

CUADERNOS INTEMAC

**Comparación de los diagramas rectangular y parábola rectángulo en flexocompresión
recta según el Eurocódigo 2 y la instrucción EHE-08 para hormigones de alta resistencia**

**Comparison of rectangle and parabola-rectangle stress-strain diagrams
in Eurocode 2 and spanish structural Code EHE-08**

Noemí Pérez García
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Rubén Ramírez de La Pinta
Ingeniero Industrial.
Máster en Estructuras de Edificación

Miguel Angel Liébana Ramos
Ingeniero Industrial



METIRE UT SCIAS

INTEMAC

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

N.º 86
2.º TRIMESTRE '12



METIRE UT SCIAS

INTEMAC

INSTITUTO TÉCNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

CONTROL DE PROYECTO

CONTROL DE OBRA

GARANTÍA DE CALIDAD

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

INFORMES DE PATOLOGÍA, REHABILITACIÓN Y REFUERZOS DE CONSTRUCCIONES

OBRAS PÚBLICAS
EDIFICACIÓN
INSTALACIONES



INTEMAC AUDIT

AUDITORIA TÉCNICO-ECONÓMICA DE CONSTRUCCIONES

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



INTEMAC ECO

AUDITORÍA TÉCNICA MEDIOAMBIENTAL

CONTROL DE IMPACTO AMBIENTAL

Obras Públicas
Edificación
Instalaciones

CONTROL DE CALIDAD AMBIENTAL

Aire
Agua
Ruido

AUDITORIA MEDIOAMBIENTAL

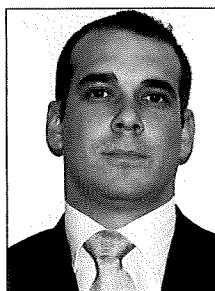
ASESORAMIENTO EN MATERIA DE MEDIO AMBIENTE

**COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS RECTANGULAR Y PARÁBOLA
RECTÁNGULO EN FLEXOCOMPRESIÓN RECTA SEGÚN EL EUROCÓDIGO 2 Y
LA INSTRUCCIÓN EHE-08 PARA HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA**

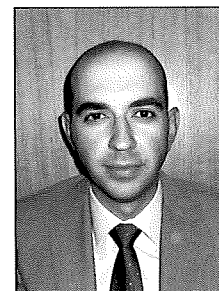
**COMPARISON OF RECTANGLE AND PARABOLA-RECTANGLE
STRESS-STRAIN DIAGRAMS IN EUROCODE 2 AND SPANISH STRUCTURAL
CODE EHE-08**



Noemí Pérez García
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Civil Engineer



Rubén Ramírez de La Pinta
Ingeniero Industrial
Máster en Estructuras de Edificación
Mechanical Engineer. MSc in structures



Miguel Ángel Liébana Ramos
Ingeniero Industrial
Mechanical Engineer

Copyright © 2012, 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-4699-2010
Infoprint, S.A. - San Vicente Ferrer, 40

ÍNDICE

- 1. INTRODUCCIÓN**
- 2. ANÁLISIS SEGÚN LA INSTRUCCIÓN EHE-08**
- 3. ANÁLISIS SEGÚN EL EUROCÓDIGO 2**
- 4. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO REALIZADO**
- 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS**
- 6. CONCLUSIONES**

CONTENTS

- 1. INTRODUCTION**
- 2. ANALYSIS UNDER CODE EHE-08**
- 3. ANALYSIS IN EUROCODE 2**
- 4. DESCRIPTION OF THE STUDY CONDUCTED**
- 5. ANALYSIS OF RESULTS**
- 6. CONCLUSIONS**

ABSTRACT

In this study we highlight the differences in the use of rectangular stress distribution theory against the parabola-rectangle stress-strain diagram in design of rectangular sections subjected to bending-compression, high-strength concrete (HSC), whose characteristic strength f_{ck} are in the range $50 \leq f_{ck} \leq 90$ MPa. It also describes the differences in the expression proposed by the Instruction EHE-08 and Eurocode 2.

1. INTRODUCTION

New structural concrete code EHE-08 introduced a number of changes in Spanish structural engineering procedures. One such change lies in the formulation of the stress (σ) – strain (ϵ) diagrams for concrete design, which impacts high-strength concrete in particular.

The present study aims to describe the differences arising as a result of using a rectangular stress block instead of the parabola-rectangular diagram for dimensioning and verifying rectangular cross-sections stressed in compression and flexure.

The differences between the formulations in the Spanish code and EC-2 are likewise addressed.

2. ANALYSIS UNDER CODE EHE-08

Article 39.5 of the existing Spanish structural concrete code, EHE-08, likens high-strength concrete (HA-50 to HA-90) to conventional concrete, basing the engineering of both on the parabola-rectangle stress-strain diagram, although allowing simplified analysis via other approaches, most prominently the rectangular stress block.

In the parabola-rectangle procedure, the diagram is based on an n^{th} degree polynomial parabola and a straight segment (Figure 1), in which the yield vertex on the parabola is located at abscissa ϵ_{c0} (concrete failure strain under simple compressive stress) and the final vertex at abscissa ϵ_{cu} (failure strain under bending stress).

The maximum y-value is the design strength of the concrete, f_{cd} , which depends on the design characteristic strength, f_{ck} , the partial safety factor, γ_{c1} and α_{cc} , a coefficient that takes account of long-term effects on compressive strength and unfavourable effects due to the way the load is applied. Its value in the present code differs from the value given in the former EHE.

For characteristic strength values, f_{ck} of over 50 MPa, the strain values and polynomial exponent n depend on concrete strength.

RESUMEN

En el presente estudio se ponen de manifiesto las diferencias existentes en el empleo del diagrama rectangular frente al parábola rectángulo en el dimensionamiento y comprobación de secciones rectangulares sometidas a flexocompresión recta, en hormigones de alta resistencia (HAR) cuyas resistencias características f_{ck} están en el rango $50 \leq f_{ck} \leq 90$ MPa. Asimismo, se exponen las diferencias en la formulación planteada por la Instrucción EHE-08 y el Eurocódigo 2.

1. INTRODUCCIÓN

La entrada en vigor de la nueva Instrucción de hormigón estructural EHE-08 ha supuesto diversas modificaciones respecto a la Instrucción anterior EHE. Uno de estos cambios se refiere a la formulación de los diagramas tensión (σ) - deformación (ϵ) de cálculo del hormigón, y que fundamentalmente afecta a los hormigones de alta resistencia.

El propósito del presente estudio es exponer las diferencias existentes en el uso del diagrama rectangular frente al diagrama parábola rectángulo en el dimensionamiento y comprobación de secciones rectangulares sometidas a flexocompresión recta.

Asimismo se plantean las diferencias existentes en la formulación propuesta por la Instrucción EHE-08 y el EC-2.

2. ANÁLISIS SEGÚN LA INSTRUCCIÓN EHE-08

La actual Instrucción española EHE-08 en su artículo 39.5 realiza un tratamiento de los hormigones de alta resistencia (HA-50 a HA-90

) análogo al de los hormigones convencionales basado en el diagrama parábola rectángulo, permitiendo un análisis simplificado mediante el empleo de otros diagramas entre los que destaca el diagrama rectangular.

En el caso del parábola rectángulo se plantea un diagrama formado por una parábola de grado n y un segmento rectilíneo (Figura 1) donde el vértice de la parábola se encuentra en la abscisa ϵ_{c0} (deformación de rotura a compresión simple del hormigón) y el vértice extremo del rectángulo en la abscisa ϵ_{cu} (deformación de rotura por flexión).

La ordenada máxima corresponde a la resistencia de cálculo del hormigón f_{cd} , valor que depende de la resistencia característica de proyecto, f_{ck} , del coeficiente parcial de seguridad γ_c , y de α_{cc} factor éste último que tiene en cuenta el fenómeno de "cansancio" del hormigón y cuyo valor ha cambiado respecto al de la Instrucción EHE.

Los valores de las deformaciones así como el exponente de la parábola n , son función de la resistencia del hormigón, para valores de la resistencia característica f_{ck} superiores a 50 MPa.

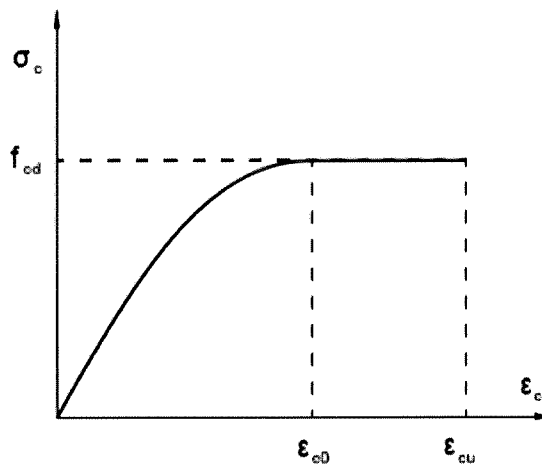


Figure 1: Parabola-rectangle stress-strain diagram
 Figura 1: Diagrama de cálculo parábola rectángulo

According to code EHE-08, the equation for the curve is defined as follows:

$$\sigma_c = f_{ck} \cdot \frac{\alpha_{cc}}{\gamma_c} \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c0}} \right)^n \right] \quad \text{if} \quad 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c0}$$

$$\sigma_c = f_{ck} \cdot \frac{\alpha_{cc}}{\gamma_c} \quad \text{if} \quad \varepsilon_{c0} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu}$$

where:

f_{ck} is the characteristic concrete strength

γ_c is the partial safety factor adopted for the concrete

α_{cc} is the parameter that takes into account the long-term effects on compressive strength and the unfavourable effects due to the way the load is applied ($\alpha_{cc} = 1$ in EHE-08).

Some countries such as the United Kingdom adopt a more conservative approach than the present Spanish Code and its European counterpart, which establish that $\alpha_{cc} = 1$, defining a value lower than one for α_{cc} under certain load cases (deformed configurations).

The strain failure values under simple compression stress, ε_{c0} , are as follows:

$$\varepsilon_{c0} = 0.002 \quad \text{if} \quad f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{c0} = 0.002 + 0.000085(f_{ck} - 50)^{0.50} \quad \text{if} \quad f_{ck} > 50 \text{ MPa.}$$

The strain failure values under bending stress, ε_{cu} , are:

$$\varepsilon_{cu} = 0.0035 \quad \text{if} \quad f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.0026 + 0.0144 \left[\frac{(100 - f_{ck})}{100} \right]^4 \quad \text{if} \quad f_{ck} > 50 \text{ MPa.}$$

And the value of n , which defines the degree of the polynomial is:

$$n = 2 \quad \text{if} \quad f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

La ecuación de la curva queda definida, según la Instrucción EHE-08, como se indica a continuación:

$$\sigma_c = f_{ck} \cdot \frac{\alpha_{cc}}{\gamma_c} \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c0}} \right)^n \right] \quad \text{si} \quad 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c0}$$

$$\sigma_c = f_{ck} \cdot \frac{\alpha_{cc}}{\gamma_c} \quad \text{si} \quad \varepsilon_{c0} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu}$$

donde:

f_{ck} Es la resistencia característica del hormigón.

γ_c Coeficiente parcial de seguridad para el hormigón.

α_{cc} Factor que tiene en cuenta el cansancio del hormigón ($\alpha_{cc} = 1$, según la Instrucción EHE-08).

Respecto al coeficiente α_{cc} se puede resaltar el hecho de que en ciertos países, como por ejemplo Inglaterra, bajo ciertas hipótesis de carga (dominios de deformación), dicho coeficiente es inferior a la unidad, situándose en una posición más conservadora que la actual normativa española y los Eurocódigos, donde también se adopta $\alpha_{cc} = 1$.

Los valores de la deformación de rotura a compresión simple, ε_{c0} son los siguientes:

$$\varepsilon_{c0} = 0,002 \quad \text{si} \quad f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{c0} = 0,002 + 0,000085(f_{ck} - 50)^{0,50} \quad \text{si} \quad f_{ck} > 50 \text{ MPa}$$

Los valores de la deformación de rotura a flexión, ε_{cu} , vienen dados por:

$$\varepsilon_{cu} = 0,0035 \quad \text{si} \quad f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{cu} = 0,0026 + 0,0144 \left[\frac{(100 - f_{ck})}{100} \right]^4 \quad \text{si} \quad f_{ck} > 50 \text{ MPa}$$

Y el valor n que define el grado de la parábola se obtiene como:

$$n = 2 \quad \text{si} \quad f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$n = 1,4 + 9,6 \left[\frac{(100 - f_{ck})}{100} \right]^4 \quad \text{si} \quad f_{ck} > 50 \text{ MPa}$$

Además se permite usar como bloque de compresiones un rectángulo cuya profundidad $\lambda(x) \cdot h$, e intensidad $\eta(x) \cdot f_{cd}$ dependen de la profundidad del eje neutro x (Figura 2) y de la resistencia del hormigón, dichos valores son los siguientes:

$$\eta(x) = \eta \quad \text{si} \quad 0 < x \leq h$$

$$\eta(x) = 1 - (1 - \eta) \frac{h}{x} \quad \text{si} \quad h \leq x < \infty$$

$$\lambda(x) = \lambda \frac{x}{h} \quad \text{si} \quad 0 < x \leq h$$

$$\lambda(x) = 1 - (1 - \lambda) \frac{h}{x} \quad \text{si} \quad h \leq x \leq \infty$$

donde:

$$\eta = 1,0 \quad \text{si} \quad f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\eta = 1.4 + 9.6 \left[\frac{(100 - f_{ck})}{100} \right]^4 \quad \text{if } f_{ck} > 50 \text{ MPa.}$$

Moreover, the code allows the stress distribution in the compression zone to be represented by a rectangle whose depth, $\lambda(x) \cdot h$, and intensity, $\eta(x) \cdot f_{cd'}$ depend on the depth of the neutral axis, x , (Figure 2) and concrete strength. Their values are as follows:

$$\eta(x) = \eta \quad \text{if } 0 < x \leq h$$

$$\eta(x) = 1 - (1 - \eta) \frac{h}{x} \quad \text{if } h \leq x < \infty$$

$$\lambda(x) = \lambda \frac{x}{h} \quad \text{if } 0 < x \leq h$$

$$\lambda(x) = 1 - (1 - \lambda) \frac{h}{x} \quad \text{if } h \leq x < \infty$$

where:

$$\eta = 1 \quad \text{if } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\eta = 1 - \frac{(f_{ck} - 50)}{200} \quad \text{if } f_{ck} > 50 \text{ MPa}$$

$$\lambda = 0.8 \quad \text{if } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\lambda = 0.8 - \frac{(f_{ck} - 50)}{400} \quad \text{if } f_{ck} > 50 \text{ MPa.}$$

3. ANALYSIS IN EUROCODE 2

Eurocode 2, Part 1 – 1, Article 3.1.6, in turn, specifies the aforementioned design compressive strength, $f_{cd'}$ and the same stress (σ_c) – strain (ε_c) curve as given in Figure 1. In this case the values for exponent n , the failure strain for simple compressive stress, $\varepsilon_{c0'}$, and the failure strain under bending stress, $\varepsilon_{cu'}$ are slightly different from the values given in Spanish code EHE-08, as shown below.

Strain failure values under simple compression (EC-2), $\varepsilon_{c0'}$:

$$\varepsilon_{c0'} = 0.002 \quad \text{if } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{c0'} = 0.002 + 0.000085(f_{ck} - 50)^{0.53} \quad \text{if } f_{ck} > 50 \text{ MPa.}$$

Strain failure values under bending strain (EC-2), $\varepsilon_{cu'}$:

$$\varepsilon_{cu'} = 0.0035 \quad \text{if } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{cu'} = 0.0026 + 0.035 \left[\frac{(90 - f_{ck})}{100} \right]^4 \quad \text{if } f_{ck} > 50 \text{ MPa.}$$

And the value of n , which defines the degree of the polynomial (in EC-2) is:

$$n = 2 \quad \text{if } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$n = 1.4 + 23.4 \left[\frac{(90 - f_{ck})}{100} \right]^4 \quad \text{if } f_{ck} > 50 \text{ MPa.}$$

Another factor to be borne in mind is the upper limit of the maximum characteristic strength allowed, which in Eurocode 2 is 90 MPa.

$$\eta = 1 - \frac{(f_{ck} - 50)}{200} \quad \text{si} \quad f_{ck} > 50 \text{ MPa}$$

$$\lambda = 0,8 \quad \text{si} \quad f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\lambda = 0,8 - \frac{(f_{ck} - 50)}{400} \quad \text{si} \quad f_{ck} > 50 \text{ MPa}$$

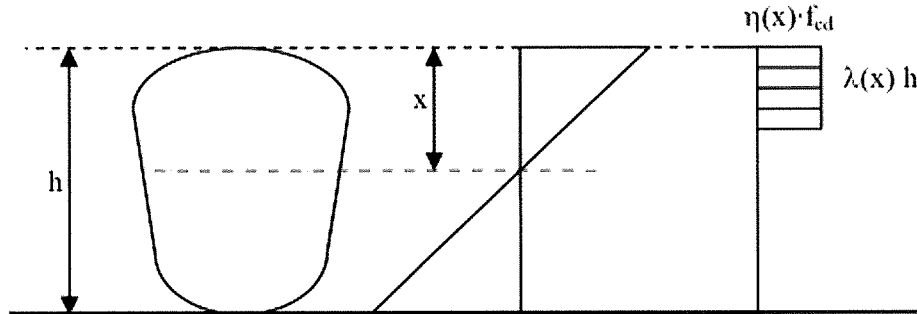


Figura 2: Diagrama de cálculo rectangular
Figure 2: Rectangular stress-strain diagram

3. ANÁLISIS SEGÚN EL EUROCÓDIGO 2

Por su parte el Eurocódigo 2, Parte 1 – 1 en el artículo 3.1.6 establece como valor de resistencia a compresión de diseño el valor f_{cd} anteriormente expuesto y la misma curva tensión (σ_c) deformación (ϵ_c) representada en la Figura 1. En este caso los valores del grado n , de deformación de rotura a compresión simple ϵ_{cd} y de deformación de rotura a flexión ϵ_{cu} , varían ligeramente de los definidos en la Instrucción EHE-08 y son los que se muestran a continuación:

Valores de la deformación de rotura a compresión simple, ϵ_{cd} :

$$\epsilon_{cd} = 0,002 \quad \text{si} \quad f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{cd} = 0,002 + 0,000085(f_{ck} - 50)^{0,53} \quad \text{si} \quad f_{ck} > 50 \text{ MPa}$$

Valores de la deformación de rotura a flexión, ϵ_{cu} :

$$\epsilon_{cu} = 0,0035 \quad \text{si} \quad f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{cu} = 0,0026 + 0,035 \left[\frac{(90 - f_{ck})}{100} \right]^4 \quad \text{si} \quad f_{ck} > 50 \text{ MPa}$$

Valor n que define el grado de la parábola se obtiene como:

$$n = 2 \quad \text{si} \quad f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$n = 1,4 + 23,4 \left[\frac{(90 - f_{ck})}{100} \right]^4 \quad \text{si} \quad f_{ck} > 50 \text{ MPa}$$

Otro aspecto a tener en cuenta es el límite superior de la resistencia característica máxima considerada por el Eurocódigo 2, de valor 90 MPa.

Here also the use of an equivalent rectangle is allowed to represent compressive stresses, with the same values of λ and η as provided in Spanish code EHE-08. As EC-2 does not establish values for $\lambda(x)$ or $\eta(x)$, however, the compressed member is defined by coefficients λ and η , regardless of the position of the neutral axis and the concrete strength value.

4. DESCRIPTION OF THE STUDY CONDUCTED

The study conducted analysed the differences between the rectangular and parabola-rectangular diagrams for dimensioning and verifying rectangular cross-sections subjected to compressive and bending stress.

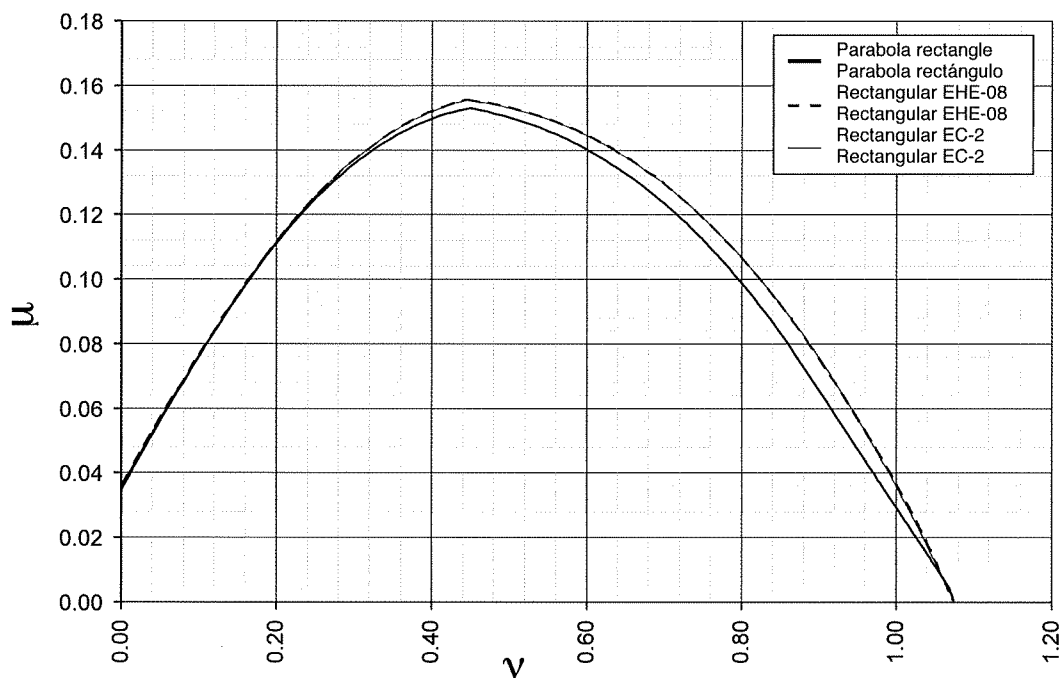
To that end, an analysis was conducted of cross-sections with characteristic strengths of $25 \leq f_{ck} \leq 90$ MPa and four reinforcement ratios (determined by the mechanical percentage of reinforcement, ω): 0.08, 0.25, 0.5 and 1.

The differences in the results of using one or the other diagram were analysed by calculating dimensionless interaction graphs for different rectangular cross-sections, establishing the value of ν , associated with axial stress, on the x-axis and μ , associated with the bending moment.

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{f_{cd} b h} \qquad \nu = \frac{N_d}{f_{cd} b h} \qquad \mu = \frac{M_d}{f_{cd} b h^2}$$

The dimensionless interaction graphs for the most significant of the cases analysed, i.e., for low and medium ratios ($\omega = 0.08$ and 0.5, respectively) and concretes with characteristic strengths of 25, 50, 70 and 90 MPa, are given below.

The differences between the EHE-08 and Eurocode 2 stress (σ_c) - strain (ϵ_c) curve formulations for strain failure under simple compression (ϵ_{co}) and bending (ϵ_{cu}) strain, as well as the value of n , which defines the degree of the polynomial, were found to be practically negligible. In fact, the interaction graphs based on the parabola-rectangle diagrams set out in the two codes concurred so closely that they are represented as a single curve in the graphs below.



$f_{ck} = 25-50$ MPa $\omega = 0.08$

Figure 3
Figura 3

En este caso también se permite usar como bloque de compresiones un rectángulo equivalente con los mismos valores de λ y η expuestos en la Instrucción EHE-08, si bien no se establecen unos valores $\lambda(x)$ y $\eta(x)$, quedando el bloque comprimido definido por los coeficientes λ y η , independientes de la posición de la fibra neutra, para cualquier valor de resistencia del hormigón.

4. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO REALIZADO

En el estudio realizado se analizan las diferencias existentes en el empleo del diagrama rectangular frente al parábola-rectángulo para el dimensionamiento y comprobación de secciones rectangulares sometidas a flexocompresión recta.

Para ello se han analizado secciones con un rango de resistencias características f_{ck} de $25 \leq f_{ck} \leq 90$ MPa y cuatro cuantías de armaduras diferentes, determinadas por la cuantía mecánica ω , para las que se han adoptado valores de 0,08, 0,25, 0,5 y 1.

Para analizar las diferencias en el uso de ambos diagramas se han calculado los diagramas de interacción adimensionales de diferentes secciones rectangulares estableciendo en el eje de abscisas el valor de ν asociado al esfuerzo axial y el de μ asociado al momento flector.

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{f_{cd} b h} \quad \nu = \frac{N_d}{f_{cd} b h} \quad \mu = \frac{M_d}{f_{cd} b h^2}$$

Entre los casos analizados, se exponen a continuación los diagramas de interacción adimensionales más significativos, correspondientes a cuantías bajas $\omega = 0,08$ y medias $\omega = 0,50$ y hormigones con una resistencia característica de 25, 50, 70 y 90 MPa.

Las diferencias existentes en la formulación de la curva Tensión (σ_c) Deformación (ε_c) según la Instrucción EHE-08 y el Eurocódigo 2, relativas a la deformación de rotura a compresión simple ε_{co} , la deformación de rotura a flexión ε_{cu} y el valor n , que define el grado de la parábola, son prácticamente despreciables. De hecho, los diagramas de interacción basados en el diagrama parábola rectángulo según la Instrucción EHE-08 y el Eurocódigo 2, son prácticamente coincidentes, motivo por el cual en los gráficos tan solo se ha representado una única curva.

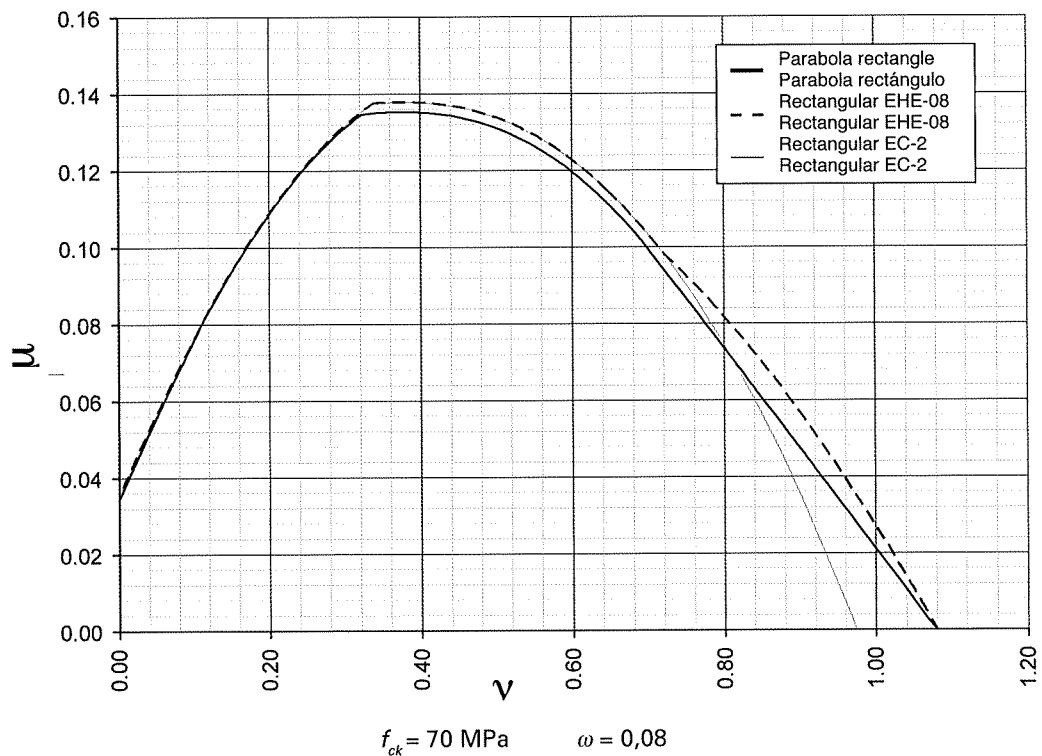


Figura 4
Figure 4

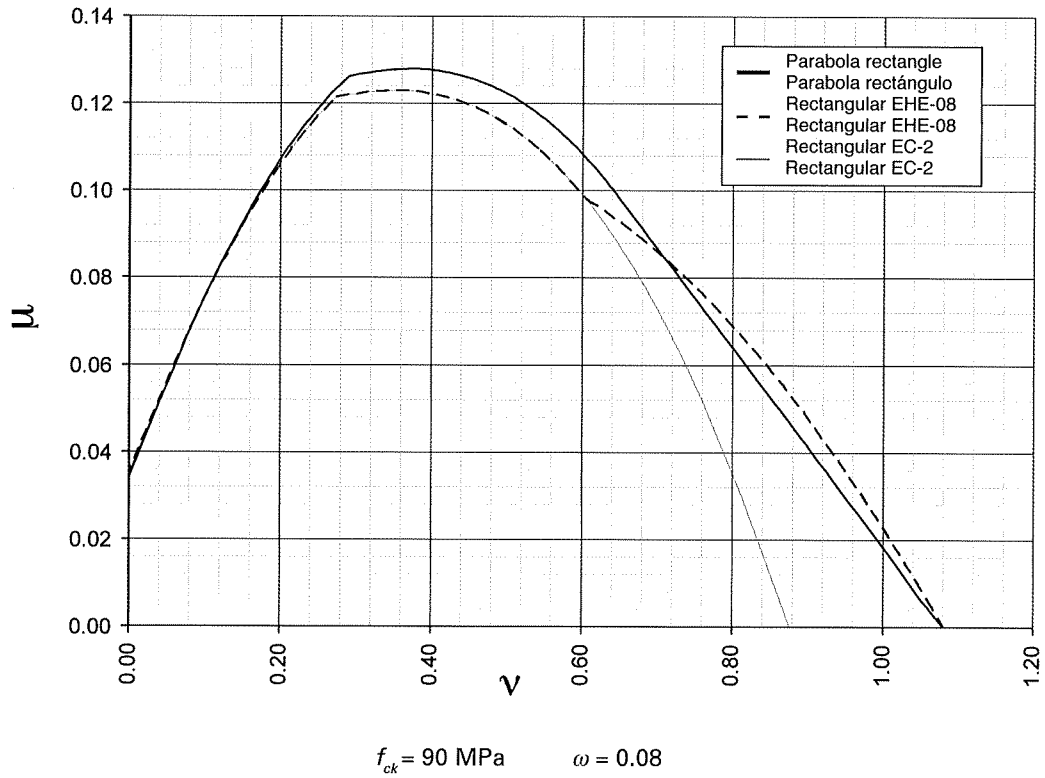


Figure 5
Figura 5

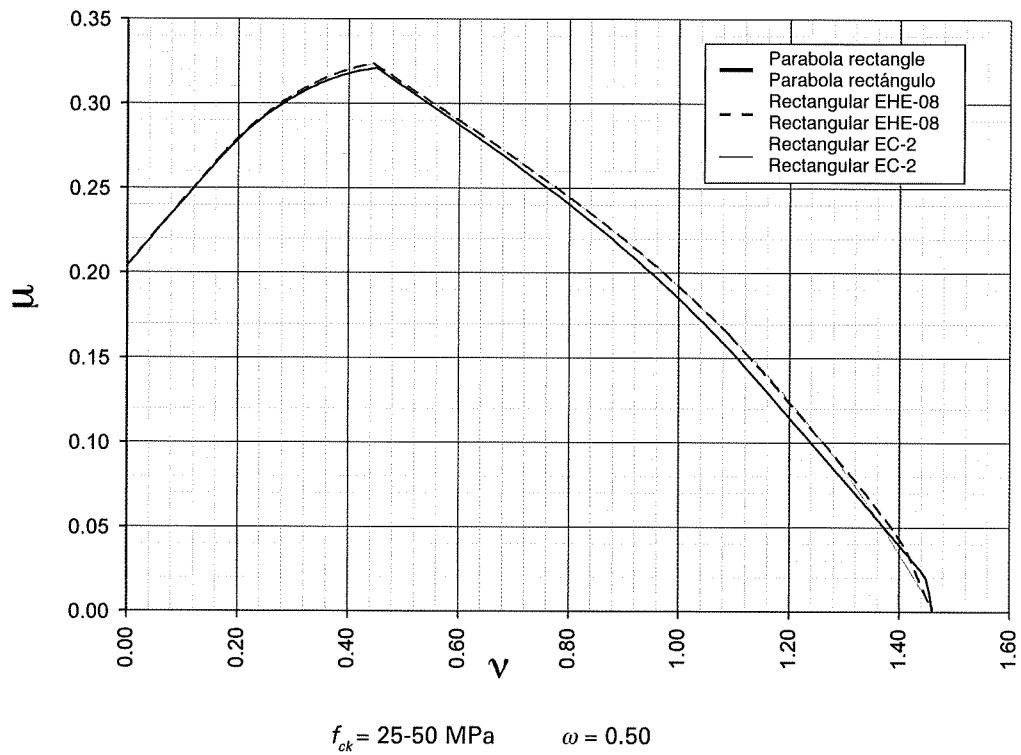


Figure 6
Figura 6

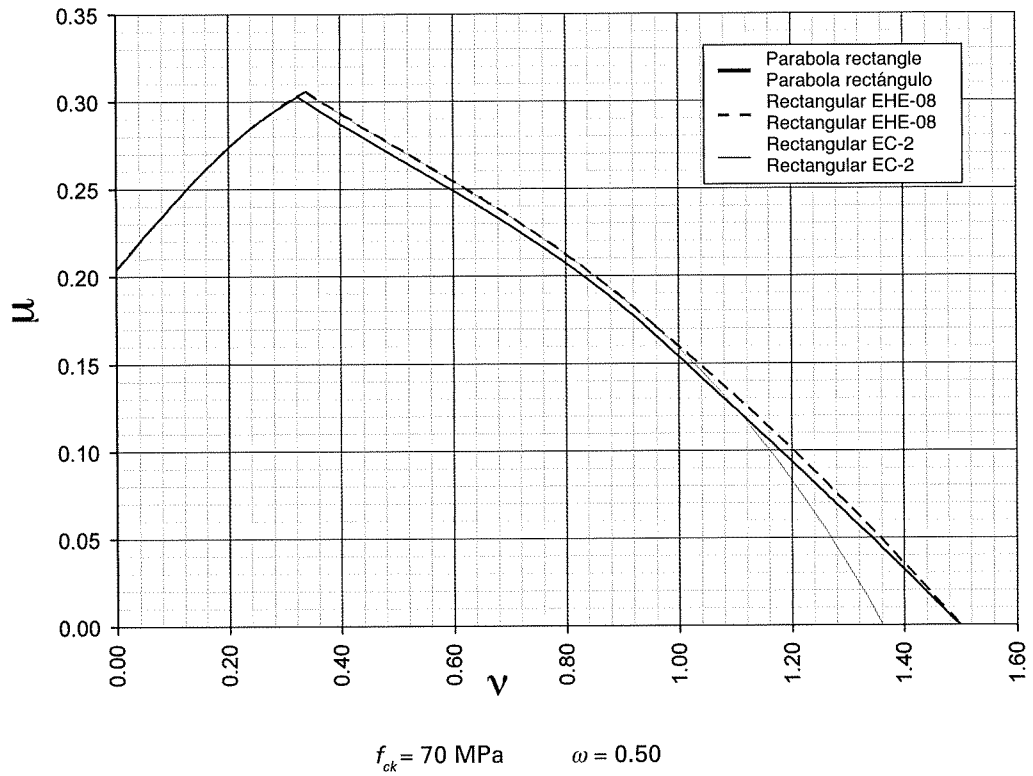


Figura 7
Figure 7

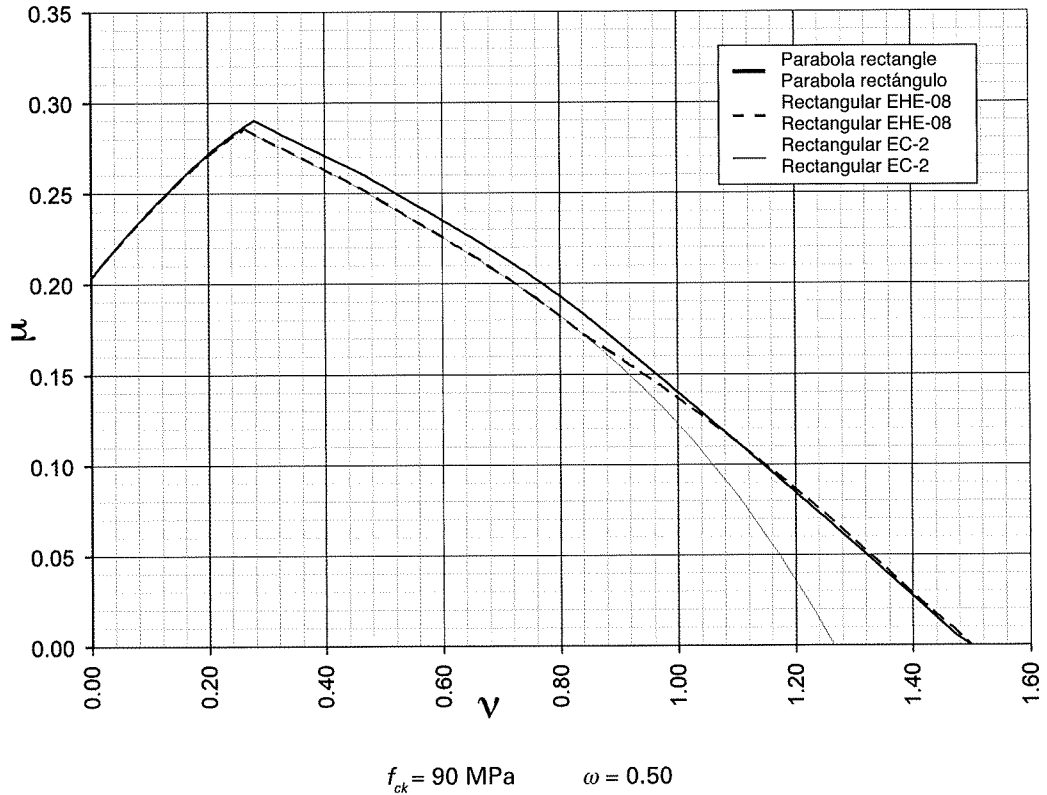


Figura 8
Figure 8

5. ANALYSIS OF RESULTS

An analysis of the graphs for concretes with characteristic strengths of under 50 MPa shows that the rectangular diagram curve occupies a slightly higher position than the parabola-rectangle curve, irrespective of the code used, and for simple compression, the two ultimately converge. Moreover, the difference declines with rising reinforcement ratio.

Using Eurocode 2, the same situation is found for concretes with $50 < f_{ck} < 80$ MPa up to configuration 5/6, after which the position of the curves is inverted, i.e., the rectangle curve occupies a lower position than the parabola-rectangle curve. For characteristic strength values of $f_{ck} = 80$ MPa and over, the parabola-rectangle diagram curve is positioned at higher levels than the rectangle curve in all configurations. In other words, the latter is more conservative. As the graphs show, for strength values of $50 < f_{ck} \leq 90$ MPa, the greatest deviation is found in configuration 5, where for simple compression the two curves fail to converge as they do in concretes of up to 50 MPa. The size of the deviation depends on the reinforcement ratio and characteristic strength of the concrete, with maximum values on the order of 19 % for low ratios ($\omega=0.08$) and high characteristic strengths ($f_{ck} = 90$ MPa). The conclusion to be drawn is that the rectangle stress distribution expression in EC-2 is overly conservative for simply compressed high strength concretes.

$\omega \backslash f_{ck}$ MPa	25-50	70	80	90
0.08	0	10.2	13.9	19.4
0.25	0	9.6	12.8	16.8
0.50	0	9.3	12.7	15.3
1	0	8.5	11.5	13.5

Table 1: Per cent of EC-2 rectangle deviation from the parabola-rectangle diagram in simple compression members

This overly conservative approach in Eurocode 2 was corrected in the formulation proposed in Spanish code EHE-08 by introducing correction factors $\eta(x)$ and $\lambda(x)$ for neutral axis values greater than h (configuration 5).

6. CONCLUSIONS

This study illustrates the differences between using the rectangular and the parabola-rectangular diagrams for conventional and high-strength concrete cross-sections in compression and flexure. The conclusions drawn are set out below.

- (1) For conventional concretes with $f_{ck} \leq 50$ MPa, no significant differences arise when the rectangle stress distribution approach is used instead of the parabola-rectangle stress-strain diagram. Consequently, the diagrams proposed in both EC-2 and in Spanish code EHE-08 are admissible for dimensioning and verifying reinforced concrete sections.
- (2) For concretes whose strength ranges from 50 to 90 MPa, the rectangle stress distribution curves obtained with EHE-08 and EC-2 concur up to the beginning of configuration 5. The deviation between these two diagrams and the parabola-rectangle diagram is scanty significant, although in the aforementioned area the relative positions of the curves depends on the characteristic strength of the concrete studied.
- (3) For high-strength concrete under simple compression, the EC-2 formulation for rectangle stress distribution yields overly conservative results. The deviation from the parabola-rectangle diagram varies with the reinforcement ratio and the characteristic strength of the concrete, with maxima on the order of 19 % for low ratios ($\omega = 0.08$) and high characteristic strength values ($f_{ck} = 90$ MPa).
- (4) The aforementioned deviation in configuration 5 was corrected in the new formulation of the rectangle stress distribution approach set out in EHE-08. This code establishes correction factors $\eta(x)$ and $\lambda(x)$ for neutral axis values higher than h . With this new formulation, the error under simple compression is nil, for the two curves converge.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Una vez analizadas las gráficas para hormigones con una resistencia característica inferior a 50 MPa, se observa que la curva del diagrama rectangular se sitúa ligeramente por encima de la del parábola-rectángulo, indistintamente de la norma empleada, convergiendo finalmente en compresión simple. Esta diferencia se atenúa a medida que se aumenta la cuantía mecánica.

Para hormigones $50 < f_{ck} < 80$ MPa, en lo que al Eurocódigo 2 se refiere, esta situación se mantiene hasta el comienzo del dominio 5, invirtiéndose a partir de aquí la posición de las curvas, quedando la correspondiente al diagrama rectangular debajo del parábola rectángulo. A partir de una resistencia característica $f_{ck} = 80$ MPa, la curva del diagrama parábola rectángulo se sitúa en todos los dominios por encima del rectangular, resultando por tanto éste último conservador. Como se deduce de los gráficos incluidos, para valores entre $50 < f_{ck} \leq 90$ MPa, la máxima desviación se produce en el dominio 5, cuando la curva del diagrama rectangular alcanza la compresión simple, no alcanzándose la convergencia de ambas curvas como sucede para hormigones de hasta 50 MPa. Esta desviación depende de la cuantía de la armadura y de la resistencia característica del hormigón, obteniendo valores máximos del orden del 19% para cuantías bajas ($\omega=0,08$) y resistencias características altas ($f_{ck} = 90$ MPa), por lo que se deduce que la formulación del diagrama rectangular EC-2 es excesivamente conservadora para hormigones de alta resistencia en compresión simple.

$\omega \backslash f_{ck}$ MPa	25-50	70	80	90
0,08	0	10,2	13,9	19,4
0,25	0	9,6	12,8	16,8
0,50	0	9,3	12,7	15,3
1	0	8,5	11,5	13,5

Tabla 1: Desviaciones a compresión simple en el empleo del diagrama rectangular del EC-2 respecto al empleo del diagrama parábola-rectángulo.

Estas desviaciones han sido corregidas en la formulación de la Instrucción EHE-08, introduciéndose unos factores $\eta(x)$ y $\lambda(x)$ correctores para valores de fibra neutra superiores a h (dominio 5) corrigiendo así el efecto conservador del Eurocódigo 2.

6. CONCLUSIONES

En este documento se han mostrado las diferencias que existen en el uso del diagrama rectangular y el parábola-rectángulo para secciones sometidas a flexocompresión recta realizadas con hormigones convencionales y de alta resistencia. A partir de dicho estudio se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- (1) Para hormigones convencionales, con $f_{ck} \leq 50$ MPa las desviaciones obtenidas en el empleo de diagrama rectangular frente al parábola-rectángulo no son significativas, siendo admisible el empleo de los diagramas rectangulares propuestos por el EC-2 y la Instrucción EHE-08 en el dimensionamiento o comprobación de secciones de hormigón armado.
- (2) Para hormigones de resistencia comprendida entre 50 y 90 MPa, y hasta el comienzo del dominio 5, las curvas correspondientes al diagrama rectangular obtenidas mediante la Instrucción EHE-08 y el EC-2 son coincidentes. Las desviaciones de estos diagramas respecto a las obtenidas mediante la formulación del parábola-rectángulo continúan siendo poco significativas, si bien en esta zona la posición relativa entre estas curvas depende de la resistencia característica del hormigón considerado.
- (3) Para hormigones de alta resistencia en compresión simple el empleo del diagrama rectangular basado en la formulación del EC-2 resulta excesivamente conservador. La desviación depende de la cuantía mecánica y de la resistencia característica del hormigón, alcanzando valores máximos en torno al 19 % para cuantías bajas ($\omega = 0,08$) y resistencias características altas ($f_{ck} = 90$ MPa).

-
- (5) DA CONCEIÇÃO DOMINGUES SHEHATA, L.; LOPES DE PAULA, A.; ABD EL MALIK SHEHATA, I.; "Design procedures for high-strength concrete cross-sections". Structural concrete 2009 nº 3.
- (6) H. MATTOCK, A.; B. KRIZ, L; HOGNESTAD, E.; "Rectangular concrete stress distribution I ultimate strength design", Journal of the American Concrete Institute. Febrero 1961. Vol 57. Revista nº 2.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) "Instrucción de Hormigón Estructural". EHE-08. Ministerio de Fomento. 2ª Edición. Febrero de 2009.
- (2) "Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1 – 1: General rules and rules for buildings". CEN April 2004.
- (3) BLANCO GARCIA, F "Expresiones analíticas de los diagramas tensionales en la flexión de piezas de hormigón armado", CIMBRA, 1981.
- (4) CALAVERA, J "Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón", 2 Tomos. 2ª Edición. INTEMAC. Madrid. 2008.

-
- (4) La citada desviación en el dominio 5 ha sido corregida con la nueva formulación de la Instrucción EHE-08 para el uso del diagrama rectangular. Así, se establecen factores $\eta(x)$ y $\lambda(x)$ correctores para valores de fibra neutra superiores a h . Para el caso de compresión simple el error es nulo ya que ambas curvas convergen.
- (5) DA CONCEIÇÃO DOMINGUES SHEHATA, L.; LOPES DE PAULA, A.; ABDEL MALIK SHEHATA, I.; "Desing procedures for high-strength concrete cross-sections". Structural concrete, 2009, nº 3.
- (6) H. MATTOCK, A.; B. KRIZ, L; HOGNESTAD, E.; "Rectangular concrete stress distribution / ultimate strength design", Journal of de American Concrete Institute. Febero 1961. Vol 57. Revista nº 2.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) "Instrucción de Hormigón Estructural". EHE-08. Ministerio de Fomento. 2ª Edición. Febrero de 2009.
- (2) "Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1 – 1: General rules and rules for buildings". CEN April 2004.
- (3) BLANCO GARCIA, F "Expresiones analíticas de los diagramas tensionales en la flexión de piezas de hormigón armado", CIMBRA, 1981.
- (4) CALAVERA, J "Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón", 2 Tomos. 2ª Edición. INTEMAC. Madrid. 2008.

Relación de Personal Titulado de INTEMAC

Arquitectos

Benito Díez, María Pilar
Fernández Sáez, Ana María
Fraile Mora, Serafín
González Balseyro, María José
Luzón Cánovas, José M^a
Nieto Esteban, Eva
Sánchez Arroyo, Jesús M^a
Sicilia Mañá, Beatriz
Vergara Pérez, Carlos

Ingenieros Aeronáuticos

* París Loreiro, Angel

Ingenieros de Caminos

Baena Alonso, Eva
Barrios Corpa, Roberto
* Calavera Ruiz, José
Calderón Bello, Enrique
Corbacho Vicioso, José Angel
Cortés Bretón, Juan María
De la Cuerda del Olmo, Francisco Javier
De la Fuente Gómez, Ana Isabel
Dávila Sánchez-Toscano, Suyapa
Díaz Heredia, Elena
Díaz Lorenzo, Lucía
Díaz Pavón Cuaresma, Eduardo
* Fernández Gómez, Jaime Antonio
Fernández Montes, David Constantino
García de Diego Cano, Eva María
Gómez Mariño, Cristina
González González, Juan José
* Hostalet Alba, Francisco
Jiménez Ortiz, Gonzalo
León Bello, Raúl
* Ley Urzaiz, Jorge
Menéndez Martínez, Laura
Pérez García, Noemí
* Rodríguez Escribano, Raúl Rubén
* Rodríguez Romero, Jesús M^a
Rueda Contreras, Jorge Ladislao
Ruiz Jiménez-Alfaro, Felipe
Torre Cobo, María Carmen

Ingenieros Civiles

Almeida da Silva, Pedro Miguel
Teixeira Martins, Hermano Tiago

Ingeniero Geólogo

Catalán Navarro, Antonio

Ingeniero I.C.A.I.

Marín Estévez, Gonzalo

Ingenieros Industriales

* Alvarez Cabal, Ramón Amado
Arroyo Arroyo, José Ramón
Borraz López, Alfonso
González Carmona, Manuel
Liébana Ramos, Miguel Angel
Pou Esquiús, Carles
Ramírez de la Pinta, Rubén
* Valenciano Carles, Federico

Ingeniero de Minas

Ramos Sánchez, Adelina

Dra. en Geografía e Historia

Calavera Vayá, Ana María

Licenciado en Ciencias Ambientales

Gil Esteban, Luis Miguel

Licenciado en C. Económicas y Empresariales

González Chavero, Antonio

Licenciado en Ciencias Físicas

Salas Roa, Luis David

Licenciada en Ciencias Políticas y de la Administración

Estébenez Morer, Ana María

Licenciados en Ciencias Químicas

Grandes Velasco, Silvia María
López Sánchez, Pedro

Licenciado en Derecho

Jarillo Cerrato, Pedro

Licenciados en Geología

Blanco Zorroza, Alberto
Casado Chinarro, Alejandro
Catalán Navarro, Antonio
Martín López, Jesús Heliodoro
Usillos Espín, Pablo

Licenciada en Filología Hispánica

Valentín Sierra, M^a Consuelo

Master of Science in Civil Engineering

Hoogendoorn, Peter Paul

Arquitectos Técnicos

Carrato Moñino, Rosa M^a
Díaz Lorenzo, Lucía

Jiménez Salado, Borja
Montejano Jiménez, María del Carmen
Vicente Minguela, Francisco

Ingeniero Técnico Aeronáutico

Domenech Mestre, Alberto

Ingeniero Técnico Forestal

Collazo Rial, Manuel Ramón

Ingeniero Técnico en Informática de Gestión

Esteban Pérez, Ramón

Macias Gómez, Juan José

Ingenieros Técnicos Industriales

Ases Rodríguez, Cristóbal

Jiménez Rodríguez, José Antonio

Madueño López, Javier

Madueño Moraño, Antonio

Quílez Hernáiz, Sonia

Villar Riñones, Jesús

Ingenieros Técnicos Obras Públicas

Martínez Vicente, Cristina

Mata Soriano, Juan Carlos

Montiel Sánchez, Ernesto
Muriel León, Carlos
Ortiz del Campo, Natalia
Pardo de Agueda, Juan Luis
Rivera Jiménez, Marta
Romero García, Daniel
Rosa Moreno, José Andrés
Rozas Hernando, José Juan
Sánchez Tomé, Elena
Sanz Ruiz, Idoya

Ingenieros Técnicos Topógrafos

Barragán Bermejo, M^a Vicenta

Carreras Ruiz, Francisco

De Francisco Rodríguez, Francisco

López Jiménez, Luis

Martínez Ochando, Eduardo

Sánchez Martín, María de la O

Torés Campos, Ana M^a

Técnicos en Administración de Empresas

Cebrián Sobrino, M^a José

Técnico en Publicidad

Blanco Armas, Cristina

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

CUADERNOS INTEMAC

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

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

Precio de la suscripción Año 2010: 35 €



ÚLTIMOS TÍTULOS PUBLICADOS

Cuaderno N° 85

“Los accidentes de los puentes; errores de ayer y de hoy, lecciones para el mañana”.
Autores: Jorge Ley Urzáiz, Enrique González Valle.

Cuaderno N° 86

“Comparación de los diagramas rectangulares y parábola rectángulo en flexocompresión recta según el Eurocódigo 2 y la instrucción EHE-08 para hormigones de alta resistencia”.
Autores: Miguel A. Liébana Ramos, Noemí Pérez García, Rubén Ramírez de la Pinta.

CUADERNOS DE PRÓXIMA APARICIÓN

Cuaderno N° 87

“Análisis comparativo entre los procedimientos propuestos por la instrucción EHE-08 y el Eurocódigo EC2 para el cálculo de flechas en vigas y forjados de hormigón armado”.
Autores: Eduardo Díaz-Pavón, Enrique Calderón Bello, Raúl Rodríguez Escribano.

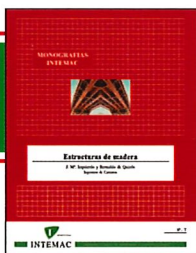
Cuaderno N° 88

“Terremoto en Lorca”.
Autores: Ramón Álvarez Cabal, Raúl Rodríguez Escribano, Laura Menéndez Martínez.

Consulte lista completa de la Colección

MONOGRAFÍAS INTEMAC

Publicación de INTEMAC con un carácter eminentemente práctico destinada a tratar temas muy concretos que, o bien presentan un nivel de problemas acusado en la práctica, o bien están insuficientemente cubiertos por la Normativa y la documentación técnica correspondientes.



MONOGRAFÍA INTEMAC N° 5

“Mantenimiento y reparación de paramentos de hormigón”.
Autores: R. Barrios Corpa, C. Beteta Cejudo, E. Díaz Heredia, Prof. J. Fernández Gómez, J. M^a. Rodríguez Romero.
Precio de la Monografía 38 €

MONOGRAFÍA INTEMAC N° 6

“Patología, técnicas de intervención y limpieza de fábricas de ladrillo”.
Autores: P. López Sánchez, J. M^a. Luzón Cánovas, I. Martínez Pérez, A. Muñoz Mesto, A. Fernández Sáez.
Precio de la Monografía 38 €

MONOGRAFÍA INTEMAC N° 7

“Estructuras de madera”.
Autores: J. M^a. Izquierdo y Bernaldo de Quirós.
Precio de la Monografía 38 €

NOTAS DE INFORMACIÓN TÉCNICA NIT

Con independencia de la serie de Cuadernos de INTEMAC, de los que se publica un número trimestral, bilingüe en español e inglés, en INTEMAC se producen, con acentuada frecuencia notas de información sobre aspectos concretos que pensamos que no solamente tienen una utilidad interna, sino que pueden resultar interesantes para muchos Técnicos de la Construcción.

Las Notas se envían únicamente por correo (pago por transferencia o tarjeta de crédito).

NIT-5 (06)

Influencia de la oxidación y de las manchas de mortero sobre la adherencia de armaduras de hormigón
J. Calavera Ruiz, A. Delibes, J. M^a. Izquierdo y Bernaldo de Quirós, G. González Isabel.
Edición en español, en color. 12 páginas
Precio 14 €



NIT-6 (07)

El previsible descenso de la seguridad en pilares con la entrada en vigor del Eurocódigo EC-2, y la necesidad de un control estricto de la calidad del hormigón en pilares

J. Calavera Ruiz.

Edición en español, en color. 10 páginas

Precio 12 €

VÍDEOS TÉCNICOS Y DVD'S

Fabricación y ensayo de probetas de hormigón.

N° 2001 (1-1)

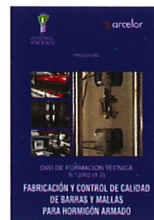
Contempla de forma completa y detallada el proceso de toma de muestras de hormigón fresco en obra, la medida de la consistencia con el Cono de Abrams, fabricación de probetas, curado en obra, transporte al laboratorio, curado en cámara, refrentado y ensayo a compresión.
Esta nueva versión del vídeo 8801 (1), introduce las modificaciones de EHE y un sistema de estudio de la distribución de presiones de la prensa sobre la probeta así como los aspectos particulares del ensayo de hormigones de alta resistencia.
30 minutos - 25 €



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

N° 2002 (1-2)

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



Compresión centrada en hormigón armado.

N° 2002 (1-4)

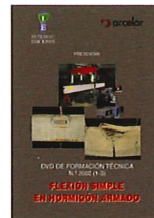
Contempla la rotura de siete pilares a escala real, variando resistencias de hormigón desde 25 Mpa a 70 Mpa, las cuantías de armaduras, la separación de estribos y la velocidad de carga conectando todo ello con las fórmulas de cálculo.
35 minutos - 25 €



Flexión simple en hormigón armado.

N° 2002 (1-3)

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



Esfuerzo cortante en hormigón armado.

N° 2002 (1-5)

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



BOLETÍN BIBLIOGRÁFICO

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

EL BOLETIN BIBLIOGRAFICO incluye:

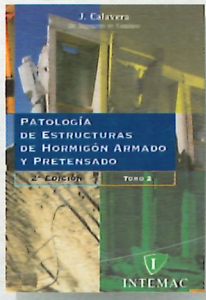
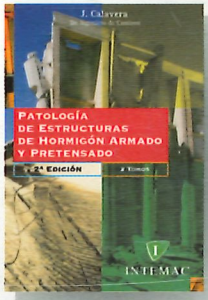
Fotocopia del índice y de los resúmenes de los artículos contenidos en las 105 revistas técnicas que se reciben en el Instituto referentes a los campos de la Edificación, Instalaciones, Obras Públicas y Urbanismo. Una sección de Normativa reciente, nacional y extranjera. Secciones de Bibliografía y Cursos.

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

Tarifa de suscripción anual (6 números) 200 €



PUBLICACIONES



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

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 135 €

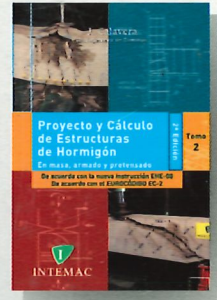


Fichas de ejecución de obras de hormigón 3ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 68 €

Nueva publicación



Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón 2ª edición (2 tomos)

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 180 €

Nueva edición



Manual para la redacción de informes técnicos en construcción 2ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 90 €

Nueva edición



Manual de Ferralla 3ª edición

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

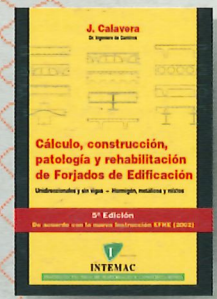
Precio: 45 €



Proyecto de estructuras de hormigón con armaduras industrializadas

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

Precio: 50 €



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

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 113 €



Evaluación de la capacidad resistente de estructuras de hormigón

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

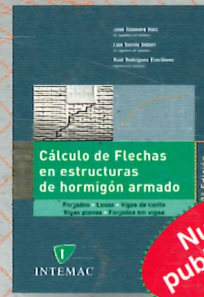
Precio: 64 €



Muros de contención y muros de sótano 3ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 80 €



Cálculo de flechas en estructuras de hormigón armado 2ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos), L. García Dulari (Ingeniero Civil), R. Rodríguez (Ingeniero de Caminos)

Precio: 110 €

Nueva publicación

El libro y el CD-ROM pueden adquirirse conjuntamente o por separado

Software asociado en ficheros de AutoCAD

Manual de detalles constructivos en obras de hormigón armado

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Libro: 123 € CD-ROM: 198 €



Ejecución y control de estructuras de hormigón

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

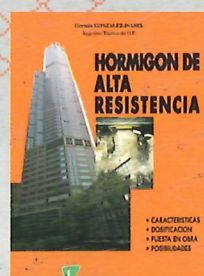
Precio: 133 €



Cálculo de estructuras de cimentación 4ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 80 €



Hormigón de alta resistencia

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

Precio: 47 €



Tecnología y propiedades mecánicas del hormigón

A. Delibes (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 57 €