comprobaciones de seguridad estructural en elementos tipo pilar.

columns in structure ES, but at a confidence limit of (C.L) of 95%, as while this may give slightly lower levels of accuracy, the prediction of the concrete strength value according to the curve or enveloping surface is that which should be used when undertaking verifications of structural safety in members such as columns.

The techniques investigated are compared in the said tables, that is:

- * Combined method RT-VE-IE
- * Ultrasonic method RT-VE
- * Sclerometric method RT-IE

5. RECOMMENDATIONS FOR INTERVENTION IN REAL CASES.

a) The results found in this investigation -carried out on structural elements in buildings under construction- confirmed that the values of the core/cast specimen ratio, varied in accordance with the type of structural element investigated and with the position of the core in the member.

At 28 days the average values of this ratio were around 0.80 in abacuses of flat slab concrete floors and 0.90 and 0.80 in the middle and upper sections of the column stem respectively.

The subsequent conclusion is that on investigating the quality of hardened concrete (at ages around 28 days) placed in abacuses of flat slab concrete floors, we may be technically rejecting concrete control batches which would be acceptable in all reality, if one hopes to establish a comparison with the specified design quality.

On the other hand, if the aim of the investigation is to verify in-situ the correspondence between the concrete supplied and that specified, then the middle area of the concrete stem offers the "average quality" of the concrete of the member, and the upper area of the stem should be investigated when one wishes to develop any type of verification regarding conditions of structural safety.

b) In order to establish any type of sample fit on the concrete in question, it is highly recommendable to provide a minimum of eight (8) pairs of values for the regressions between two variables (rebound-strength or ultrasound-strength) which means that the same number of cores be obtained from the structural area in question.

When an investigation is made with a smaller number of cores, this will provide statistically valid correlations, but the area of validity (interval of values of the non-destructive test where the sample error is valid and defined) may be seen to be so reduced that it prevents one from making a reasonable and sufficiently precise estimation of the strength value of the hardened concrete.

In the case of correlations of three variables (rebound-ultrasound-strength), that is to say, by applying the combined method, the results obtained in the investigation are conclusive in as much as it is necessary to take around 12 trios of sample values in order to evaluate the in-situ compressive strength of concrete with any chance of success.

c) It is not advisable to use the sclerometric technique to evaluate the strength of hardened concrete in-situ, in concretes over 90 days, due to the increasing insensitivity of the said technique to detect substantial changes in strength. After this age, surface carbonatation may affect the evaluation process even further.

At earlier ages (and in ages over 7 days) the lineal regression is probably one of the best that can be used when using the sclerometric technique. $R = a + b \cdot I_R$.

d) In concretes under 60 days, the use of the calibration curve of the Schmidt Hammer for in-situ strength evaluation, generally leads to overvaluations, which are sometimes very high, of the in-situ concrete strength. In the investigation carried out these overvaluations were more pronounced in the investigation of abacuses of flat slab concrete floors than in the column stems. It is, therefore, recommended that relevant sample fits be established in each case.

e) Exponential regressions of the type $R = ae^{bv}$ are, generally, very valid when using the ultrasonic technique in the in-situ evaluation of compressive strength of concrete, on the condition that a suitable number of pairs of sample values be considered.

However, in the investigation carried out on the abacuses of flat slab concrete floors, the lineal correlations in the form $R = a + bv$ were those that came closer to the group of experimental points, which seems to confirm that observed in the existing bibliography, namely that the type of structural element investigated may condition the type of regression covering the greater field of validity, in the range of values obtained for ultrasonic pulse velocity.

On the other hand, one should not forget that the investigation carried out covered concretes of ages up to 45 days. When concretes of greater ages are investigated, the uniforming process of the in-situ strength of the concrete may

En las citadas tablas se compararan las técnicas investigadas, es decir:

- * Método combinado RT-VE-IE
- * Método ultrasónico RT-VE
- * Método esclerométrico RT-IE

5. RECOMENDACIONES DE ACTUACION EN CASOS REALES.

a) Los resultados obtenidos en esta investigación -desarrollada sobre elementos estructurales procedentes de obras reales en construcción -confirmaron que los valores de la ratio testigo/moldeada estándar, varían en función del tipo de elemento estructural que se investiga y de la posición de la probeta testigo en la pieza.

A la edad de 28 días, los valores medios de esta ratio han estado más cercanos a 0,80 en ábacos de forjados sin vigas y a 0,90 y 0,80 en zonas media y alta del fuste de los pilares respectivamente.

La reflexión consiguiente es que al investigar (a edades cercanas a 28 días) la calidad del hormigón endurecido colocado en ábacos de forjados sin vigas, podemos estar rechazando técnicamente lotes de control del hormigón que en realidad serían aceptables, si lo que se pretende es establecer una comparación con la calidad especificada en el proyecto.

Por otra parte, si el objetivo de la investigación que se lleve a cabo es comprobar in-situ la correspondencia entre el hormigón suministrado y el especificado, es la zona media del fuste de elementos tipo pilar la que proporciona una "calidad media" del hormigón de la pieza, mientras que debe ser la zona alta la investigada cuando se pretende desarrollar cualquier tipo de comprobación relativa a las condiciones de seguridad estructural.

b) Para establecer cualquier tipo de ajuste experimental sobre el hormigón en estudio, es altamente recomendable que se disponga de un mínimo de ocho (8) parejas de valores para las regresiones entre dos variables (rebote-resistencia o ultrasonidos-resistencia) lo que conlleva la obtención del mismo número de probetas testigo de entre la zona estructural en cuestión.

En el caso de pretender realizar la investigación con un menor número de probetas testigo, aunque se obtengan correlaciones estadísticamente válidas, su campo de validez (intervalo de valores del ensayo no destructivo donde el error experimental es válido y está acotado) puede verse tan reducido que impida realizar una estimación razonable y suficientemente precisa del valor resistente del hormigón endurecido.

En el caso de correlaciones de tres variables (rebote-ultrasonidos-resistencia), es decir, al aplicar el método combinado, los resultados obtenidos en la investigación desarrollada son concluyentes en el sentido de que son necesarios alrededor de 12 tríos de valores experimentales para poder acometer con cierta probabilidad de éxito la estimación in-situ de la resistencia a compresión del hormigón.

c) No es aconsejable la utilización de la técnica esclerométrica para la estimación in-situ de la resistencia del hormigón endurecido, para edades del hormigón superiores a 90 días, debido a una creciente insensibilidad de la técnica mencionada para detectar cambios sustanciales de resistencia. A partir de esa edad, el fenómeno de carbonatación superficial puede alterar, todavía más, el proceso de la estimación.

Para edades inferiores (y superiores, asimismo, a 7 días) la regresión de tipo lineal es, probablemente, una de las mejores que pueden ser utilizadas cuando se maneja la técnica esclerométrica ($R=a + b \cdot I_R$).

d) Para edades del hormigón inferiores a los 60 días, la utilización de la curva de calibración del esclerómetro Schmidt para la estimación in-situ de la resistencia, conducirá por lo general a sobrevaloraciones, en algún caso elevadas, del valor resistente del hormigón colocado in-situ. En la investigación desarrollada, estas sobreestimaciones fueron más acusadas al investigar ábacos de forjados sin vigas que en tramos de pilares. Se recomienda, por tanto, establecer los oportunos ajustes experimentales en cada caso.

e) Las regresiones de tipo exponencial en la forma $R= ae^{bv}$ son, en general, muy válidas cuando se utiliza la técnica ultrasónica para la estimación in-situ de la resistencia a compresión del hormigón, siempre que se manejen un número suficiente de parejas de valores experimentales.

No obstante, en la investigación desarrollada sobre ábacos de forjados sin vigas, los ajustes lineales en la forma $R=a+bv$ fueron los que mejor aproximaron la nube de puntos experimentales, lo que parece confirmar algo que se aprecia en la bibliografía existente, y es que el tipo de elemento estructural que se investiga puede condicionar el tipo de regresión que cubre un mayor campo de validez, en el rango de valores obtenidos para la velocidad de propagación de los ultrasonidos.

Por otra parte, no debe olvidarse que la investigación desarrollada cubrió hormigones con edades hasta 45 días. Cuando se investigan hormigones de avanzada edad, el proceso de "uniformización" de la resistencia in-situ del

greatly reduce the range of values obtained for the ultrasonic velocity. In these cases a regression that causes the fourth powers of the velocity to intervene, in the form $R = a.v^4$, may be of great use.

f) The results obtained from the investigation carried out were conclusive in the sense that it is never recommendable to use the regressions established in the laboratory, on testing standard cured specimens, to evaluate the in-situ compressive strength of the concrete represented by these specimens. If this method is used, the evaluation process may noticeably distort the strength of the concrete placed in the structure.

g) The use of the combined method, which uses the simultaneous intervention of rebound and ultrasonic techniques, is somewhat more expensive (in terms of time and money) than the individual application of both techniques. In spite of this, the increase in accuracy given may fully justify the use of this method, especially in cases involving verifications of structural safety and on investigating concretes advanced in age.

In our case, the use of experimental fitting with the lineal intervention of the rebound ratio and the fourth power of the ultrasonic velocity, gave satisfactory results ($R = a + b.R + c.v^4$).

h) For practical purposes -which may be made in common practice with relative ease- the inclusion of in-situ test results on the same concrete in one sole analysis, with somewhat different ages (28 and 45 days), modified the formula obtained in the experimental fit, but did not significantly affect the type of fit and the level of accuracy obtained in the in-situ evaluation of the strength. However, on investigating concretes in the same structure, but with very different degrees of maturity, it is recommended that specific experimental fits be established for each concrete.

i) In concretes of moderate strength, such as those normally placed in building structures, the sclerometric and ultrasonic techniques may be useful to obtain reasonable levels of accuracy ($\approx \pm 15$ to $\pm 25\%$) in the in-situ evaluation of the compressive strength of hardened concrete, on the condition that the concrete is no more than three months old.

In this period of time, the application of the combined method may somewhat improve these levels of accuracy if the investigation, using sclerometric or ultrasonic techniques independently, is suitably set out, sufficiently extensive and carefully carried out by personnel qualified in these testing techniques and in the analysis of results obtained in the fieldwork.

However, the application of the combined method may be definitive in concrete structures of advanced age or in verifications of structural safety, if one wishes to obtain more fitting results for the level of accuracy in the evaluation of compressive strength. The reason for this may be found in the fact that the method enables the elimination or noticeable reduction of the influence of some "embarrassing" parameters which alter the experimental fits which are obtained from non-destructive measurements and the compressive strength, such as the age, water content of the concrete and, to a lesser extent, the type of aggregate and the type and mix of concrete.

6 BIBLIOGRAPHY

1. ACI 214-77 (Reaffirmed 1983). "Recommended practice for evaluation of strength test results of concrete".
2. ACI 437 R-67 (Revised 1982). "Strength evaluation of existing concrete for buildings".
3. AKMAN, M.A.; IPEK, M. "Estimation of characteristic strength of concrete by means of combined nondestructive testing. RILEM. Commission 43-CND. Atenas (1981).
4. ASTM C-42/82. "Standard method of obtaining and testing drilled cores on sawed beams of concrete".
5. ASTM-C-597-83. "Standard test method for pulse velocity through concrete".
6. ASTM-C-805-85. "Standard test method for rebound number hardened concrete".
7. BELLANDER, U. "Concrete strength in finished structures". RILEM. Quality Control of Concrete Structures (1979).
8. BLOEM, D.L. "Concrete strength in finished structures". ACI Journal Proceedings. Vol. 65, n° 3 (1968).
9. BS 6089. "Assessment of concrete strength in existing structures". London (1981).
10. BS 1881, part 201. "Testing concrete: Guide to the use of non-destructive methods of test for hardened concrete".
11. BS 1881, part 120. "Testing concrete. Method for determination of the compressive Strength of concrete cores." London (1983).
12. BUNGEY, J.H. "The Testing of concrete in structures". Surrey University Press. London (1982).
13. CALAVERA RUIZ, J. "Probetas tomadas a salida de hormigonera". Informes de la Construcción, n° 275 (1975).
14. CHUNG, H.W. "Diagnostic in-situ concrete by ultrasonic pulse technique". Concrete International (Octubre 1983).
15. CIANFRONE, F. FACAOARU, I. "Study on the introduction in Italy on the combined non-destructive method for the determination of in-situ concrete strength". Materiaux et Constructions, n° 71 (1979).
16. COMISION PERMANENTE DEL HORMIGON. "Resistencia Característica y Control de Calidad" (MOP 1972).
17. DELIBES LINIERS, A. "Análisis de la influencia de algunas variables en la extracción y ensayo a compresión de probetas testigo de hormigón". Informes de la Construcción, n° 266 (1975).
18. FACAOARU, I. "The combination about direct and indirect testing methods for in-situ concrete strength determination". RILEM. Quality Control of Concrete Structures (1979).
19. IRANOR. Normas UNE 83300, 83301, 83302, 83303, 83304, 83307-86 y 83308-86.
20. KOLLEK, J. "Non destructive testing of concrete by hardness methods". Institution of Civil Engineers. London (1970).
21. MALHOTRA, V.M. "In-place evaluation of concrete". Journal of the Construction Division (June 1975).
22. MURPHY, W.E. "The assessment of concrete strength in structures" RILEM. Quality Control of Concrete Structures (1979).
23. PETERSONS, N. "Recommendations for estimation of quality of concrete in finished structures". Bulletin RILEM, n° 24 (Noviembre-Diciembre 1971).
24. TOMSETT, H.M. "The practical use of ultrasonic pulse velocity measurements in the assessment of concrete quality. Magazine of Concrete Research, Vol. 32, n° 110 (Marzo 1980).

hormigón, puede reducir en gran medida el rango de valores que se obtiene para los valores de la velocidad de los ultrasonidos. En esos casos, una regresión que haga intervenir las potencias cuartas de la velocidad, en la forma $R = a \cdot v^4$, puede resultar de mucha utilidad.

f) Los resultados obtenidos en la investigación desarrollada fueron concluyentes en el sentido de que no es recomendable -en ningún caso- la utilización de regresiones establecidas en laboratorio, al ensayar sobre probetas moldeadas estándar, para estimar in-situ la resistencia a compresión del hormigón representado por esas probetas. De utilizar ese camino, el proceso de estimación puede desdibujar sensiblemente la resistencia del hormigón colocado en la estructura.

g) La utilización del método combinado, que hace intervenir de forma simultánea a las técnicas de rebote y ultrasonidos, es algo más costosa (en términos de tiempo y económicos) que la aplicación aislada de ambas técnicas. A pesar de ello, el incremento de precisión que proporciona puede justificar plenamente su utilización, sobre todo en los supuestos de realización de comprobaciones de seguridad estructural y al investigar hormigones de avanzada edad.

En nuestro caso, la utilización de ajustes experimentales que hicieron intervenir linealmente al índice de rebote y la cuarta potencia de la velocidad ultrasónica, dieron unos resultados satisfactorios ($R = a + b \cdot I_R + c \cdot v^4$)

h) A efectos prácticos - que pueden darse en la práctica habitual con relativa facilidad -el incluir en un único análisis resultados de los ensayos in-situ de un mismo hormigón, con grados de madurez algo diferentes (28 y 45 días), modificó la expresión obtenida en el ajuste experimental, pero no alteró sustancialmente el tipo de ajuste y el nivel de precisión logrado en la estimación in-situ de la resistencia. No obstante, al investigar hormigones de una misma estructura, pero con grados de madurez muy distintos, se recomienda el establecimiento de ajustes experimentales específicos para cada hormigón.

i) Para hormigones de resistencias moderadas, como son los que se colocan habitualmente en estructuras de edificación, las técnicas esclerométrica y ultrasónica pueden ser herramientas útiles para obtener niveles de precisión razonables ($\approx \pm 15$ a $\pm 25\%$) en la estimación in-situ de la resistencia a compresión del hormigón endurecido, siempre que su edad sea inferior a tres meses.

En este intervalo de tiempo, la aplicación del método combinado puede mejorar esos niveles de precisión, pero no de forma sustancial si la investigación, utilizando las técnicas esclerométrica o ultrasónica de forma aislada, se plantea de forma adecuada y es suficientemente amplia y desarrollada cuidadosamente por personal experto en estas técnicas de ensayo y en el análisis de los resultados que se van obteniendo en los trabajos de campo.

Es en las estructuras de hormigón de avanzada edad o en supuestos de comprobaciones de seguridad estructural donde la aplicación del método combinado puede ser definitiva, si se desean obtener unos valores más ajustados para el nivel de precisión en la estimación de la resistencia a compresión. La explicación a esto hay que buscarla en el hecho de que el método permite eliminar o disminuir de forma apreciable la influencia de algunos parámetros "embarazosos" que alteran los ajustes experimentales que se obtienen entre las medidas no destructivas y la resistencia a compresión, como son el grado de madurez y el contenido de humedad del hormigón y, en menor grado, el tipo de árido y el tipo y dosificación de cemento.

6 BIBLIOGRAFIA

1. ACI 214-77 (Reaffirmed 1983). "Recommended practice for evaluation of strength test results of concrete".
2. ACI 437 R-67 (Revised 1982). "Strength evaluation of existing concrete for buildings".
3. AKMAN, M.A.; IPEK, M. "Estimation of characteristic strength of concrete by means of combined nondestructive testing. RILEM. Commission 43-CND. Atenas (1981).
4. ASTM C-42/82. "Standard method of obtaining and testing drilled cores in sawed beams of concrete".
5. ASTM-C-597-83. "Standard test method for pulse velocity through concrete".
6. ASTM-C-805-85. "Standard test method for rebound number hardened concrete".
7. BELLANDER, U. "Concrete strength in finished structures". RILEM. *Quality Control of Concrete Structures* (1979).
8. BLOEM, D.L. "Concrete strength in finished structures". *ACI Journal Proceedings*. Vol. 65, nº 3 (1968).
9. BS 6089. "Assessment of concrete strength in existing structures". London (1981).
10. BS 1881, part 201. "Testing concrete: Guide to the use of non-destructive methods of test for hardened concrete".
11. BS 1881, part 120. "Testing concrete. Method for determination of the compressive Strength of concrete cores." London (1983).
12. BUNGEY, J.H. "The Testing of concrete in structures". Surrey University Press. London (1982).
13. CALAVERA RUIZ, J. "Probetas tomadas a salida de hormigonera". *Informes de la Construcción*, nº 275 (1975).
14. CHUNG, H.W. "Diagnostic in-situ concrete by ultrasonic pulse technique". *Concrete International* (Oct.1983).
15. CIANFRONE, F. FACAOARU, I. "Study on the introduction in Italy on the combined non-destructive method for the determination of in-situ concrete strength". *Materiaux et Constructions*, nº 71 (1979).
16. COMISION PERMANENTE DEL HORMIGON. "Resistencia Característica y Control de Calidad" (MOP 1972).
17. DELIBES LINIERS, A. "Análisis de la influencia de algunas variables en la extracción y ensayo a compresión de probetas testigo de hormigón". *Informes de la Construcción*, nº 266 (1975).
18. FACAOARU, I. "The combination about direct and indirect testing methods for in-situ concrete strength determination". RILEM. *Quality Control of Concrete Structures* (1979).
19. IRANOR. Normas UNE 83300, 83301, 83302, 83303, 83304, 83307-86 y 83308-86.
20. KOLLEK, J. "Non destructive testing of concrete by hardness methods". Institution of Civil Engineers. London (1970).
21. MALHOTRA, V.M. "In-place evaluation of concrete". *Journal of the Construction Division* (June 1975).
22. MURPHY, W.E. "The assessment of concrete strength in structures" RILEM. *Quality Control of Concrete Structures* (1979).
23. PETERSONS, N. "Recommendations for estimation of quality of concrete in finished structures". *Bulletin RILEM*, nº 24 (Noviembre-Diciembre 1971).
24. TOMSETT, H.M. "The practical use of ultrasonic pulse velocity measurements in the assessment of concrete quality". *Magazine of Concrete Research*. Vol. 32, nº 110 (Marzo 1980).

Relación de Personal Titulado

Arquitectos

Jalvo García, Jaime
Luzón Cánovas, José M.^a
Pulido Muñoz, José

Ingeniero Aeronáutico

Cerdó Alonso-Misol, Gonzalo

Ingeniero Agrónomo

Valdés Tamames, Begoña

Ingenieros de Caminos

Acón Robleda, Miguel Angel
Aparicio Alonso, Angel
Arroyo Pérez, José Alberto
Calavera Ruiz, José
Cortés Bretón, Juan María
Corral Folgado, Claudio
Díaz Lozano, Justo
Fernández Gómez, Jaime Antonio
Ferrer Serafí, Carles
Ferrerías Eleta, Román
Gómez Alvarez, Mercedes
González González, Juan José
González Valle, Enrique
Hostalet Alba, Francisco
Izquierdo Bernaldo de Quirós, José M.^a
Jordán de Urries de la Riva, Jorge
Ley Urzáiz, Jorge
Penón Molins, Eduardo
Rodríguez Escribano, Raúl Rubén
Rodríguez Moragón, Julio
Sanz Pérez, Lorenzo
Sirvent Sirvent, Enrique
Tapia Menéndez, José
Torre Cobo, María Carmen
Villanueva Manzanares, Oscar

Ingeniero Civil

San Martín Aldaz, Fernando

Ingeniero I.C.A.I.

Marín Estévez, Gonzalo

Ingenieros Industriales

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

Ingeniero de Minas

Ramos Sánchez, Adelina

Ingeniero de Montes

Martínez Lorente, José Alberto

Licenciado en Ciencias Físicas

Díaz Paniagua, Carlos

Licenciados en Ciencias Geológicas

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

Licenciados en Ciencias Químicas

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

Licenciada en Geografía e Historia

Calavera Vayá, Ana María

Arquitectos Técnicos

Alvarez Begega, José Manuel
Cervera García, Eduardo
Díez García, Francisco Javier
Fernández de Caleyá Molina, Alberto J.
Fuente Rivera, Jesús de la
Montejano Jiménez, María del Carmen
Muñoz Mesto, Angel
Pena Fernández, Luis Antonio

Diplomada en Ciencias Empresariales

De la Mano Calvo, Isabel M.^a

Ingenieros Técnicos Industriales

Díaz-Trechuelo Laffón, Antonio
González Carmona, Manuel
Laserna Parrilla, María Teresa
Madueño Moraño, Antonio
Sánchez Orgaz, Miguel Angel

Ingeniero Técnico de Minas

Ballesteros Peinado, Luis Alberto

Ingenieros Técnicos de Obras Públicas

Alañón Juárez, Alejandro
Aranda Cabezas, Luis
Blanco García, Fernando
Carrero Crespo, Rafael
Esteban García, Juan José
Fernández Corredera, Carlos
González Isabel, Germán
González Nuño, Luis
Mata Soriano, Juan Carlos
Montiel Sánchez, Ernesto
Muñoz Mesto, Angel
Peña Muñoz, Roberto
Rosa Moreno, José Andrés
Rozas Hernando, José Juan
Sánchez González, M.^a del Carmen
Sánchez Vicente, Andrés

Ingenieros Técnicos Topógrafos

Barragán Bermejo, M.^a Vicenta
Carreras Ruiz, Francisco
Fernández Aguado, M.^a Remedios
Gallardo Alvarez, José Luis
García Martín, M.^a Mercedes
Gutiérrez Tío, Jorge
López-Canti Casas, Elisa

Profesores Mercantiles

González Alvarez, Vicente
Sampedro Portas, Arturo

Técnico en Administración de Empresas

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

Técnico en Informática

García Rodríguez, Juan Tomás

Técnico en Publicidad

Blanco Armas, Cristina

Topógrafo

Alquézar Falcetto, Ricardo

CUADERNOS INTEMAC

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

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



ULTIMOS TITULOS PUBLICADOS

Cuaderno Nº 15
 "Plan de abastecimiento de emergencia a Madrid. Conducción de San Juan-Valmayor. Control de Calidad de una conducción forzada".
 Autores: C. CORRAL FOLGADO. Ingeniero de Caminos.
 Prof. F. VALENCIANO CARLES. Ingeniero Industrial

Cuaderno Nº 16
 "La estimación in situ de la resistencia del hormigón endurecido. Aplicación al caso de hormigones de estructuras de edificación".
 Autor: Prof. F. HOSTALET ALBA. Dr. Ingeniero de Caminos.

CUADERNOS DE PROXIMA APARICION

Cuaderno Nº 17
 "Influencia de las inclusiones de sillería en el comportamiento de muros de fachada de mampostería en la rehabilitación de edificios históricos".
 Autor: J. M^a. IZQUIERDO BERNALDO DE QUIROS. Ingeniero de Caminos.

Cuaderno Nº 19
 "Rehabilitación y durabilidad de fachadas de piedra".
 Autores: J. M^a. CORTES. Dr. Ing. de Caminos
 J. M. FERNANDEZ PARIS. Ingeniero Técnico Industrial Químico.

Cuaderno Nº 18
 "Tolerancias en Estructuras de Hormigón".
 Autores: Prof. J. CALAVERA RUIZ.
 Prof. E. GONZALEZ VALLE.
 Prof. J. FERNANDEZ GOMEZ. Dres. Ingenieros de Caminos.
 F. CARVALHO DE ARRUDA COELHO. Ingeniero Civil.

VIDEOS TECNICOS

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



SERIE OBRAS DE HORMIGON EN MASA, ARMADO Y PRETENSADO.

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

EN PREPARACION

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

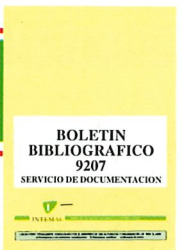
* PRECIO para entregas dentro del territorio español

BOLETIN BIBLIOGRAFICO

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

El BOLETIN BIBLIOGRAFICO incluye:

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



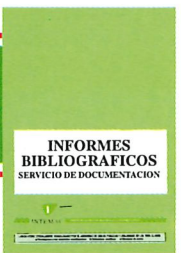
CONSULTAS E INFORMES BIBLIOGRAFICOS

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

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

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

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



ARTICULOS TECNICOS

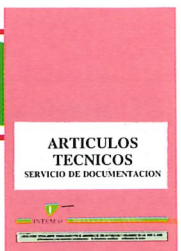
INTEMAC dispone de una amplia serie de trabajos publicados por nuestros técnicos en diferentes revistas.

A continuación incluimos la lista de los últimos.

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

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

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

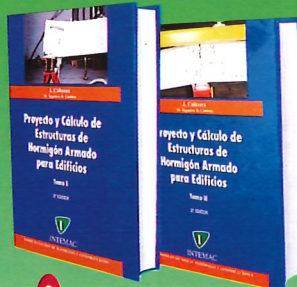




1



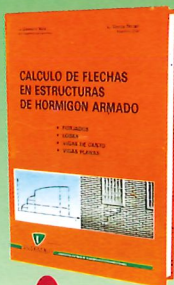
2



3



4



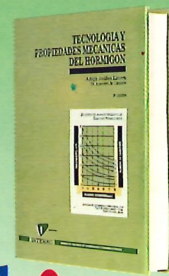
5



6



7



8

NUEVAS PUBLICACIONES

1 CALCULO, CONSTRUCCION Y PATOLOGIA DE FORJADOS DE EDIFICACION

- Autor: *J. Calavera*
- 4ª edición, 1988.
- 678 páginas.
- Encuadernación en guaflex.
- 344 figuras. 93 tablas y ábacos. 188 detalles constructivos. 16 ejemplos resueltos.
- 159 referencias bibliográficas.
- Precio: 7.500 ptas.

3 PROYECTO Y CALCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO PARA EDIFICIOS

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

TOMO I: CALCULO DE ESFUERZOS

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

TOMO II: DIMENSIONAMIENTO Y DETALLES CONSTRUCTIVOS

- 871 páginas.
- Encuadernación en guaflex.
- 61 figuras. 142 gráficos y tablas auxiliares.
- Precio de la obra completa: 16.500 ptas.

4 CALCULO DE ESTRUCTURAS DE CIMENTACION

- Autor: *J. Calavera*
- 3ª edición, 1991, de acuerdo con la Instrucción EH-91 con referencia al EUROCODIGO EC-2, Model Code CEB-FIP 1990 y ACI 318-89.
- 418 páginas.
- Encuadernación en guaflex.
- 40 tablas para el dimensionamiento directo de zapatas corridas y aisladas.
- Precio: 7.700 ptas.

5 CALCULO DE FLECHAS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO

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

6 HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA

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

7 MANUAL DE DETALLES CONSTRUCTIVOS EN OBRAS DE HORMIGON ARMADO

- Autor: *J. Calavera*
- Edición 1993.
- 506 páginas.
- Encuadernación en guaflex.
- 210 detalles constructivos con comentarios y recomendaciones.
- Además del libro se ha editado un Paquete informático consistente en 6 diskettes de 3.5" con ficheros en AutoCAD versión 10 (compatible con las versiones AutoCAD 11 y 12) conteniendo los 210 Detalles Constructivos, para su salida por impresora o plotter después de adaptar, si se desea, cada Detalle a las condiciones de cada proyecto concreto y un Manual de Instrucciones. No contiene las páginas de Comentarios y Recomendaciones incluidas en el libro.
- Precio del libro: 16.000 ptas.
- Precio del paquete informático (manual de instrucciones y diskettes): 30.000 ptas.

8 TECNOLOGIA Y PROPIEDADES MECANICAS DEL HORMIGON

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



INTEMAC

BARCELONA

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

MADRID

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

SEVILLA

Polígono Store, Calle A, N.º 17-1.
Tel.: (95) 443 31 06/07 • Fax (95) 443 36 56.
41008 SEVILLA.

VALLADOLID

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