

CUADERNOS INTEMAC

Criterios para el descimbrado de estructuras de hormigón

Criteria for the striking of concrete structures

Prof. José Calavera Ruiz

Prof. Jaime Fernández Gómez



INTEMAC

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

N.º 3

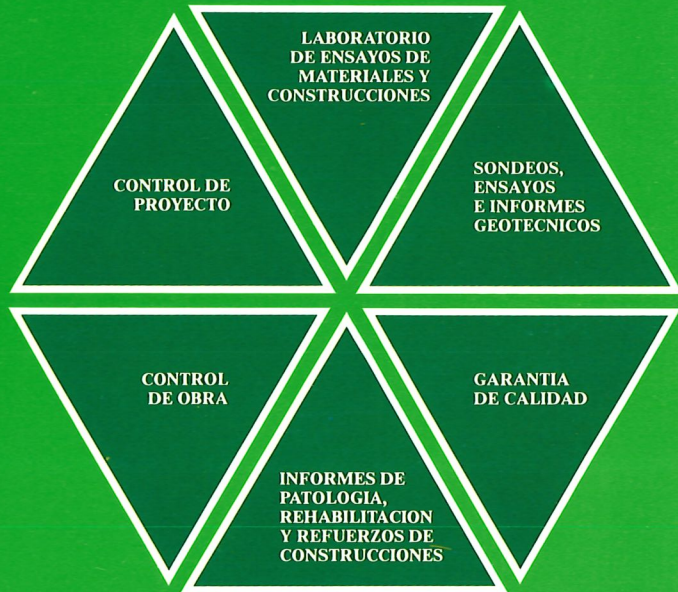
3.º TRIMESTRE. '91



INTEMAC

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

OBRAS PUBLICAS
EDIFICACION
INSTALACIONES



INTEMAC
AUDIT



AUDITORIA TECNICO-ECONOMICA
DE CONSTRUCCIONES

CRITERIOS PARA EL DESCIMBRADO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON

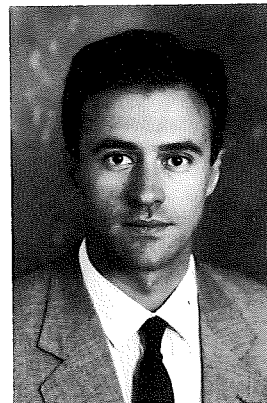
CRITERIA FOR THE STRIKING OF CONCRETE STRUCTURES



Prof. José Calavera Ruiz
Dr. Ingeniero de Caminos
Dr. Civil Engineer

Presidente de INTEMAC. Catedrático de Edificación y Prefabricación de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid.

President of INTEMAC. Professor of Building and Prefabrication at the Technical College of Civil Engineering, Universidad Politécnica de Madrid.



Prof. Jaime Fernández Gómez
Dr. Ingeniero de Caminos
Dr. Civil Engineer

Jefe del Departamento de Ensayos Estructurales del Laboratorio Central de INTEMAC. Profesor Titular de Edificación y Prefabricación de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid.

Head of the Structural Testing Department at INTEMAC's Central Laboratory. Lecturer in Building and Prefabrication at the Technical College of Civil Engineering, Universidad Politécnica de Madrid.

Copyright © 1992, 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.

ISBN 84-87892-03-5

Depósito legal: M-15 259-1991
Torreangulo Arte Gráfico, S. A. - Batalla de Belchite, 19

-
1. INTRODUCTION
 2. GENERAL CONDITION FOR STRIKING
 3. METHODS FOR DETERMINING THE STRIKING PERIOD
 - 3.1. DIRECT METHOD BASED ON TENSILE STRENGTH CONTROL
 - 3.2. INDIRECT METHODS
 - 3.2.1. EVOLUTION DIAGRAMS FOR THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF CONCRETE
 - 3.2.2. METHODS BASED ON THE ESTIMATION OF THE COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE
 4. EXAMPLES OF APPLICATION
 5. COMPARISON WITH SEVERAL STANDARDS
 6. FINAL SUMMARY
 7. BIBLIOGRAPHY

1. INTRODUCCION
2. CONDICION GENERAL PARA EL DESCIMBRADO
3. METODOS PARA LA DETERMINACION DEL PLAZO DE DESCIMBRADO
 - 3.1. METODO GENERAL BASADO EN EL CONTROL DE LA RESISTENCIA A TRACCION
 - 3.2. METODOS INDIRECTOS
 - 3.2.1. CURVAS DE EVOLUCION DE LAS CARACTERISTICAS MECANICAS DEL HORMIGON
 - 3.2.2. METODOS DE DETERMINACION DEL PLAZO DE DESCIMBRADO BASADOS EN LA ESTIMACION DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON
4. EJEMPLOS DE APLICACION
5. COMPARACION CON ALGUNAS NORMAS
6. RESUMEN FINAL
7. BIBLIOGRAFIA

1. INTRODUCTION

Concrete structures are normally constructed on shuttering shored on the ground or on any lower level of the structure. The formwork and shoring bear the whole weight of the structure, except in some cases of construction with prefabricated members and in which only part of the weight is carried.

After a determined period it is necessary to remove the shuttering, and at this moment the structure will bear its own weight plus the foreseeable actions at this time, and all within a sufficient safety margin. For construction and economic reasons this period should be as short as possible and is frequently less than 28 days, an age which is adopted as a point of reference to determine the design strengths of the concrete (on the assumption that curing is carried out in standard conditions $t = 20 \pm 2^\circ \text{C}$, $\text{HR} \geq 95\%$). As such the mechanical properties of concrete at the moment of striking will generally be lower than those considered in design. Normally the actions acting at the moment of striking are lower than the characteristic actions foreseen in the design (this does not occur in some relatively frequent cases of striking multi-storeys). When such an intermediate situation occurs it must be known and analyzed.

In addition and depending on the time of year, the structure may be subject to temperatures higher or lower than 20°C and to a relative humidity which is generally below 95 %, and these variables influence the strength development and, logically, determine the period of striking.

Codes and Standards do not generally deal with the subject of striking, or if they do it is very superficially, and normally with very conservative criteria. In practice striking is carried out in accordance with building experience, which leads to very conservative criteria.

Striking has a very direct influence on the cost of reinforced concrete constructions and also in their speed of execution, justifying the importance of the present paper. In section 5 there is a summary of some of the Standards dealing with the subject and a comparison is made with the results derived from this study.

2. GENERAL CONDITION FOR STRIKING

The criteria to be established for the striking of a structure is to verify that under the actions which are applied at that moment, the structure has enough safety against ultimate limit and service states to withstand the stresses that are produced.

In accordance with Spanish Standard EH-91, we can assume:

- Tensile strength $= 0.45 \sqrt[3]{f_{ck}^2}$
- Shear strength $= 0.5 \sqrt{f_{cd}}$
- Shear strength at the interface $= k \sqrt{f_{cd}}$ (k variable with surface roughness)
- Punching strength $= 0.5 \sqrt{f_{cd}}$
- Instantaneous strain module $= 19000 \sqrt{f_{ck}}$

where f_{ck} y f_{cd} are the characteristic and design strengths of compressive concrete.

Table no. 1 taken from J. CALAVERA (1), (2)(*) indicates the relation between the strength ratio $\frac{f_{cj}}{f_{c28}}$ of concrete in compression and shear, shear at the interface and punching strengths (proportional to $\sqrt{f_{cj}}$), tensile and bond strengths (proportional to $\sqrt[3]{f_{cj}^2}$), and bending for high and low quantities of reinforcement. (f_{cj} is the compressive strength to j days of age).

It can be seen that if we consider the ratios between the strengths stipulated in Standard EH-91 to be valid, the critical strength that conditions the problems of striking is tensile and bond strength.

(*) The numbers between brackets refer to the bibliography listed at the end of this publication.

1. INTRODUCCION

Las estructuras de hormigón se construyen habitualmente sobre cimbras apuntaladas sobre el terreno o sobre otro nivel inferior de estructura. Los encofrados y el apuntalamiento soportan el peso total de la estructura, salvo en algunos casos de construcción con piezas prefabricadas en las cuales sólo soportan parte de éste.

A un determinado plazo se hace necesario retirar el cimbrado, debiendo en ese momento la estructura soportar su peso propio más las acciones previsibles en ese momento, y todo ello con un margen de seguridad suficiente. Este plazo, por motivos constructivos y económicos, debe ser lo más corto posible y es frecuentemente inferior a 28 días, edad que se adopta como referencia para definir las resistencias de proyecto del hormigón (supuesto que se realiza el curado en condiciones estándar $t = 20 \pm 2^\circ \text{C}$, $\text{HR} \geq 95\%$), y por lo tanto las propiedades mecánicas del hormigón en el momento del descimbrado serán en general inferiores a las consideradas en proyecto. Normalmente las acciones actuantes en el momento del descimbrado son inferiores a las acciones características previstas en proyecto (esto no se cumple en algunos casos relativamente frecuentes de cimbrado de plantas consecutivas), por lo que se producirá una situación intermedia que es necesario conocer y analizar.

Además, la estructura puede estar sometida, según la época del año de que se trate, a unas temperaturas más bajas o quizá superiores a 20°C y a una humedad relativa generalmente inferior al 95 %, y por lo tanto estas variables influirán en el desarrollo de resistencias y lógicamente en la determinación del plazo de descimbrado.

En general las diferentes Normas e Instrucciones no tratan, o lo hacen muy superficialmente, el tema del descimbrado y habitualmente lo hacen con criterios muy conservadores. En la práctica, el descimbrado viene realizándose de acuerdo con la experiencia de obra, lo que conduce también a criterios muy conservadores.

En descimbrado influye muy directamente en el coste de las construcciones de hormigón armado y también en su velocidad de ejecución y ello es el motivo del presente trabajo. En el apartado 5 se resumen las especificaciones de algunas Normas sobre el tema y se hace una comparación con los resultados que se derivan de este estudio.

2. CONDICION GENERAL PARA EL DESCIMBRADO

El criterio para establecer cuando una estructura puede descimbrarse es verificar que, bajo las acciones que sean de aplicación en ese momento, la estructura tiene suficiente seguridad frente a estados límites últimos y de servicio para soportar los esfuerzos que se producen.

De acuerdo con la Instrucción Española EH-91, se tiene:

- Resistencia a tracción $= 0,45 \sqrt[3]{f_{ck}^2}$
- Resistencia a corte $= 0,5 \sqrt{f_{cd}}$
- Resistencia a rasante $= k \sqrt{f_{cd}}$ (k variable con la rugosidad)
- Resistencia a punzonamiento $= 0,5 \sqrt{f_{cd}}$
- Módulo de deformación instantáneo $= 19000 \sqrt{f_{ck}}$

donde f_{ck} y f_{cd} son las resistencias características y de cálculo, respectivamente, del hormigón a compresión.

En la Tabla n.º 1 tomada de J. CALAVERA (1), (2)(*) se indican, en función de la relación de resistencias $\frac{f_{cj}}{f_{c28}}$ del hormigón a compresión, la evolución de las resistencias a corte, rasante y punzonamiento (proporcionales a $\sqrt{f_{cj}}$), a tracción y adherencia (proporcionales a $\sqrt[3]{f_{cj}^2}$), y a flexión para cuantía alta y baja de armaduras. (f_{cj} es la resistencia a compresión a j días de edad).

Como se puede observar, si consideramos válidas para cualquier edad las relaciones entre resistencias estipuladas por la Instrucción EH-91, la resistencia crítica que condiciona los problemas de descimbrado es la resistencia a tracción y adherencia.

(*) Los números entre paréntesis indican referencias bibliográficas relacionadas al final del trabajo.

TABLE No. 1

FRACTION REACHED FOR COMPRESSIVE STRENGTH	CORRESPONDING STRENGTH FRACTIONS REACHED FOR THE REMAINING STRENGTHS				
	COMPRESSION	TENSILE & BOND	SHEAR, INTERFACE & PUNCHING	SIMPLE BENDING	
f_{cj} / f_{c28}	$\sqrt[3]{\left(\frac{f_{ctj}}{f_{ct,28}}\right)^2}$	$\sqrt{\frac{f_{cj}}{f_{c28}}}$	LOW STEEL RATIO	HIGH STEEL RATIO	$\sqrt{\frac{f_{cj}}{f_{c28}}}$
0	0	0	0	0	0
0.25	0.40	0.50	0.81	–	0.50
0.50	0.63	0.71	0.94	0.85	0.71
0.75	0.83	0.87	0.99	0.88	0.87
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Evidently the strength which evolves the slowest is the compressive strength, but it will only be determinant in the case of columns, and in practice it is not common that the columns determine the striking of a structure. A similar reasoning may be made in the case of tensile strength, which is not directly considered in the calculation of reinforced concrete structures. Tensile strength, however, is directly connected to phenomenon of anchorage and shear, and as such is adopted as a critical strength in the calculation of striking periods (*).

In accordance with the above, if we have a structure with a characteristic load q_k , which at the moment of striking is stressed to a fraction of this action αq_k , the striking may be carried out if it is verified (**).

$$f'_{ckt,0} \geq \frac{\gamma'_f}{\gamma_f} \alpha f'_{ckt,28} \quad [1]$$

where $f'_{ckt,28}$ is the direct tensile strength of the concrete under standard curing 28 days age, $f'_{ckt,0}$ the direct tensile strength at the time of striking under site curing conditions, γ_f the design safety factors (generally $\gamma_f = 1,60$) and γ'_f the safety factor applicable to the situation corresponding to striking, which on being a temporary situation may be lower than the design factor provided that is not lower than 1.25 in accordance with EH-91.

This is the exact and complete definition for the calculation of the striking period. In practice some of the following methods may be employed, taking into consideration the limitations described.

(*) By saying that the tensile strength is the critical strength for striking, it is assumed that the γ_f ratios corresponding to the different ultimate limit states are equal in relation to each other and that they are strictly of the required value. In practice this is not normally the case, but any criteria for striking which is suitable for the execution of the work has to be simple and based on such a hypothesis. For a particular case, and especially in pathological studies, the individual consideration of each γ_f value may be adequate.

(**) The value of α does not generally depend solely on the own weight of the structural member, but also on the foreseeable additional loading on the construction and the eventual possibility of snow.

TABLA N.º 1

FRACCION ALCANZADA DE LA RESISTENCIA A COMPRESION	FRACCIONES DE RESISTENCIA CORRESPONDIENTE ALCANZADA PARA LAS REstantes RESISTENCIAS				
RELACION A COMPRESION	TRACCION Y ADHERENCIA	CORTE, RASANTE Y PUNZONAMIENTO	FLEXION SIMPLE		DEFORMACIONES
f_{cj} / f_{c28}	$\sqrt[3]{\left(\frac{f_{ctj}}{f_{ct,28}}\right)^2}$	$\sqrt{\frac{f_{cj}}{f_{c28}}}$	CUANTIA BAJA	CUANTIA ALTA	$\sqrt{\frac{f_{cj}}{f_{c28}}}$
0	0	0	0	0	0
0,25	0,40	0,50	0,81	-	0,50
0,50	0,63	0,71	0,94	0,85	0,71
0,75	0,83	0,87	0,99	0,88	0,87
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Evidentemente la resistencia que evoluciona más despacio es la resistencia a compresión, pero sólo resultaría condicionante en el caso de los pilares, y en la práctica es infrecuente el caso de que los pilares condicionen el descimbrado de una estructura. Podría hacerse un razonamiento semejante para el caso de la resistencia a tracción, la cual no se considera directamente en el cálculo de estructuras de hormigón armado. Sin embargo, la resistencia a tracción está directamente ligada con los fenómenos de anclaje y corte, y por lo tanto se adopta como resistencia crítica para el cálculo de plazos de descimbrado (*).

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, si tenemos una estructura con una acción característica de proyecto q_k , y que en el momento del descimbrado va a estar sometida a una fracción de esta acción αq_k , podremos realizar el descimbrado en el plazo en que se verifique (**).

$$f'_{ckt,0} \geq \frac{\gamma'_f}{\gamma_f} \alpha f'_{ckt,28} \quad [1]$$

siendo $f'_{ckt,28}$ la resistencia a tracción directa del hormigón en curado estándar a los 28 días de edad, $f'_{ckt,0}$ la resistencia a tracción directa del hormigón de la obra a la edad de descimbrado en sus condiciones de curado en obra, γ_f el coeficiente de mayoración de acciones de proyecto (en general $\gamma_f = 1,60$) y γ'_f el coeficiente de mayoración de acciones aplicable a la situación correspondiente al descimbrado, que por tratarse de una situación temporal puede ser menor que el de proyecto sin que de acuerdo con EH-91 pueda ser inferior a 1,25.

Esta es la definición exacta y completa para el cálculo del plazo de descimbrado. Para su aplicación en la práctica pueden seguirse, con las limitaciones que expondremos, alguno de los métodos que a continuación pasamos a describir.

(*) Al decir que la resistencia a tracción es la crítica para el descimbrado, se está suponiendo que los coeficientes γ_f correspondientes a los diferentes estados límites últimos son iguales entre sí y tienen estrictamente el valor reglamentario. En la práctica esto no suele ser así, pero cualquier criterio de descimbrado apto para la ejecución de las obras ha de ser simple y por eso se parte de tal hipótesis. Para un caso particular, especialmente en estudios de patología, puede ser adecuada la consideración individual de cada valor γ_f .

(**) En general el valor de α no depende solamente del peso propio de la pieza descimbrada, sino también de la previsible sobrecarga de construcción y eventualmente de la posible existencia de nieve.

3. METHODS FOR DETERMINING THE STRIKING PERIOD

3.1. Direct method based on tensile strength control

This is the direct and experimental method derived from the calculation of the member to be struck. Given that $f'_{\text{ckt},28}$ is known, we may strike our structure when $f'_{\text{ckt},0}$ (direct tensile strength of the site concrete, cured under site conditions) complies with formula [1].

Testing of direct tensile strength of concrete, which is normally related to fracture mechanics, is difficult and delicate to carry out, and impossible to employ for general site control.

In order to employ the method in practice we may assume that the direct tensile strength (f'_{ckt}) is approximately proportional to that obtained in indirect tensile testing (Brazilian) f_{ckt} enabling the use of the expression

$$f'_{\text{ckt}} = 0.85 f_{\text{ckt}} \quad [2]$$

and therefore, when substituted in [1] gives:

$$f_{\text{ckt},0} \geq \frac{\gamma'_f}{\gamma_f} \alpha f_{\text{ckt},28} \quad [3]$$

a) First alternative

There are two possibilities: one is to establish the tensile strength of concrete by the "Brazilian test", $f_{\text{ckt},28}$, at the beginning of the work and then to control $f_{\text{ckt},0}$ by way of additional test specimens in some samples in order to carry out the quality control of the site concrete. These test pieces must be cured under similar conditions to those of the structure. Testing them at different ages we may determine the moment in which concrete reaches the minimum value required for striking.

b) Second alternative

The second possibility for the employment of formula [3] consists of using the ratio between direct tensile strength and compressive strength indicated in Standard EH-91.

$$f'_{\text{ckt},28} = 0.45 \sqrt[3]{f_{\text{ck},28}^2}$$

Thereby establishing:

$$f_{\text{ckt},0} \geq \frac{\gamma'_f}{\gamma_f} \alpha \frac{0.45}{0.85} \sqrt[3]{f_{\text{ck},28}^2} \quad [4]$$

or:

$$f_{\text{ckt},0} \geq 0.53 \frac{\gamma'_f}{\gamma_f} \alpha \sqrt[3]{f_{\text{ck},28}^2} \quad [5]$$

thus we are now provided with a value of tensile strength under the Brazilian test exigible for the on site cured specimens in terms of the characteristic compressive design strength.

But it is not as correct as it seems on first appearances to use formula [4] to calculate $f_{\text{ckt},0}$ as the corresponding function of in situ compressive strength because this relation is not valid for short curing periods, as demonstrated in the investigations gathered in reference (4).

For both methods it is necessary to point out that the value of $f_{\text{ckt},0}$, required for the structural concrete and estimated from additional test pieces, should be considered as characteristic. It may be estimated applying the same criteria as that considered in Code EH-91 to determine the estimated characteristic compressive strength.

3. METODOS PARA LA DETERMINACION DEL PLAZO DE DESCIMBRADO

3.1. Método general basado en el control de la resistencia a tracción

Este es el método directo y experimental que se deriva de la definición del cálculo del plazo de descimbrado. Dado que $f'_{ckt,28}$ es conocida, podremos descimbrar nuestra estructura cuando $f'_{ckt,0}$ (resistencia a tracción directa del hormigón de obra, curado en las condiciones de la obra) cumpla la relación de la fórmula [1].

Los ensayos de tracción directa del hormigón, normalmente relacionados con la mecánica de la fractura, son difíciles y delicados de realizar, no siendo posible su empleo para el control de obras en general.

Para poder utilizar el método en la práctica podemos basarnos en que aproximadamente la resistencia a tracción directa (f'_{ckt}) es proporcional a la obtenida en ensayos de tracción indirecta (brasileño) f_{ckt} , pudiendo admitirse la expresión

$$f'_{ckt} = 0,85 f_{ckt} \quad [2]$$

y por lo tanto, sustituyendo en [1] resulta:

$$f_{ckt,0} \geq \frac{\gamma'_f}{\gamma_f} \cdot \alpha \cdot f_{ckt,28} \quad [3]$$

a) Variante 1

Existen dos posibilidades: una es determinar la resistencia a tracción en ensayo brasileño del hormigón a utilizar, $f_{ckt,28}$, bien con probetas adicionales en los ensayos característicos o en unas amasadas de prueba, podemos averiguar la resistencia a tracción indirecta exigible al hormigón de obra $f_{ckt,0}$. Según este criterio, necesitamos controlar $f_{ckt,0}$ mediante probetas adicionales en alguna de las amasadas muestreadas para realizar el control de calidad del hormigón de la obra o fabricar alguna serie adicional de probetas. Estas probetas deberán curarse en condiciones análogas a las de la estructura, y mediante su ensayo a diferentes edades podemos determinar el momento en el que se alcanza el valor mínimo para poder descimbrar.

b) Variante 2

La segunda posibilidad de empleo de la fórmula [3] consiste en utilizar la relación que contempla la Instrucción EH-91 entre la resistencia a tracción directa y la resistencia a compresión

$$f'_{ckt,28} = 0,45 \sqrt{f_{ck,28}^2}$$

Pudiendo establecerse:

$$f_{ckt,0} \geq \frac{\gamma'_f}{\gamma_f} \alpha \frac{0,45}{0,85} \sqrt[3]{f_{ck,28}^2} \quad [4]$$

o bien:

$$f_{ckt,0} \geq 0,53 \frac{\gamma'_f}{\gamma_f} \alpha \sqrt[3]{f_{ck,28}^2} \quad [5]$$

con lo cual disponemos ya de un valor de la resistencia a tracción en ensayo brasileño exigible a las probetas curadas en obra en función de la resistencia característica a compresión de proyecto.

No es válido, como parecería a simple vista, utilizar la fórmula [4] para sustituir $f_{ckt,0}$ por su correspondiente expresión en función de la resistencia a compresión en obra, dado que para cortas edades, tal y como se demostró en los trabajos de investigación recogidos en la referencia (4), esta relación no es válida.

Por cualquiera de los dos métodos indicados hay que señalar que el valor de $f_{ckt,0}$, exigible al hormigón de la estructura y estimado a partir de probetas adicionales, debe considerarse como característico. Puede estimarse aplicando a los ensayos de información los mismos criterios que la Instrucción EH-91 contempla para determinar la resistencia característica estimada a compresión.

3.2. Indirect methods

3.2.1. Evolution diagrams for the mechanical characteristics of concrete

Another possibility for the determination of striking periods is to use evolution diagrams for the mechanical characteristics of concrete at different temperatures.

Figure 1 charts the results of KLIEGER (3) completed by GARDNER (4), showing the evolution of tensile strength of concrete made with North American cements, and cured at different temperatures. By using curves of this type and the α ratio on the ordinate axis, we may determine the period which is necessary to achieve minimum strength.

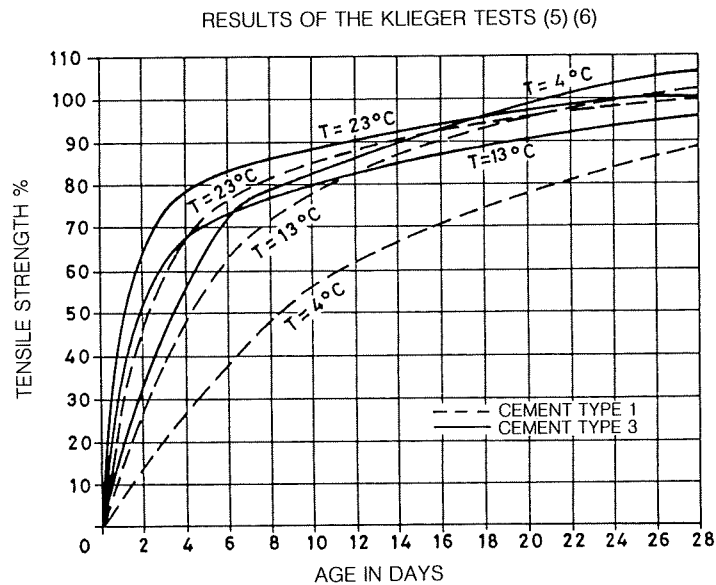


FIG. 1

In his doctoral thesis J. FERNANDEZ GOMEZ (5) carried out an extensive study on the evolution of the mechanical properties of concrete made with different types of cement. He specifically studied the evolution of compressive strength, tensile strength by the Brazilian test, bond strength by the PULL-OUT test, and the evolution of the module of elasticity. This was all studied within a temperature range of +2° C to +40° C, with medium and high humidities, using concrete made with four different types of cement: (*)

- Ordinary Portland cement, P-350 (actual type I).
- Portland cement PA-350, with addition of puzzolana (actual type II).
- Portland cement PA-350, with addition of slag (actual type II).
- High initial strength ordinary Portland cement, P-450 ARI (actual type I).

The investigation revealed several important results, some of which are detailed below:

1. The critical strength to determine the striking periods is not always tensile strength but may in some cases be bond strength. However, the differences are not important, and for practical purposes the diagrams for tensile strength may be used as the critical strength for striking.

(*) We have employed the designation of types of cement prevailing at the time of writing of the said doctoral thesis.

3.2. Métodos indirectos

3.2.1. Curvas de evolución de las características mecánicas del hormigón

Una posibilidad directa para la determinación de plazos de descimbrado es la utilización de curvas de evolución de las características mecánicas del hormigón a diferentes temperaturas.

La Figura n.º 1 recoge los resultados de KLIEGER (3) completados por GARDNER (4), de evolución de la resistencia a tracción para hormigones fabricados con cementos norteamericanos, curados a diferentes temperaturas. Mediante curvas de este tipo, y entrando con la relación α de cargas en el eje de las ordenadas, determinamos en la curva correspondiente el plazo necesario para conseguir la resistencia mínima.

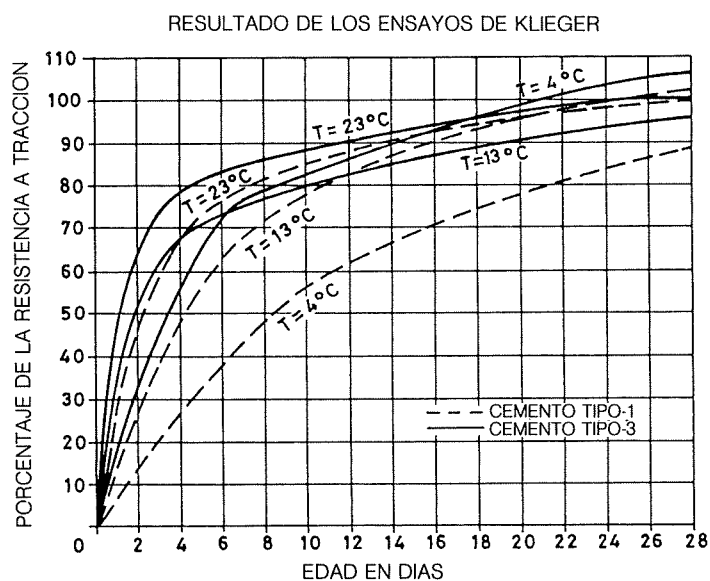


FIGURA 1

En la tesis doctoral de J. FERNANDEZ GOMEZ (5) se realizó un estudio muy amplio sobre evolución de las características mecánicas de hormigones fabricados con diferentes tipos de cementos. Concretamente, se estudió la evolución de la resistencia a compresión, la resistencia a tracción en ensayo brasileño, la adherencia mediante ensayo PULL-OUT, y la evolución del módulo de deformación, para hormigones fabricados con diferentes tipos de cementos. Se estudió todo ello dentro del rango de temperaturas de +2° C y +40° C, con humedades media y alta, utilizando hormigones fabricados con cuatro tipos diferentes de cemento (*):

- Un Portland normal, P-350 (Actual tipo I).
- Un Portland con adiciones activas, PA-350, con adición de puzolana (Actual tipo II).
- Un Portland con adiciones activas, PA-350, con adición de escorias (Actual tipo II).
- Un Portland de alta resistencia inicial, P-450 ARI (Actual tipo I).

La investigación puso de manifiesto algunos resultados importantes, entre los que podríamos señalar:

1. La resistencia crítica para determinar los plazos de descimbrado no resulta ser siempre la resistencia a tracción, siendo en algunos casos la adherencia. No obstante las diferencias no son importantes, y a efectos prácticos pueden utilizarse las curvas de resistencia a tracción como críticas para el descimbrado.

(*) Se emplea la designación de cementos vigentes al redactar la tesis doctoral citada.

2. The formula $f'_{\text{ckt},28} = 0.45\sqrt[3]{f_{\text{ck},28}^2}$, while being a good approximation for the estimation of tensile strength after 28 days of standard curing and for the establishment of compressive strength under the same conditions, is not applicable to shorter curing periods and all types of curing.
3. It is not possible to apply the concept of "maturity" and "corrected age" to cements containing additions for temperatures below 10° C.
4. A great difference was found in the behaviour of cement with additions according to the type of addition employed (*). This makes it difficult to generalize on procedures of striking for this type of cement.

EVOLUTION CURVES OF THE CRITICAL RESISTANCE FOR STRIKING
(ENVELOPING TENSION AND BOND) ACCORDING TO J. FERNANDEZ GOMEZ (5)

CEMENT P-350

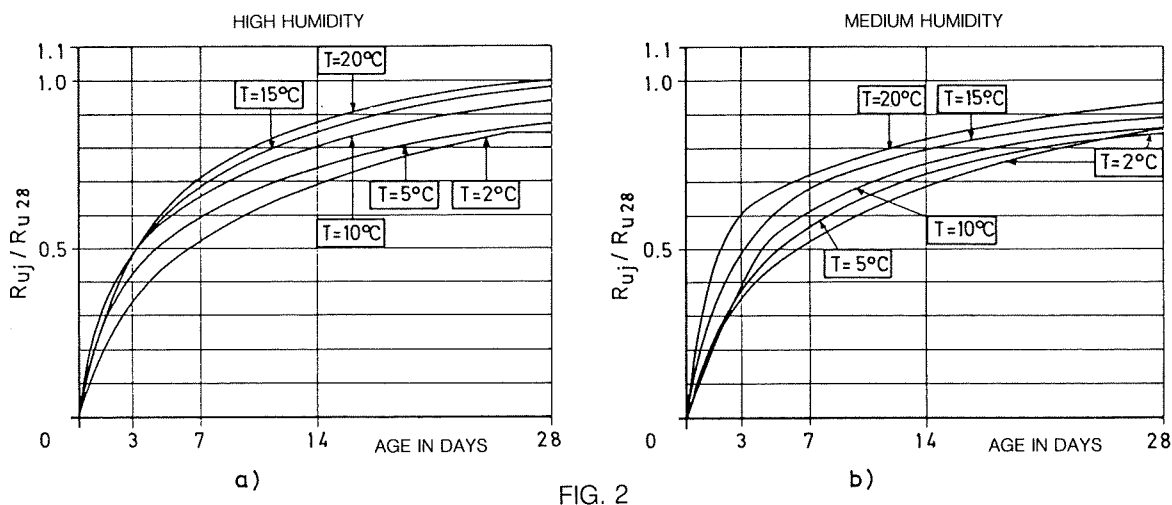


FIG. 2

CEMENT PA-350 (PUZZOLANA ADDITIVE)

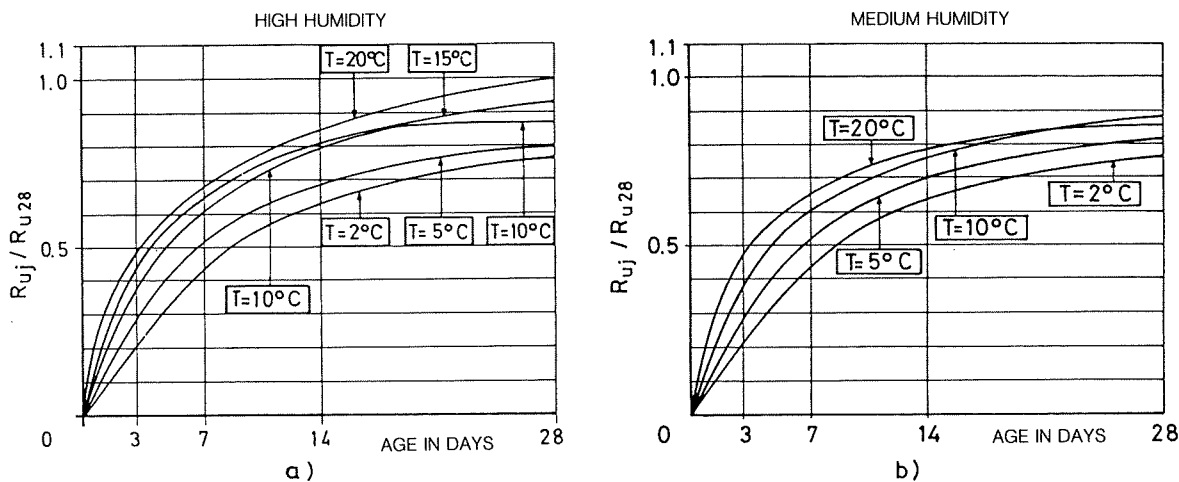


FIG. 3

(*) In his doctoral thesis B. PEREPEREZ (6) had already detected the different behaviour of the PA cements in relation to the type of addition employed.

2. La fórmula $f'_{ck,28} = 0,45\sqrt[3]{f^2_{ck,28}}$, aunque supone una buena aproximación para estimar la resistencia a tracción a 28 días en curado estándar partiendo de la resistencia a compresión en las mismas condiciones, no es aplicable a edades cortas y cualquier tipo de curado.
3. El concepto de «madurez» y «edad corregida», para tener en cuenta temperaturas de curado diferentes de la estándar, no es aplicable a los cementos de adición para temperaturas inferiores a 10° C.
4. Se encontró una gran diferencia en el comportamiento de los cementos de adición según el tipo de adición (*). Esto complica el generalizar procedimientos de descimbrado para este tipo de cementos.

CURVAS DE EVOLUCION DE LA RESISTENCIA CRITICA PARA EL DESCIMBRADO
(ENVOLVENTE DE TRACCION Y ADHERENCIA) SEGUN J. FERNANDEZ GOMEZ

CEMENTO P-350

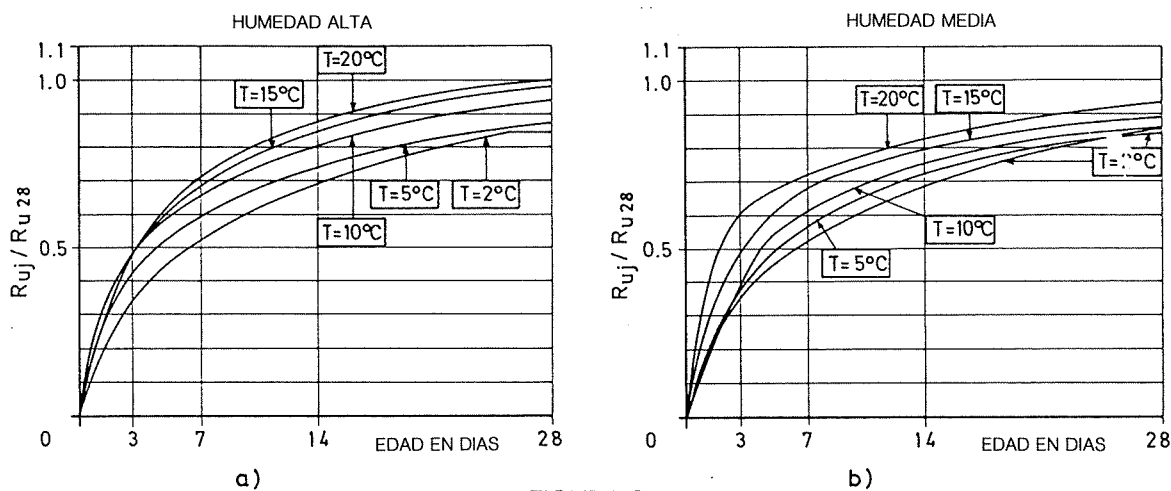


FIGURA 2

CEMENTO PA-350 (ADICION PUZOLANA)

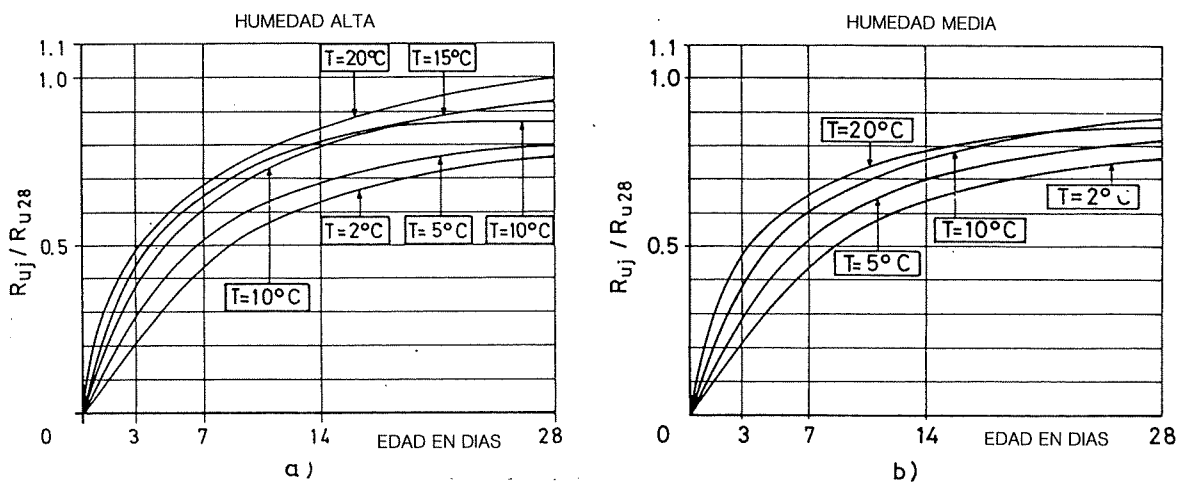


FIGURA 3

(*) En la tesis doctoral de B. PEREPEREZ (6) ya se había detectado el diferente comportamiento de los cementos PA en función del tipo de adición.

EVOLUTION CURVES OF THE CRITICAL RESISTANCE FOR STRIKING
(ENVELOPING TENSION AND BOND) ACCORDING TO J. FERNANDEZ GOMEZ (4)

CEMENT PA-350 (SLAG ADDITIVE)

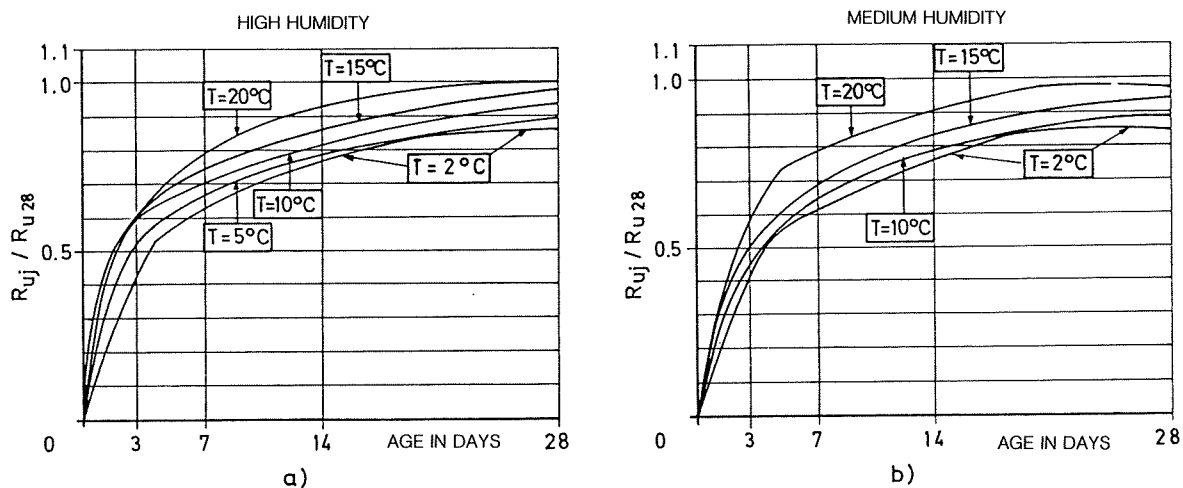


FIG. 4

CEMENT P-450 ARI

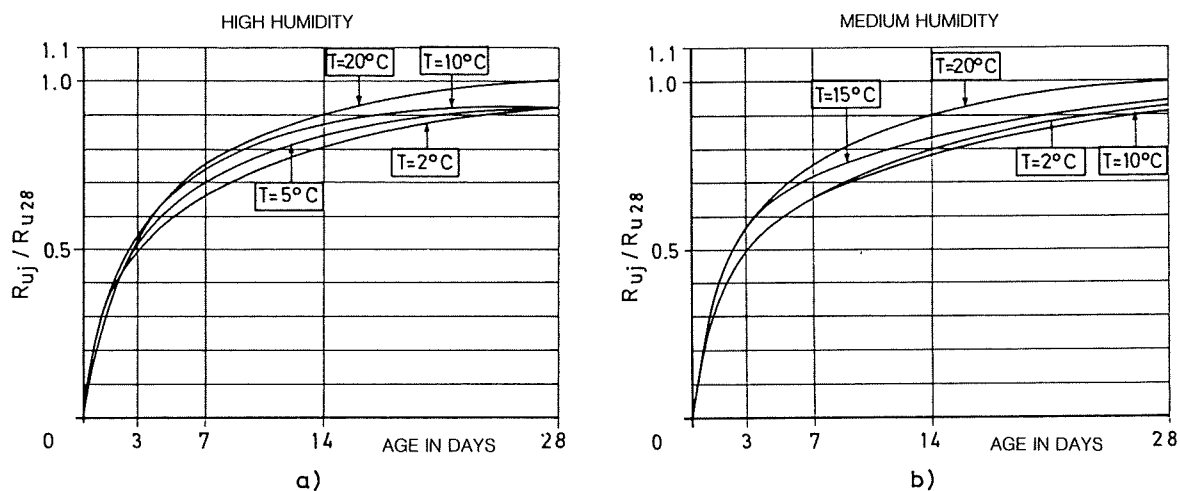


FIG. 5

Figures 2 to 5 show the reference diagrams obtained in this work, and enable the immediate determination of the period of striking in terms of α .

The difficulty of the application of this method lies in the lack of knowledge regarding the applicability of these experimental diagrams obtained for specific makes of cement, to other types of cement. The logical solution would be for each cement manufacturer to give the evolution diagrams for tensile strength under different curing conditions.

CURVAS DE EVOLUCION DE LA RESISTENCIA CRITICA PARA EL DESCIMBRADO
(ENVOLVENTE DE TRACCION Y ADHERENCIA) SEGUN J. FERNANDEZ GOMEZ

CEMENTO PA-350 (ADICION ESCORIA)

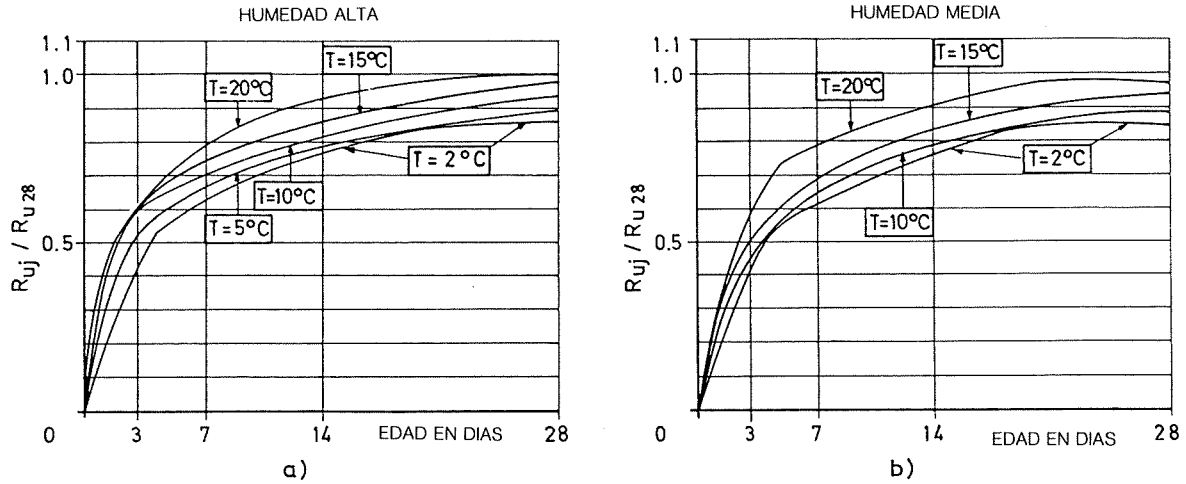


FIGURA 4

CEMENTO P-450 ARI

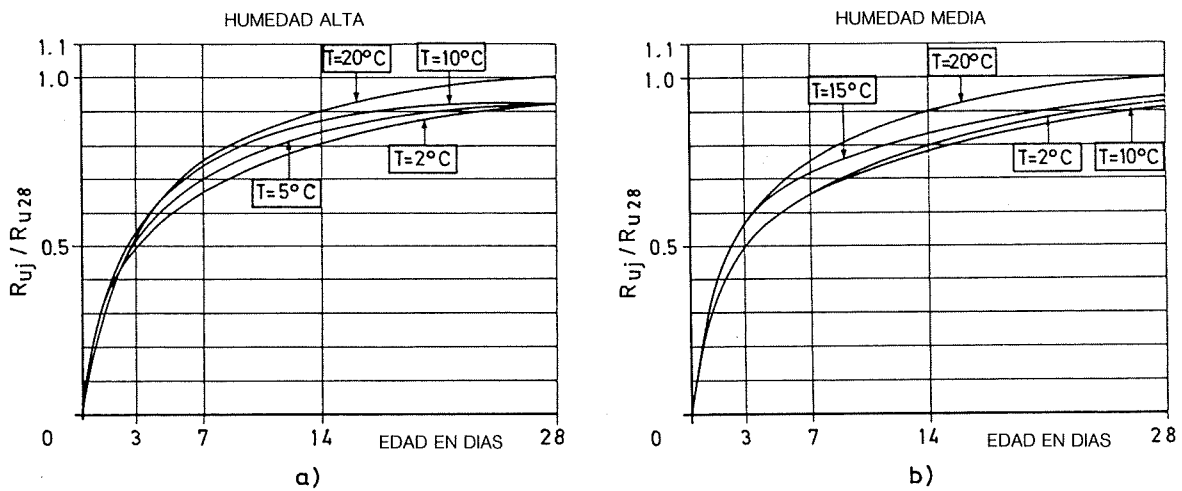


FIGURA 5

En las figuras números 2 a 5 pueden verse las curvas de referencia obtenidas en el mencionado trabajo, las cuales permiten la determinación del plazo de descimbrado en función de α de una forma inmediata.

El inconveniente en la aplicación de este método reside en la falta de conocimiento de la aplicabilidad de estas curvas obtenidas experimentalmente para unas marcas de cemento determinadas, a otras marcas de cemento. El camino lógico sería que cada fabricante de cemento suministrase las curvas de evolución de la resistencia a tracción con diferentes condiciones de curado.

3.2.2. Methods based on the compressive strength of concrete

If we assume that the relationship between compressive strength and tensile strength is known for any age and curing condition, we may transform the relationship [1] between the tensile strengths into a ratio between compressive strengths.

Method a)

In the investigation carried out in reference (5) the ratios between tensile and compressive strength were deduced and adjusted to different types of curing and ages, but once again strongly depending on the type of cement used. These were as follows:

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{P-350 Cement} \quad \quad \quad f'_{ck,t} = 0.07 f_{ck}^{1.03} \\
 \text{PA-350 Cement (puzzolana)} \quad f'_{ck,t} = 0.06 f_{ck}^{1.07} \\
 \text{PA-350 Cement (slag)} \quad \quad f'_{ck,t} = 0.18 f_{ck}^{0.85} \\
 \text{P-450 ARI Cement} \quad \quad \quad f'_{ck,t} = 0.26 f_{ck}^{0.77}
 \end{array} \right\} \quad [7]$$

In accordance with these formulae, instead of expression [6] the following relations are obtained:

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{P-350 Cement} \quad \quad \quad f_{ck,0} \geq \alpha^{0.97} f_{ck,28} \\
 \text{P-350 Cement (puzzolana)} \quad f_{ck,0} \geq \alpha^{0.93} f_{ck,28} \\
 \text{P-350 Cement (slag)} \quad \quad f_{ck,0} \geq \alpha^{1.18} f_{ck,28} \\
 \text{P-450 ARI Cement} \quad \quad \quad f_{ck,0} \geq \alpha^{1.30} f_{ck,28}
 \end{array} \right\} \quad [8]$$

Figure 6 shows this criteria in graphic form.

It should be pointed out once again that it is necessary to know the relationships [7] for each cement, and thereby employ criteria [8] for each particular make. The said figure includes the EH-91 tensile strength formula. It can be seen that this is not applicable for short curing times, as it is clearly unsafe.

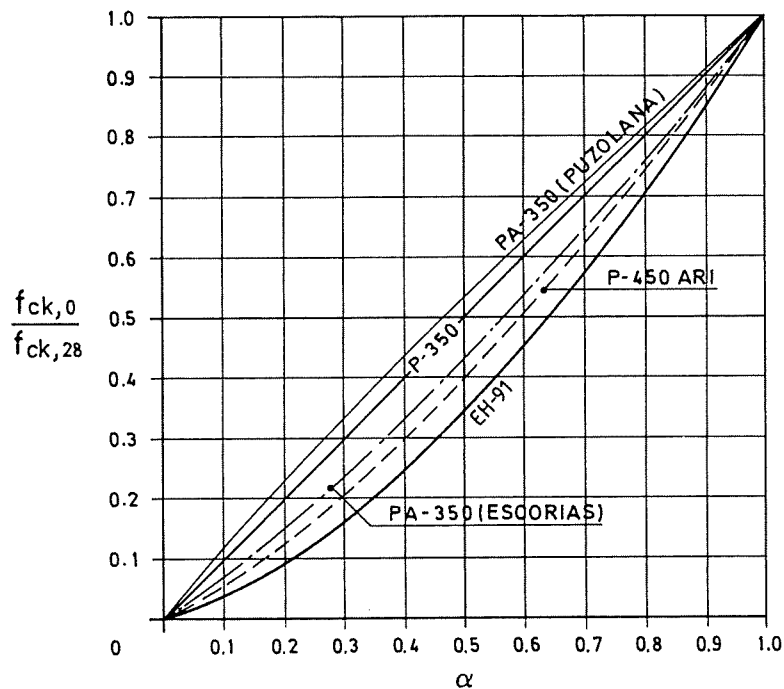


FIG. 6

3.2.2. Métodos de determinación del plazo de descimbrado basados en la resistencia a compresión del hormigón

Si suponemos que la relación entre la resistencia a compresión y la resistencia a tracción es conocida para cualquier edad y condición de curado, podemos transformar la relación [1] entre resistencias a tracción en una relación entre resistencias a compresión.

Método a)

En la investigación realizada en la referencia (5) se dedujeron unas relaciones entre resistencias a tracción pura y compresión relativamente ajustadas para los diferentes tipos de curado y edades, pero nuevamente con una dependencia muy importante del tipo de cemento empleado. Concretamente estas fueron:

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{Cemento P-350} \quad f'_{ck,t} = 0,07 f_{ck}^{1,03} \\
 \text{Cemento PA-350 (puzolana)} \quad f'_{ck,t} = 0,06 f_{ck}^{1,07} \\
 \text{Cemento PA-350 (escoria)} \quad f'_{ck,t} = 0,18 f_{ck}^{0,85} \\
 \text{Cemento P-450 ARI} \quad f'_{ck,t} = 0,26 f_{ck}^{0,77}
 \end{array} \right\} \quad [7]$$

De acuerdo con estas fórmulas, en lugar de la expresión [6] se obtienen las siguientes expresiones:

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{Cemento P-350} \quad f_{ck,0} \geq \alpha^{0,97} f_{ck,28} \\
 \text{Cemento P-350 (puzolana)} \quad f_{ck,0} \geq \alpha^{0,93} f_{ck,28} \\
 \text{Cemento P-350 (escoria)} \quad f_{ck,0} \geq \alpha^{1,18} f_{ck,28} \\
 \text{Cemento P-450 ARI} \quad f_{ck,0} \geq \alpha^{1,30} f_{ck,28}
 \end{array} \right\} \quad [8]$$

En la figura n.º 6 pueden verse representados de forma gráfica los criterios expuestos en este apartado.

No obstante conviene recordar nuevamente que se hace necesario conocer de forma experimental las relaciones [7] para cada cemento, de tal forma que pueda expresarse el criterio [8] para cada marca en concreto. En dicha figura se incluye la relación basada en la fórmula de la resistencia a tracción de EH-91. Como puede verse no resulta aplicable para edades cortas, quedando claramente del lado de la inseguridad.

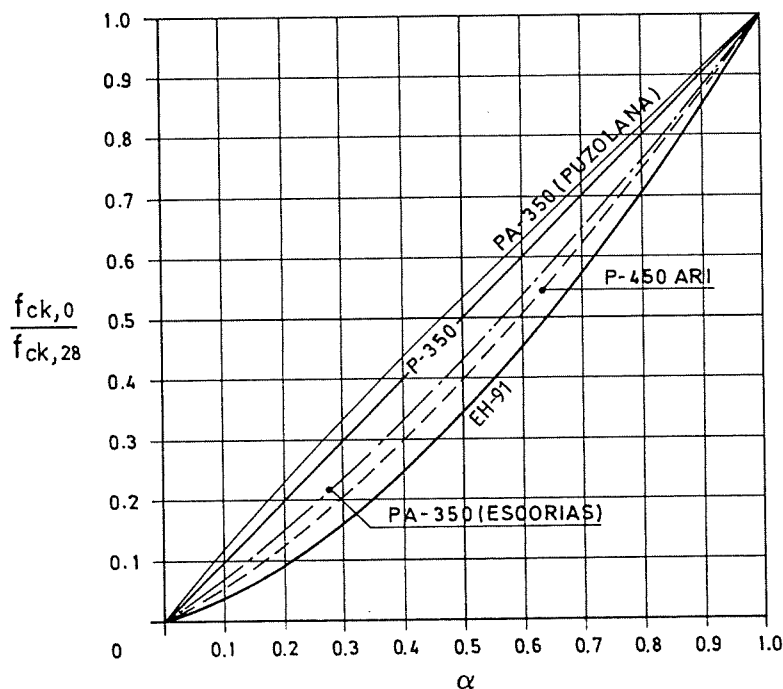


FIGURA 6

Method b)

It is possible to use the formulation considered in CEB Model Code MC-90 for the evolution of compressive strength. This criteria when checked with the experimental data of reference (4), has a reasonable degree of precision for the investigated cements, with differences no higher than 12 % between 7 and 28 days for any curing temperature. Greater differences are detected for short curing times (3 days), and are around 20 % in some cases.

The MC-90 expression giving compressive strength in terms of age is:

$$f_{ck}(t) = \beta_{cc}(t)f_{ck,28}; \beta_{cc}(t) = \exp s \left[1 - \left(\frac{28}{t/t_1} \right)^{1/2} \right] \quad [9]$$

where $f_{ck,28}$ is the compressive strength after 28 days of standard curing, t the age in days, t_1 one day and s a coefficient which depends on the type of cement, taking the values:

$s = 0.20$ for quick setting and high strength cements (RD)

$s = 0.25$ for quick setting normal cements (not high strength) (N; R)

$s = 0.38$ for slow setting cements (SL)

In order to consider the temperature effect, it is necessary to define an equivalent age t_i for standard curing

$$t_T = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \exp - \left[\frac{4000}{273 + T(\Delta t_i)/T_0} - 13.65 \right] \quad [10]$$

where Δt_i is the number of days in which the cement is cured at temperature $T(\Delta t_i)$, $T(\Delta t_i)$ the temperature in °C during the period Δt_i and $T_0 = 1^\circ \text{C}$.

By determining the ratio $\frac{f_{ck,0}(t)}{f_{ck,28}} = \beta_{cc}(t)$ required at the time of striking we may fix the necessary age t under standard curing conditions, and by way of formula [9], and knowing the actual temperatures, calculate the necessary age.

The procedure above, in accordance with MC-90, is only valid for cements CE-I and CE-II, equivalent to types I and II of the Spanish standards.

The differences found in investigation (5) between cements type II with different additions make it necessary to determine by experiment the coefficient "S" depending on the type of addition used. As a result of the agreement between all the temperatures it is only necessary to determine this coefficient testing standard cured samples at different ages.

4. EXAMPLES OF APPLICATION

The above criteria is applied to the following examples.

EXAMPLE 1. The beams of an assembly hall have a permanent load $g = 6 \text{ t/m}$ and a cover material weight and possible additional loading $p = 1 \text{ t/m}$. Span 20 m.

Calculate the striking period if the site is located in a medium humidity atmosphere and the work carried out in winter ($t_m \simeq 5^\circ \text{C}$) or in summer ($t_m \simeq 20^\circ \text{C}$). The safety factor considered in design is $\gamma_f = 1.6$ and for striking $\gamma'_f = 1.3$. The concrete is H-250. (The cement is assumed to be that detailed in figure 2).

(*) It should be pointed out that the experimental value of strength after 3 days has a greater dispersion than those obtained at ages of 7 days or more.

Método b)

Cabe utilizar la formulación que contempla el Código Modelo MC-90 para la evolución de la resistencia a compresión. Este criterio, comprobado con los datos experimentales de la referencia (4), posee un grado de precisión suficiente para los cementos investigados, con diferencias no superiores al 12 % entre 7 y 28 días y para cualquier temperatura de curado. Para edades cortas (3 días), se detectan mayores diferencias, del orden del 20 % en algún caso (*).

La expresión que da la resistencia a compresión en función del tiempo es:

$$f_{ck}(t) = \beta_{cc}(t)f_{ck,28}; \beta_{cc}(t) = \exp s \left[1 - \left(\frac{28}{t/t_1} \right)^{1/2} \right] \quad [9]$$

donde $f_{ck,28}$ es la resistencia a compresión a los 28 días de edad con curado estándar, t la edad en días, t_1 un día y s un coeficiente que depende el tipo de cemento, adoptando los valores:

$s = 0,20$ para cementos de endurecimiento rápido y alta resistencia (RD)

$s = 0,25$ para cementos de endurecimiento rápido y normal (no alta resistencia) (N; R)

$s = 0,38$ para cementos de endurecimiento lento (SL)

Para tener en cuenta el efecto de que la temperatura de curado sea distinta de 20° C, define una edad equivalente t_T en curado estándar.

$$t_T = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \exp - \left[\frac{4.000}{273 + T(\Delta t_i)/T_0} - 13,65 \right] \quad [10]$$

siendo Δt_i el número de días en que el hormigón se cura a la temperatura $T(\Delta t_i)$, $T(\Delta t_i)$ la temperatura en °C durante el período Δt_i y $T_0 = 1^\circ \text{C}$.

Determinando la relación $\frac{f_{ck,0}(t)}{f_{ck,28}} = \beta_{cc}(t)$ exigible en el momento del descimbrado, podemos fijar la edad t necesaria para conseguir ese valor en condiciones de curado estándar, y mediante la fórmula [9], conocida la historia real de temperaturas, calcular la edad real necesaria.

Las experiencias anteriores, de acuerdo con el MC-90, sólo son válidas para los cementos portland y, portland compuestos, CE-I y CE-II, equivalentes a los tipos I y II de la actual normativa española.

Las diferencias encontradas en la investigación (5) en los cementos con adiciones (tipo II) dependiendo del tipo de adición utilizada, hacen necesario determinar experimentalmente el coeficiente «S». Por el buen ajuste obtenido en todas las temperaturas puede ser suficiente su determinación mediante ensayo de probetas sometidas a curado estándar. En algunas amasadas el comienzo de la obra, o bien realizando los ensayos característicos, puede disponerse fácilmente de varios valores de resistencias a diferentes edades que permitan fijar experimentalmente el coeficiente S.

4. EJEMPLOS DE APLICACION

A continuación se exponen algunos ejemplos en los que se aplican los criterios anteriormente expuestos.

EJEMPLO 1. Las vigas de un salón de actos tienen una carga permanente $g = 6 \text{ t/m}$ y un peso de material de formación de cubierta y sobrecarga de uso $p = 1 \text{ t/m}$. Luz 20 m.

Calcular el plazo de descimbrado si la obra está en ambiente de humedad media y se realiza en invierno ($t_m \simeq 5^\circ \text{C}$) o en verano ($t_m \simeq 20^\circ \text{C}$). El coeficiente de mayoración de acciones considerado en proyecto es $\gamma_f = 1,6$ y para el descimbrado se acepta $\gamma'_f = 1,3$. El hormigón es H-250. (El cemento se supone que es el recogido en la figura 2).

(*) A este respecto hay que señalar que el valor experimental de la resistencia a 3 días tiene mayor dispersión que los obtenidos a edades iguales o superiores a los 7 días.

Solution

We obtain $\alpha = \frac{6}{7} = 0.86$

(It is assumed that there is no additional loading, i.e. risk of snow during winter).

a) Direct method. 1st Alternative

In accordance with [3]

$$f_{\text{ckt},0} \geq \frac{1.3}{1.6} \cdot 0.86 \cdot f_{\text{ckt},28}$$

therefore $f_{\text{ckt},0} \geq 0.70 f_{\text{ckt},28}$ where $f_{\text{ckt},28}$ is the tensile strength required by the design according to the Brazilian test.

b) Direct method. 2nd Alternative

In accordance with [5]

$$f_{\text{ckt},0} \geq 0.53 \cdot \frac{1.3}{1.6} \cdot 0.86 \sqrt[3]{250^2}$$

therefore

$$f_{\text{ckt},0} \geq 14.7 \text{ kp/cm}^2$$

where $f_{\text{ckt},0}$ is the tensile strength required on site by way of the Brazilian test.

c) Evolution diagram method

In figure 2 we find, for $f_{\text{ckt},0} \geq 0.70 f_{\text{ckt},28}$

- Winter $t_m \simeq 5^\circ \text{C}$ 13 day period
- Summer $t_m \simeq 20^\circ \text{C}$ 6 day period

EXAMPLE 2. The deck of a 12 m span bridge has a structural dead load of 1 t/m². The weight of the pavement plus the traffic load is 1.3 t/m².

Calculate the striking time if the construction is located in a high humidity atmosphere and is carried out in spring ($t_m \simeq 10^\circ \text{C}$). The factor γ_f employed in the design is $\gamma_f = 1.5$ and the striking accepts $\gamma'_f = 1.3$. The concrete is H-400. The cement is taken to be that considered in figure 5: High early strength cement, class 450.

Solution

We obtain

$$\gamma = \frac{1}{2.3} = 0.77$$

a) Direct method. 1st alternative

In accordance with [3]

$$f_{\text{ckt},0} \geq \frac{1.3}{1.5} \cdot 0.77 f_{\text{ckt},28}$$

therefore

$$f_{\text{ckt},0} \geq 0.67 f_{\text{ckt},28}$$

where $f_{\text{ckt},28}$ is the tensile strength required in the design by Brazilian test.

b) Direct method. 2nd alternative

In accordance with [5]

$$f_{\text{ckt},0} \geq 0.53 \cdot \frac{1.3}{1.5} \cdot 0.77 \sqrt[3]{400^2}$$

Solución

Resulta $\alpha = \frac{6}{7} = 0,86$

(Se supone que no hay riesgo de nevada en invierno).

a) Solución. Método general. Variante 1

De acuerdo con [3]

$$f_{\text{ckt},0} \geq \frac{1,3}{1,6} \cdot 0,86 \cdot f_{\text{ckt},28}$$

o sea $f_{\text{ckt},0} \geq 0,70 f_{\text{ckt},28}$ siendo $f_{\text{ckt},28}$ la resistencia a tracción exigible en proyecto medida en ensayo brasileño.

b) Solución. Método general. Variante 2

De acuerdo con [5]

$$f_{\text{ckt},0} \geq 0,53 \cdot \frac{1,3}{1,6} \cdot 0,86 \sqrt[3]{250^2}$$

de donde

$$f_{\text{ckt},0} \geq 14,7 \text{ kp/cm}^2$$

siendo $f_{\text{ckt},0}$ la resistencia a tracción exigible en obra medida en ensayo brasileño.

c) Solución mediante el método de la curva de evolución

Entrando en la curva de la figura 2 se tiene, para $f_{\text{ckt},0} \geq 0,70 f_{\text{ckt},28}$

- Invierno $t_m \simeq 5^\circ \text{C}$ Plazo 13 días
- Verano $t_m \simeq 20^\circ \text{C}$ Plazo 6 días

EJEMPLO 2. El tablero de un puente de 12 m de luz tiene un peso propio de estructura de 1 t/m². El peso de pavimento más sobrecarga de tráfico representa 1,3 t/m².

Calcular el plazo de descimbrado si la obra está en ambiente de humedad alta y se realiza en primavera ($t_m \simeq 10^\circ \text{C}$). El coeficiente γ_f empleado en el proyecto es $\gamma_f = 1,5$ y para el descimbrado se acepta $\gamma'_f = 1,3$. El hormigón en H-400. El cemento se supone que es el recogido en la figura 5.

Solución

Resulta

$$\gamma = \frac{1}{2,3} = 0,77$$

a) Método general. Variante 1

De acuerdo con [3]

$$f_{\text{ckt},0} \geq \frac{1,3}{1,5} \cdot 0,77 f_{\text{ckt},28}$$

o sea

$$f_{\text{ckt},0} \geq 0,67 f_{\text{ckt},28}$$

siendo $f_{\text{ckt},28}$ la resistencia a tracción exigible en el proyecto medida en ensayo brasileño.

b) Método general. Variante 2

De acuerdo con [5]

$$f_{\text{ckt},0} \geq 0,53 \cdot \frac{1,3}{1,5} \cdot 0,77 \sqrt[3]{400^2}$$

therefore

$$f_{\text{ckt},0} \geq 19.2 \text{ kp/cm}^2$$

where $f_{\text{ckt},0}$ is the tensile strength required on site by Brazilian test.

c) Evolution diagram method

Using figure 5, we obtain, for $f_{\text{ckt},0} \geq 0.67 f_{\text{ckt},28}$, and for $t_m \simeq 10^\circ \text{C}$, a period of 6 days.

EXAMPLE 3. A 5,50 m floor slab of a building has a dead load of 250 kp/m². The weight of the additional permanent loads plus live load is 420 kp/m².

Calculate the striking time if the construction is located in a medium humidity atmosphere and the work is carried out in winter ($t_m \simeq 5^\circ \text{C}$) or in summer ($t_0 \simeq 20^\circ \text{C}$). The factor γ_f employed in the design is $\gamma_f = 1.6$ and for the striking in accepted as $\gamma_f = 1.3$. The concrete is H-175 kp/cm². The cement is taken as being that considered in figure 4: Portland cement with addition of slag, class 350. (It is assumed there is no risk of snow in winter).

Solution.

We obtain

$$\alpha = \frac{250}{670} = 0.37$$

a) General method. 1st alternative

In accordance with [3]

$$f_{\text{ckt},0} \geq \frac{1.3}{1.5} 0.37 f_{\text{ckt},28}$$

therefore

$$f_{\text{ckt},0} \geq 0.30 f_{\text{ckt},28}$$

where $f_{\text{ckt},28}$ is the tensile strength required in the design and $f_{\text{ckt},0}$ the tensile strength required on site by the same test method.

b) Direct method. 2nd alternative

In accordance with [5]

$$f_{\text{ckt},0} \geq 0.53 \frac{1.3}{1.6} 0.37 \sqrt[3]{175^2}$$

therefore

$$f_{\text{ckt},0} \geq 5 \text{ kp/cm}^2$$

where $f_{\text{ckt},0}$ is the tensile strength required on site by Brazilian test.

c) Evolution diagram method

Using figure 4, we obtain, for $f_{\text{ckt},0} \geq 0.37 f_{\text{ckt},28}$

- Winter $t_m = 5^\circ \text{C}$ Time = 2.5 \simeq 3 days
- Summer $t_m = 20^\circ \text{C}$ Time = 1.5 \simeq 2 days

5. COMPARISON WITH SEVERAL STANDARDS

a) Code EH-91. As a form of guidance suggests the formula

$$J = \frac{400}{\left(\frac{Q}{G} + 0.5 \right) (T+10)} \quad [11]$$

where G is the striking load, Q the subsequent load (Q + G, total load), T the average temperature of the daily maximums and minimums over j days and j the age of striking in days.

de donde

$$f_{\text{ckt},0} \geq 19,2 \text{ kp/cm}^2$$

siendo $f_{\text{ckt},0}$ la resistencia a tracción exigible en obra medida en ensayo brasileño.

c) Solución mediante el método de las curvas de evolución

Entrando en la curva de la figura 5, se tiene, para $f_{\text{ckt},0} \geq 0.67 f_{\text{ckt},28}$, para $t_m \simeq 10^\circ \text{ C}$, un plazo de 6 días.

EJEMPLO 3. Un forjado de un edificio de viviendas con 5,50 m de luz tiene un peso propio de 250 kp/m². El peso de las restantes cargas permanentes más la sobrecarga es de 420 kp/m².

Calcular el plazo de descimbrado si la obra está en un ambiente de humedad media y se realiza en invierno ($t_m \simeq 5^\circ \text{ C}$) o en verano ($t_m \simeq 20^\circ \text{ C}$). El coeficiente γ_f empleado en proyecto es $\gamma_f = 1.6$ y para el descimbrado se acepta $\gamma_f = 1.3$. El hormigón es H-175 kp/cm². El cemento se supone que es el recogido en la figura 4. (No se supone riesgo de nevadas en invierno).

Solución.

Resulta

$$\alpha = \frac{250}{670} = 0.37$$

a) Método general. Variante 1

De acuerdo con [3]

$$f_{\text{ckt},0} \geq \frac{1.3}{1.5} 0.37 f_{\text{ckt},28}$$

o sea

$$f_{\text{ckt},0} \geq 0.30 f_{\text{ckt},28}$$

siendo $f_{\text{ckt},28}$ la resistencia a tracción exigible en proyecto.

b) Método general. Variante 2

De acuerdo con [5]

$$f_{\text{ckt},0} \geq 0.53 \frac{1.3}{1.6} 0.37 \sqrt[3]{175^2}$$

de donde

$$f_{\text{ckt},0} \geq 5 \text{ kp/cm}^2$$

siendo $f_{\text{ckt},0}$ la resistencia a tracción exigible en obra, medida en ensayo brasileño.

c) Solución mediante el método de las curvas de evolución

Entrando en la curva de la figura 4, se tiene para $f_{\text{ckt},0} \geq 0.37 f_{\text{ckt},28}$

— Invierno $t_m = 5^\circ \text{ C}$ Plazo = 2,5 \simeq 3 días

— Verano $t_m = 20^\circ \text{ C}$ Plazo = 1,5 \simeq 2 días

5. COMPARACION CON ALGUNAS NORMAS

a) Instrucción EH-91. A título orientativo sugiere la fórmula

$$J = \frac{400}{\left(\frac{Q}{G} + 0,5 \right) (T+10)} \quad [11]$$

donde G es la carga al descimbrar, Q la que actuará posteriormente (Q + G, carga total), T la temperatura media de máximas y mínimas diarias durante los j días y j la edad de descimbrado en días.

b) ACI Code "Formwork for concrete". Recommends the following:

Member	span, L	$q \leq g$	$q > g$
Beams	$L < 3$ m	7 days	4 days
	$3 \leq L \leq 6$ m	14 days	7 days
	$L < 6$ m	21 days	14 days
Floor slabs	$L < 3$	4 days	3 days
	$3 \leq L \leq 6$ m	7 days	4 days
	$L > 6$ m	10 days	7 days

g = permanent load; q = additional loading

c) Model Code 90 (CEB-FIP). Recommends the following minimum periods (days):

Temperature on the surface of the concrete	$\geq 24^\circ \text{C}$	16°C	8°C	2°C
Beams	10	14	21	36
Floor slabs	7	10	15	25

d) Though the case of striking consecutive floors may be solved by the expressed general method, it does require complementary verification. (See reference (7)). In this case, before physically proceeding to remove the props on each floor, the floor slab of the said floor will bear successive load stages, which must be checked in accordance with its age and the load produced.

The striking times according to the example included in section 4 and in accordance with the given Codes are summarized in the following tables.

EXAMPLE 1
BEAMS OF AN ASSEMBLY HALL

EH-91	Winter	40 days
	Summer	20 days
ACI		21 days
MC-90	Winter	29 days
	Summer	12 days
PROPOSED METHOD	Winter	13 days
	Summer	6 days

EXAMPLE 2
BRIDGE
(Spring)

EH-91	11 days
ACI	21 days
MC-90	19 days
PROPOSED METHOD	6 days

b) Norma ACI «Formwork for concrete». Recomienda lo siguiente:

Elemento	luz, L	$q \leq g$	$q > g$
Vigas	$L < 3$ m	7 días	4 días
	$3 \leq L \leq 6$ m	14 días	7 días
	$L < 6$ m	21 días	14 días
Forjados	$L < 3$	4 días	3 días
	$3 \leq L \leq 6$ m	7 días	4 días
	$L > 6$ m	10 días	7 días

g = carga permanente; q = sobrecarga

c) Model Code 90 (CEB-FIP). Recomienda los períodos mínimos siguientes (días):

Temperatura en la superficie del hormigón	$\geq 24^{\circ}$ C	16° C	8° C	2° C
Vigas	10	14	21	36
Forjados	7	10	15	25

d) El caso de cimbrado de plantas consecutivas, aunque resoluble por el método general expuesto, requiere comprobaciones complementarias. (Véase la referencia (7)). En este caso, antes de procederse físicamente a la retirada de puntales en cada planta, el forjado de dicha planta pasa por etapas sucesivas de carga, que deben ser comprobadas de acuerdo con su edad y la carga producida.

A título de ejemplo, en las tablas siguientes, se resumen los plazos de descimbrado según el ejemplo incluido en el apartado 4 y según las Normas expuestas.

EJEMPLO 1
VIGAS DE SALON DE ACTOS

EH-91	Invierno	40 días
	Verano	20 días
ACI		21 días
MC-90	Invierno	29 días
	Verano	12 días
METODO PROPUESTO	Invierno	13 días
	Verano	6 días

EJEMPLO 2
PUENTE
(Primavera)

EH-91	11 días
ACI	21 días
MC-90	19 días
METODO PROPUESTO	6 días

Relación de personal titulado

Ingenieros de Caminos

Acón Robleda, Miguel Angel
Avalos Brunetti, Hugo Edgardo
Calavera Ruiz, José
Cortés Bretón, Juan María
Corral Folgado, Claudio
Delibes Liniers, Adolfo
Díaz Lozano, Justo
Espinós Espinós, José
Fernández Gómez, Jaime Antonio
Ferrer Serafi, Carles
Ferrerías Eleta, Román
Gómez Alvarez, Mercedes
González González, Juan José
González Valle, Enrique
Hostalet Alba, Francisco
Izquierdo Bernaldo de Quirós, José M.^a
Jordán de Urríes de la Riva, Jorge
Ley Urzaiz, Jorge
Rodríguez Moragón, Julio
Sirvent Sirvent, Enrique
Tapia Menéndez, José

Ingenieros Civiles

Arias Brostella, Carlos Alfredo
Pulgar Allendes, Jorge Osvaldo

Arquitecto

Luzón Cánovas, José M.^a

Ingeniero I.C.A.I.

Marín Estévez, Gonzalo

Ingenieros Industriales

Alvarez Cabal, Ramón Amado
Aparicio Puig, José Antonio
Bueno Bueno, Jorge
Durán Boldova, José Miguel
Pi Sáenz de Heredia, Cristóbal
Valenciano Carles, Federico
Veganzones Fernández, Ricardo

Ingeniero Aeronáutico

Cerdó Alonso-Misol, Gonzalo

Ingeniero Agrónomo

Valdés Tamames, Begoña

Ingeniero de Minas

Ramos Sánchez, Adelina

Licenciado en Ciencias Físicas

Díaz Paniagua, Carlos

Licenciados en Ciencias Geológicas

Blanco Zorroza, Alberto
Massana Milá, Joan
Serrano Martín, Luis

Licenciados en Ciencias Químicas

Grandes Velasco, Sylvia María
López Sánchez, Pedro
Morgado Sánchez, José Carlos
Rodríguez-Maribona Gálvez, Isabel Ana

Arquitectos Técnicos

Blanco Pérez, Hermenegildo
Casado de la Fuente, M.^a Esther
Cervera García, Eduardo
Fuente Rivera, Jesús de la
Jiménez Recio, Pedro Luis
Montejano Jiménez, María del Carmen
Muñoz Mesto, Angel
Oros Rey, Ana Isabel
Seisdedos Domínguez, Lucía
Vicente García, José Manuel

Ingenieros Técnicos Industriales

Alonso Miguel, Félix Benito
Díaz-Trechuelo Laffón, Antonio
Gómez Gómez, Angel Manuel
González Carmona, Manuel
González Muñoz, Rafael
Madueño Moraño, Antonio
Rodríguez Delgado, José Manuel

Ingeniero Técnico Industrial Químico

Fernández París, José Manuel

Ingenieros Técnicos de Obras Públicas

Aranda Cabezas, Luis
Blanco García, Fernando
Carrero Creso, Rafael
Esteban García, Juan José
Fernández Corredera, Carlos
González Isabel, Germán
González Nuño, Luis
Mata Soriano, Juan Carlos
Montiel Sánchez, Ernesto
Muñoz Jiménez, José Luis
Muñoz Mesto, Angel
Pardo de Agueda, Juan Luis
Rosa Moreno, José Andrés
Rozas Hernando, José Juan
Sánchez Vicente, Andrés

Ingenieros Técnicos de Minas

Ballesteros Peinado, Luis Alberto
Santacoloma Cabero, Juan Ignacio
Sillero Arroyo, Andrés

Ingenieros Técnicos Topógrafos

Barragán Bermejo, M.^a Vicenta
Carreras Ruiz, Francisco
Vinagre Sáenz de Tejada, Hilario

Profesores Mercantiles

González Alvarez, Vicente
Sampedro Portas, Arturo

Técnico en Informática

García Rodríguez, Juan Tomás

Topógrafo

Alquezar Falceto, Ricardo

SERVICIO DE PUBLICACIONES

2.^a EDICION 1991 *

3.^a EDICION 1991 *



* De acuerdo con las Instrucciones EH-91 y EF-88, con referencia al EUROCODIGO EC-2, Model Code CEB-FIP 1990, ACI 318-89

CUADERNOS PUBLICADOS

Cuaderno N.º 1 «Generalización de la Fórmula de Cuantía Mínima a Secciones de Forma Cualquiera». Autores: J. Calavera Ruiz y L. García Dutari.

Cuaderno N.º 2 «Forjados Compuestos de Chapa Nervada y Hormigón: Sus Ventajas y Limitaciones». Autor: J. Jordán de Urrés de la Riva.

Cuaderno N.º 3 «Criterios para el Descimbrado de Estructuras de Hormigón». Autores: J. Calavera Ruiz y J. Fernández Gómez.

PROXIMOS CUADERNOS

Cuaderno N.º 4 «Color y Textura en el Hormigón Estructural». Autor: J. M. Pérez Luzardo.

Cuaderno N.º 5 «Tecnología Moderna de Durabilidad. Aplicación de la Experiencia Pasada a Proyectos Futuros». Autor: S. Rostam.

"PROYECTO Y CALCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO PARA EDIFICIOS"

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

TOMO I CALCULO DE ESFUERZOS

- 568 páginas. ● Encuadernación en gualflex. ● 373 figuras. ● 90 gráficos y tablas auxiliares.

TOMO II DIMENSIONAMIENTO Y

- DETALLES CONSTRUCTIVOS ● 871 páginas. ● Encuadernación en gualflex. ● 611 figuras. ● 142 gráficos y tablas auxiliares.

Precio de la obra completa: 15.000 Pts.

"CALCULO DE ESTRUCTURAS DE CIMENTACION"

- Autor: J. CALAVERA.
- 3.^a Edición, 1991, de acuerdo con la Instrucción EH-91, con referencia al EUROCODIGO EC-2, Model Code CEB-FIP 1990 y ACI 318-89. ● 418 páginas. ● Encuadernación en gualflex. ● 40 tablas para el dimensionamiento directo de zapatas corridas y aisladas. ● Precio: 7.000 Pts.

"CALCULO, CONSTRUCCION Y PATOLOGIA DE FORJADOS DE EDIFICACION"

- Autor: J. CALAVERA.
- 4.^a Edición. ● 678 páginas. ● Encuadernación en gualflex. ● 344 figuras. ● 93 tablas y ábacos. ● 16 ejemplos resueltos. ● 159 referencias bibliográficas. ● 188 detalles constructivos. ● Precio: 6.770 Pts.

"MUROS DE CONTENCIÓN Y MUROS DE SOTANO"

- Autor: J. CALAVERA.
- 2.^a Edición. ● 308 páginas. ● Encuadernación en gualflex. ● 26 gráficos y tablas auxiliares. ● 22 tablas para el dimensionamiento directo. ● Precio: 5.900 Pts.

"TECNOLOGIA Y PROPIEDADES MECANICAS DEL HORMIGON"

- Autor: A. DELIBES.
- 266 páginas. ● Encuadernación en gualflex. ● AGOTADO. (Próxima edición 1992).

TRABAJOS PUBLICADOS EN REVISTAS

Nuestro INSTITUTO dispone de una amplia serie de trabajos publicados por nuestros técnicos en diferentes revistas que por su número no pueden reproducirse aquí. Solicite relación de títulos si está interesado.

Los precios indicados son para entregas dentro del territorio español.



INTEMAC

Monte Esquinza, 30, 4.º D. 28010 MADRID

Tels.: (91) 410 51 58-62-66. Télex: 49987 INTEM E - Fax: (91) 410 25 80