

CUADERNOS INTEMAC

Análisis sobre el tratamiento normativo de la instrucción EHE y del Eurocódigo 2 en relación con los estados límites últimos de punzonamiento y de esfuerzo cortante en zapatas de hormigón armado

Analysis of code EHE an Eurocode 2 regulatory treatment of ultimate limit states for shear and punching shear in reinforced concrete footings

Prof. José Calavera Ruiz
Dr. Ing. Caminos Canales y Puertos / Presidente de Intemac
PhD. Civil Engineering / President of Intemac's

Prof. Jesús María Rodríguez Romero
Ingeniero de Caminos Canales y Puertos / Jefe de Departamento de Control
de Proyecto de Estructuras de INTEMAC
Civil Engineering / Head of the Structures Project Control Dpt., INTEMAC



METIRE UT SCIAS

INTEMAC

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

N.º 68

4.º TRIMESTRE '07



INTEMAC

INSTITUTO TÉCNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

CONTROL DE PROYECTO

CONTROL DE OBRA

GARANTÍA DE CALIDAD

(D.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
- AUDITORÍAS 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

AUDITORÍA MEDIOAMBIENTAL

ASESORAMIENTO EN MATERIA DE MEDIO AMBIENTE

**ANÁLISIS SOBRE EL TRATAMIENTO NORMATIVO DE LA
INSTRUCCIÓN EHE Y DEL EUROCÓDIGO 2 EN RELACIÓN CON LOS
ESTADOS LÍMITES ÚLTIMOS DE PUNZONAMIENTO Y DE ESFUERZO
CORTANTE EN ZAPATAS DE HORMIGÓN ARMADO.**

**ANALYSIS OF CODE EHE AND EUROCODE 2 REGULATORY
TREATMENT OF ULTIMATE LIMIT STATES FOR SHEAR
AND PUNCHING SHEAR IN REINFORCED CONCRETE FOOTINGS**



Prof. José Calavera Ruiz

Dr. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos
Presidente de INTEMAC

PhD. Civil Engineering
President of INTEMAC



Prof. Jesús María Rodríguez Romero

Ingeniero de Caminos Canales y Puertos
Jefe de Departamento de Control de Proyecto de
Estructuras de INTEMAC

Civil Engineer
Head of the Structures Project Control Dpt.,INTEMAC

Copyright @ 2007, 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-49879-2004

Invoprint, s.l.

CONTENTS

1. INTRODUCTION
2. SHEAR STRENGTH FOR FOOTING IN THE EHE CODE
3. PUNCHING SHEAR STRENGTH FOR FOOTING IN CODE EHE
4. SHEAR STRENGTH FOR FOOTING IN EUROCODE 2
5. PUNCHING SHEAR STRENGTH FOR FOOTING IN EUROCODE 2
6. PARAMETRIC ANALYSIS OF THE PUNCHING SHEAR FORMULATION IN EC-2
7. COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PUNCHING SHEAR FORMULATION IN EUROCODE 2 AND THE EHE CODE
8. COMPARATIVE ANALYSIS OF THE SHEAR FORMULATION IN EUROCODE 2 AND THE EHE CODE
9. ANALYSIS OF THE RELATIVE EFFECT OF PUNCHING SHEAR AND SHEAR LIMIT STATES ON THE DETERMINATION OF FOOTING DEPTH UNDER EUROCODE 2
10. ANALYSIS OF THE RELATIVE EFFECT OF PUNCHING SHEAR AND SHEAR LIMIT STATES ON THE DETERMINATION OF FOOTING DEPTH UNDER THE EHE CODE
11. CONCLUSIONS

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
2. CAPACIDAD FRENTE A ESFUERZO CORTANTE EN ZAPATAS DE ACUERDO CON LA INSTRUCCIÓN EHE
3. CAPACIDAD FRENTE A PUNZONAMIENTO EN ZAPATAS DE ACUERDO CON LA INSTRUCCIÓN EHE
4. CAPACIDAD FRENTE A ESFUERZO CORTANTE EN ZAPATAS DE ACUERDO CON EL EUROCODIGO 2.
5. CAPACIDAD FRENTE A PUNZONAMIENTO EN ZAPATAS DE ACUERDO CON EL EUROCODIGO 2.
6. ANÁLISIS PARAMÉTRICO DE LA FORMULACIÓN FRENTE A PUNZONAMIENTO SEGÚN EC-2.
7. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA FORMULACIÓN FRENTE A PUNZONAMIENTO ENTRE EL EUROCODIGO EC-2 Y LA INSTRUCCIÓN EHE.
8. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA FORMULACIÓN FRENTE A CORTANTE ENTRE EL EUROCODIGO EC-2 Y LA INSTRUCCIÓN EHE.
9. ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA RELATIVA ENTRE LOS ESTADOS LÍMITE DE PUNZONAMIENTO Y CORTANTE EN LA DETERMINACIÓN DEL CANTO DE LA ZAPATA, SEGÚN EL EUROCODIGO EC-2.
10. ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA RELATIVA ENTRE LOS ESTADOS LÍMITE DE PUNZONAMIENTO Y CORTANTE EN LA DETERMINACIÓN DEL CANTO DE LA ZAPATA, SEGÚN LA INSTRUCCIÓN EHE.
11. CONCLUSIONES.

ABSTRACT

The present paper contains a comparative analysis between the Spanish EHE Code and Eurocode 2, EN 1992-1-1 formulations provided for the determination of the strength capacity facing the shear resistance and the punching shear of reinforced concrete footings.

The differences between both standarizations (Eurocode accepts a minimum for punching shear and shear resistance wich determine resistance of members with low steel ratios, proposing too a verification of punching shear arrangements on wich the punching shear strength depends on the perimeter wich has been considered on each case, without a previous establishment of a critical perimeter) justifies deviations with regard to measurement wich could prove to be important in the case of punching shear.

In spite of this it should be generally compliance with the ultimate limit state for shear wich usually prevails in determining footing depth, existing on this occasion very few differences between both standarizations.

1. INTRODUCTION

When dimensioning foundation structures, especially isolated footing, design engineers are under the obligation to guarantee statutory safety levels in connection with member resistance to the shear stress induced by the actions envisaged in the design, and in particular to check shear and punching shear ultimate limit states.

The present paper contains an analysis of the treatment of such ultimate limit states in the Spanish EHE Code and Eurocode 2, EN 1992-1-1. *Eurocode 2: Design of concrete structures- Part 1.1: General rules and rules for buildings (December 2004)*.

Although in these respects both texts borrow heavily from CEB-FIP Model Code 1990, the differences between them affect both the verification of the ultimate limit states and the formulation of the expressions used to evaluate load capacity.

The visible effects of shear failure in footing may consist in cracks at variable angles, whose existence, in the absence of transverse reinforcement, reveals insufficient main tensile strength in the concrete member to resist the tensile stress due to shear. Be it said that the use of transverse reinforcement is fairly uncommon in footings, where the most economical solution to secure sufficient shear strength for a member is to increase its depth.

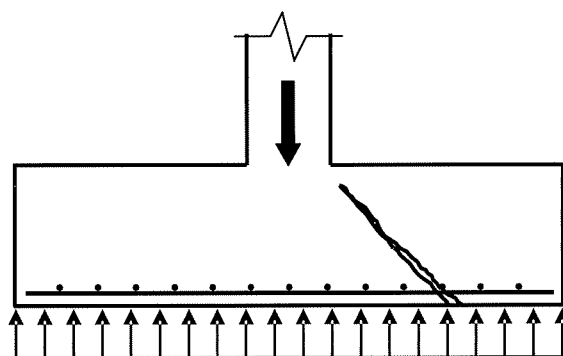


Figura 1: Shear failure in footings
Figura nº1: Fallo de la zapata frente a esfuerzo cortante

While punching shear failure is prompted by the same causes, i.e., insufficient resistance to the tensile stress deriving from shear, it differs in form. Because of the local nature of the load on the footing (transmitted across the column cross-section), the design engineer must check for possible fatigue, the outcome of the formation of a failure surface that adopts the form of a truncated pyramid (or truncated cone in the event of columns with a circular cross-section), whose vertical axis is the extension of the centreline of the loaded area, as shown in the following Figure:

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolla un análisis comparativo entre las formulaciones previstas por el Eurocódigo 2 y la Instrucción EHE para la determinación de las capacidades resistentes frente a esfuerzo cortante y punzonamiento en zapatas de hormigón armado.

Las diferencias entre ambas normativas (el Eurocódigo acepta topes mínimos para las resistencias a corte y punzonamiento que condicionan las capacidades para cuantías bajas y además propone un esquema de comprobación frente a punzonamiento en el que la capacidad varía con el perímetro de control considerado, sin fijación previa del crítico) justifican desviaciones en cuanto al dimensionamiento resultante que pueden resultar significativas para el caso del punzonamiento.

No obstante, es en general el cumplimiento del estado límite último de agotamiento frente a cortante el aspecto que condiciona el dimensionamiento de la zapata, siendo en este caso reducidas las diferencias entre ambas normativas.

1. INTRODUCCIÓN

El dimensionamiento de estructuras de cimentación y en particular de las zapatas aisladas exige al autor del proyecto la obligación de garantizar el nivel de seguridad normativo en cuanto al comportamiento de las piezas frente a las tensiones tangenciales inducidas por los efectos de las acciones de cálculo, en particular la verificación de los estados límite últimos de punzonamiento y de esfuerzo cortante.

En este trabajo vamos a desarrollar un análisis sobre el tratamiento concedido a tales estados límites tanto por la Instrucción española EHE como por el Eurocódigo 2, *EN 1992-1-1. Eurocode 2: Design of concrete structures- Part 1.1: General rules and rules for buildings (December 2004)*.

Aunque en estos aspectos la base de ambas normas la constituya el Código Modelo CEB-FIB 1990, entre ambas existen ciertas diferencias que afectan tanto al planteamiento de la verificación de los estados límites como a la formulación de las expresiones utilizadas para la evaluación de las capacidades resistentes.

El fallo de la zapata por esfuerzo cortante se podría manifestar mediante una fisuración que, con un ángulo variable, delataría la insuficiente capacidad de resistencia a tracción principal del hormigón de la pieza, sin la existencia de armadura transversal, para resistir las tracciones debidas a tensiones tangenciales. Téngase en cuenta que, en el caso de zapatas, no es en absoluto habitual la disposición de dicha armadura transversal, sino que es el aumento del canto de la misma la solución más económica para dotar a la pieza de la suficiente capacidad frente a esfuerzo cortante.

El fallo frente a punzonamiento, si bien obedece a las mismas causas, es decir insuficiente capacidad de la pieza frente a las tracciones derivadas de las tensiones tangenciales, presenta una forma de rotura diferente. El carácter localizado de la carga sobre la zapata (transmitida a través de la sección transversal del pilar) conduce a la necesidad de comprobar la posibilidad de que el agotamiento se produzca mediante la formación de una superficie de rotura que aisle un volumen troncopiramidal (o troncocónico en el caso de soportes de sección transversal circular) de eje vertical generado a partir del área cargada, tal y como se indica en la Figura siguiente:

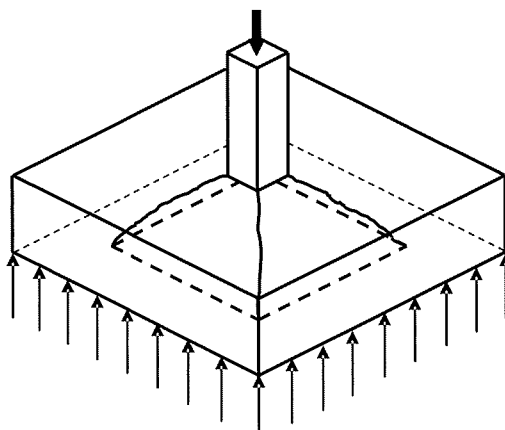


Figura nº2: Fallo de la zapata frente a punzonamiento
Figure 2: Punching shear failure in footing

As noted above, both statutory texts contain criteria, analytical elements and provisions useful for characterizing the technical state of the member studied with respect to the two types of failure. And while the similarities in the two formulations proposed (attributable to their subscription to the guidelines set out in the Model Code) are conspicuous, differences in approach can also be identified. The present paper addresses such differences.

2. SHEAR STRENGTH FOR FOOTING IN THE EHE CODE

Spanish Structural Concrete Code EHE is the statutory instrument for concrete structural engineering in effect in the country since July 1999. The Code criteria regarding shear and punching shear limit states in members in general and isolated footing in particular are laid down in its Articles 44 and 46, respectively.

Shear strength in members with no transverse reinforcement is limited by the tensile strength of their web.

$$V_{cu} = [0,12 \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} - 0,15 \cdot \sigma'_{cd}] \cdot b_0 \cdot d \quad [1]$$

where:

- V_{cu} Concrete contribution to shear strength (tensile fatigue in the web)
- b_0 Net width of member. In footings with a rectangular cross-section, this parameter concurs with the total width
- d Effective depth
- $\xi = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}}$ $\nlessgtr 2,0$, where d is the effective depth of the member in mm The ξ coefficient introduces the empirical finding to the effect that unit shear strength $\frac{V_{cu}}{b_0 \cdot d}$ grows as depth declines.
- $\rho_l = \frac{A_s}{b_0 \cdot d} \nlessgtr 0,02$, geometric ratio of longitudinal tensile reinforcing steel, anchored at a distance greater than or equal to d from the cross-section under study
- f_{ck} Characteristic strength of the concrete in the footing
- σ'_{cd} Effective axial stress on the cross-section (positive tensile stress)

Since in footings $\sigma'_{cd} = 0$, expression [1] would be:

$$V_{cu} = 0,12 \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b_0 \cdot d \quad [2]$$

The primary drawback to this formula is that it has been proven to underestimate the shear strength attributed to members with small ratios. For a specific critique of this formula, see (1).

3. PUNCHING SHEAR STRENGTH FOR FOOTING IN CODE EHE

Article 46 of the EHE Code deals with punching shear in reinforced concrete. The use of transverse reinforcement is not routine practice (it is less expensive to raise shear resistance by increasing the depth). Consequently, the applicable provisions for estimating punching shear strength in footings are the ones laid down in Article 46.2, "slabs without punching shear reinforcement".

Como ya hemos indicado, ambos documentos normativos contienen criterios, elementos de análisis y disposiciones útiles para la caracterización técnica de la situación de la pieza en estudio frente a la posibilidad de ambos tipos de fallo y aunque en general existen similitudes en cuanto a la formulación propuesta, derivada de la adhesión a las directrices marcadas por el Código Modelo, también se registran diferencias de planteamiento cuyo análisis es el objeto de este trabajo.

2. CAPACIDAD FRENTE A ESFUERZO CORTANTE EN ZAPATAS DE ACUERDO CON LA INSTRUCCIÓN EHE

La Instrucción española de Hormigón Estructural EHE es el documento técnico normativo vigente en nuestro país desde julio de 1999. Los criterios que la Instrucción establece en cuanto a los estados límites de esfuerzo cortante y punzonamiento en piezas en general y zapatas aisladas en particular se recogen en los artículos 44º y 46º, respectivamente.

La resistencia frente a esfuerzo cortante en piezas sin armadura transversal está limitada por su capacidad frente a la tracción en el alma.

$$V_{cu} = [0,12 \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} - 0,15 \cdot \sigma'_{cd}] \cdot b_0 \cdot d \quad [1]$$

siendo:

- V_{cu} Contribución del hormigón a la resistencia frente a esfuerzo cortante (agotamiento por tracción en el alma)
- b_0 Anchura neta del elemento. En el caso de zapatas, de sección transversal rectangular coincide con la anchura total.
- d Canto útil
- $\xi = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \neq 2,0$, con d canto útil de la pieza expresado en mm. El coeficiente ξ recoge el fenómeno experimental de que la resistencia unitaria a corte $\frac{V_{cu}}{b_0 \cdot d}$ crece al reducirse el canto.
- $\rho_l = \frac{A_s}{b_0 \cdot d} \neq 0,02$ cuantía geométrica de la armadura longitudinal traccionada, anclada a una distancia igual o mayor que d a partir de la sección en estudio.
- f_{ck} Resistencia característica del hormigón de la zapata.
- σ'_{cd} Tensión axil efectiva en la sección (tracción positiva).

En el caso de zapatas $\sigma'_{cd} = 0$ por lo que la expresión [1] quedaría:

$$V_{cu} = 0,12 \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b_0 \cdot d \quad [2]$$

El inconveniente principal de esta fórmula reside en la comprobada infravaloración de la capacidad a cortante que asigna a piezas con pequeña cuantía. Véase en (1) una crítica concreta a esta fórmula.

3. CAPACIDAD FRENTE A PUNZONAMIENTO EN ZAPATAS DE ACUERDO CON LA INSTRUCCIÓN EHE

El artículo 46º de la Instrucción EHE recoge las consideraciones de la norma española en relación con el fenóme-

Given, then, the absence of punching reinforcement, checking consists, first, in determining the value of the nominal design punching shear stress induced by the local load on a critical area located around the loaded area, and then comparing it to the maximum shear strength:

$$\tau_{sd} \leq \tau_{rd} \quad [3]$$

τ_{sd} Nominal design shear stress at the critical perimeter.

τ_{rd} Maximum shear strength at the critical perimeter.

The critical area is $u_1 \cdot d$, where d is the effective depth of the member and u_1 the length of a line drawn around the edge of the loaded area known as the critical perimeter. The EHE Code defines the critical perimeter in general to be the geometric position of all the points located at a distance of $2d$ from the edge of the loaded area or the column, although this definition is subject to slight variation in the presence of openings close to the loaded area, unusual cross-section geometries or the column position (internal, edge or corner) with respect to the footing slab.

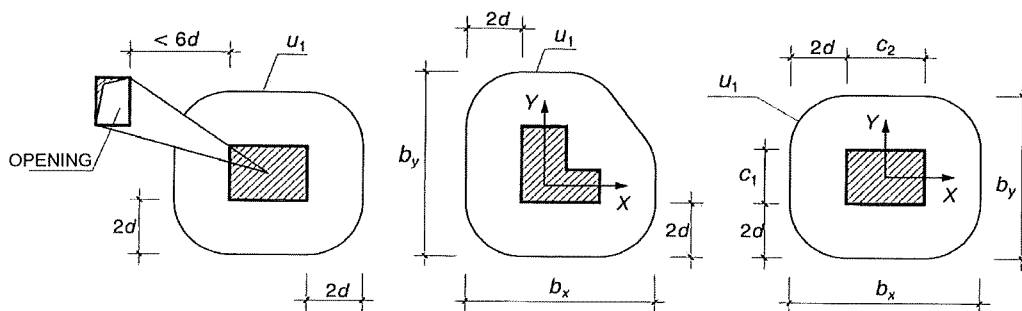


Figure 46.1 Critical perimeter in internal columns

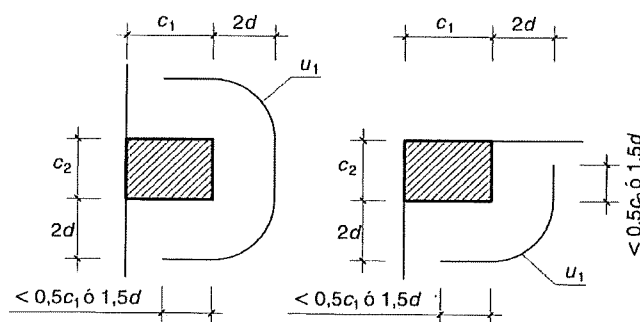


Figure 3. Definition of critical perimeter for determining punching shear strength in the EHE Code

The maximum strength at the critical perimeter, τ_{rd} , is defined in a way consistent with the approach adopted for shear, as:

$$\tau_{rd} = 0,12 \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \quad [4]$$

Since the critical area is concentric to the loaded area, it contains longitudinal reinforcement in both directions. The geometric ratio to be taken into account is therefore:

no del punzonamiento en piezas de hormigón armado. En zapatas no es habitual la disposición de armadura transversal (es más económico aumentar el canto si hay que incrementar su capacidad frente a tensiones tangenciales) por lo que en cuanto a la evaluación de la resistencia de la zapata frente a punzonamiento seguimos las disposiciones del artículo 46.2 "losas sin armadura de punzonamiento".

Habida cuenta, por tanto, de la ausencia de armadura de punzonamiento, la comprobación consiste en determinar el valor de cálculo de la tensión tangencial nominal inducida por la carga localizada en una superficie crítica situada alrededor de la zona cargada y compararla con la tensión máxima resistente:

$$\tau_{sd} \leq \tau_{rd} \quad [3]$$

τ_{sd} Tensión tangencial nominal de cálculo en el perímetro crítico.

τ_{rd} Tensión máxima resistente en el perímetro crítico.

El valor del área de la superficie crítica es $u_1 \cdot d$ siendo d el canto útil del elemento y u_1 la longitud de un contorno situado alrededor del área cargada denominado perímetro crítico. La Instrucción EHE define el perímetro crítico en general como el lugar geométrico de los puntos situados a una distancia $2d$ del borde del área cargada o del soporte, si bien esta definición se matiza en el caso de la presencia de huecos cercanos al área cargada, de geometrías especiales de la sección transversal de dicha área, o de la posición de la misma en relación con la losa o zapata (soporte interior, de borde o de esquina).

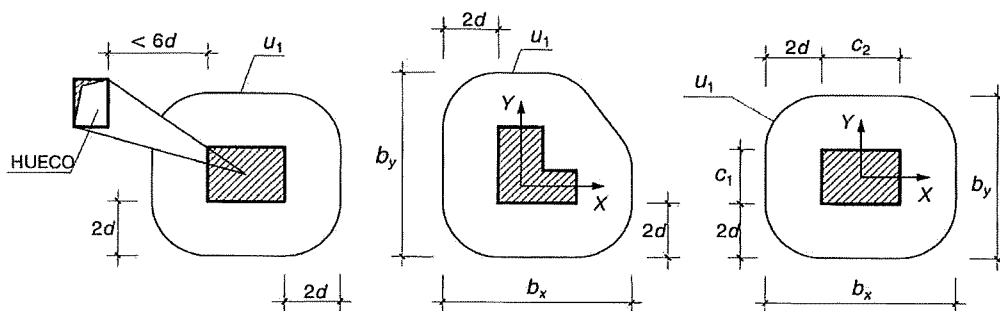


Figura 46.1ª Perímetro crítico en soportes interiores

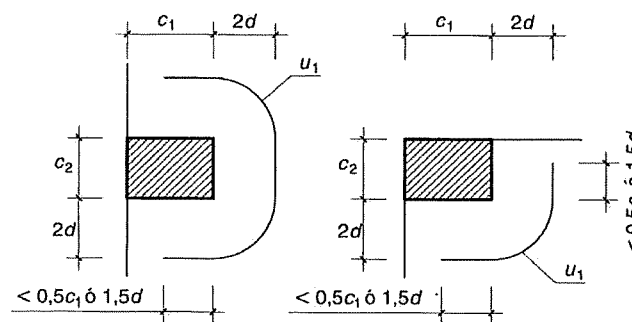


Figura nº3. Definición del perímetro crítico de punzonamiento según EHE

La tensión máxima resistente en el perímetro crítico, τ_{rd} se define, coherentemente con el planteamiento adoptado para el cortante, como:

$$\tau_{rd} = 0,12 \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \quad [4]$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_x \cdot \rho_y} \quad [5]$$

where ρ_x and ρ_y are the reinforcement ratios for each perpendicular direction in a width equal to the column dimension plus $3d$ on each side of the column or to the edge of the slab or footing, for edge or corner columns.

The nominal design shear stress on the critical area, τ_{sd} , is:

$$\tau_{sd} = \frac{\beta \cdot F_{sd}}{u_1 \cdot d} \quad [6]$$

where:

- F_{sd} Design punching shear force. For footing, F_{sd} is equal to the design axial force transmitted by the column less the resultant of the upward pressure of the soil within the critical perimeter.
- β Coefficient to account for the effects of load eccentricity. Simplifying, when such eccentricity exists, β may be taken to be equal to 1.15 in internal, 1.40 in edge and 1.50 in corner columns
- The β coefficient sets an upper limit to the effect of eccentricity on a member, which would adopt the form of higher shear stress in one part of the critical perimeter as a result of the bending moment transferred between the member and the column.
- u_1 Length of the critical perimeter
- d Effective depth

4. SHEAR STRENGTH FOR FOOTING IN EUROCODE 2

The expression adopted in Eurocode 2 to evaluate shear strength in reinforced concrete members without transverse reinforcement is set out in Article 6.2.2:

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d \quad [7]$$

Notational questions aside, this expression is formally identical to equation [1], set out in the EHE code. Indeed:

- $C_{Rd,c}$ the Eurocode-recommended value for this parameter is $0.18 / \gamma_c$; consequently, for $\gamma_c = 1.50$, $C_{Rd,c} = 0.12$, the value adopted in the Spanish code.
- $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}}$ $\neq 2.0$ corresponds to the EHE coefficient ξ .
- the EC-2 recommended value for k_1 is 0.15, the same as in the EHE Code.
- σ_{cp} is the same as $-\sigma'_{cd}$ in the EHE Code.
- b_w is the same as b_0 in the EHE Code.

Since in footings $\sigma_{cp} = 0$, expression [7] would be:

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b_w \cdot d \quad [8]$$

Puesto que la superficie crítica es concéntrica con el área cargada, será atravesada por la armadura longitudinal colocada en ambas direcciones, por lo que la cuantía geométrica a considerar es:

$$\rho_l = \sqrt{\rho_x \cdot \rho_y} \quad [5]$$

siendo ρ_x y ρ_y la cuantía dispuesta en cada dirección en un ancho igual a la dimensión del soporte más 3d a cada lado del soporte o hasta el borde de la losa o zapata, si se trata de un soporte de borde o de esquina.

La tensión tangencial nominal de cálculo τ_{sd} en la superficie crítica es:

$$\tau_{sd} = \frac{\beta \cdot F_{sd}}{u_1 \cdot d} \quad [6]$$

siendo:

- F_{sd} Esfuerzo de punzonamiento de cálculo. En el caso de zapatas F_{sd} es igual al axil de diseño transmitido por el soporte menos la resultante de la reacción del terreno dentro del perímetro crítico.
- β Coeficiente que tiene en cuenta los efectos de la excentricidad de la carga. Simplificadamente, cuando existe dicha excentricidad, β puede tomarse igual a 1,15 en soportes interiores, 1,40 en soportes de borde y 1,50 en soportes de esquina.
- El coeficiente β representa una cota superior de los efectos que sobre la pieza tendría la existencia de una excentricidad a través del incremento de las tensiones tangenciales en una parte del perímetro crítico, incremento debido al momento flector transferido entre la pieza y el soporte.
- u_1 Longitud del perímetro crítico.
- d Canto útil.

4. CAPACIDAD FRENTE A ESFUERZO CORTANTE EN ZAPATAS DE ACUERDO CON EL EUROCÓDIGO 2.

En el Eurocódigo 2 se recoge en el artículo 6.2.2 la expresión adoptada para evaluar la capacidad resistente frente a esfuerzo cortante en piezas de hormigón armado sin armadura transversal:

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d \quad [7]$$

Aparte la notación, esta expresión es formalmente idéntica a la [1] correspondiente a la Instrucción EHE. En efecto:

- $C_{Rd,c}$ presenta un valor recomendado por EC-2 igual a $0,18 / \gamma_c$ que para $\gamma_c = 1,50$ resulta $C_{Rd,c} = 0,12$, que es el adoptado por la Instrucción española.
- $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \neq 2,0$ que se corresponde con el coeficiente ξ de EHE.
- k_1 presenta un valor recomendado por EC-2 igual a 0,15 que es el adoptado por EHE
- σ_{cp} se corresponde con $-\sigma'_{cd}$ de EHE.
- b_w se corresponde con b_0 de EHE

En el caso de zapatas $\sigma_{cp} = 0$, por lo que la expresión [7] quedaría:

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b_w \cdot d \quad [8]$$

which, if rewritten in EHE notation, would be identical to [2], i.e.:

$$V_{cu} = 0,12 \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b_0 \cdot d$$

The essential difference between the EHE Code and EC-2 is that the latter stipulates a **minimum** shear strength, namely:

$$V_{Rd,c} = (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \quad [9]$$

where:

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} \quad [10]$$

For footing ($\sigma_{cp} = 0$), that minimum would be:

$$V_{Rd,c} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} \cdot b_w \cdot d \quad [11]$$

which is equivalent, in EHE notation, to:

$$V_{cu,\min} = 0,035 \cdot \xi^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} \cdot b_0 \cdot d \quad [12]$$

5. PUNCHING SHEAR STRENGTH FOR FOOTING IN EUROCODE 2

Article 6.4 describes the checking model adopted for punching shear which, for members without transverse reinforcement such as footing, consists in verifying that:

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,c} \quad [13]$$

v_{Ed} is the maximum shear stress at the control perimeter defined.

$v_{Rd,c}$ is the design punching shear within the control perimeter for a member without transverse reinforcement.

EC-2 defines the **basic control perimeter**, whose length is u_1 , to be the perimeter located at a distance of no less than $2 \cdot d$ from any point on the edge of the loaded area and constructed to minimize its length. The area of the **control section** is $u_1 \cdot d$. These definitions concur, therefore, with the ones set out in the EHE Code for critical perimeter and critical area, respectively.

Unlike the EHE Code however, EC-2 specifies, among others, that when the concentrated load is opposed by one or more reactions (6.4.2 (2)), such as in footings, the **punching shear must also be verified for the control perimeters located at a distance of less than $2 \cdot d$** .

Article 6.4.4 (2), in turn, gives the expression for punching shear strength in footing, **whose value depends on the control perimeter defined**:

expresión que, escrita en la notación de EHE quedaría idéntica a la [2], es decir:

$$V_{cu} = 0,12 \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b_0 \cdot d$$

La diferencia fundamental con respecto a la Instrucción EHE es que EC-2 admite un **tope mínimo** para la capacidad frente a esfuerzo cortante, que sería:

$$V_{Rd,c} = (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \quad [9]$$

siendo:

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} \quad [10]$$

Para el caso de zapatas ($\sigma_{cp}=0$), el tope mínimo quedaría por tanto:

$$V_{Rd,c} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} \cdot b_w \cdot d \quad [11]$$

equivalente, en notación de EHE, a:

$$V_{cu,\min} = 0,035 \cdot \xi^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} \cdot b_0 \cdot d \quad [12]$$

5. CAPACIDAD FRENTE A PUNZONAMIENTO EN ZAPATAS DE ACUERDO CON EL EUROCÓDIGO 2.

En el artículo 6.4 se describe el modelo de comprobación frente a punzonamiento adoptado que, para el caso de piezas sin armadura de refuerzo transversal como es el caso de las zapatas, consistiría en la verificación:

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,c} \quad [13]$$

v_{Ed} es la máxima tensión tangencial en el perímetro de control considerado

$v_{Rd,c}$ es el valor de cálculo de la resistencia frente a punzonamiento de una pieza sin armadura transversal en el perímetro de control considerado.

EC-2 define el **perímetro básico de control** de longitud u_1 como aquél que guarda una distancia no menor que $2 \cdot d$ a cualquier punto del borde del área cargada y de tal forma que su longitud sea mínima. El valor del área de la **sección de control** es $u_1 \cdot d$. Estas definiciones coinciden por tanto con las adoptadas por EHE para el perímetro crítico y superficie crítica, respectivamente.

Sin embargo EC-2, a diferencia de EHE, indica que **en la comprobación frente a punzonamiento se deberán considerar además los perímetros de control situados a una distancia inferior a $2 \cdot d$** entre otros, en aquellos casos que, como en zapatas, la carga concentrada sea equilibrada por una elevada presión distribuida (artículo 6.4.2 (2)).

Esta circunstancia se vuelve a poner de manifiesto en el artículo 6.4.4 (2) donde se establece la expresión del valor

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot 2 \cdot \frac{d}{a} \not\leq v_{min} \cdot 2 \cdot \frac{d}{a} \quad [14]$$

where "a" is the distance between the edge of the column and the control perimeter.

The maximum shear stress v_{Ed} for a centred load is:

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed,red}}{u \cdot d} \quad [15]$$

$$V_{Ed,red} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed} \quad [16]$$

where:

V_{Ed} is the load transmitted by the column.

ΔV_{Ed} is the net upward force within the control periphery, i.e., the upward pressure from the soil, less the self-weight of the footing.

For eccentric loads:

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed,red}}{u \cdot d} \left[1 + k \cdot \frac{M_{Ed} \cdot u}{V_{Ed,red} \cdot W} \right] \quad [17]$$

6. PARAMETRIC ANALYSIS OF THE PUNCHING SHEAR FORMULATION IN EC-2

Pursuant to the foregoing, a parametric study can be conducted for different isolated footings by plotting the depth (d) required to resist punching shear against the control perimeter (located at a distance "a" from the edge of the column) as specified in Eurocode 2. Assuming square footings of side B , this involves:

- Fixing the characteristics of the materials (f_{ck} , f_{yk} , γ_c , γ_s) and the foundation soil (indirectly, from the design load transmitted to the soil by the footing, or stress σ_{td}), where γ is the specific mass of the concrete, and estimating the dimensions of the column (with a square cross-section of side b) which normally depends on the width of footing B and its depth d , as per the following expression:

$$b(B, d) = \sqrt{\frac{56 \cdot B^2 \cdot [\sigma_{td} - \gamma \cdot (d + 50mm)]}{71 \cdot f_{cd}}} \not\leq 25 \text{ cm}$$

The above equation was obtained by calculating the section dimensions required for the column, assumed to be reinforced at a ratio equal to the minimum plus 1/3 of the difference between the maximum and minimum allowed by the EHE Code. The total depth of the footing was assumed to be $h = d + 50 \text{ mm}$.

- The geometric ratio of reinforcing steel needed for flexural shear (ρ) in the footing is a function of B and d that can be found from the following expression:

de la resistencia frente a punzonamiento en zapatas, que depende del perímetro de control considerado:

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot 2 \cdot \frac{d}{a} \not\leq v_{\min} \cdot 2 \cdot \frac{d}{a} \quad [14]$$

donde "a" es la distancia entre el borde del soporte y el perímetro de control considerado.

La máxima tensión tangencial v_{Ed} para carga centrada es:

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed,red}}{u \cdot d} \quad [15]$$

$$V_{Ed,red} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed} \quad [16]$$

donde:

V_{Ed} es la carga transmitida por el soporte

ΔV_{Ed} es la fuerza ascendente neta que actúa dentro del perímetro de control considerado, es decir la presión vertical ascendente del terreno menos el peso propio de la zapata.

Para el caso de carga excéntrica:

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed,red}}{u \cdot d} \left[1 + k \cdot \frac{M_{Ed} \cdot u}{V_{Ed,red} \cdot W} \right] \quad [17]$$

6. ANÁLISIS PARAMÉTRICO DE LA FORMULACIÓN FRENTE A PUNZONAMIENTO SEGÚN EC-2.

De acuerdo con lo expuesto en los dos apartados anteriores, podemos realizar un estudio paramétrico representando, para distintas zapatas aisladas cuadradas de ancho B , el canto necesario (d) por punzonamiento en función del perímetro seleccionado (el situado a una distancia "a" de la cara del soporte), según el Eurocódigo EC-2. Para ello:

- Fijadas las características de los materiales (f_{ck} , f_{yk} , γ_c , γ_s) y las del terreno de cimentación (indirectamente a través de la carga en situación de cálculo transmitida al terreno por la zapata, o tensión σ_{td}), y siendo γ el peso específico del hormigón, podemos estimar las dimensiones del soporte (de sección transversal cuadrada de lado b) que, en general, dependerá del ancho de la zapata B y de su canto d , mediante la siguiente expresión:

$$b(B, d) = \sqrt{\frac{56 \cdot B^2 \cdot [\sigma_{td} - \gamma \cdot (d + 50 \text{ mm})]}{71 \cdot f_{cd}}} \not\leq 25 \text{ cm}$$

Que se ha obtenido calculando la escuadría del soporte necesaria supuesto armado con una cuantía correspondiente a la mínima más 1/3 de la diferencia entre la máxima y la mínima permitidas por EHE. El canto total de la zapata se ha supuesto $h = d + 50 \text{ mm}$.

- La cuantía geométrica de la armadura necesaria por condiciones de flexión (ρ) en la zapata será una función que dependerá de B y d y que podremos estimar mediante la expresión:

$$\rho(B, d) = \frac{\sigma_{td} \cdot (B - 0,70 \cdot b(B, d))^2}{8 \cdot 0,90 \cdot f_{yd} \cdot d^2}$$

providing the resulting value is not less than the minimum ratios:

$$\rho(B, d) = \max \left\{ \frac{\sigma_{td} \cdot [B - 0,70 \cdot b(B, d)]^2}{8 \cdot 0,90 \cdot f_{yd} \cdot d^2}; 0,04 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}; 0,0015 \right\} \not\geq 0,02$$

Under these conditions, the depth required to resist punching shear is obtained by equating the expression for maximum shear strength at the perimeter in question, $\tau_{rd}(B, d, a)$:

$$\tau_{rd}(B, d, a) = \max \left\{ 0,12 \cdot \xi(d) \cdot [100 \cdot \rho(B, d) \cdot f_{ck}]^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{2 \cdot d}{a}; 0,035 \cdot \xi^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{2 \cdot d}{a} \right\}$$

to the expression for the stress exerted on that perimeter, $\tau_{sd}(B, d, a)$:

$$\tau_{sd}(B, d, a) = \frac{\sigma_{td} \cdot [B^2 - b(B, d)^2 - 4 \cdot a \cdot b - \pi \cdot a^2]}{[4 \cdot b(B, d) + 2 \cdot \pi \cdot a] \cdot d}$$

The solution to the resulting system of equations generates the curves shown in figures 4 to 8 below, for each case:

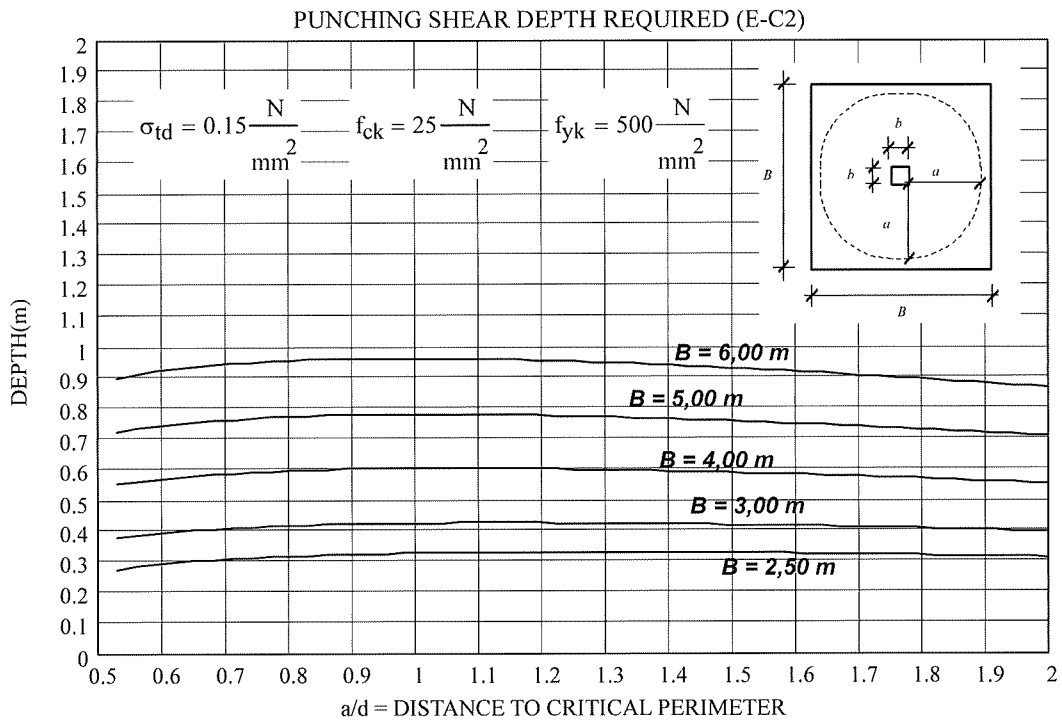


Figure 4: Footing depth required to resist punching shear according to EC-2

$$\rho(B, d) = \frac{\sigma_{td} \cdot (B - 0,70 \cdot b(B, d))^2}{8 \cdot 0,90 \cdot f_{yd} \cdot d^2}$$

siempre que no sea inferior a las cuantías mínimas:

$$\rho(B, d) = \max \left\{ \frac{\sigma_{td} \cdot [B - 0,70 \cdot b(B, d)]^2}{8 \cdot 0,90 \cdot f_{yd} \cdot d^2}; 0,04 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}; 0,0015 \right\} \not\geq 0,02$$

En estas condiciones, el canto necesario por punzonamiento se obtendrá de igualar la expresión de la tensión máxima resistente en el perímetro considerado $\tau_{rd}(B, d, a)$:

$$\tau_{rd}(B, d, a) = \max \left\{ 0,12 \cdot \xi(d) \cdot [100 \cdot \rho(B, d) \cdot f_{ck}]^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{2 \cdot d}{a}; 0,035 \cdot \xi^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{2 \cdot d}{a} \right\}$$

con la expresión de la tensión solicitante en el perímetro considerado $\tau_{sd}(B, d, a)$:

$$\tau_{sd}(B, d, a) = \frac{\sigma_{td} \cdot [B^2 - b(B, d)^2 - 4 \cdot a \cdot b - \pi \cdot a^2]}{[4 \cdot b(B, d) + 2 \cdot \pi \cdot a] \cdot d}$$

De la resolución del sistema de ecuaciones se obtienen las curvas que se presentan a continuación, en las figuras nº 4 a 8, para cada caso:

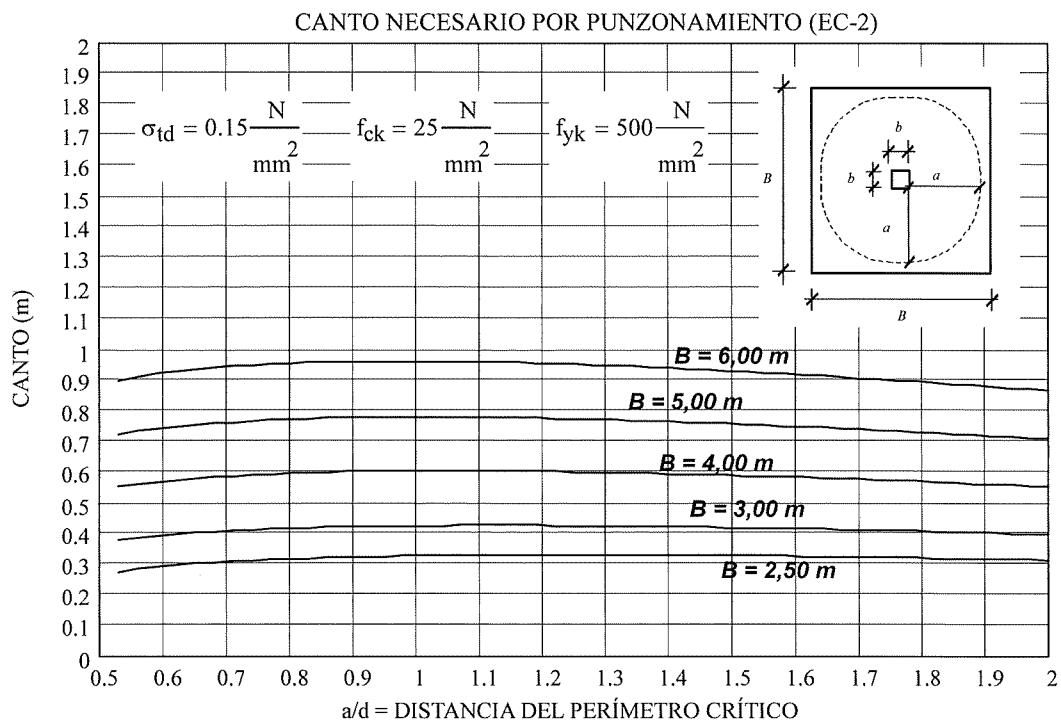


Figura nº 4: Canto necesario por punzonamiento según EC-2

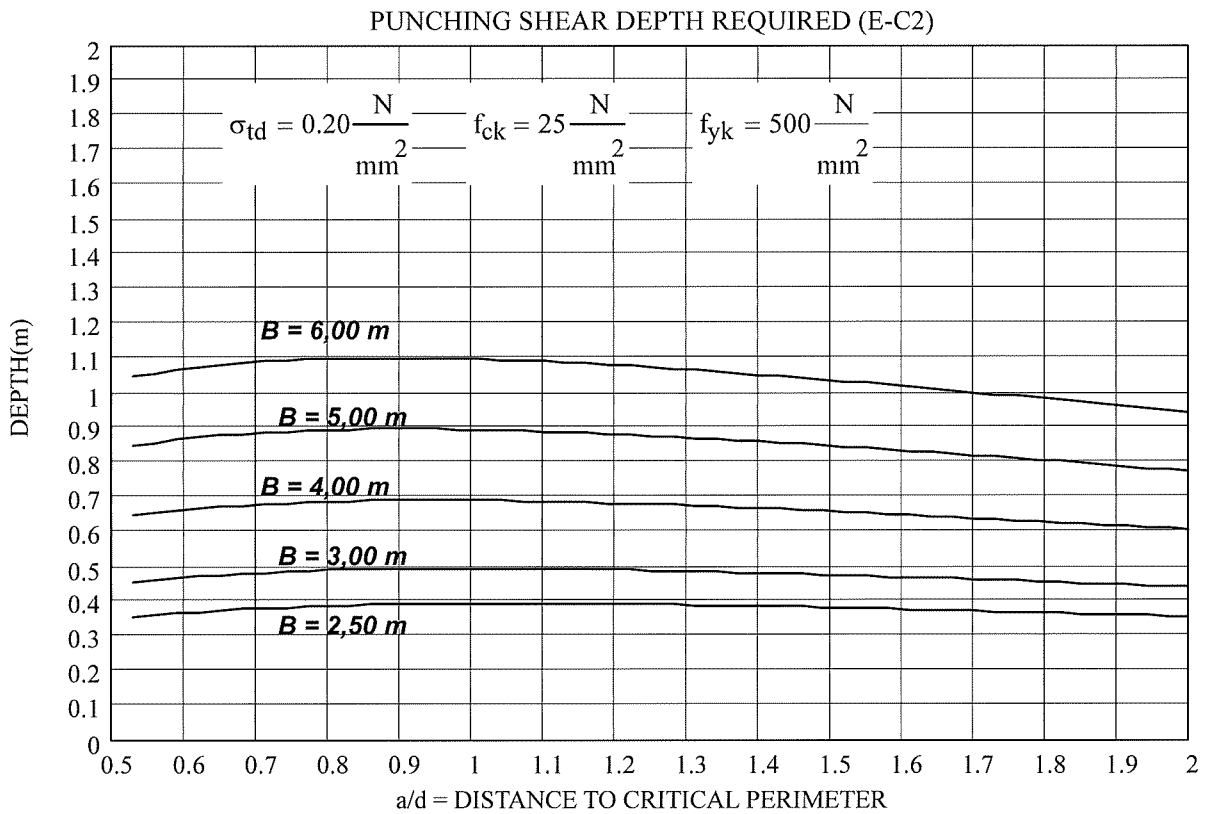


Figure 5: Footing depth required to resist punching shear according to EC-2

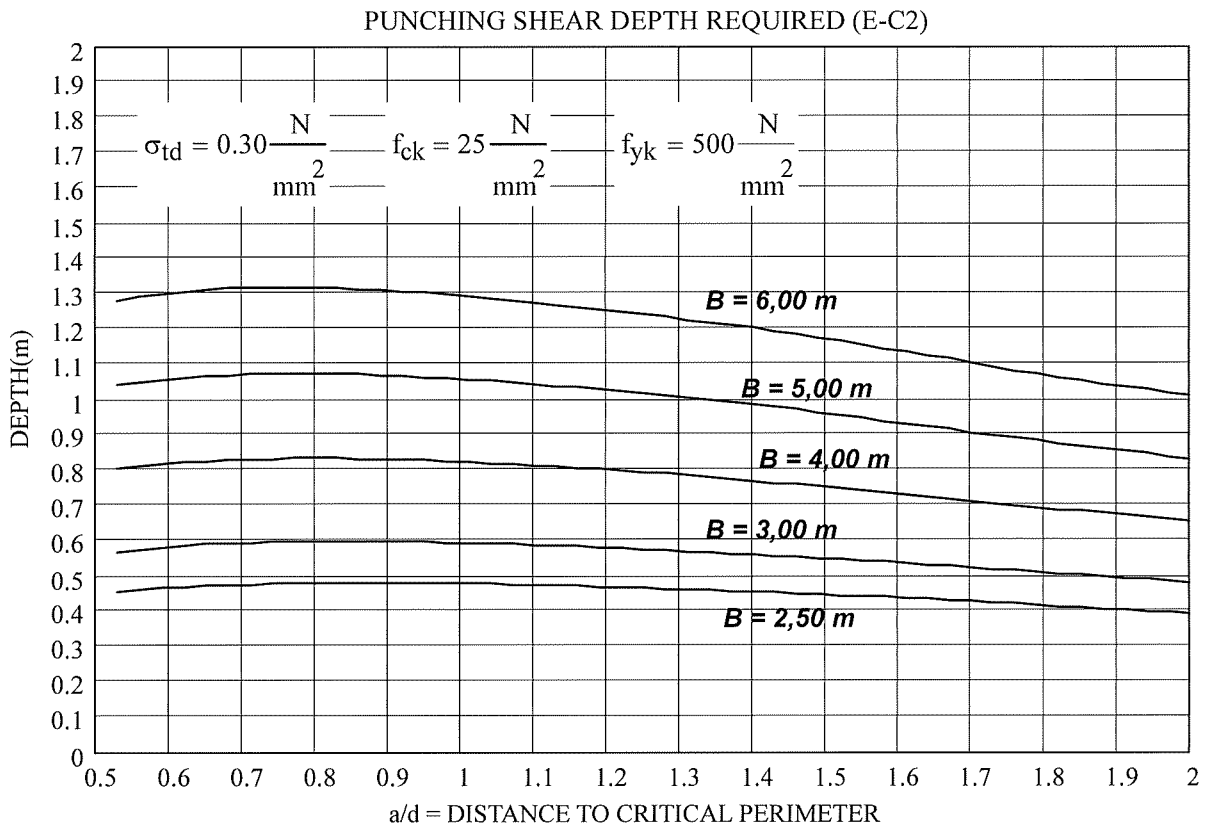


Figure 6: Footing depth required to resist punching shear according to EC-2

CANTO NECESARIO POR PUNZONAMIENTO (EC-2)

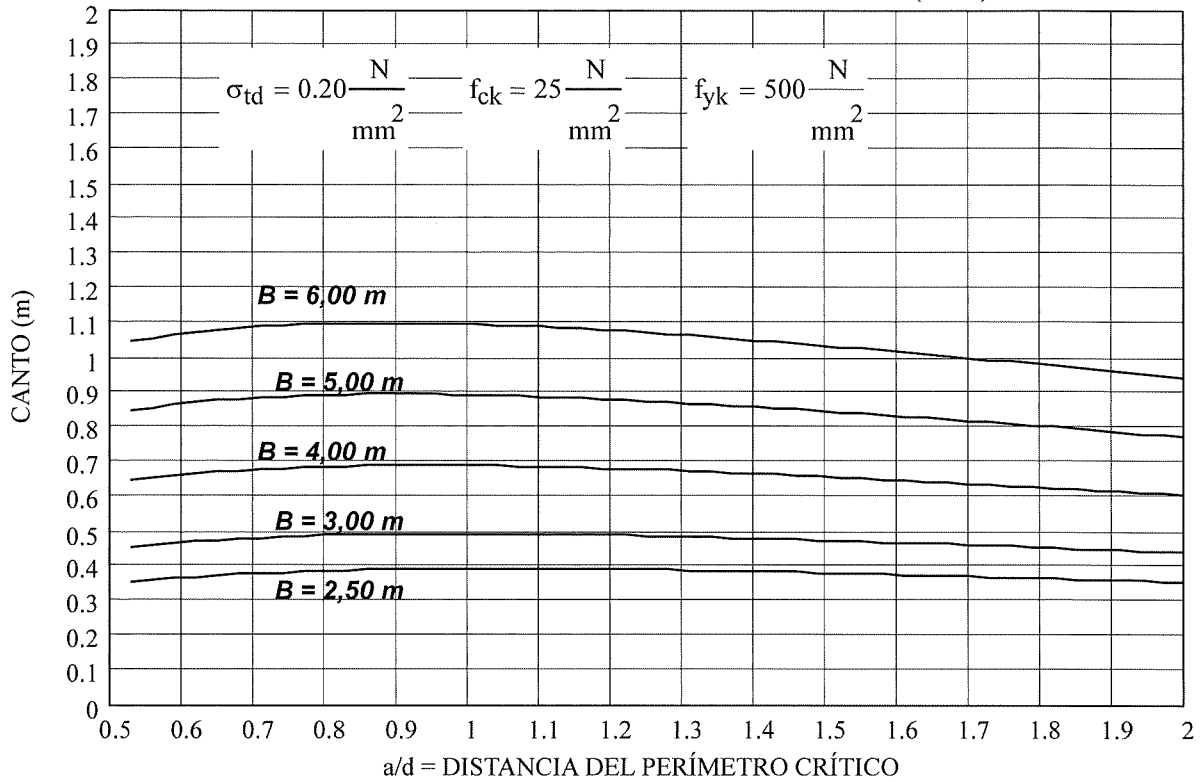


Figura nº 5: Canto necesario por punzonamiento según EC-2

CANTO NECESARIO POR PUNZONAMIENTO (EC-2)

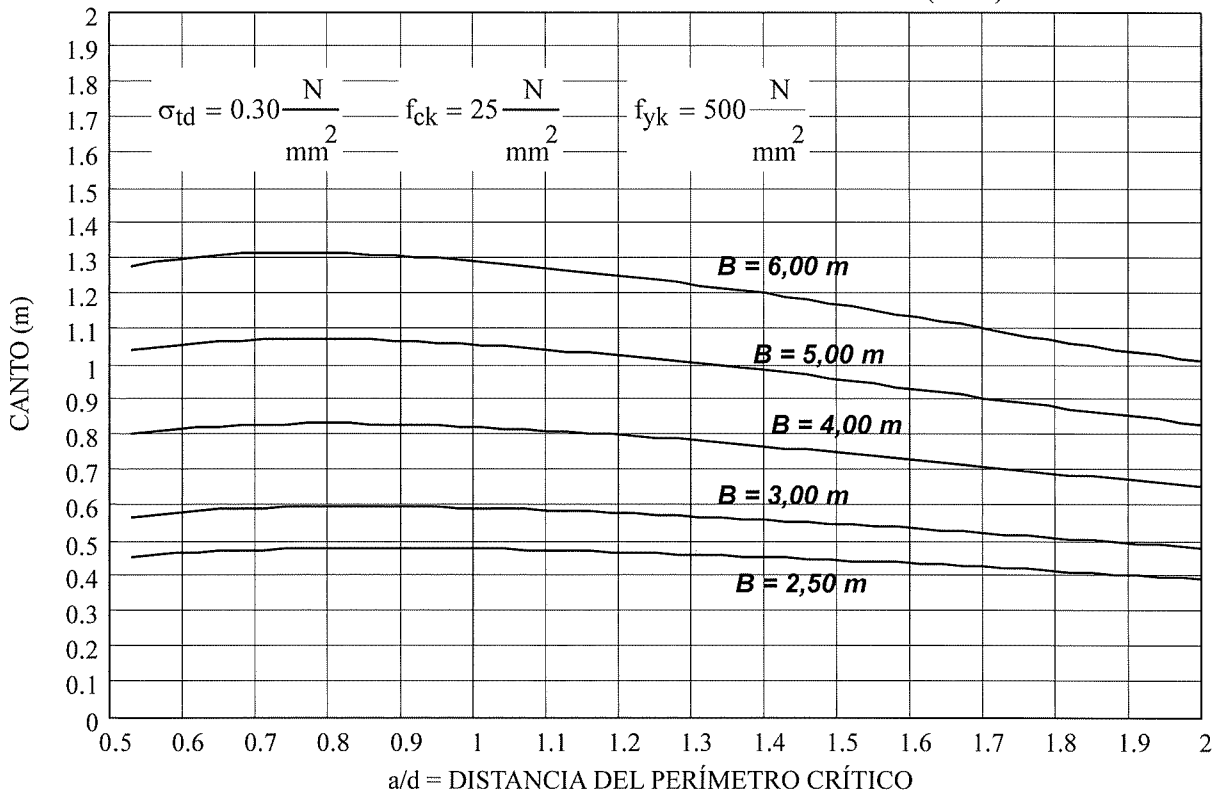


Figura nº 6: Canto necesario por punzonamiento según EC-2

PUNCHING SHEAR DEPTH REQUIRED (E-C2)

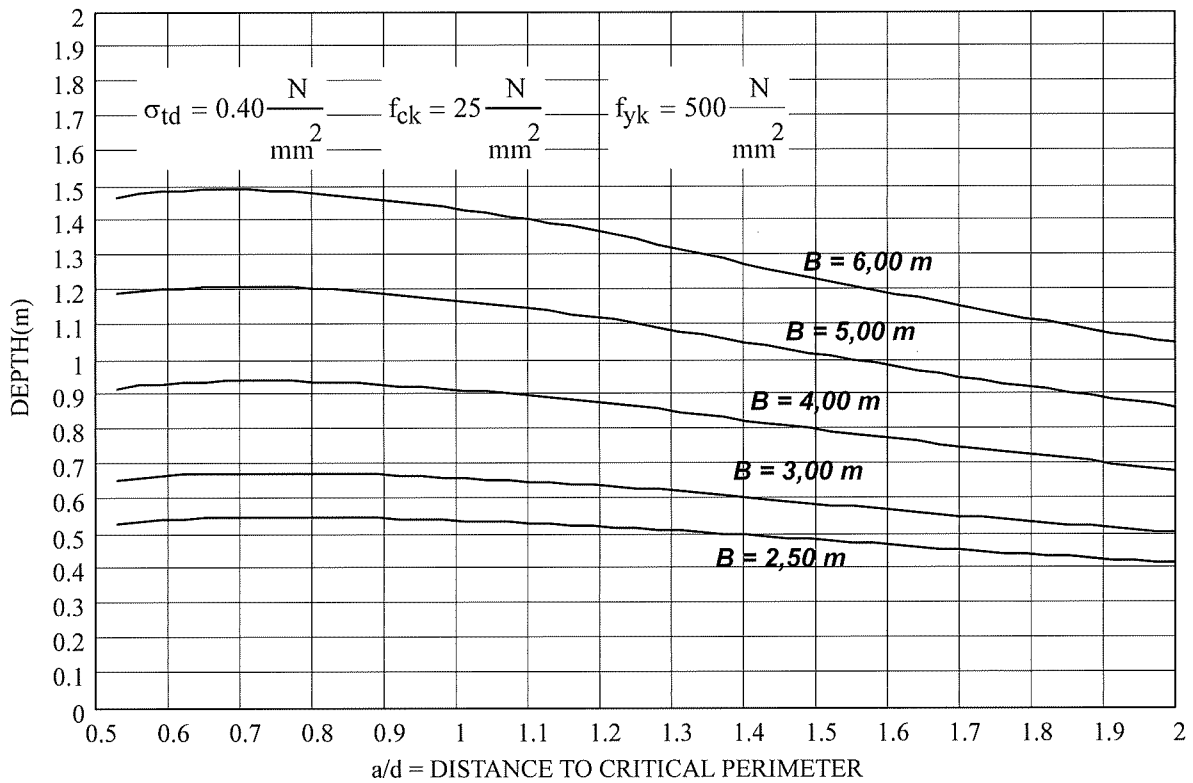


Figure 7: Footing depth required to resist punching shear according to EC-2

PUNCHING SHEAR DEPTH REQUIRED (E-C2)

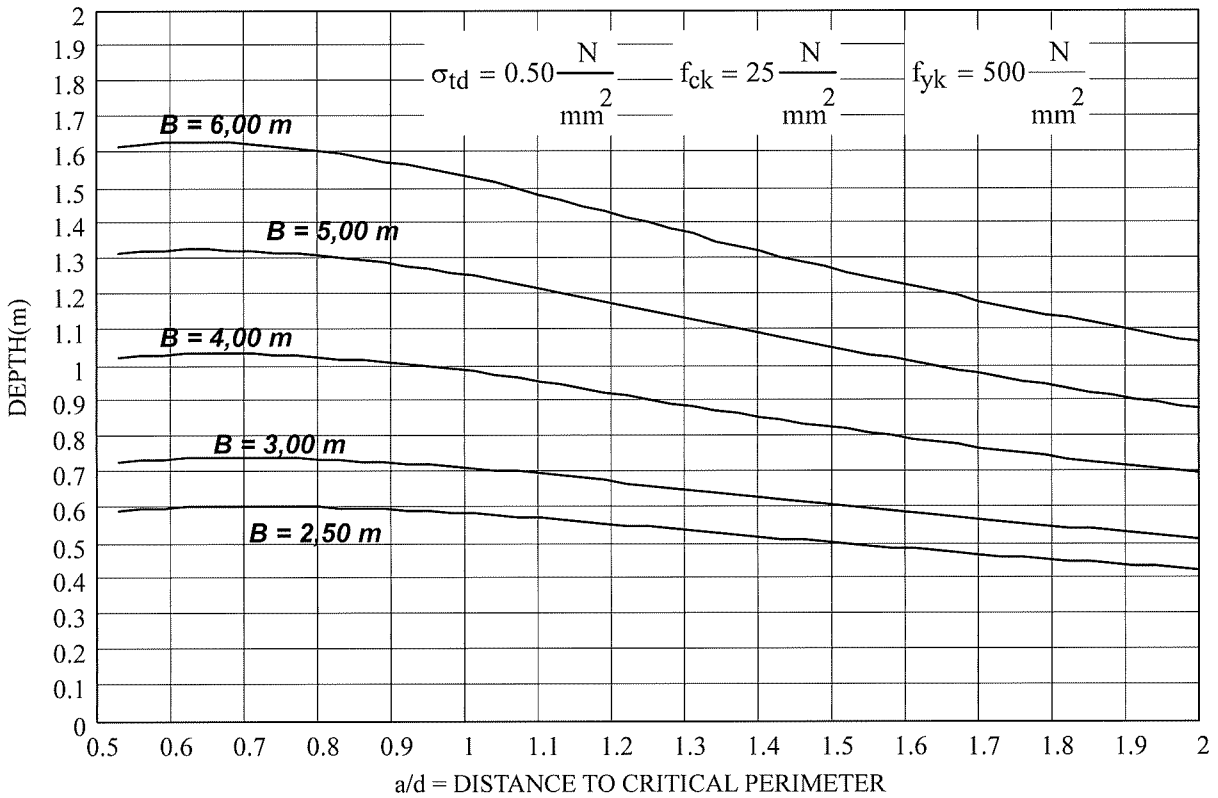


Figure 8: Footing depth required to resist punching shear according to EC-2

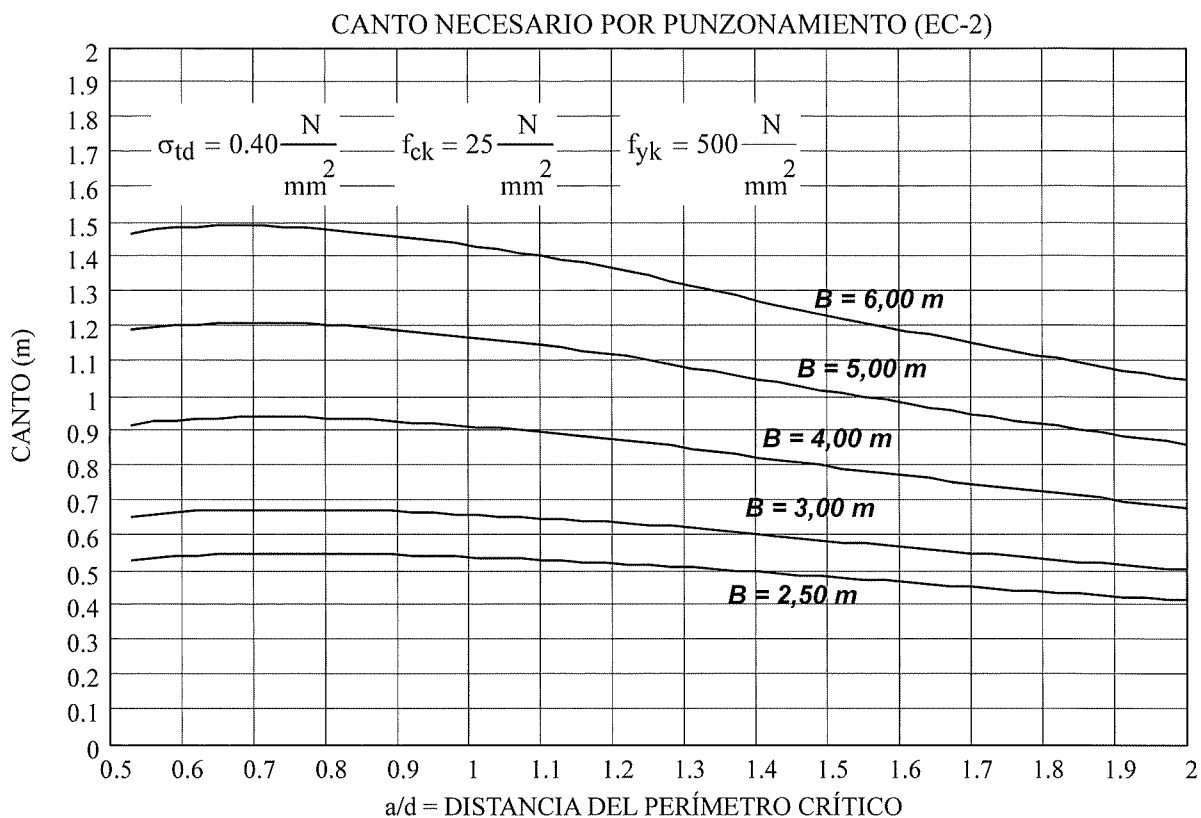


Figura nº 7: Canto necesario por punzonamiento según EC-2

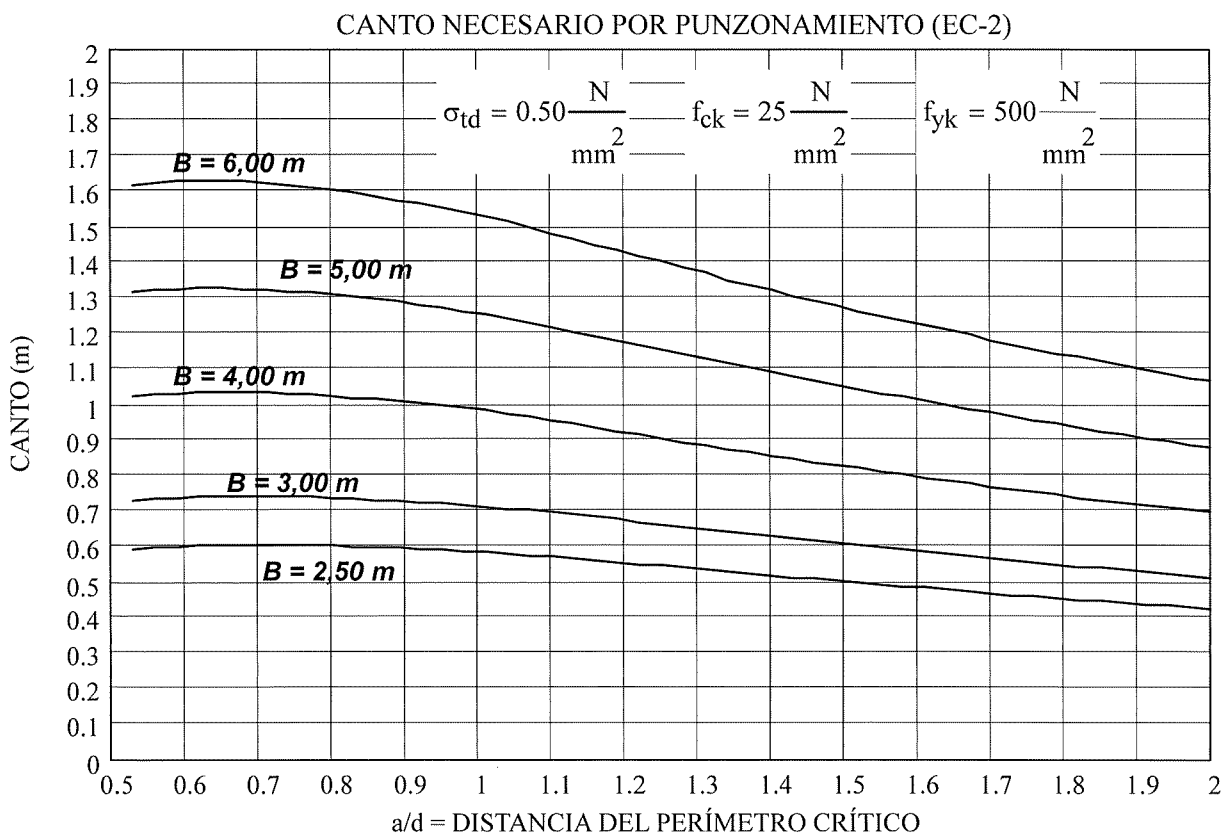


Figura nº 8: Canto necesario por punzonamiento según EC-2

An analysis of the curves in figures 4 through 8 reveals that punching shear need only be checked at a distance equal to the depth, for values other than the maximum are observed only where $\sigma_{td} > 0.30 \text{ N/mm}^2$ at a distance of $0.75d$, and even then the difference is less than 5%.

7. COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PUNCHING SHEAR FORMULATION IN EUROCODE 2 AND THE EHE CODE

As indicated above, the existing EHE Code defines the critical perimeter for punching shear to lie at a distance of $2 \cdot d$ from the edge of the column.

The graphs below plot the ratio between the Eurocode-2-calculated and EHE Code-calculated depths required to resist punching shear at each critical perimeter considered pursuant to EC-2. (All the EHE Code values refer to the perimeter located at $2 \cdot d$; this code, moreover, establishes no minimum punching shear strength.)

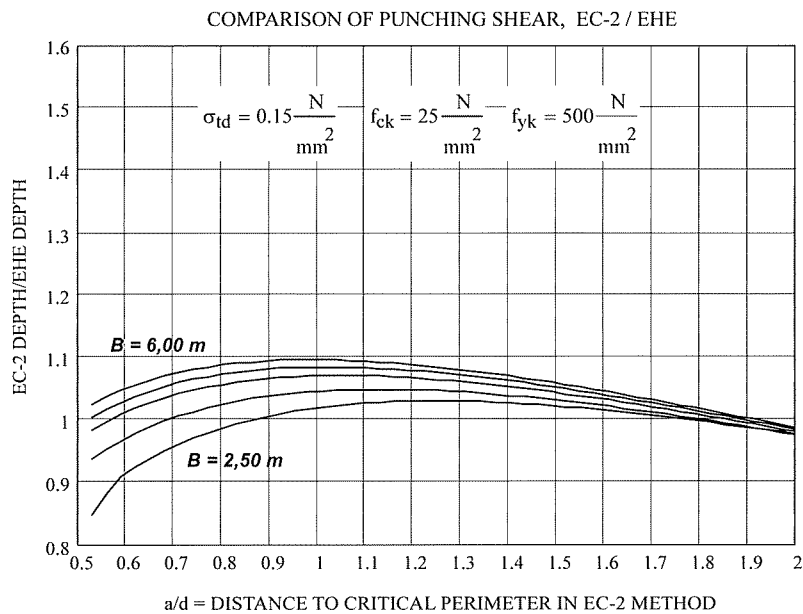


Figure 9: Footing depth required to resist punching shear, comparison between EC-2 and EHE

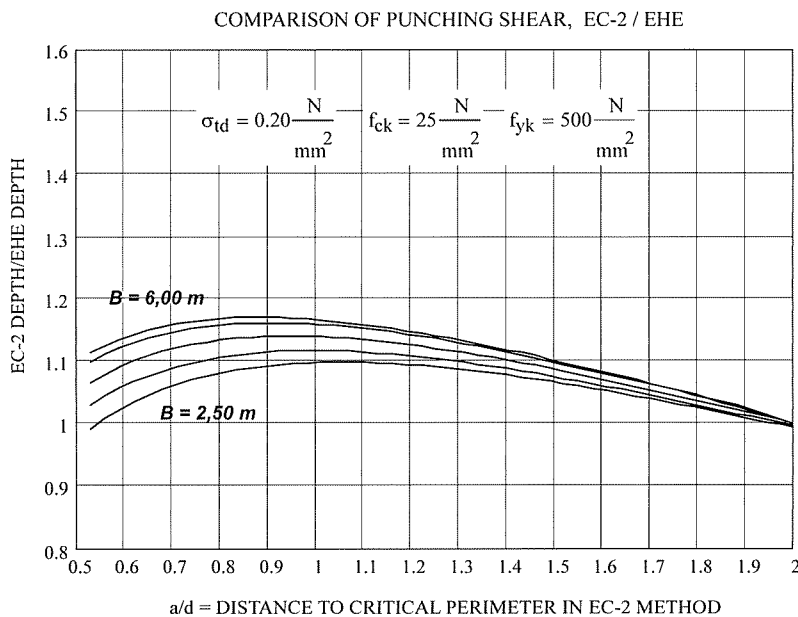


Figure 10: Footing depth required to resist punching shear, comparison between EC-2 and EHE

A la vista de las figuras nº 4 a 8, puede establecerse que basta realizar la comprobación a punzonamiento a la distancia de un canto. Sólo para $\sigma_{td} > 0,30 \text{ N/mm}^2$ se registran diferencias con el valor máximo que ocurre a la distancia de 0,75 d pero que no superan el 5%.

7. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA FORMULACIÓN FRENTE A PUNZONAMIENTO ENTRE EL EUROCÓDIGO EC-2 Y LA INSTRUCCIÓN EHE.

Como ya hemos indicado, la redacción de nuestra actual Instrucción EHE mantiene como perímetro crítico frente a punzonamiento el situado a una distancia igual a 2·d del contorno del soporte.

En las gráficas que se muestran a continuación se representa el cociente entre el canto necesario por punzonamiento según el Eurocódigo EC-2, para cada perímetro crítico considerado, y el necesario según EHE, es decir, el evaluado en el perímetro situado a 2·d y con la formulación de EHE, que prescinde del tope mínimo.

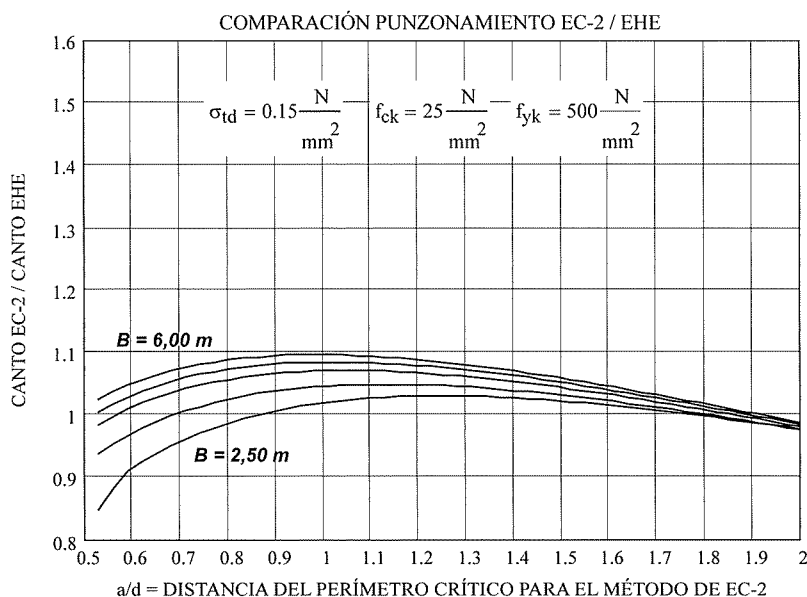


Figura nº 9: Gráfico comparativo entre EC-2 y EHE frente a punzonamiento

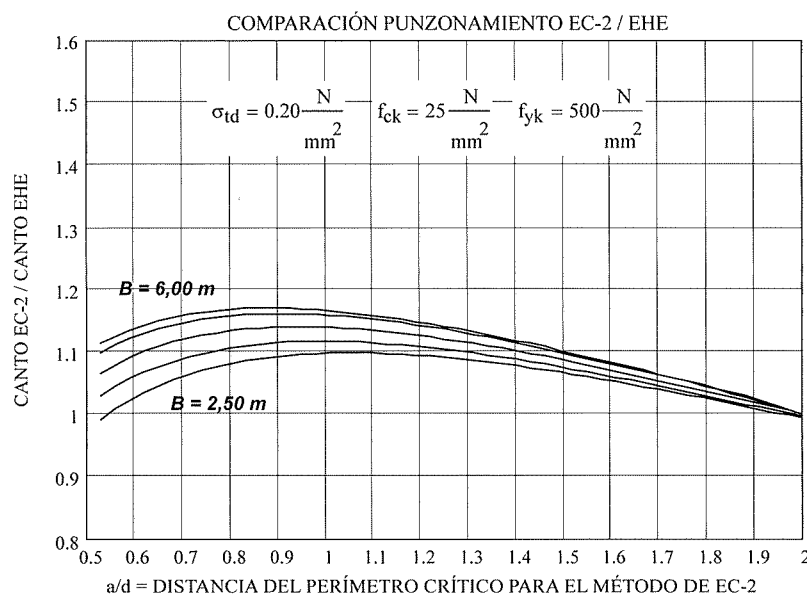


Figura nº 10: Gráfico comparativo entre EC-2 y EHE frente a punzonamiento

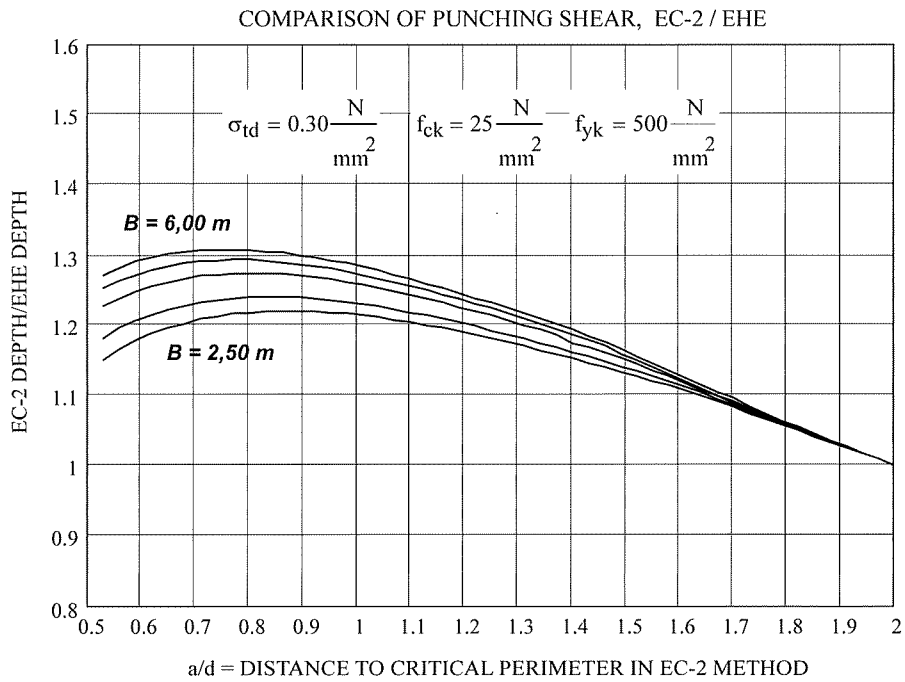


Figure 11: Footing depth required to resist punching shear, comparison between EC-2 and EHE

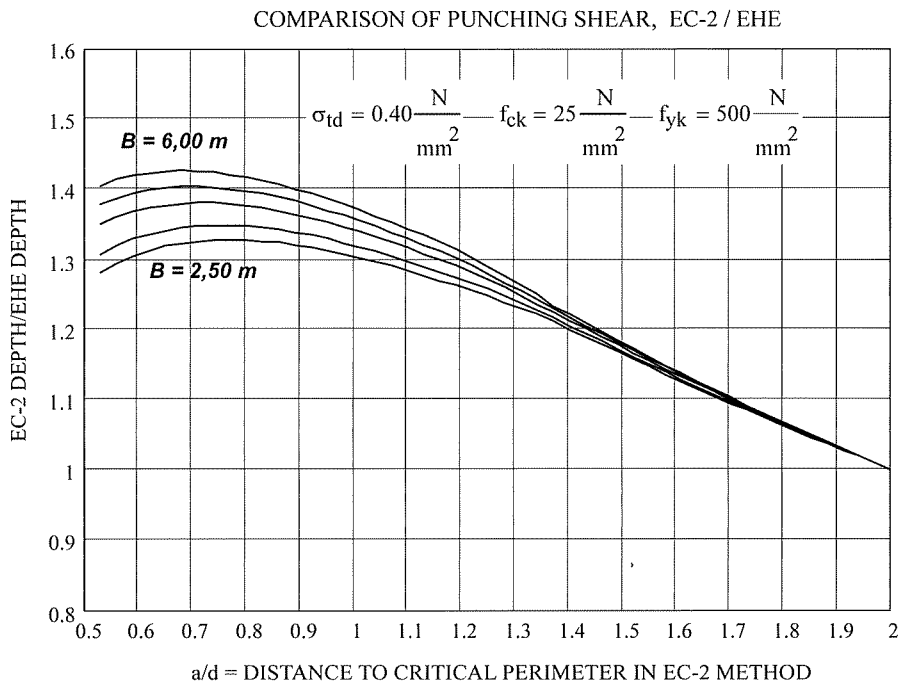


Figure 12: Footing depth required to resist punching shear, comparison between EC-2 and EHE

Note that in some of the cases studied, the footing depths required to resist punching shear pursuant to Eurocode 2 are approximately 55% greater than the values found for the perimeter stipulated in the EHE Code. Assuming the Eurocode 2 formulation to be correct, the inference is that the EHE provisions would be unsafe in this regard.

Note also that the footing depth at the perimeter located at 2·d from the edge of the column (ratio = 1) is the same in the two formulations only where the minimum stipulated by EC-2 is not predominant, i.e., for reinforcement ratios corresponding to moderate to high loads on the soil.

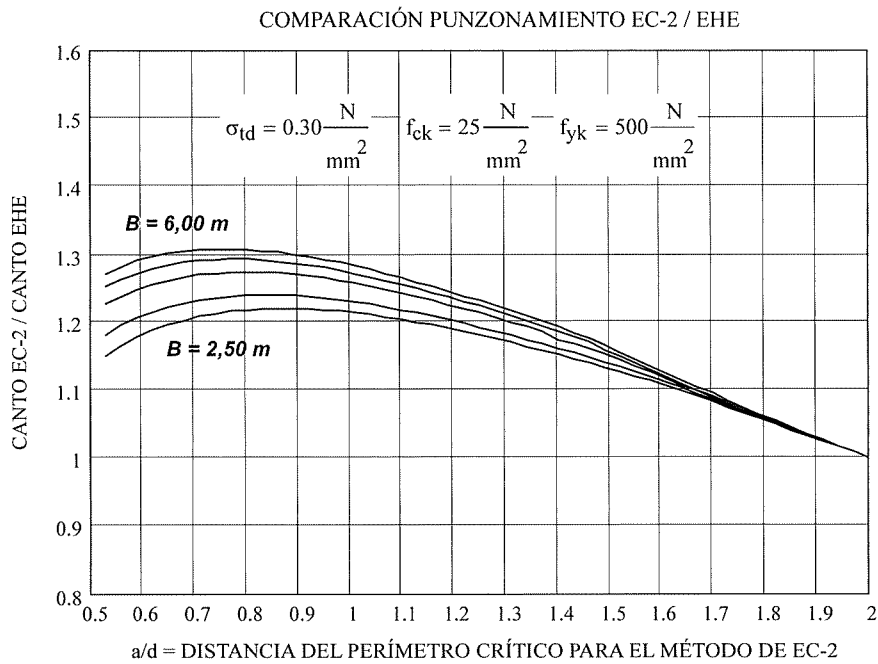


Figura nº 11: Gráfico comparativo entre EC-2 y EHE frente a punzonamiento

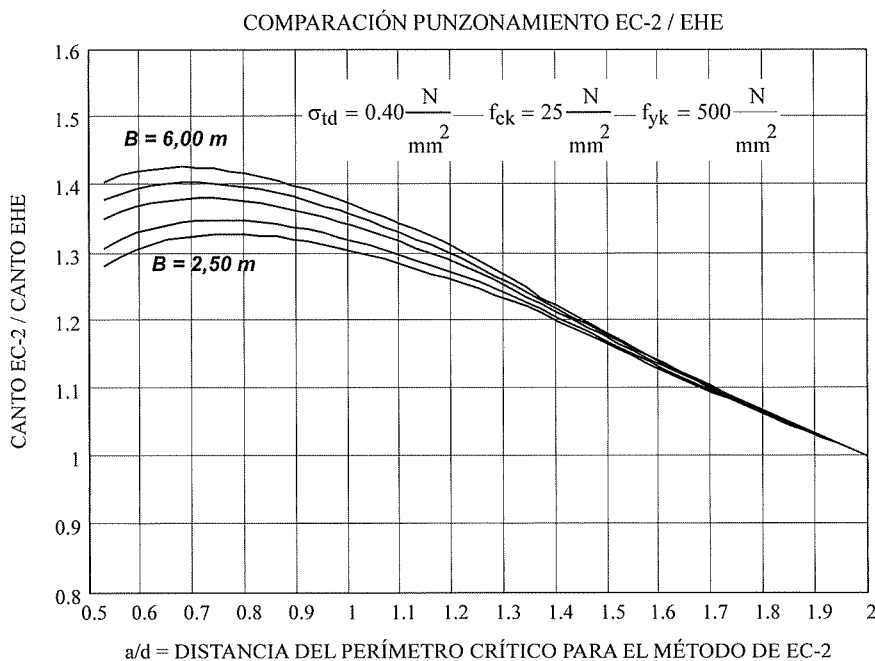


Figura nº 12: Gráfico comparativo entre EC-2 y EHE frente a punzonamiento

Obsérvese que en los casos estudiados se han obtenido cantos de la zapata necesarios por punzonamiento según el Eurocódigo 2 que superan en hasta aproximadamente un 55% a los determinados por el perímetro establecido por EHE, lo que pondría de manifiesto que (tomando como buena la formulación del Eurocódigo) el tratamiento de EHE en este aspecto resultaría inseguro.

Obsérvese además que ambas formulaciones sólo dan lugar al mismo canto de zapata por punzonamiento en el perímetro situado a $2 \cdot d$ de la cara del soporte (relación = 1) en aquellos casos en los que no domina el tope mínimo prescrito por EC-2, es decir, para cuantías de armado que se corresponden con tensiones sobre el terreno moderadas a altas.

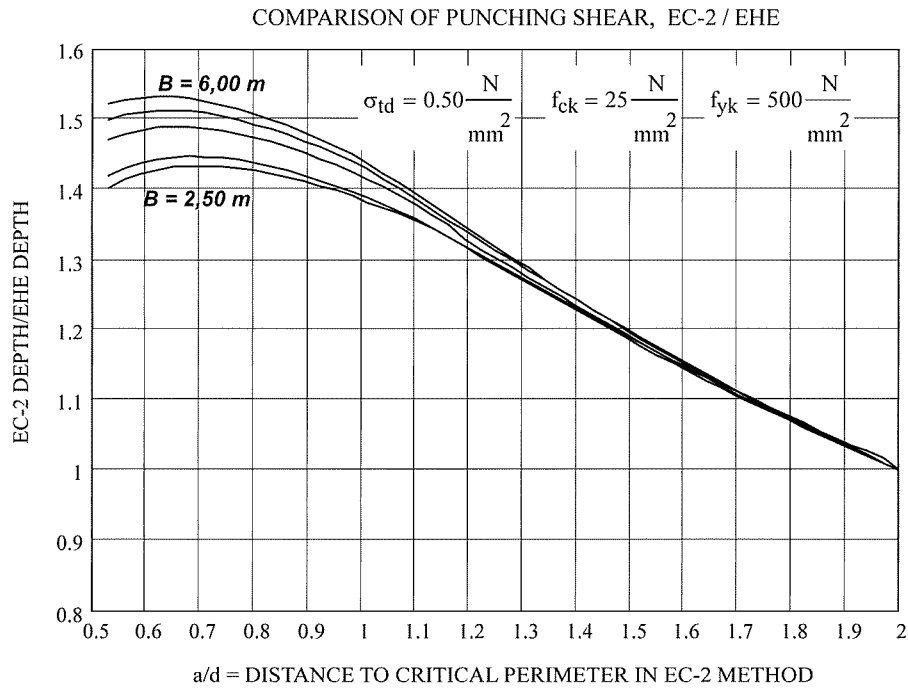


Figure 13: Footing depth required to resist punching shear, comparison between EC-2 and EHE

Practically speaking, however, when determining footing depth, account must also be taken of the ultimate limit state requirements for shear stress, as discussed below.

8. COMPARATIVE ANALYSIS OF THE SHEAR FORMULATION IN EUROCODE 2 AND THE EHE CODE

As noted above, the sole difference between the two formulations lies in the minimum shear strength stipulated in EC-2. The graph below compares the ratio between the depths required to resist shear according to the EHE Code and EC-2, to the length of the side of the footing.

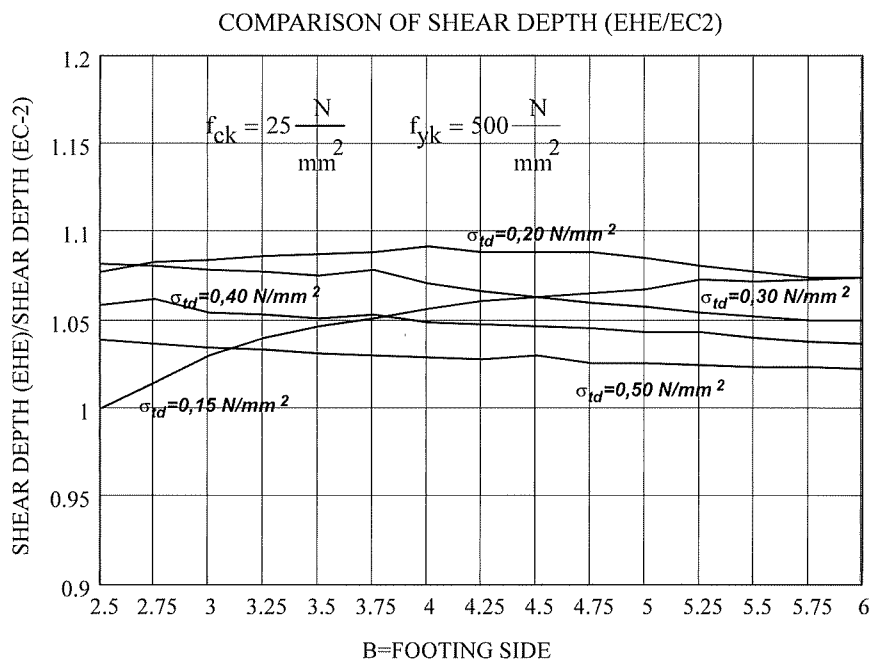


Figure 14: Footing depth required to resist shear, comparison between EHE and EC-2

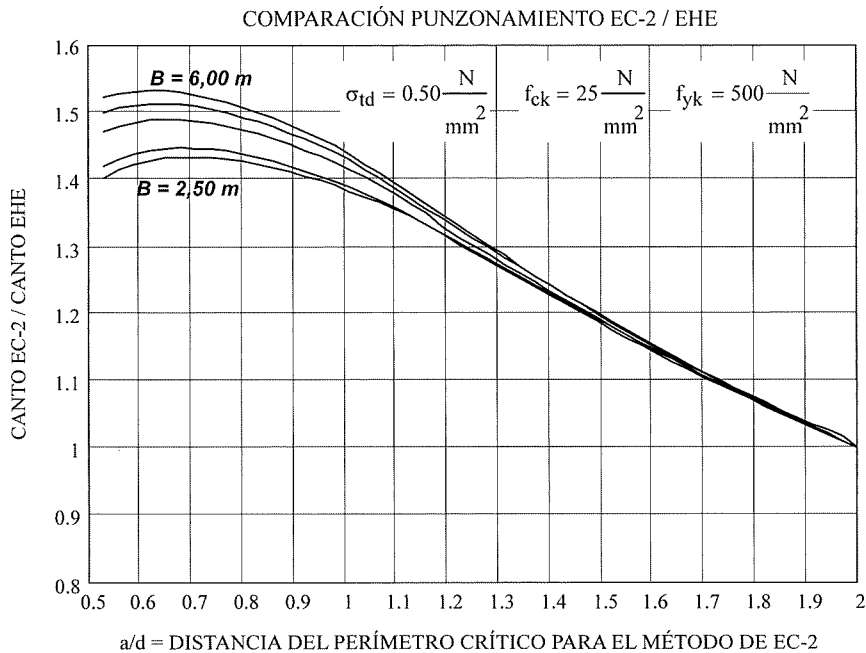


Figura nº 13: Gráfico comparativo entre EC-2 y EHE frente a punzonamiento

No obstante a efectos prácticos de la determinación del canto en el dimensionamiento de zapatas es necesario tener en cuenta además la condición del cumplimiento del estado límite último de esfuerzo cortante, aspecto éste que se tratará a continuación.

8. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA FORMULACIÓN FRENTE A CORTANTE ENTRE EL EUROCÓDIGO EC-2 Y LA INSTRUCCIÓN EHE.

Como ya se ha indicado, la única diferencia entre ambas formulaciones se encuentra en el tope mínimo para la capacidad frente a esfuerzo cortante admitido por EC-2. En el gráfico siguiente se representa el valor del cociente entre el canto necesario por cortante según EHE y el necesario según EC-2.

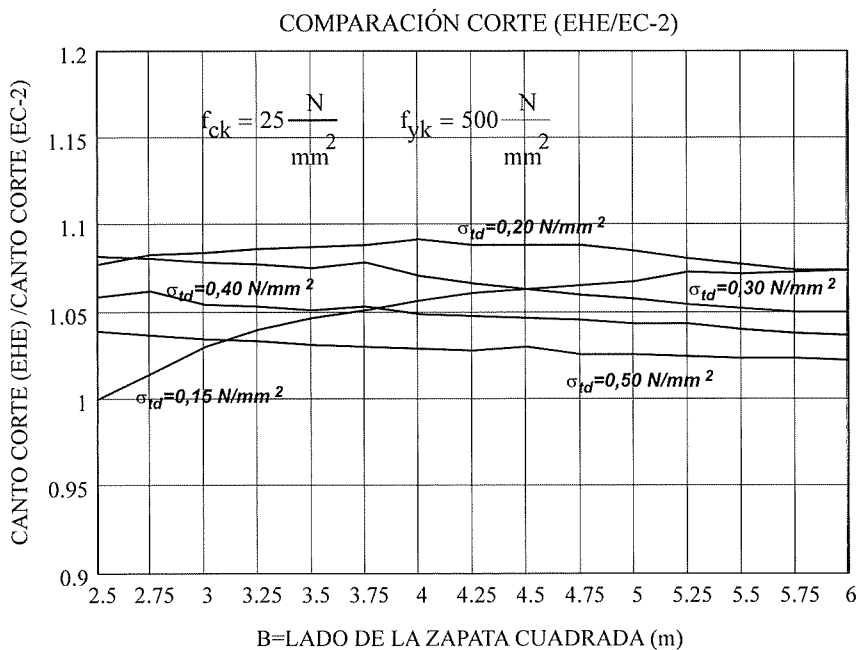


Figura nº 14: Gráfico comparativo entre EHE y EC-2 frente a cortante

Note that while the stipulation of a minimum for reinforcement ratios in footings generates differences in the depth requirements for shear resistance in the two formulations, such differences do not exceed 10%.

9. ANALYSIS OF THE RELATIVE EFFECT OF PUNCHING SHEAR AND SHEAR LIMIT STATES ON THE DETERMINATION OF FOOTING DEPTH UNDER EUROCODE 2

The graphs in Section 6 give the depth required to resist punching shear for each specific case addressed according to EC-2 and show that the conditioning perimeter is, for all practical purposes, the perimeter located at a distance of one effective depth from the column.

The curves depicting the depth required to accommodate shear could also be plotted on the above graphs. To do so, pursuant to Eurocode 2, the expression for the shear strength of the footing:

$$V_{cu}(B, d) = \max \left\{ 0,12 \cdot \xi(d) \cdot [100 \cdot \rho(B, d) \cdot f_{ck}]^{\frac{1}{3}} \cdot B \cdot d; 0,035 \cdot \xi(d)^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} \cdot B \cdot d \right\}$$

would have to be equated to the expression for the design stress on the reference section:

$$V_d(B, d) = \sigma_{td} \cdot \left[\frac{B - b(d, B)}{2} - d \right] \cdot B$$

Such curves would obviously be horizontal lines, given the independence between the depth required to resist shear and the position of the critical perimeter considered for the intents and purposes of punching shear.

The values of the ratio, case by case, between the depth needed to resist shear and the depth needed to resist punching shear are given in the table below:

Footing side (B)	$\sigma_{td} = 0.15$ MPa	$\sigma_{td} = 0.20$ MPa	$\sigma_{td} = 0.30$ MPa	$\sigma_{td} = 0.40$ MPa	$\sigma_{td} = 0.50$ MPa
2.50 m	0.87	0.96	1.04	1.06	1.05
3.00 m	0.89	0.97	1.04	1.05	1.04
4.00 m	0.91	0.98	1.04	1.05	1.03
5.00 m	0.92	0.99	1.04	1.04	1.02
6.00 m	0.92	0.99	1.04	1.04	1.02

Table 1: Ratio between the depth needed to resist shear and the depth needed to resist punching shear according to ec-2

Shear can be readily seen that to prevail in most of the cases analyzed, and where it does not (low or moderate maximum pressure on the soil), the differences are not large, as a rule.

1 ANALYSIS OF THE RELATIVE EFFECT OF PUNCHING SHEAR AND SHEAR LIMIT STATES ON THE DETERMINATION OF FOOTING DEPTH UNDER THE EHE CODE

As noted in the preceding section on Eurocode 2, shear tends to prevail over punching shear in the determination of footing depth.

Como puede observarse, la influencia del tope mínimo, para las cuantías necesarias en las zapatas, no da lugar a diferencias de cantos entre ambas formulaciones superiores al 10%.

9. ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA RELATIVA ENTRE LOS ESTADOS LÍMITE DE PUNZONAMIENTO Y CORTANTE EN LA DETERMINACIÓN DEL CANTO DE LA ZAPATA, SEGÚN EL EUROCÓDIGO EC-2.

En los gráficos mostrados en el Apartado 6, se obtiene, para cada caso particular considerado, el valor del canto necesario por punzonamiento según EC-2 y el perímetro que resulta condicionante que, como se ha indicado, resulta prácticamente el situado a un canto útil.

En dichos gráficos podríamos incluir también las curvas representativas en cada caso del canto necesario por cortante. Para ello, de acuerdo con el Eurocódigo 2, habrá que igualar la expresión de la capacidad frente a esfuerzo cortante de la zapata:

$$V_{cu}(B, d) = \max \left\{ 0,12 \cdot \xi(d) \cdot \left[100 \cdot \rho(B, d) \cdot f_{ck} \right]^{\frac{1}{3}} \cdot B \cdot d; 0,035 \cdot \xi(d)^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} \cdot B \cdot d \right\}$$

con el esfuerzo cortante solicitante de diseño en la sección de referencia:

$$V_d(B, d) = \sigma_{td} \cdot \left[\frac{B - b(d, B)}{2} - d \right] \cdot B$$

Naturalmente, dichas curvas serían rectas horizontales habida cuenta de la independencia del canto necesario por cortante con respecto a la posición del perímetro crítico considerado a efectos de punzonamiento.

Los valores del cociente entre el canto necesario por cortante y el necesario por punzonamiento en cada caso se incluyen en la tabla que se adjunta a continuación:

Lado Zapata (B)	$\sigma_{td} = 0.15 \text{ MPa}$	$\sigma_{td} = 0.20 \text{ MPa}$	$\sigma_{td} = 0.30 \text{ MPa}$	$\sigma_{td} = 0.40 \text{ MPa}$	$\sigma_{td} = 0.50 \text{ MPa}$
2.50 m	0.87	0.96	1.04	1.06	1.05
3.00 m	0.89	0.97	1.04	1.05	1.04
4.00 m	0.91	0.98	1.04	1.05	1.03
5.00 m	0.92	0.99	1.04	1.04	1.02
6.00 m	0.92	0.99	1.04	1.04	1.02

Tabla nº 1: Cociente entre el canto necesario por cortante y el necesario por punzonamiento según ec-2

Resulta inmediato observar que en general la condición de cortante es determinante en buena parte de los casos analizados, y en aquellos en los que no lo es (tensiones máximas admisibles sobre el terreno bajas o moderadas), las diferencias no son en general demasiado importantes.

10. ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA RELATIVA ENTRE LOS ESTADOS LÍMITE DE PUNZONAMIENTO Y CORTANTE EN LA DETERMINACIÓN DEL CANTO DE LA ZAPATA, SEGÚN LA INSTRUCCIÓN EHE.

Como hemos visto en el apartado anterior, es la condición de cortante la que en general determina el canto de la zapata frente a la de punzonamiento según el Eurocódigo 2.

Siendo la formulación de la capacidad frente a esfuerzo cortante de la zapata idéntica entre el Eurocódigo 2 y la

The formulation for shear strength in footings is identical in Eurocode 2 and the EHE Code, with the exception of the minimum stipulated in the former, which that is determinant for small ratios only. In light of that and the fact that the Eurocode approach clearly calls for greater depths to resist punching shear than the EHE Code, shear must obviously prevail in determining footing depth under the latter, as the Graph and Tables below show:

COMPARISON BETWEEN SHEAR AND PUNCHING SHEAR (EHE)

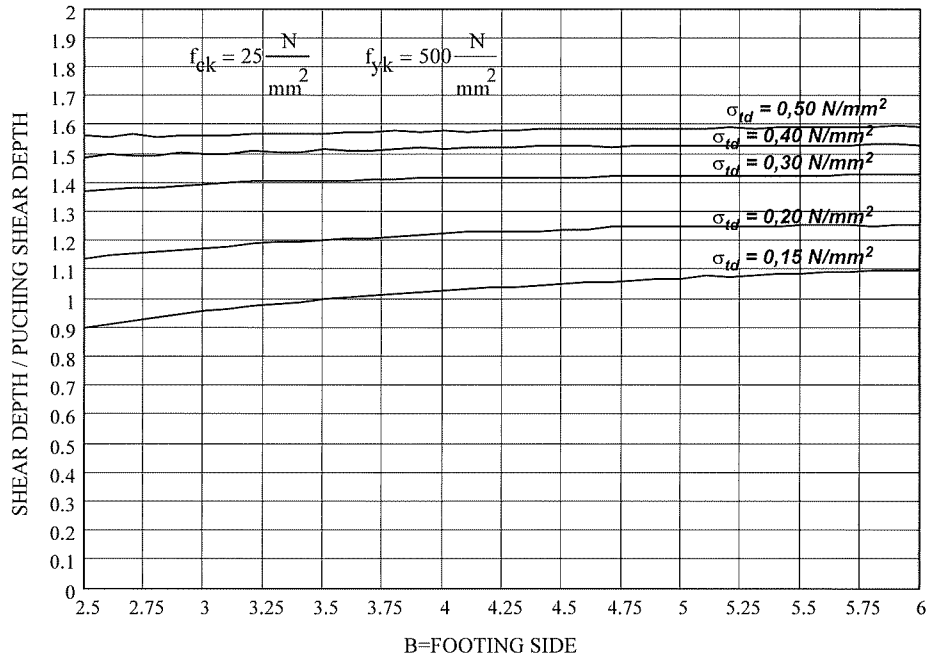


Figure 15: Shear/punching shear in the EHE Code

Footing side (B)	$\sigma_{td} = 0.15 \text{ MPa}$	$\sigma_{td} = 0.20 \text{ MPa}$	$\sigma_{td} = 0.30 \text{ MPa}$	$\sigma_{td} = 0.40 \text{ MPa}$	$\sigma_{td} = 0.50 \text{ MPa}$
2.50 m	0.90	1.14	1.37	1.48	1.56
3.00 m	0.96	1.17	1.39	1.50	1.56
4.00 m	1.03	1.22	1.42	1.51	1.58
5.00 m	1.07	1.25	1.42	1.53	1.59
6.00 m	1.10	1.25	1.43	1.53	1.59

Table 2: Ratio between the depth needed to resist shear and the depth needed to resist punching shear according to ehe

11. CONCLUSIONS

The present paper reviews the criteria laid down in the existing Spanish Structural Concrete Code, EHE, for dimensioning footings within the ultimate limit states for shear and punching shear. These criteria are then compared to what in all likelihood is the most recent regulatory approach in this regard, contained in Eurocode 2 EN 1992-1-1 (December 2004). Although the inspiration for both texts is CEB-FIP Model Code 1990, certain differences can be identified:

- EC-2 establishes a minimum for punching shear and shear resistance in members without transverse reinforcement. As the EHE Code does not, it underestimates the true resistance of members with low steel ratios such as footings.
- The verification of punching shear resistance in footings proposed by EC-2 calls for determining the critical control perimeter by checking all the perimeters located at a distance of less than $2 \cdot d$ from the edge of the

Instrucción EHE, salvo el tope mínimo que sólo es determinante para pequeñas cuantías, y teniendo en cuenta que el planteamiento del Eurocódigo conduce a cantos necesarios por punzonamiento netamente superiores a los de la Instrucción EHE es claro que en ésta última también será la condición de cortante la que determine el canto de la zapata, como puede observarse en el Gráfico y Tabla siguientes:

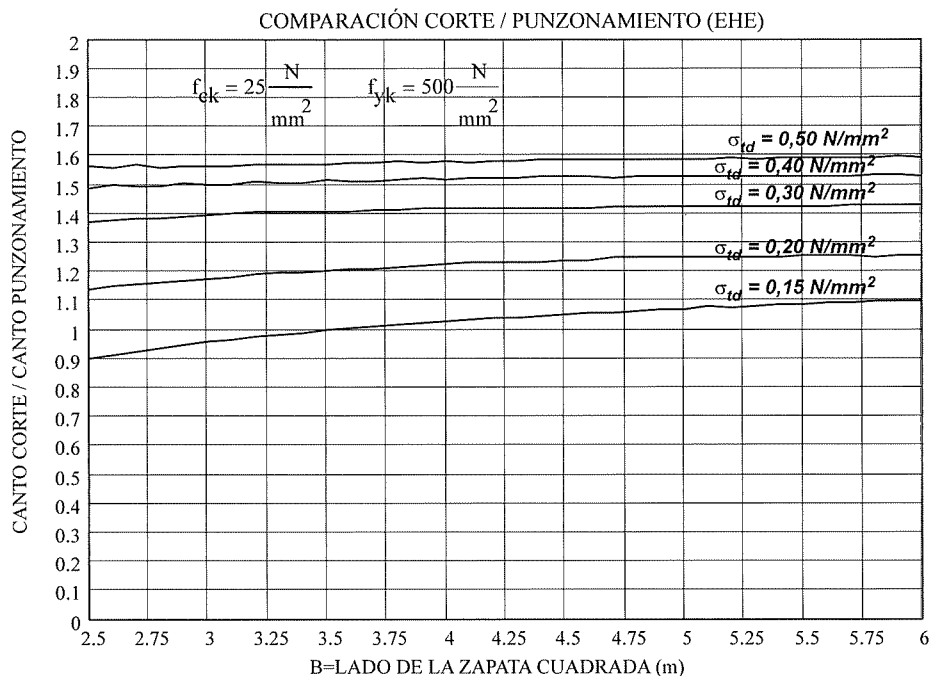


Figura nº 15: Comparación cortante / punzonamiento según EHE

Lado zapata (B)	$\sigma_{td} = 0.15 \text{ MPa}$	$\sigma_{td} = 0.20 \text{ MPa}$	$\sigma_{td} = 0.30 \text{ MPa}$	$\sigma_{td} = 0.40 \text{ MPa}$	$\sigma_{td} = 0.50 \text{ MPa}$
2.50 m	0.90	1.14	1.37	1.48	1.56
3.00 m	0.96	1.17	1.39	1.50	1.56
4.00 m	1.03	1.22	1.42	1.51	1.58
5.00 m	1.07	1.25	1.42	1.53	1.59
6.00 m	1.10	1.25	1.43	1.53	1.59

Tabla nº 2: Cociente entre el canto necesario por cortante y el necesario por punzonamiento según ehe

11. CONCLUSIONES.

Hemos pasado revista a los criterios que para el dimensionamiento de zapatas encuentra el proyectista en la vigente Instrucción de Hormigón Estructural EHE, en relación con el cumplimiento de los estados límite últimos de punzonamiento y cortante. Los hemos comparado con los que recoge la que probablemente representa la tendencia normativa al respecto más reciente: el Eurocódigo 2 EN 1992-1-1 (diciembre de 2004). Pese a que la raíz de ambas normativas se encuentra en el Código Modelo CEB-FIP 1990 podemos señalar algunas diferencias:

- *EC-2 propone topes mínimos para evaluar la capacidad a punzonamiento y cortante en piezas sin armadura transversal. EHE no lo hace, lo cual conduce a infravalorar las capacidades reales en piezas de escasa cuantía como es el caso de las zapatas.*
- *En la comprobación frente a punzonamiento en zapatas propuesta por EC-2 hay que determinar el perímetro de control que resulta crítico, comprobando todos los situados a distancias del contorno del soporte inferiores a 2·d. La capacidad resistente depende también del perímetro considerado en cada caso. El estudio demuestra que*

column. The punching shear strength calculated also depends on the perimeter considered in each case. The present study shows that the value of one effective depth can be adopted for this purpose with no perceptible error, ruling out the need for any further calculations.

- In the EHE Code the checking perimeter (the so-called critical perimeter, located at a distance of $2 \cdot d$ from the edge of the column) is fixed, as is the punching shear strength, insofar as it is independent of the perimeter considered.
- Assuming that the approach to punching shear adopted by EC-2 is correct, the treatment in the EHE Code leads to unsafe results, inasmuch as certain perimeters located at a distance of less than $2 \cdot d$ are less favourable. For stress values σ_{td} of over 0.4 N/mm^2 (service loads on the order of 0.25 N/mm^2), the differences are on the order of 50%.
- In any event, since compliance with the ultimate limit state for shear usually prevails in determining footing depth, regardless of whether the Eurocode 2 or EHE model is used, checking for punching shear is redundant. Punching shear predominates only at service pressures on the soil of 0.10 N/mm^2 (design pressure of 0.15 N/mm^2) in square footings with sides smaller than 3 m, and even then the differences are under 10%.

12. REFERENCES

- (1) CALAVERA, J. "Comparison of Eurocode 2, Model Code 90 and ACI 318-99 with regard to shear and punching provisions for footings". Structural Concrete, 2001, 2, No.4 December, 183-186
- (2) CALAVERA, J. "Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón". 1ª Edición. INTEMAC. Madrid, 1999.
- (3) CALAVERA, J. "Cálculo de estructuras de cimentación". 4ª Edición. INTEMAC. Madrid, 2000.
- (4) "Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón Estructural", EHE. Ministerio de Fomento. Madrid 1998.
- (5) "PrEN 1992-1-1. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1.1: General rules and rules for buildings". Commission of the European Committees. April 2003
- (6) MODEL CODE CEB-FIP FOR CONCRETE STRUCTURES, 1990
- (7) "La EHE explicada por sus autores". 1ª Edición. Leynfor Siglo XXI, S.A. Agosto 2000
- (8) "Guía de aplicación de la Instrucción de Hormigón Estructural. Edificación". Comisión Permanente del Hormigón. 1ª Edición. Ministerio de Fomento. Octubre 2002.
- (9) MATHCAD 2000 Professional. MathSoft, Inc.

puede adoptarse la comprobación a un canto útil sin error apreciable, evitando todo cálculo.

- En la Instrucción EHE el perímetro de comprobación es fijo (el llamado perímetro crítico situado a una distancia $2 \cdot d$ del contorno del pilar) y la capacidad resistente también lo es en el sentido de que resulta independiente del perímetro considerado.
- Tomando como bueno el planteamiento de punzonamiento que propone EC-2, el de la Instrucción EHE resulta inseguro ya que existen perímetros más desfavorables que el situado a una distancia igual a $2 \cdot d$. Para tensiones σ_{td} superiores a $0,4 \text{ N/mm}^2$ (presiones de servicio del orden de $0,25 \text{ N/mm}^2$) las diferencias son del orden del 50%.
- De todas formas, el cumplimiento del estado límite último de esfuerzo cortante es condicionante en general del canto de la zapata, tanto en el Eurocódigo EC-2 como en la Instrucción EHE, por lo que es superflua la comprobación a punzonamiento. Sólo en el caso de presiones en servicio sobre el terreno de $0,10 \text{ N/mm}^2$ (presiones de cálculo de $0,15 \text{ N/mm}^2$) y para zapatas cuadradas de lado inferior a 3 m, rige el punzonamiento, pero las diferencias no superan el 10%.

12. BIBLIOGRAFÍA.

- (1) CALAVERA, J. "Comparison of Eurocode 2, Model Code 90 and ACI 318-99 with regard to shear and punching provisions for footings". Structural Concrete, 2001, 2, No.4 December, 183-186
- (2) CALAVERA, J. "Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón". 1ª Edición. INTEMAC. Madrid, 1999.
- (3) CALAVERA, J. "Cálculo de estructuras de cimentación". 4ª Edición. INTEMAC. Madrid, 2000.
- (4) "Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón Estructural", EHE. Ministerio de Fomento. Madrid 1998.
- (5) "PrEN 1992-1-1. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1.1: General rules and rules for buildings". Commission of the European Committees. April 2003
- (6) MODEL CODE CEB-FIP FOR CONCRETE STRUCTURES, 1990
- (7) "La EHE explicada por sus autores". 1ª Edición. Leynfor Siglo XXI, S.A. Agosto 2000
- (8) "Guía de aplicación de la Instrucción de Hormigón Estructural. Edificación". Comisión Permanente del Hormigón. 1ª Edición. Ministerio de Fomento. Octubre 2002.
- (9) MATHCAD 2000 Professional. MathSoft, Inc.

Relación de Personal Titulado de INTEMAC

Arquitectos

Benito Díez, María Pilar
Fernández Sáez, Ana María
Fraile Mora, Serafín
González Balseyro, María José
López-Nava Muñoz, Alberto Ignacio
Luzón Cánovas, José M^a
Sánchez Arroyo, Jesús M^a
Sevilla Bombín, Esther María
Sicilia Mañá, Beatriz

Ingeniero Aeronáutico

* París Loreiro, Angel
Moreno Toriz, Juan José

Ingenieros de Caminos

Baena Alonso, Eva
Barrios Corpa, Jorge
* Barrios Corpa, Roberto
Brandán Gordillo, Rubén
* Calavera Ruiz, José
Calderón Bello, Enrique
Castillo Fernández, Luis Javier
Corbacho Vicioso, José Angel
Cortés Bretón, Juan María
Corral Folgado, Claudio
De la Cuerda del Olmo, Francisco Javier
De la Fuente Gómez, Ana Isabel
Dávila Sánchez-Toscano, Suyapa
Díaz Heredia, Elena
Díaz Lozano, Justo
Díaz Pavón Cuaresma, Eduardo
Encinar Arroyo, Antonio
Fernández García, Susana
* Fernández Gómez, Jaime Antonio
Fernández Montes, David Constantino
García de Diego Cano, Eva María
González González, Juan José
González Reyero, Carlos
* González Valle, Enrique
* Hostalet Alba, Francisco
* Izquierdo Bernaldo de Quirós, José M^a
Jiménez Ortiz, Gonzalo
* Ley Urzaiz, Jorge
Martínez Hidalgo, José
Munugarren Martínez, Miguel Angel
Penadés Olaso, Sergio
Pérez García, Noemí
Rodríguez Escribano, Raúl Rubén
* Rodríguez Romero, Jesús M^a
Rueda Contreras, Jorge Ladislao
Ruiz Fuentes, María Josefa
Ruiz Jiménez-Alfaro, Felipe
Sanz Pérez, Lorenzo
Sirvent Sirvent, Enrique
Tapia Menéndez, José
Torre Cobo, María Carmen

Torres Pérez, Elisa
Valdés Fernández de Alarcón, Pablo
Villanueva Ramírez, Santiago

Ingeniero en Cartografía y Geodesia

López-Canti Casas, Elisa

Ingenieros Civiles

Almeida da Silva, Pedro Miguel
Sarabando Diamantino, Francisco José
Teixeira Martins, Hermano Tiago

Ingenieros Geólogos

Catalán Navarro, Antonio
Hernández Alvarez, José Luis

Ingeniero I.C.A.I.

Marín Estévez, Gonzalo

Ingenieros Industriales

* Alvarez Cabal, Ramón Amado
Argüelles Galán, Manuel
Arroyo Arroyo, José Ramón
Armengou Lacalle, María Teresa
Bayonne Sopo, Enrique
De la Cruz Morón, Diego
De la Iglesia Rodríguez, Beatriz Marta
Estrada Gómez, Rafael
García Malpartida, Javier
González Carmona, Manuel
Ibañez Mayayo, Miguel
Liébana Ramos, Miguel Angel
Loriente Otal, Iván
López Bravo, Soraya
Martos Ojanguren, Víctor
Pou Esquiús, Carles
Ramírez de la Pinta, Rubén
Rioja San Martín, Oscar
Suárez Fernández, Antonio
Torruella Martínez, Josep M^a
* Valenciano Carles, Federico

Ingeniero de Materiales

Sáez Comet, Carlos

Ingeniero de Minas

González Feito, Pedro Victorino
Ramos Sánchez, Adelina

Ingeniero de Montes

Pérez Fuentes, María Esther

Dra. en Geografía e Historia

Calavera Vayá, Ana María

Licenciada en Administración y Dirección de Empresas

Perales Gómez, Natalia

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.

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

Licenciados en Ciencias Químicas

Fernández Sendino, Marta

Grandes Velasco, Sylvia María

Iglesias Hernaiz, María Angeles

López Sánchez, Pedro

Morgado Sánchez, José Carlos

Licenciados en Derecho

González del Olmo, Alfredo

Jarillo Cerrato, Pedro

Licenciada en Filología HispánicaValentín Sierra, M^a Consuelo**Licenciados en Geología**

Blanco Zorroza, Alberto

Casado Chinarro, Alejandro

Catalán Navarro, Antonio

López Velilla, Oscar

Martín López, Jesús Heliodoro

Salado Rodilla, Luis

Usillos Espín, Pablo

Arquitectos TécnicosCarrato Moñino, Rosa M^a

Fernández Jiménez, Amelia

Galán Rivera, Sofía

Montejano Jiménez, María del Carmen

Muñoz Mesto, Angel

Muñoz Ortega, Andrés

Sanz Burgueño, Miguel Angel

Suárez Leira, Víctor

Vaquero Navarro, Carlos

Vicente Minguela, Francisco

Ingenieros Técnicos Industriales

Alcubilla Villanueva, Rubén

Alvarez Pascual, Javier

Bernal Romero, Manuel Angel

Campano Pérez, María Josefa

Díaz-Trechuelo Laffón, Antonio

García Campos, María de la Luz

Gil Ginesta, Juan Carlos

Madueño López, Javier

Madueño Moraño, Antonio

Martos Sánchez, Rafael

Muñoz Garijo, Francisco Javier

Pérez Berenguer, José Gil

Piñeiro Herrero, Alberto

Rodríguez Luque, Ana María

Sáez Comet, Carlos

Sánchez Bueno, Juan Jesús

Santos Barrero, Francisco Javier

Villar Riñones, Jesús

Ingeniero Técnico en Informática de Gestión

Esteban Pérez, Ramón

Ingeniero Técnico de Minas

Fernández Terán, Francisco Javier

Sillero Arroyo, Andrés

Ingenieros Técnicos Obras Públicas

Carrero Crespo, Rafael

Galán de Cáceres, M^a del Puerto

González Isabel, Germán

González Nuño, Luis

Hernández Velasco, M^a Concepción

Llort Mac Donald, Daniel

Martínez Vicente, Cristina

Mata Soriano, Juan Carlos

Mazuecos Salas, Ildefonso

Montiel Sánchez, Ernesto

Muñoz Martín, Jesús

Muñoz Mesto, Angel

Ortiz del Campo, Natalia

Ozaetta Cabrera, José Aníbal

Pino Vaquero, José Angel

Prieto Malillos, Raquel

Rivera Jiménez, Marta

Romero García, Daniel

Rosa Moreno, José Andrés

Rozas Hernando, José Juan

Sánchez Tomé, Elena

Sillero Olmedo, Rafael

Soto López, Elena del

Vicente Girón, Susana

Ingeniero Técnico de Telecomunicación

Vicent Cantero, Francisco José

Ingenieros Técnicos TopógrafosBarragán Bermejo, M^a Vicenta

Carreras Ruiz, Francisco

Lana Campos, Rebeca

López Jiménez, Luis

Molero Vicente, M^a Isabel

Sánchez Martín, María de la O

Torés Campos, Ana M^a**Técnicos en Administración de Empresas**Cebrián Sobrino, M^a JoséGonzález del Olmo, M^a de la Peña de F.**Técnico en Internet y Correo Electrónico**

Calavera Vayá, Rafael

Técnico en Publicidad

Blanco Armas, Cristina

Topógrafo

Alquézar Falceto, Ricardo

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

CUADERNOS INTEMAC

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

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

Precio de la suscripción Año 2007: 31€



ULTIMOS TITULOS PUBLICADOS

Cuaderno Nº 67

"Confinamiento del hormigón y aplicación al cálculo de pilares zunchados"

Autor: José Calavera Ruiz

Cuaderno Nº 68

"Análisis sobre el tratamiento normativo de la instrucción EHE y del Eurocódigo 2 en relación con los estados límites últimos en punzonamiento y de esfuerzo cortante en zapatas de hormigón armado"

Autores: J. CALAVERA RUIZ
J. M^o RODRÍGUEZ ROMERO

CUADERNOS DE PROXIMA APARICION

Cuaderno Nº 69

"Ménsulas cortas y vigas de apoyo a media madera de hormigón armado"

Autora: Krystyna Nagrodzka-Godycka

Cuaderno Nº 70

"Influencia de diferentes variables en el comportamiento a flexión de secciones de hormigón armado, reforzadas con materiales compuestos"

Autora: Elena Díaz Heredia

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 Nº 5

"Mantenimiento y reparación de paramentos de hormigón".

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

Precio de la Monografía 38 €

MONOGRAFÍA INTEMAC Nº 6

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

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

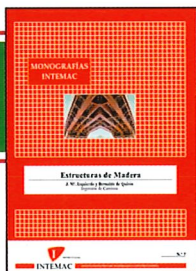
Precio de la Monografía 38 €

MONOGRAFÍA INTEMAC Nº 7

"Estructuras de madera".

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

Precio de la Monografía 38 €



NOTAS DE INFORMACIÓN TÉCNICA NIT

Con independencia de la serie Cuadernos de INTEMAC, de la 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^o Izquierdo y Bernaldo de Quirós; G. González Isabel

Edición en español, en color. 12 páginas

P.V.P: 14 euros



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. 10 páginas P.V.P: 12 euros

VÍDEOS TÉCNICOS Y DVD'S

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

Nº 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.

Nº 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.

Nº 2002 (1-4)

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

35 minutos - 25 €

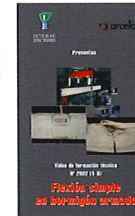


Flexión simple en hormigón armado.

Nº 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.

Nº 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

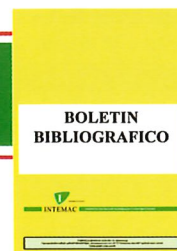
INTEMAC viene realizando desde su fundación un BOLETIN BIBLIOGRAFICO para uso interno, que ofrece, en una lectura rápida, un panorama general de todas las publicaciones técnicas disponibles. Desde 1991, esta publicación bimestral, ha sido puesta a disposición del público.

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.

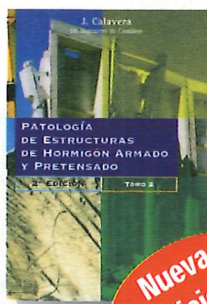
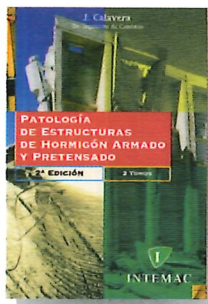
Una sección de Congresos, Reuniones Técnicas y Ferias de próxima celebración en todo el mundo.

Tarifa de suscripción anual (6 números) 200 €



Consulte otras publicaciones

www.intemac.es



Nueva edición

Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado

2ª edición (2 tomos)

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 135 €



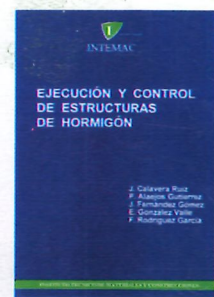
Nueva publicación

Fichas de ejecución de obras de hormigón

2ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 56 €



Nueva publicación

Ejecución y control de estructuras de hormigón

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

Precio: 113 €



Manual para la redacción de informes técnicos en construcción

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 80 €



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. M. Izquierdo, J. Ley Urzaiz

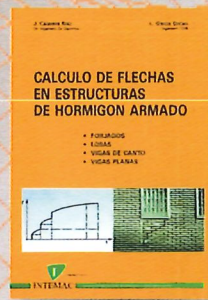
Precio: 64 €



Muros de contención y muros de sótano

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 80 €



Cálculo de flechas en estructuras de hormigón armado

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

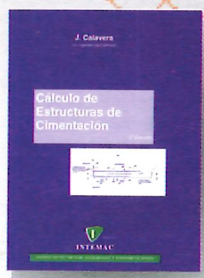
Precio: 53 €



Manual de detalles constructivos en obras de hormigón armado

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Libro: 123 € - CD-ROM 198 €



Cálculo de estructuras de cimentación

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 de hormigón

A. Delibes (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 57 €



INTEMAC

Mario Roso de Luna, 29, Ed. 12 - 28022 MADRID
TEL.: 91 327 74 00 • FAX: 91 327 74 20
e-mail: intemac@intemac.es

www.intemac.es