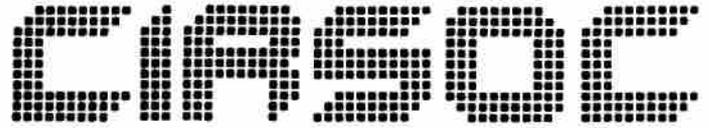


**INTI**  
Instituto Nacional  
de Tecnología Industrial

Reglamento CIRSOC 204



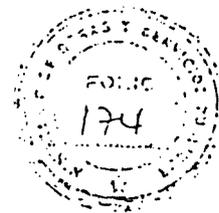
Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales  
de Seguridad para las Obras Civiles del Sistema INTI

# Hormigón Pretensado Parcial

Enero 1986

**SIREA**  
Esta Publicación integra el  
Sistema Reglamentario Argentino  
para las Obras Civiles





*Ministerio de Obras y Servicios Públicos*

BUENOS AIRES, 16 Mayo 1991

VISTO el presente Expediente Nº 40.079/91 por el cual el Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles (CIRSOC) solicita la aprobación e incorporación al Sistema Reglamentario Argentino (SIREA) de tres nuevos documentos normativos y

CONSIDERANDO:

Que de acuerdo a lo establecido en el Artículo 4º de la Resolución SSOP Nº 59/90, es facultad de la Subsecretaría de Obras y Servicios Públicos el disponer la incorporación al SIREA de todos aquellos documentos técnicos que considere apropiados.

Que por Minuta Nº 9/86 de fecha 4 de diciembre de 1986, con la Presidencia del representante del Ministerio de Obras y Servicios Públicos, el Comité Ejecutivo del CIRSOC dio su conformidad para elevar a la aprobación el Reglamento CIRSOC 202 "Hormigón Liviano de Estructura Compacta, Dimensionamiento, Elaboración y Control" y el Reglamento CIRSOC 204 "Hormigón Pretensado Parcial", cumplidos todos los requisitos previos de discusión pública.

Que por Minuta Nº 2/91 de fecha 26 de abril de



## *Ministerio de Obras y Servicios Públicos*

1991, con la Presidencia del representante del Ministerio de Obras y Servicios Públicos, el Comité Ejecutivo del CIRSOC dio su conformidad para elevar a la aprobación los COMENTARIOS A LA RECOMENDACION CIRSOC 303 "Estructuras Livianas de Acero - Actualización 1991", cumplidos todos los requisitos previos de discusión pública.

Que por Minuta N° 1/91 de fecha 4 de abril de 1991, con la Presidencia del representante del Ministerio de Obras y Servicios Públicos, el Comité Ejecutivo del CIRSOC aprobó la denominación correspondiente a la normativa técnica actualmente vigente y la que elaborará en el futuro, en un todo de acuerdo con la facultad establecida en el Artículo 12° de la Resolución SSOP N° 59/90, incluyendo la designación de los documentos arriba citados.

Que la presentación gráfica de los documentos cuya aprobación se solicita, cumple con lo establecido en el Artículo 5° y Anexo I de la Resolución SSOP N° 59/90.

Que la Subsecretaría de Obras y Servicios Públicos es competente para el dictado de la presente Resolución en virtud del Decreto N° 1393/84 y la delegación de facultades establecida por la Resolución

27-1  
10



Ministerio de Obras y Servicios Públicos  
MOySP Nº 803/90.

Por ello, .

EL SUBSECRETARIO DE OBRAS Y SERVICIOS PUBLICOS

RESUELVE:

ARTICULO 19.- Aprobar y autorizar para su difusión pública los siguientes documentos normativos elaborados por el Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles (CIRSOC): a) REGLAMENTO CIRSOC 202 "Hormigón Liviano de Estructura Compacta, Dimensionamiento, Elaboración y Control"; b) REGLAMENTO CIRSOC 204 "Hormigón Pretensado Parcial" y c) COMENTARIOS A LA RECOMENDACION CIRSOC 303 "Estructuras Livianas de Acero-Actualización 1991".

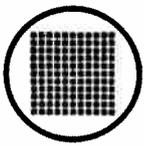
ARTICULO 29.- Incorporar los documentos indicados en el Artículo 19 en el Sistema Reglamentario Argentino para las Obras Civiles (SIREA).

ARTICULO 39.- Comuníquese, publíquese, dese a la Dirección del Registro Oficial y archívese.

DR. WYLTAN ROLANDO OTRERA  
SUBSECRETARIO DE OBRAS Y SERVICIOS PUBLICOS

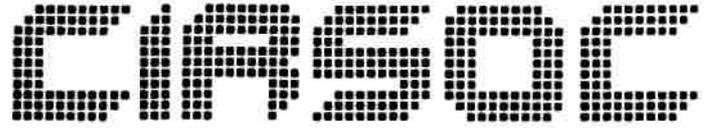
RESOLUCION Nº 80/91 SSOVSP





**INTI**  
Instituto Nacional  
de Tecnología Industrial

Reglamento CIRSOC 204



Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales  
de Seguridad para las Obras Civiles del Sistema INTI

# Hormigón Pretensado Parcial

Enero 1986

**SIREA**  
Esta publicación integra el  
sistema Reglamentario Argentino  
para las Obras Civiles



# INTI CIRSOC

*Av. Cabildo 65 Subsuelo - Ala Savio  
(C1426AAA) Ciudad Autónoma de Buenos Aires  
República Argentina*

*Tel./Fax: (54 11) 4779-5271/5273*

*Web: [www.inti.gob.ar/cirsoc](http://www.inti.gob.ar/cirsoc)*

*E-mail: [cirsoc@ffmm.gov.ar](mailto:cirsoc@ffmm.gov.ar)  
[cirsoc@inti.gob.ar](mailto:cirsoc@inti.gob.ar)*

**Primer Director Técnico ( † 1980): Ing. Luis María Machado**

**Directora Técnica: Inga. Marta S. Parmigiani**

© 1997

**Editado por INTI  
INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL  
Av. Leandro N. Alem 1067 - 7° piso - Buenos Aires. Tel. 313-3013**

**Queda hecho el depósito que fija la ley 11.723. Todos los derechos, reservados. Prohibida la reproducción parcial o total sin autorización escrita del editor. Impreso en la Argentina.  
Printed in Argentina.**





## **ORGANISMOS PROMOTORES**

Ministerio de Obras y Servicios Públicos

Instituto Nacional de Tecnología Industrial

Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires

Secretaría de Estado de Desarrollo Urbano y Vivienda

Empresa Obras Sanitarias de la Nación

Municipalidad de la Ciudad de Buenos Aires

Comisión Nacional de Energía Atómica

Empresa del Estado Agua y Energía Eléctrica

Dirección Nacional de Vialidad

Hidronor S.A

## **MIEMBRO ADHERENTE**

Consejo Interprovincial de Ministros de Obras Públicas

\*\*

## **ASESORES QUE INTERVINIERON EN LA REDACCION DEL REGLAMENTO CIRSOC 204**

Ing. Martín Öfele

\*\*



# INDICE

CAPITULO 1. GENERALIDADES	1
1.1. Introducción	1
1.2. Campo de validez	1
1.3. Definiciones	2
1.3.1. Elementos estructurales parcialmente pretensados	2
ANEXOS AL CAPITULO 1.	
CAPITULO 2. REQUISITOS PARA EL ACERO, EL SISTEMA DE PRETENSADO Y PARA LA DOCUMENTACION TECNICA	3
CAPITULO 3. MATERIALES	3
CAPITULO 4. COMPROBACION DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES	3
CAPITULO 5. REALIZACION DEL PRETENSADO	3
CAPITULO 6. BASES PARA EL DETALLE CONSTRUCTIVO Y PARA LA EJE- CUCION	5
6.1. Armadura no tesa	5
6.2. Elementos tensores	5
6.3. Armadura mínima	5
CAPITULO 7. BASES DE CALCULO	7
7.1. Verificaciones exigidas	7
7.2. Determinación de las solicitaciones y de las deforma- ciones	7
CAPITULO 8. DEFORMACIONES EN FUNCION DEL TIEMPO	9
CAPITULO 9. VERIFICACION DE LAS TENSIONES EN EL ACERO BAJO CARGAS DE SERVICIO DEBIDAS A FLEXION, FLEXION CON ESFUERZO AXIL Y ESFUERZO AXIL SOLO	11
9.1. Verificación de las tensiones en el acero de los elementos tensores	11
9.2. Verificación de las tensiones en el acero bajo cargas de servicio, en el caso de acciones no predominante- mente estáticas	11

ANEXOS AL CAPITULO 9.

CAPITULO 10. LIMITACION DE LA FISURACION BAJO CARGAS DE SER-  
VICIO 13

- 10.1. Generalidades 13
- 10.2. Verificación de la limitación de la abertura de las  
fisuras 14
- 10.3. Juntas de trabajo aproximadamente normales a la di-  
rección portante 18
- 10.4. Juntas de trabajo con acoplamiento de elementos ten-  
sores 18

ANEXOS AL CAPITULO 10

CAPITULO 11. VERIFICACION DE LA SEGURIDAD A ROTURA PARA FLEXION  
SIMPLE, FLEXION COMPUESTA Y ESFUERZO NORMAL 21

- 11.1. Principios básicos 21
- 11.2. Estado de rotura o agotamiento teórico y parámetros  
de seguridad 21
- 11.3. Verificación bajo estados de carga anteriores a la  
adherencia entre el hormigón y los elementos tensores 25

ANEXOS AL CAPITULO 11.

CAPITULO 12. TENSIONES PRINCIPALES Y VERIFICACION A CORTE 27

CAPITULO 13. VERIFICACION DE LA ADHERENCIA ENTRE LOS ELEMENTOS  
TENSORES Y EL HORMIGON 27

CAPITULO 14. ANCLAJE Y ACOPLAMIENTO DE ELEMENTOS TENSORES, CO-  
BERTURA DEL DIAGRAMA DE TRACCIONES 29

ANEXOS AL CAPITULO 14.

## CAPITULO 1. GENERALIDADES

### 1.1. INTRODUCCION

Este Reglamento Nacional de Seguridad establece los requisitos indispensables para el proyecto, cálculo y ejecución de las estructuras en las cuales algunos sectores están parcialmente pretensados mediante elementos tensores con adherencia a posteriori.

### 1.2. CAMPO DE VALIDEZ

- Este Reglamento se aplica a las estructuras construidas con hormigón de densidad normal y contextura compacta, y pretensadas parcialmente.
- También es de aplicación para aquellos sectores de la estructura en los que no son superadas las tensiones admisibles correspondientes a pretensado total o limitado, o sea, aquellos sectores que quedan comprendidos dentro de la definición de pretensado total o limitado (ver CIRSOC 201, artículo 26.1.2.2.).
- Para el caso de estructuras que se construyan con hormigones de menor densidad que la normal se debe considerar adicionalmente el Reglamento CIRSOC 202: "Hormigón liviano de estructura compacta, dimensionamiento, elaboración y control".
- Este Reglamento no es aplicable a puentes carreteros. No obstante figuran en el texto algunas referencias con respecto a este tema, las que completarán al Reglamento específico de puentes cuando éste entre en vigencia.
- Para estructuras con elementos tensores sin adherencia ver el Reglamento CIRSOC\*.
- Quedan expresamente excluidas las estructuras con elementos tensores con adherencia directa, ubicados en la zona traccionada precomprimida.
- En las condiciones ambientales tipo 4, de acuerdo con CIRSOC 201, Tabla 15, renglón 4, sólo se podrá emplear el pretensado parcial en las estructuras si se protege a las mismas en forma permanente contra la corrosión (ver CIRSOC 201, artículo 13.3.).

En los puentes expuestos a la acción de sales de deshielo, esta exigencia

\* Este reglamento está en preparación.

de protección se aplicará al tablero.

Ver anexo a este artículo.

- Para las estructuras con pretensado parcial se aplican las disposiciones y conceptos dados en el Reglamento CIRSOC 201, Capítulo 26, mientras no se opongan a lo fijado por este Reglamento.

### 1.3. DEFINICIONES

#### 1.3.1. Elementos estructurales parcialmente pretensados

Los elementos estructurales parcialmente pretensados son elementos estructurales pretensados en los cuales no se limitan las tensiones de tracción, originadas bajo las cargas de servicio por flexión simple, flexión compuesta o esfuerzo axial, en la zona traccionada precomprimida ni en la zona de compresión.

Se excluyen, sin embargo, los elementos estructurales en los cuales se producen según cálculo tensiones de tracción en el borde de la zona traccionada pre comprimida, bajo la acción del pretensado y del 10% de las cargas de servicio en su combinación más desfavorable (incluidas las solicitaciones por coacción debidas a fluencia lenta, retracción, temperatura y cedimiento de apoyos).

Ver el anexo a este artículo.

## ANEXOS AL CAPITULO 1

1.2.6<sup>o</sup> PARRAFO. CONDICIONES AMBIENTALES

Para cualquiera de las condiciones ambientales se recomienda:

Si no se toman medidas adicionales para la protección contra la corrosión, se deberá tratar de reducir al mínimo el período de tiempo que media entre la colocación de los elementos tensores y la inyección de las vainas. En muchos casos podrá ser conveniente colocar la armadura de tesado inmediatamente antes del tesado y luego inyectar las vainas.

## 1.3.1. MOMENTO DE DECOMPRESION

La aplicación del presente reglamento equivale a un grado de pretensado mínimo de:

$$\alpha = 0,10$$

Se entiende por grado de pretensado  $\alpha$ , a la relación entre las solicitaciones que producen la decompresión de una sección y las solicitaciones máximas correspondientes a esa sección. Las solicitaciones que producen la decompresión son aquellas que originan tensiones normales nulas en la fibra extrema de la zona traccionada precomprimida.

En el caso de vigas y losas con  $l_0/h \geq 2$  y en las vigas o losas en ménsula, con  $l_0/h \geq 1$  ( para  $l_0$ , ver CIRSOC 201, artículo 17.1.2.), resulta:

$$\alpha = \frac{M_0 + N_0 \cdot k_0}{M + N \cdot k_0}$$

siendo:

M,N las solicitaciones de la sección (en un corte total), incluyendo las solicitaciones de coacción por retracción, temperatura y descenso de apoyos, que producen el máximo alargamiento específico en el borde de la zona traccionada precomprimida.

En un corte total (sección de hormigón más elementos tensores), las solicitaciones por pretensado son nulas en el caso de estructuras isostáticas. En el caso de estructuras hiperestáticas, quedan por efecto del pretensado, solicitaciones secundarias o parásitas, es decir, el efecto causado por la hiperestaticidad;

$M_0$ ,  $N_0$  la fracción o parte proporcional de las solicitaciones que, conjuntamente con las solicitaciones originadas por el pretensado, conducen a un alargamiento específico nulo (decompresión) en el borde de la zona traccionada precomprimida. Para las solicitaciones originadas por el pretensado se deben tener en cuenta las pérdidas por relajación, retracción y fluencia lenta.

Se debe respetar la proporcionalidad:

$$\frac{N_0}{M_0} = \frac{N}{M}$$

$k_0$  la distancia desde el baricentro de la sección al extremo correspondiente del núcleo central. Para las tensiones en el borde de la zona traccionada precomprimida.

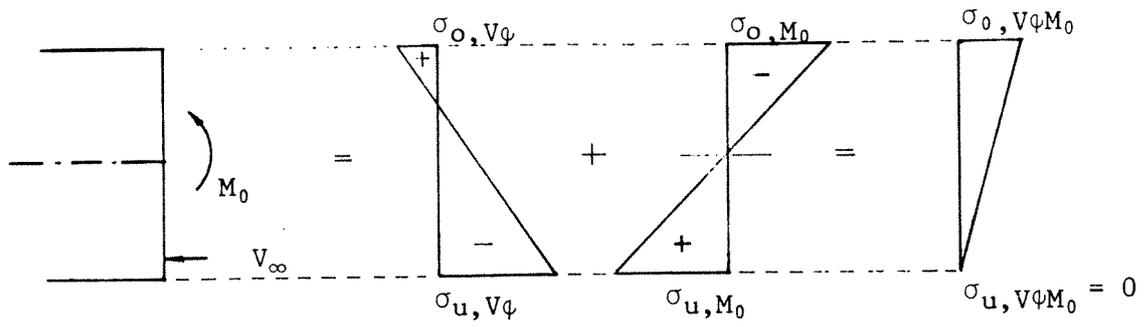
$$k_0 = \frac{W_{bu}}{A_b}$$

siendo:

$W_{bu}$  el módulo de la sección (en este caso para el borde inferior de la sección);

$A_b$  el área de la superficie de la sección.

En el caso de esfuerzo normal nulo, el momento de decompresión  $M_0$ , es el momento externo que conjuntamente con las solicitaciones originadas por el pretensado (incluidas las pérdidas plásticas debidas a relajación, retracción y fluencia lenta), conduce a tensión nula en el borde de la zona traccionada precomprimida.



Debido a  $V_\infty$       Debido a  $M_0$   
 (mom. de decompresión)

En el caso de pretensado total,  $M_0 = \text{máx } M_q$        $\kappa = \frac{M_0 (= M_q)}{M_q}$

En el caso de pretensado nulo, (hormigón armado)  $M_0 = 0$        $\kappa = \frac{0}{M_q} = 0$



## CAPITULO 2. REQUISITOS PARA EL ACERO, EL SISTEMA DE PRETENSADO Y PARA LA DOCUMENTACION TECNICA

Se aplica el Reglamento CIRSOC 201, artículos 26.2.2. y 26.2.3.

## CAPITULO 3. MATERIALES

Se aplica el Reglamento CIRSOC 201, artículos 26.3.1.1., 26.3.2. y 26.3.3. y para la mezcla de inyección el Reglamento CIRSOC 201, Capítulo 27.

## CAPITULO 4. COMPROBACION DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES

Se aplica el Reglamento CIRSOC 201, artículo 26.4.

## CAPITULO 5. REALIZACION DEL PRETENSADO

Se aplica el Reglamento CIRSOC 201, artículo 26.5.



## CAPITULO 6. BASES PARA EL DETALLE CONSTRUCTIVO Y PARA LA EJECUCION

### 6.1. ARMADURA NO TESA

En general se aplican las directivas para el recubrimiento de la armadura y para la disposición de la armadura dados en el Reglamento CIRSOC 201, Capítulo 13 y Capítulo 18.

Para las barras comprimidas debe considerarse también el Reglamento CIRSOC 201, artículo 26.6.1., párrafo (2).

### 6.2. ELEMENTOS TENSORES

Se aplica el Reglamento CIRSOC 201, artículos 26.6.2. hasta 26.6.6.

Ver el anexo al artículo 1.2., párrafo (6).

### 6.3. ARMADURA MINIMA

- a) para puentes y estructuras similares se aplica el Reglamento CIRSOC 201, artículo 26.6.7.
- b) en la zona de apoyos de losas sobre apoyos puntuales, la armadura mínima corresponderá a las indicaciones dadas en el Reglamento CIRSOC 201, Capítulo 26, artículo 26.12.9., párrafo (4).
- c) la armadura mínima en juntas de trabajo con acoplamientos de elementos tensores, se dispondrá de acuerdo con el artículo 10.4.
- d) Para otras estructuras o elementos estructurales rigen en general para la armadura mínima, las disposiciones del Reglamento CIRSOC 201, referentes a estructuras de hormigón armado.

En el alma de las vigas se dispondrá sin embargo una armadura mínima de corte de acuerdo con el Reglamento CIRSOC 201, artículo 26.6.7., Tabla 42, renglón 5.



## CAPITULO 7. BASES DEL CALCULO

### 7.1. VERIFICACIONES EXIGIDAS

En reemplazo de las exigencias indicadas en el Reglamento CIRSOC 201, artículo 26.7.1. se deberán realizar las siguientes verificaciones:

- Verificación de las tensiones en el acero de pretensado bajo cargas de servicio (ver el artículo 9.1.).
- Verificación de las tensiones en el acero (teso y no teso), en el caso de cargas no predominantemente estáticas, según el Capítulo 9.2.
- Control de la fisuración según el Capítulo 10.
- Verificación de la seguridad a rotura bajo sollicitaciones de flexión, flexión compuesta y esfuerzo axial, de acuerdo con el Capítulo 11.
- Verificación bajo cargas de rotura de las tensiones principales de compresión, de las tensiones de corte y verificación de la armadura para corte, de acuerdo con el Capítulo 12.
- Verificación del punzonado según el Reglamento CIRSOC 201, artículo 26.12.9.
- Verificación de la adherencia entre los elementos tensores y el hormigón, según el Reglamento CIRSOC 201, artículo 26.13.
- Verificación de la cobertura del diagrama de tracciones según el Reglamento CIRSOC 201, artículo 26.14.3.
- Verificación referente a anclajes en el interior de la estructura, de acuerdo con el Reglamento CIRSOC 201, artículo 26.14.4.

### 7.2. DETERMINACION DE LAS SOLICITACIONES Y DE LAS DEFORMACIONES

Para la determinación de las sollicitaciones y de las deformaciones se aplica el Reglamento CIRSOC 201, Capítulos 15 y 16. Para los valores correspondientes a los módulos de elasticidad del acero para pretensado se aplicará, en general, el Reglamento CIRSOC 201, artículo 26.7.2.

Para la determinación del alargamiento de los elementos tensores debido al teso, se usará el diagrama  $\sigma/\epsilon$  correspondiente al acero, suministrado por el fabricante y correspondiente a la partida.



## CAPITULO 8. DEFORMACIONES EN FUNCION DEL TIEMPO

Para la determinación del comportamiento reológico del hormigón y del acero se aplica el Reglamento CIRSOC 201, artículo 26.8.



## CAPITULO 9. VERIFICACION DE LAS TENSIONES EN EL ACERO BAJO CARGAS DE SERVICIO DEBIDAS A FLEXION, FLEXION CON ESFUERZO AXIL Y ESFUERZO AXIL SOLAMENTE

### 9.1. VERIFICACION DE LAS TENSIONES EN EL ACERO DE LOS ELEMENTOS TENSORES

- Bajo los estados de carga indicados en el Reglamento CIRSOC 201, artículo 26.8., las tensiones en la armadura de pretensado no deben superar los valores admisibles indicados en el Reglamento CIRSOC 201, artículo 26.15., Tabla 47, renglones 64 a 67 y que son:

	Solicitud	Tensiones admisibles MN/m <sup>2</sup>
64	Temporariamente (ver también el Reglamento CIRSOC 201, artículos 26.9.3. y 26.15.7.)	0,90 $\beta_S$ ó    0,75 $\beta_Z$
65	Bajo cargas de servicio	0,85 $\beta_S$ ó    0,70 $\beta_Z$
66	Bajo cargas de servicio, con sobretesado	5% más que renglón 65
67	Tensiones de borde en curvaturas (ver CIRSOC 201, artículo 26.15.8.)	$\beta_{0,01}$

En la determinación de las tensiones debe tenerse en cuenta el incremento de tensión que se produce en el estado II. Para la determinación de este incremento se admitirá un comportamiento elástico lineal de los materiales, una distribución lineal de las deformaciones (hipótesis de Bernoulli) y una adherencia perfecta entre el hormigón y el acero. La distribución lineal de las deformaciones se admite para losas y vigas con  $\ell_0/h \geq 2$  y para voladizos con  $\ell_k/h \geq 1$  ( $\ell_k$  es la luz del voladizo). Ver anexo a este artículo.

- Para los elementos tensores que se colocan y tesan curvados, y también para los que se entregan enrollados rige CIRSOC 201, artículo 26.15.8.

### 9.2. VERIFICACION DE LAS TENSIONES EN EL ACERO BAJO CARGAS DE SERVICIO, EN EL CASO DE ACCIONES NO PREDOMINANTEMENTE ESTATICAS

- 1) Se deberá verificar que la amplitud de oscilación de las tensiones en los anclajes extremos con cuerpos de anclaje, y en los acoplamientos fijos y móviles, no supere el 70% de la amplitud de oscilación admisible indicada

en el certificado de aceptación del sistema de pretensado. Para toda la extensión restante de los elementos tensores, la amplitud de oscilación de tensiones no deberá sobrepasar el 40% de la resistencia a fatiga del acero de pretensado en estado libre (no hormigonado) ni el valor de  $140 \text{ MN/m}^2$ , siempre que en el certificado de aptitud del acero no figuren valores distintos correspondientes a las oscilaciones de tensiones admisibles en estado hormigonado.

- 2) Para el acero no teso, la amplitud de oscilación de las tensiones debe limitarse en toda la extensión de la estructura a los valores indicados en el Reglamento CIRSOC 201, artículo 17.8.

Para la verificación de la amplitud de oscilación en la armadura de corte se determinarán las tensiones en base a la analogía del reticulado. Para fijar la inclinación  $\theta$  de las diagonales de compresión del reticulado, con respecto a la normal a la sección, se seguirá el Reglamento CIRSOC 201, artículo 26.12.4.2., no pudiéndose tomar  $\text{tg } \theta$  menor que 0,6.

- 3) En esta verificación, además de la acción de las cargas permanentes y del pretensado, incluyendo las pérdidas por relajación, retracción y fluencia lenta, se considerarán también como sollicitaciones permanentes, las que a continuación se indican, siempre que resulten desfavorables para la verificación de la amplitud de oscilación de las tensiones:

- Asentamiento probable según CIRSOC 201, artículo 26.9.2.6.
- Diferencia de temperatura según CIRSOC 201, artículo 26.9.2.5.
- Momento adicional  $\Delta M = \pm 10 \cdot 10^{-5} \frac{EI}{d_0}$

siendo:

$EI$  la rigidez a flexión en estado I

$d_0$  el espesor de la sección considerada (en el caso de losas se tomará para  $d_0$  el valor  $d$ )

- 4) Si en la sección considerada se tienen tensiones de tracción, la verificación deberá realizarse para el estado II. En la verificación sólo se requerirá considerar las oscilaciones de tensión originadas por acciones variables, como las indicadas en CIRSOC 101, artículo 2.3.

En el caso de puentes se pueden considerar los factores de reducción  $\alpha$ , indicados en el Reglamento correspondiente.

Ver Anexo al Capítulo 9.

## ANEXOS AL CAPITULO 9.

## 9.1. VERIFICACION DE LAS TENSIONES EN EL ACERO BAJO CARGAS DE SERVICIO

Dado que no se limitan las tensiones de tracción y de compresión en el hormigón bajo cargas de servicio, como en el caso de hormigón con pretensado total o limitado, los incrementos de tensión en el acero de pretensado son sensiblemente mayores que en estos casos y deben ser verificados.

Para su determinación en estado II, aceptando una variación lineal de tensiones en el hormigón (método n), se parte del estado de tensiones nulas en el hormigón. Esto correspondería al estado de tensión del acero en un banco de tesado ideal, antes de soltar los elementos tensores, es decir, con tensiones nulas en toda la sección de hormigón.

Como en pretensado parcial se utiliza solamente pretensado con adherencia a posteriori, el esfuerzo de pretensado ideal correspondiente a un banco de tesado se obtiene de:

$$\sigma_{z,V}^{(0)} = \sigma_{z,V} - n \cdot \sigma_{bz,V} \quad (1)^*$$

siendo:

$\sigma_{z,V}$  la tensión en el acero de pretensado al tesar (positivo);

$\sigma_{bz,V}$  la tensión en el hormigón a la altura del elemento tensor originado por el pretensado (en general negativo);

n la relación de los módulos  $\frac{E_z}{E_b}$ .

Como al tesar se activa, en general, una parte  $g_1$  del peso propio, la tensión originada en el acero de pretensado al tesar, será la suma de la tensión debida al pretensado sólo, más la tensión originada por el efecto del peso propio  $g_1$ .

Por lo tanto,

$$\sigma_{z,V}^{(0)} = \sigma_{z,Vg_1} - n \cdot \sigma_{bzV,g_1}$$

(1)\* Ver : - Leonhardt ("Pretensado para la práctica")  
- Arthur Nilson ("Diseño de estructuras de concreto pre-esforzado", págs 125.)

siendo:

$\sigma_{z,Vg_1}$  la tensión en el acero al tesar, la que se mide mediante la presión del gato hidráulico (teniendo en cuenta la fricción), igual a la suma de la tensión debida al pretensado propiamente dicho y al peso propio  $g_1$ , simultáneamente activado;

$\sigma_{bz,Vg_1}$  la tensión en el hormigón (a la altura del elemento tensor), debida al pretensado y al peso propio  $g_1$ :

$$\sigma_{bz,Vg_1} = \sigma_{bz,V} + \sigma_{bz,g_1}$$

$$\sigma_{bz,V} = \frac{V}{A_b} + \frac{M_V}{I_b} \cdot y_V \quad (\text{en general, negativo})$$

$$\sigma_{bz,g_1} = \frac{M_{g_1}}{I_b} \cdot y_V \quad (\text{en general, positivo})$$

siendo:

$V$  el esfuerzo de pretensado (en general, negativo);

$M_V$  el momento debido al pretensado;

$M_g$  el momento debido a  $g_1$ ;

$I_b$  el momento de inercia de la sección en estado I;

$y_V$  la distancia desde el baricentro de la sección hasta el eje del elemento tensor.

La determinación de las tensiones en estado II debidas a la flexocompresión, originada por las sollicitaciones, conduce a una ecuación cúbica para cuya resolución pueden ser de utilidad los procedimientos indicados en los comentarios al artículo 10.1. (Resolución de la ecuación cúbica, Tablas del Dr. Huber y Tablas del profesor Kupfer).

## 9.2. VERIFICACION DE LAS TENSIONES EN EL ACERO BAJO CARGAS DE SERVICIO, EN EL CASO DE ACCIONES NO PREDOMINANTEMENTE ESTÁTICAS (PÁRRAFO 4)

### Acciones predominantemente estáticas

Las acciones debidas a las cargas móviles (acciones variables) según CIRSOC 105, artículo 2.2.2. se consideran en general como cargas "predominantemente estáticas".

Las sobrecargas para talleres y fábricas se consideran en general como acciones "predominantemente estáticas", siempre que no existan acciones con impacto o acciones que se repitan con gran frecuencia o que se deba considerar la acción de máquinas no equilibradas (fuerzas de inercia).

#### Acciones no predominantemente estáticas

Se consideran como tales a las acciones con impacto, a las acciones que se repiten con gran frecuencia, a las fuerzas de inercia de máquinas no equilibradas, a las cargas móviles en puentes grúa, a las cargas en losas expuestas al tránsito, a las sobrecargas debidas a carritos elevadores, y a las sobrecargas en helipuertos.

#### En el caso de puentes

Cuando los elementos estructurales estén solicitados por cargas no predominantemente estáticas, se deberá verificar la amplitud de la oscilación de las tensiones  $\Delta\sigma_{\epsilon}$  originadas por las combinaciones límites de las solicitaciones.

$$S_{\text{máx}} = \text{máx} (\alpha_p S_p + \alpha_s S_s) + S_g$$

$$S_{\text{mín}} = \text{mín} (\alpha_p S_p + \alpha_s S_s) + S_g$$

siendo:

$S_g$  el valor de la sollicitación debida a las acciones permanentes,

$S_p$  el valor de la sollicitación debida a trenes de carga normales incluido el coeficiente de impacto.

$S_s$  el valor de la sollicitación debido a trenes de carga normales sobre rieles (puentes ferroviarios o tranviarios) incluido el coeficiente de impacto;

$\alpha_p = 0,5$  para sobrecargas distribuidas y para sobrecargas de vehículos de 600 kN;

$\alpha_p = 0,8$  para vehículos de 120 y 300 kN respectivamente.

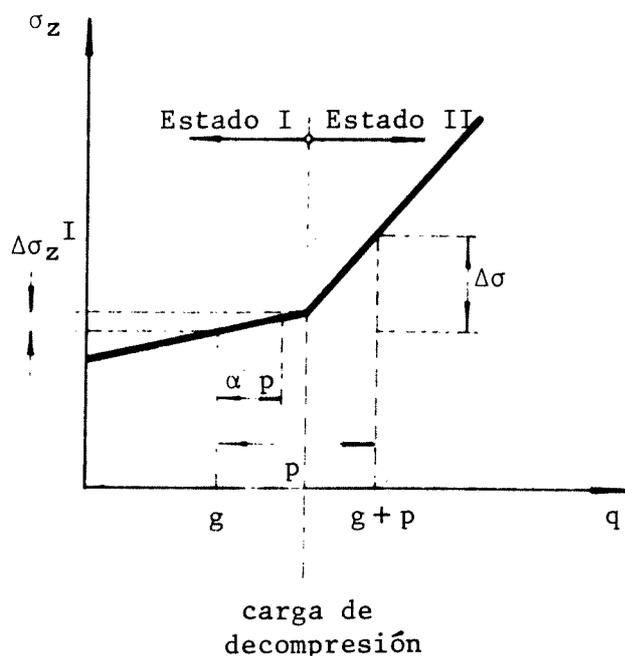
$\alpha_s = 1,0$  para sobrecargas de vehículos sobre rieles.

En el caso de ménsulas solicitadas frecuentemente por cargas elevadas, por ejemplo, en los extremos de los tableros y para los elementos estructurales en voladizo, normales a la dirección del tránsito, la amplitud de la oscilación se calculará con  $\alpha_p = 1$ .

## COMENTARIOS

- a) En estructuras con pretensado parcial, la tensión en el acero de pretensado crece proporcionalmente a las cargas o solicitaciones recién cuando se ha sobrepasado la sollicitación de decompresión.

Como existen casos en que la sollicitación  $S_{\text{mín}}$  es sensiblemente menor que la sollicitación originada por la carga de decompresión, el criterio de comparar la oscilación admisible con el valor  $\Delta\sigma$  originado por  $\alpha p$ , es decir, por una fracción de la carga móvil que origina  $\sigma_{\text{máx}}$  superior, puede conducir a una verificación errónea, pues la carga  $g + \alpha p$  puede quedar incluso por debajo de la carga de decompresión, y se haría entonces la verificación con una amplitud de tensión calculada en estado I sensiblemente menor que la que interesa.



Se recomienda por lo tanto, para los casos en que  $\Delta\sigma$  y  $p$  no sean proporcionales, adoptar el siguiente criterio:

Aplicar el coeficiente de reducción  $\alpha$  no a las cargas  $p$ , sino a la variación total  $\Delta\sigma$  originada por  $p$ , y comparar la variación  $\alpha \Delta\sigma$  con la variación de tensión admisible.

- b) La verificación a fatiga debe realizarse en el caso de pretensado parcial, tanto para el acero de pretensado como para el acero no teso, en toda la extensión de la estructura.

La variación de tensión en el acero de pretensado no debe sobrepasar los 140 MN/m<sup>2</sup>, ni el 40% del valor admisible de la resistencia a la fatiga del acero de pretensado, determinada en estado libre (no hormigonado), e indicada en el certificado de aptitud del acero. En general será determinante este último valor.

El factor de reducción 0,4 incluye un coeficiente de seguridad, como también el efecto desfavorable sobre la resistencia a la fatiga del acero, originado por la adherencia con el hormigón.

Ensayos relativamente recientes (T.U. Munich) indican una disminución de la resistencia a la fatiga de aceros en probetas hormigonadas, al 70% y aún hasta el 45% del valor de la resistencia a la fatiga determinada en ensayos con el acero libre (no hormigonado).

- c) La verificación de la amplitud de la oscilación se debe hacer con cargas de servicio, y en estado II, si en la sección transversal aparecen tensiones de tracción.

Se deben considerar, a los efectos de la verificación, como cargas actuantes en forma permanente, a la carga permanente propiamente dicha, al pretensado (incluyendo relajación, fluencia lenta y retracción), a las sollicitaciones debidas a un probable asentamiento de apoyos (siempre que resulten desfavorables), a las sollicitaciones por temperatura y además un momento ficticio adicional

$$\Delta M = \pm 10 \cdot 10^{-5} \frac{E I_0}{d_0}$$

Para las acciones variables se requiere considerar las oscilaciones de tensión originadas por cargas repetidas frecuentemente, como por ejemplo, las cargas definidas como no predominantemente estáticas,

- d) En forma indicativa se dan a continuación valores estimativos para la resistencia a la fatiga:

- El Código Modelo (1978) del CEB, en el comentario a su anexo f, Fatiga, comenta:

"En ausencia de resultados de ensayos, se pueden admitir los siguientes

valores para  $\Delta f_{sk}$  (resistencia a la fatiga con  $\sigma_{mín} = 0$ )

barras lisas	250 MPa
aceros de pretensado sin adherencia de forma	200 MPa
aceros de pretensado con adherencia de forma	150 MPa
barras de alta adherencia	100 MPa

Estos valores se deben reducir para curvaturas  $(1 - 1,5 d_s/r)$ , soldadura por puntos (0,4) soldadura por cordón continuo (0,4), etc.

Estos valores deben afectarse con un factor  $\gamma_{fat} = 1,15$ , según CEB. De acuerdo con el artículo 9.2. del presente reglamento se requiere multiplicarlos aún por 0,4.

-En la recomendación de la FIP Practical design of reinforced and prestressed concrete Structures (1984) se indica en 2.2.9:

"La resistencia característica a la fatiga  $\Delta f_{sk}$  se define

- y para el acero como el fractil del 10%
- para los anclajes como el fractil del 50%

deducido de ensayos en que  $\sigma_{máx}$  es repetido  $2 \cdot 10^6$  veces, y siendo  $\sigma_{máx} = 0,85 f_{0,2}$ .

En ausencia de ensayos pueden adoptarse los siguientes valores para  $\Delta f_{sk}$ , para aceros de pretensado:

elementos tensores con adherencia de forma	150 MPa
elementos tensores sin adherencia de forma	200 MPa
torones (strands)	200 MPa
barras de alta adherencia	80 MPa

Los valores anteriores valen para elementos tensores libres (exposed tendons) Para elementos tensores en vainas o conductos inyectados o no, se deberán emplear valores menores.

Para anclajes y acoplamientos se requieren consideraciones especiales.

En el artículo 4.8. propone:

"La verificación a fatiga se hará para las cargas efectivas (es decir, con  $\gamma_{mayoración} = 1$ ). Las tensiones se calcularán en régimen elástico, tenien-

do en cuenta la fisuración del hormigón (estado II):"

$$\Delta f_{sd} \quad (\text{design}) = \frac{\Delta f_{sk}}{\gamma_{fat}}$$

$\Delta f_{sk}$  se obtiene del cuadro anterior y para  $\gamma_{fat}$  se adopta el valor 1,5.

Observación:

Teniendo en cuenta la disminución de la resistencia a la fatiga por la adherencia con el hormigón (según ensayos se reduce a valores entre 45% y 70%) se llegaría de acuerdo a las recomendaciones del FIP al siguiente valor:

$$\text{si} \quad \Delta f_{sk} \cong 200 \text{ MN/m}^2$$

y considerando que:

- la reducción por adherencia con el hormigón  $\cong 0,70$
- y el coeficiente de minoración  $\gamma_{fat} \cong 1,5$

$$\Delta f_{sd} = \Delta \sigma_{adm} \cong 200 \cdot 0,7 \frac{1}{1,5} = 93 \text{ MN/m}^2$$

Valores obtenidos de ensayos en la Universidad Técnica de Munich

	Resistencia a la fatiga con $\sigma_{sup} = \sigma_{m\acute{a}x} = 0,55 \beta_z$ (valor promedio)		Factor de reducción (para el caso curvo y hormigón)	Admisible según CIRSOC 204- 9.2.
	Ensayo con barra libre recta (valor según certificado aprobado)	Ensayo con barra hormigonada (curva)		
D y W = barra aislada $d_z = 26,5 \text{ mm}$ 1080/1230 R = 8,90	285 (230)	200	70%	92 MN/m <sup>2</sup>
SAWE 3 $\phi$ 12    1420/1570 $d_z = 12,2$ R = 3,50	380 (240)	175	45%	96 MN/m <sup>2</sup>
D y W Toron 3 $\phi$ 6"    1570/1770 $d_z = 15,3 \text{ mm}$ R = 4,8	225 (240)	150	70%	96 MN/m <sup>2</sup>

## CAPITULO 10. LIMITACION DE LA FISURACION BAJO CARGAS DE SERVICIO

### 10.1. GENERALIDADES

- 1) Para garantizar la funcionabilidad y durabilidad de los elementos estructurales de acuerdo con su destino, se debe limitar la abertura de las fisuras mediante una adecuada elección de la cuantía de la armadura, de la tensión del acero y del diámetro de las barras.
- 2) En el caso de elementos estructurales expuestos a ambientes tipo 1 y 2, según la tabla 15 del Reglamento CIRSOC 201, capítulo 13, solamente se requiere efectuar la verificación de acuerdo con el artículo 10.2., cuando no se cumplan las condiciones indicadas en el punto 5.
- 3) En el caso de elementos estructurales expuestos a ambientes del tipo 3, según la tabla 15 del Reglamento CIRSOC 201, capítulo 13, como también en el caso de elementos estructurales ubicados a menos de 10 m de distancia o a menos de 10 m por encima de calles expuestas a sales de deshielo, y también en el caso de elementos estructurales ubicados sobre vías férreas (tracción Diesel o vapor), se deberá verificar adicionalmente al artículo 10.2. lo siguiente:

Todos los elementos tensores (incluidos los elementos tensores que cruzan la dirección portante considerada) deben quedar completamente ubicados en la zona comprimida del elemento estructural (calculado en estado II), bajo la acción de las cargas permanentes. En el caso de puentes se debe agregar a las cargas permanentes la acción de la mitad de la sobrecarga.

No será necesario en esta verificación superponer solicitaciones de igual dirección, debidas a acciones portantes distintas, (como por ejemplo, la solicitación de una losa actuando como cabeza de compresión o ala de una viga placa, con la solicitación simultánea de la losa por flexión paralela a la viga).

- 4) En el caso de elementos estructurales expuestos a condiciones ambientales del tipo 4 según el Reglamento CIRSOC 201, capítulo 13, tabla 15, pero con protección anticorrosiva según el artículo 1.2., punto 6, se pueden admitir en general las condiciones ambientales del tipo 2 de la tabla antes

citada (ver punto 2 ).

En el caso de puentes expuestos a la acción directa de sales de deshielo (ver el artículo 1.2., punto 6 , se adoptará ambiente del tipo 3, según CIRSOC 201, capítulo 13, tabla 15 (ver párrafo 3).

- 5) En el caso de losas en ambientes 1 y 2 según el Reglamento CIRSOC 201, capítulo 13, tabla 15, no será necesario efectuar el control de fisuración indicado en el artículo 10.2., si se cumplen las condiciones a) ó b), que a continuación se indican:

- a) la excentricidad  $e = |M/N|$  no supera los valores siguientes:

$$e \leq d/3 \text{ para losas con espesor } d \leq 0,40 \text{ m}$$

$$e = 0,133 \text{ m para losas con espesor } d > 0,40 \text{ m}$$

La relación  $e = M/N$  se calculará para las combinaciones de carga indicadas en el artículo 10.2., punto 4 , teniendo en cuenta en los valores de M y N la acción del pretensado multiplicado por el factor 0,9 ó 1,1 según resulte más desfavorable.

- b) En el caso de losas de entresijos de construcciones corrientes, con espesor  $d \leq 0,40$  m, si se cumplen las 3 condiciones siguientes:

- 1)  $\mu \geq 0,05$  siendo  $\mu$  la cuantía en % de la armadura no tesa de la zona traccionada precomprimida referida a la sección total de hormigón.
- 2)  $|\sigma_N| \geq 1,0$   $\sigma_N$  tensión de compresión originada por el esfuerzo normal debido al pretensado y a la carga externa.
- 3)  $\frac{\mu}{0,15} + \frac{|\sigma_N|}{3} \geq 1 \text{ MN/m}^2$

## 10.2. VERIFICACION DE LA LIMITACION DE LA ABERTURA DE LAS FISURAS

- 1) La armadura para la verificación de la fisuración debe ser de acero nervurado (de alta adherencia), tanto para barras aisladas, como para mallas.

El diámetro  $d_s$  de las barras no debe superar el valor dado por la ecuación

(1)

$$d_s \leq r \cdot \frac{1,2}{\sigma_s^2} 10^4 \quad (1)$$

siendo:

$d_s$  el diámetro máximo de las barras de la armadura longitudinal en mm;  
 $r$  el coeficiente que caracteriza la adherencia y depende además de las condiciones del ambiente

Ambiente según la tabla 15 del Reglamento CIRSOC 201, capítulo 13	$r$
1 (fisuración normal)	200
2 (fisuración pequeña)	150
3 (x) (fisuración muy pequeña)	100

(x) Si un elemento estructural está ubicado a menos de 10 m de distancia de caminos tratados con sales para deshielo, o a menos de 10 m sobre los mismos, o sobre vías ferroviarias (tracción diesel o a vapor) se considerará ubicado en el ambiente 3.

$\mu_z = 100 \frac{A_s}{A_{bz}}$  la cuantía de la armadura, en %, referida a la zona traccionada

en donde:

$A_s$  es el área de la sección de la armadura no tesa (incluida la armadura mínima). No se debe incluir la sección de la armadura tesa;

$A_{bz}$  es el área de la zona traccionada, es decir, zona con alargamientos específicos de tracción, bajo la acción de las cargas indicadas en el cuarto párrafo.

En secciones de mayor altura puede limitarse la altura de la zona traccionada a 80 cm.

Se supone que la armadura  $A_s$  está distribuida en forma aproximadamente uniforme sobre el ancho de la zona traccionada. En el caso de cuantías  $\mu_z$  fuertemente variables en el espesor (ancho) de la zona traccionada, la ecuación (1) debe verificarse también localmente.

$\sigma_s$  la tensión en el acero en  $\text{MN/m}^2$ , calculada en estado II, con la hipótesis de comportamiento elástico lineal, (ver el artículo 9.1., primer párrafo), bajo la combinación de las acciones indicadas en el cuarto párrafo.

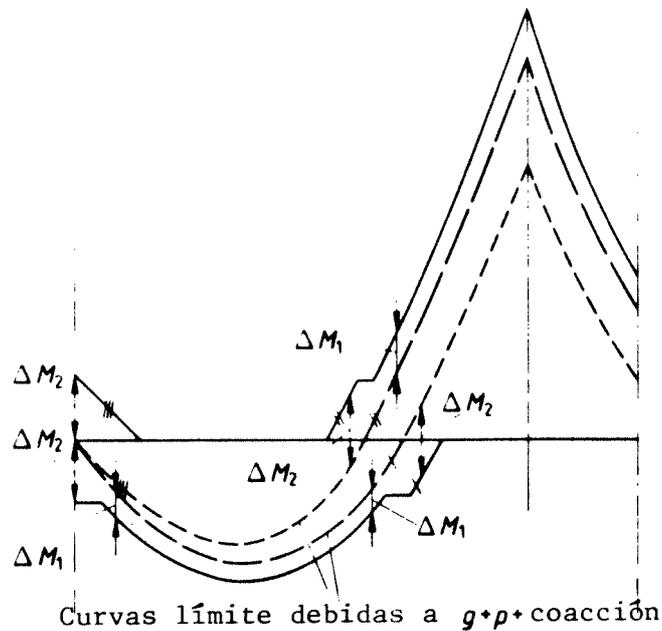
$\sigma_s$  no debe superar  $\beta_s$ .

- 2) En el entorno de los elementos tensores, la sección de la armadura  $A_s$  puede disminuirse en el valor  $\Delta A_s$ , de acuerdo con el Reglamento CIRSOC 201, artículo 26.10.2.1., quinto párrafo.

- 3) Si el elemento estructural está sometido a una distribución casi uniforme de tensiones de tracción (tracción céntrica), como por ejemplo en el caso de la losa de una sección cajón, se deberá efectuar la verificación con la ecuación (1), por separado para cada uno de los 2 cordones de armadura de la sección. En este caso se calculará  $\mu_z$  con la sección de la armadura de cada cordón, referida al área de la sección total del sector considerado (por ejemplo el área correspondiente a la losa de la sección cajón).
- 4) Para la aplicación de la ecuación (1) se usará en la determinación de las solicitaciones, la siguiente combinación de acciones:

Factor de combinación	Acción
1,0	Carga permanente
1,0	Sobrecarga, viento y nieve
1,0	Solicitaciones por coacción debidas a retracción, temperatura y probable descenso de apoyos
1,0	Solicitaciones por modificaciones previstas del sistema estructural (por ejemplo, por el proceso constructivo)
1,0	Momento adicional $\Delta M = \Delta M_1$ ó $\Delta M_2$ según la figura 1
0,9 ó 1,1	Las solicitaciones por el pretensado, tanto primarias como secundarias, (es decir, tanto la acción isostática, como la hiperestática), teniendo en cuenta la influencia de la fluencia lenta, retracción y relajamiento, cuando sean desfavorables. Las solicitaciones por pretensado se multiplicarán por el factor 0,9 ó 1,1, según resulte más desfavorable su influencia.

Bajo la combinación de acciones que incluyen el descenso posible de apoyos (no descensos probables), no se requiere el control de la verificación.



$$\Delta M_1 = 5 \cdot 10^{-5} \frac{EI}{d_0}$$

$$* \Delta M_2 = 15 \cdot 10^{-5} \frac{EI}{d_0}$$

EI la rigidez en estado I

$d_0$  el espesor de la sección en el punto considerado (en el caso de losas se sustituye  $d_0$  por  $d$ )

Figura 1. Diagramas de los momentos flexores límites, incluido el efecto hiperestático del pretensado multiplicado por 0,9 ó 1,1, para el control de la fisuración.

\* El momento adicional  $\Delta M_2$  sólo se requerirá considerar en las zonas en que los momentos resultantes de la combinación de cargas (sin incluir el momento primario del pretensado), más el momento adicional  $\Delta M_1$ , resulten en valor absoluto menores que  $\Delta M_2$ .

En esas zonas no será necesario considerar para el momento flexor combinado, un valor mayor que  $\Delta M_2$ .

Para simplificar los cálculos se podrá utilizar en la determinación de las zonas en que se debe considerar  $\Delta M_2$  el efecto del valor hiperestático con el factor 1.

Ver anexo a este artículo.

### 10.3. JUNTAS DE TRABAJO APROXIMADAMENTE NORMALES A LA DIRECCION PORTANTE

Se aplica el Reglamento CIRSOC 201, artículo 26.10.3. con excepción del primer párrafo.

### 10.4. JUNTAS DE TRABAJO CON ACOPLAMIENTOS DE ELEMENTOS TENSORES

1) Si en una junta de trabajo se ancla provisoriamente más del 20% de la armadura de pretensado existente en la sección transversal, mediante acoplamientos de los elementos tensores o de otro modo, complementariamente a lo especificado en los artículos 9.2., 10.3. y 14, rige lo siguiente:

La armadura que cruza la junta debe ser de acero nervurado y las distancias entre las barras no deberían ser mayores de 15 cm.

2) Si en la junta no quedan tensiones de compresión en el borde considerado en cada caso, bajo la combinación más desfavorable de cargas según el artículo 26.9. del Reglamento CIRSOC 201 (e incluyendo los estados constructivos), la armadura longitudinal que atraviesa la junta debe tener las siguientes secciones mínimas:

a) Para la zona del borde inferior de la sección transversal, cuando allí no existe una placa de refuerzo: 0,2% de la superficie de la sección transversal del alma o de la losa (se calculará con el espesor total de la sección transversal y en el caso de losas aligeradas con huecos aproximadamente circulares, puede calcularse en base a la sección neta de hormigón). Por lo menos la mitad de esta armadura debe estar junto al borde inferior; el resto puede distribuirse en el tercio inferior del espesor de la sección transversal.

b) Para la zona del borde de la sección transversal inferior o superior, cuando existe allí una placa de refuerzo (la regla que a continuación se enuncia es también válida para las losas aligeradas con huecos aproximadamente rectangulares) :

0,8% de la superficie de la sección transversal de la placa inferior, ó 0,4% de la superficie de la sección transversal de la placa superior, incluida la zona de entrecruzamiento con el alma (que se debe determinar con el espesor medio de la placa).

En el caso de placas gruesas, es admisible adoptar un espesor de placa no mayor de 0,40 m. La armadura debe distribuirse uniformemente sobre el ancho de la placa y de la zona de entrecruzamiento con el alma.

- 3) Los valores precedentes indicados para la armadura longitudinal mínima podrán ser reducidos al doble de los valores indicados en la tabla 42 del Reglamento CIRSOC 201, cuando la tensión de compresión en el borde considerado sea como mínimo de  $2 \text{ MN/m}^2$  ( $20 \text{ kgf/cm}^2$ ). Para tensiones de compresión de borde mínimas, comprendidas entre 0 y  $2 \text{ MN/m}^2$  ( $20 \text{ kgf/cm}^2$ ), los valores de la sección de armadura longitudinal mínima pueden interpolarse linealmente entre los valores determinantes correspondientes. Las armaduras adicionales pueden escalonarse de acuerdo con la figura 62 del Reglamento CIRSOC 201.



ANEXOS AL CAPITULO 10

10.2.

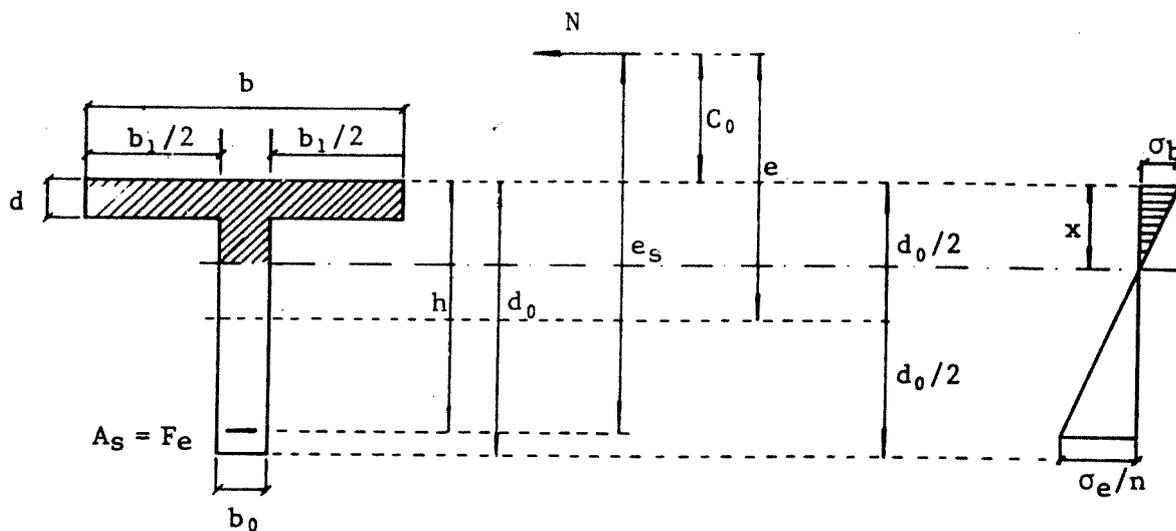
La determinación de la tensión  $\sigma_s$  en estado II, bajo la hipótesis de proporcionalidad entre tensiones y deformaciones, conduce al problema de flexocompresión mediante el cálculo clásico de hormigón armado, también llamado método n, siendo  $n = E_z / E_b$ .

Se transcriben las fórmulas correspondientes, tomadas del manual Hütte, edición 27, tomo III, en la hipótesis de que coincidan los baricentros de la armadura tesa  $A_v$  y no tesa  $A_s$  y de que no haya esfuerzo normal externo.

$F_e$ , representa en este caso la suma de ambas o sea  $F_e = A_v + A_s$

La ecuación cúbica resolvente del problema se resuelve en general por iteración.

Con el valor de  $x$  obtenido, puede calcularse  $\sigma_b$  y  $\sigma_s$



$$b_1 = b - b_0$$

$$e_s = \frac{M + \Delta M}{N}$$

$$C_0 = e_s - h$$

$$N = 0,9 V_\phi$$

$$V_\phi = \epsilon_{vz}^{(0)} \cdot E_v \cdot A_v \cdot (\phi)$$

$\phi$  = factor pérdidas plásticas

$$x^3 + 3 \cdot C_0 \cdot x^2 + x \frac{6}{b_0} \left[ n \cdot F_e \cdot e_s - \frac{b_1}{2} d \cdot (d_0 - d - 2c) \right]$$

$$- \frac{6}{b_0} \left[ n \cdot F_e \cdot h \cdot e_s + \frac{b_1}{12} \cdot d^2 (6 C_0 + 4 d) \right] = 0$$

$$\begin{aligned}
 & x^3 \\
 & + x^2 \cdot 3 C_0 \\
 & + x \cdot \frac{6}{b_0} \left[ n \cdot F_e \cdot e_s + b_1 \cdot d \left( C_0 + \frac{d}{2} \right) \right] \\
 & - \frac{6}{b_0} \left[ n \cdot F_e \cdot h \cdot e_s + \frac{b_1}{12} d^2 \cdot (6 C_0 + 4 d) \right] = 0
 \end{aligned}$$

$$\sigma_b = \frac{N}{\frac{b \cdot x}{2} - \frac{(x-d)^2}{2 \cdot x} \cdot b_1 - \frac{n \cdot F_e}{x} \cdot (h-x)}$$

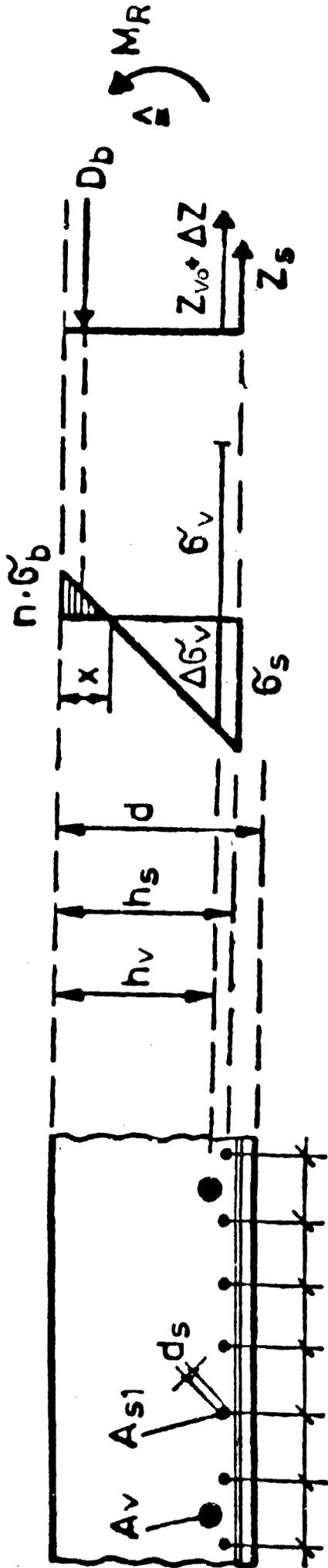
$$\sigma_s = \sigma_b \cdot \frac{h-x}{x} \cdot n$$

$$n = \frac{E_z}{E_b}$$

## PROCEDIMIENTO PARA SECCIÓN RECTANGULAR ,TABLAS DEL PROFESOR KUPFER

En la Conferencia Del Profesor Dr. Kupfer, publicada por CIRSOC, sobre "Dimensionamiento a flexión de Construcciones Pretensadas parcialmente, según DIN 4227 ", figuran Tablas que permiten obtener facilmente  $\sigma_s$ , en el caso de sección rectangular.

Se transcriben a continuación las fórmulas y gráficos más importantes, remitiendo por lo demás a la publicación citada, o al Beton Kalender 1983, Tomo I, pág 748 y siguientes.



$S = \text{const.}$

$$d_s \leq r \frac{A_s}{6_s^2} \cdot 10^4$$

$d_s$  = diámetro de la barra en mm

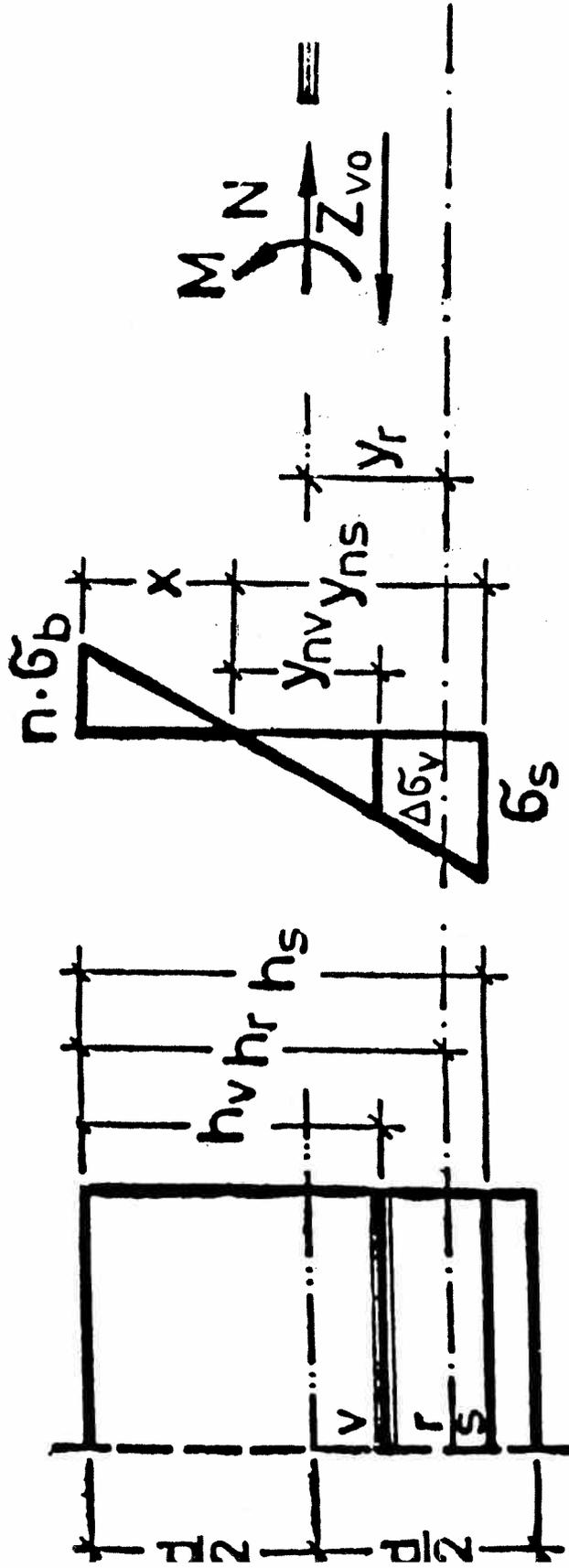
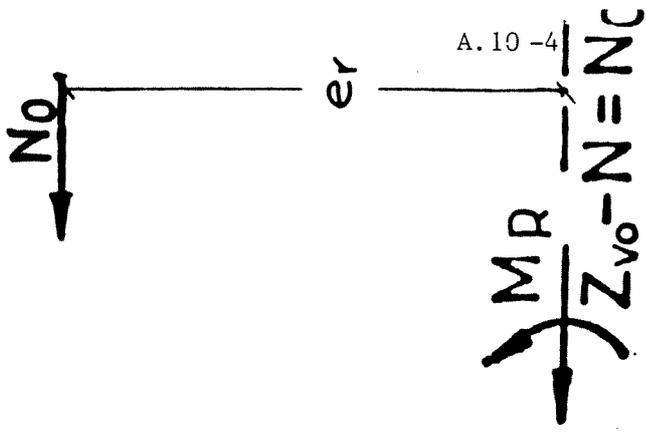
$r$  = 200/150/100

$\sigma_s$  = Tensión del acero en  $\text{N/mm}^2$  para  $M_R = M_q + \Delta M$  ;  $\sigma_v = 0,9 \sigma_{v,\varphi}$  ;  $\sigma_s = \left( \frac{M_R}{h_r \cdot k_z} - Z_{v0} + N \right) \frac{l}{A_s + \alpha \cdot A_v}$

$\mu_s = \frac{100 A_s}{b(d-x)} = \frac{100 A_{s1}}{s(d-x)}$  ;  $\frac{A_{s1}}{S} = a_s$  ;  $\alpha = \Delta\sigma_v / \sigma_s$

Limitación de las fisuras de acuerdo con DIN 4227, parte 2

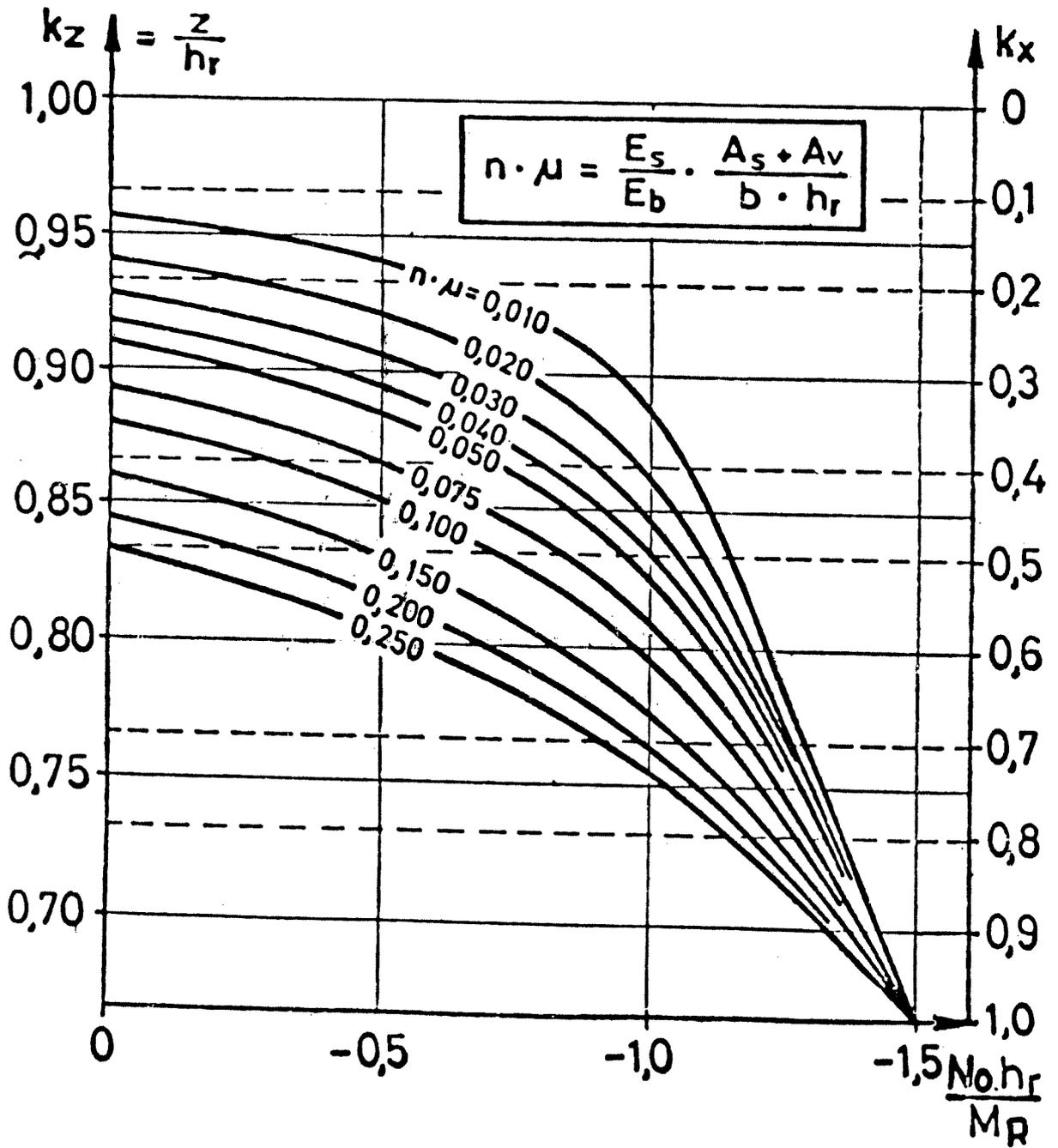
$N$  = esfuerzo normal externo



$$h_r = h_v \frac{\alpha \cdot A_v}{\alpha \cdot A_v + A_s} + h_s \frac{A_v}{\alpha \cdot A_v + A_s}$$

$$\alpha = \frac{\Delta \sigma_v}{\sigma_s} = \frac{y_{nv}}{y_{ns}} \quad e_r = \frac{M_R}{N_0}$$

Explicación del cociente  $\frac{h_r}{e_r}$



Brazo elástico  $k_z$  en función de  $\frac{N_o \cdot h_r}{M_R}$  y  $n \cdot \mu$

## TABLAS GENERALES PARA VIGAS PLACA DEL DR. HUBER

Estas tablas forman parte de un trabajo realizado por el Dr. Huber y publicado en el tomo II de las V Jornadas Argentinas del Hormigón Pretensado, Octubre 1982, página 19 y siguientes.

Se trata de tablas generales para vigas placa, que permiten, mediante unas pocas iteraciones determinar la profundidad de la fibra neutra  $k_x = \frac{x}{h}$  y el valor de  $\sigma_s$  correspondiente.

Se parte de la expresión:

$$Z_v^{(0)} = Z_v - n \cdot \sigma_{bz,v} \cdot A_v$$

siendo:

$Z_v^{(0)}$  el esfuerzo de pretensado ideal en el banco de tesado.

En base al momento  $M_R$ , referido al baricentro de la armadura (se supone coincidente, el baricentro de la armadura tesa y no tesa):

$$M_R = M_0 + M_1 = (k_{b0} \cdot b_0 + k_{b1} \cdot b_1) h^2 \cdot \sigma'_b$$

siendo:

$M_0$  el momento correspondiente al alma e igual a  $k_{b0} \cdot b_0 \cdot h^2 \cdot \sigma'_b$

$M_1$  el momento correspondiente a las alas e igual a  $k_{b1} \cdot b_1 \cdot h^2 \cdot \sigma'_b$

$k_{b0}$  y  $k_{b1}$  los coeficientes que se obtienen de la Tabla 1 en función de un valor  $k_x$  estimado.

Se obtiene la tensión  $\sigma_b$  en el hormigón, despejando de la expresión anterior:

$$\sigma_b = \frac{M_R}{h^2 (k_{b0} \cdot b_0 + k_{b1} \cdot b_1)}$$

Con  $\sigma_b$  se obtiene, en función del valor estimado de  $k_x$ :

$$\Delta\sigma_s = n \cdot \sigma_b \frac{1 - k_x}{k_x}$$

Este valor de  $\Delta\sigma_s$  debe coincidir con:

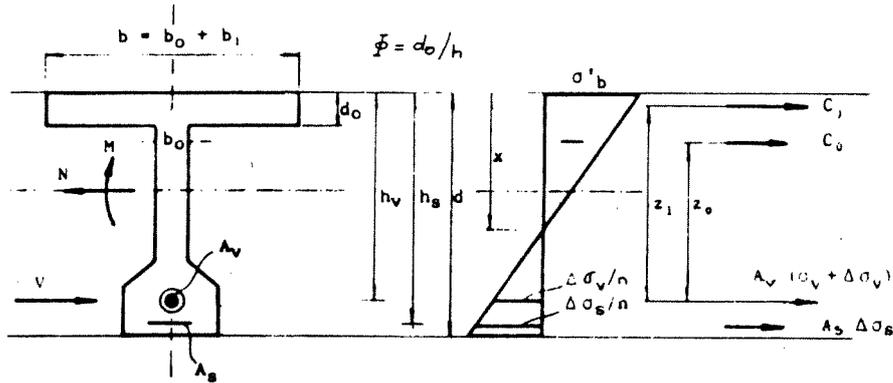
$$\Delta\sigma_s = \frac{1}{A_v + A_s} \left[ \frac{1}{h} \left( \frac{M_0}{k_{z0}} + \frac{M_1}{k_{z1}} \right) - V^o \right]$$

siendo:

$k_{z0}$  y  $k_z$  los coeficientes correspondientes al  $k_x$  estimado, obtenidos de la Tabla 1.

Si ambos valores de  $\Delta\sigma_s$  no coinciden suficientemente se repite el cálculo con un valor mejorado de  $k_x$ .

Las fórmulas transcriptas suponen  $h_v = h_s$



Verificación de una sección pretensada parcialmente

Tabla 1. Vigas-placa parcialmente pretensadas

$\frac{\Delta\sigma}{\sigma_b}$	$k_x$	$k_{z0}$	$k_{h0}$	$\phi = 0,08$		0,10		0,12		0,14		0,16		0,18		0,20		0,22		0,24	
				$k_{z1}$	$k_{h1}$	$k_{z1}$	$k_{h1}$	$k_{z1}$	$k_{h1}$	$k_{z1}$	$k_{h1}$	$k_{z1}$	$k_{h1}$	$k_{z1}$	$k_{h1}$	$k_{z1}$	$k_{h1}$	$k_{z1}$	$k_{h1}$	$k_{z1}$	$k_{h1}$
0	1,000	0,667	0,333	0,961	0,074	0,951	0,090	0,941	0,106	0,932	0,121	0,922	0,136	0,913	0,150	0,904	0,163	0,895	0,175	0,885	0,187
1	0,857	0,714	0,306	0,961	0,073	0,951	0,090	0,942	0,105	0,932	0,120	0,923	0,134	0,914	0,147	0,904	0,160	0,895	0,172	0,887	0,183
2	0,750	0,750	0,281	0,961	0,073	0,951	0,089	0,942	0,104	0,932	0,118	0,923	0,132	0,914	0,145	0,905	0,157	0,896	0,168	0,888	0,179
3	0,667	0,778	0,259	0,961	0,072	0,951	0,088	0,942	0,103	0,933	0,117	0,924	0,130	0,915	0,142	0,906	0,154	0,897	0,165	0,889	0,175
4	0,600	0,800	0,240	0,961	0,072	0,951	0,087	0,942	0,102	0,933	0,115	0,924	0,128	0,915	0,140	0,907	0,151	0,898	0,161	0,890	0,171
5	0,545	0,818	0,223	0,961	0,071	0,951	0,086	0,942	0,101	0,933	0,114	0,925	0,126	0,916	0,138	0,907	0,148	0,899	0,158	0,891	0,167
6	0,500	0,833	0,208	0,961	0,071	0,952	0,086	0,943	0,100	0,934	0,112	0,925	0,124	0,917	0,135	0,908	0,145	0,900	0,154	0,893	0,163
7	0,462	0,846	0,195	0,961	0,070	0,952	0,085	0,943	0,098	0,934	0,111	0,926	0,122	0,917	0,133	0,909	0,142	0,901	0,151	0,894	0,159
8	0,429	0,857	0,184	0,961	0,070	0,952	0,084	0,943	0,097	0,935	0,109	0,926	0,121	0,918	0,131	0,910	0,140	0,903	0,148	0,896	0,155
9	0,400	0,867	0,173	0,961	0,069	0,952	0,083	0,944	0,096	0,935	0,108	0,927	0,119	0,919	0,128	0,911	0,137	0,904	0,144	0,897	0,151
10	0,375	0,875	0,164	0,962	0,069	0,953	0,083	0,944	0,095	0,935	0,107	0,927	0,117	0,919	0,126	0,912	0,134	0,905	0,141	0,899	0,147
11	0,353	0,882	0,156	0,962	0,068	0,953	0,082	0,944	0,094	0,936	0,105	0,928	0,115	0,920	0,123	0,913	0,131	0,907	0,137	0,901	0,143
12	0,333	0,889	0,148	0,962	0,068	0,953	0,081	0,944	0,093	0,936	0,104	0,928	0,113	0,921	0,121	0,914	0,128	0,908	0,134	0,903	0,139
13	0,316	0,895	0,141	0,962	0,067	0,953	0,080	0,945	0,092	0,937	0,102	0,929	0,111	0,922	0,119	0,915	0,125	0,910	0,130	0,905	0,135
14	0,300	0,900	0,135	0,962	0,067	0,953	0,079	0,945	0,091	0,937	0,101	0,930	0,109	0,923	0,116	0,917	0,122	0,911	0,127	0,907	0,131
15	0,286	0,905	0,129	0,962	0,066	0,954	0,079	0,945	0,090	0,938	0,099	0,930	0,107	0,924	0,114	0,918	0,119	0,913	0,124	0,909	0,127
16	0,273	0,909	0,124	0,962	0,066	0,954	0,078	0,946	0,089	0,938	0,098	0,931	0,105	0,925	0,112	0,919	0,116	0,915	0,120	0,911	0,122
17	0,261	0,913	0,119	0,962	0,065	0,954	0,077	0,946	0,087	0,939	0,096	0,932	0,103	0,926	0,109	0,921	0,114	0,917	0,117	0,914	0,118
18	0,250	0,917	0,115	0,963	0,065	0,954	0,076	0,946	0,086	0,939	0,095	0,933	0,101	0,927	0,107	0,922	0,111	0,919	0,113	0,917	0,114
19	0,240	0,920	0,110	0,963	0,064	0,954	0,076	0,947	0,085	0,940	0,093	0,933	0,100	0,928	0,104	0,924	0,108	0,921	0,110	0,920	0,110
20	0,231	0,923	0,107	0,963	0,064	0,955	0,075	0,947	0,084	0,940	0,092	0,934	0,098	0,929	0,102	0,925	0,105	0,923	0,106	0,923	0,107
21	0,222	0,926	0,103	0,963	0,063	0,955	0,074	0,947	0,083	0,941	0,090	0,935	0,096	0,930	0,100	0,927	0,102	0,926	0,103	0,926	0,103
22	0,214	0,929	0,099	0,963	0,063	0,955	0,073	0,948	0,082	0,941	0,089	0,936	0,094	0,932	0,097	0,929	0,099	0,929	0,099	0,929	0,099
23	0,207	0,931	0,096	0,963	0,062	0,955	0,072	0,948	0,081	0,942	0,087	0,937	0,092	0,933	0,095	0,931	0,096	0,931	0,096	0,931	0,096
24	0,200	0,933	0,093	0,963	0,062	0,956	0,072	0,949	0,080	0,943	0,086	0,938	0,090	0,935	0,093	0,933	0,093	0,933	0,093	0,933	0,093
25	0,194	0,935	0,091	0,963	0,061	0,956	0,071	0,949	0,079	0,943	0,084	0,939	0,086	0,936	0,090	0,936	0,090	0,935	0,091	0,935	0,091
26	0,188	0,938	0,088	0,964	0,061	0,956	0,070	0,949	0,077	0,944	0,083	0,940	0,086	0,938	0,088	0,938	0,088	0,938	0,088	0,938	0,088
27	0,182	0,939	0,085	0,964	0,060	0,956	0,069	0,950	0,076	0,945	0,081	0,941	0,084	0,939	0,085	0,939	0,085	0,939	0,085	0,939	0,085
28	0,176	0,941	0,083	0,964	0,060	0,957	0,069	0,950	0,075	0,945	0,080	0,942	0,082	0,941	0,083	0,941	0,083	0,941	0,083	0,941	0,083
29	0,171	0,943	0,081	0,964	0,059	0,957	0,068	0,951	0,074	0,946	0,078	0,943	0,080	0,943	0,081	0,943	0,081	0,943	0,081	0,943	0,081
30	0,167	0,944	0,079	0,964	0,059	0,957	0,067	0,951	0,073	0,947	0,077	0,945	0,079	0,944	0,079	0,944	0,079	0,944	0,079	0,944	0,079



## CAPITULO 11. VERIFICACION DE LA SEGURIDAD A ROTURA PARA FLEXION SIMPLE, FLEXION COMPUESTA Y ESFUERZO NORMAL

### 11.1. PRINCIPIOS BASICOS

Las bases para la verificación del estado de rotura teórico a flexión, flexión compuesta y esfuerzo normal corresponden a las indicaciones dadas en el Reglamento CIRSOC 201, artículo 26.11.2.

### 11.2. ESTADO DE ROTURA O AGOTAMIENTO TEORICO Y PARAMETROS DE SEGURIDAD

- 1) - La verificación de la seguridad a rotura se hará de acuerdo con la ecuación (2). Los factores de mayoración (o minoración) de las solicitaciones, que se indican en la ecuación, se deberán combinar en forma tal, de obtener la solicitación más desfavorable para la zona o sector de la sección que se analiza (hormigón de la zona comprimida, hormigón de la zona traccionada precomprimida o de la zona de compresión eventualmente precomprimida; acero de la armadura tesa y no tesa) .

$$\begin{Bmatrix} 1,75 \\ \bar{\sigma} \\ 1,25 \end{Bmatrix} S_g + 1,75 S_p + \begin{Bmatrix} 1,0 \\ \bar{\sigma} \\ 1,5 \end{Bmatrix} S_v \leq R \quad (2)$$

siendo:

- $S_g$  las solicitaciones debidas a las cargas de servicio de carácter permanente;
- $S_p$  las solicitaciones debidas a las sobrecargas de servicio, al viento y a las cargas de nieve;
- $S_v$  las solicitaciones debidas al pretensado
  - a) Para estados de carga posteriores a la adherencia entre los elementos tensores y el hormigón, se tomará para  $S_v$  solamente el efecto correspondiente a la acción hiperestática del pretensado.
  - b) Para los estados de carga anteriores a la adherencia entre los elementos tensores y el hormigón, ver el artículo 11.3.
- $R$  la solicitación que puede absorber la sección total (hormigón más armadura tesa y no tesa) en estado de rotura o agotamiento teórico, (es decir,  $R$  representa la resistencia de la sección total , en es-

tado de agotamiento).

En la determinación de R se tendrá en cuenta el pretensado mediante el alargamiento específico de los elementos tensores:

- En el caso de estados de carga posteriores a la adherencia del elemento tensor, y cuando se trata de elementos tensores ubicados en zonas traccionadas del hormigón ( $\epsilon_b > 0$ ), se tendrá en cuenta para la determinación de R, el prealargamiento del elemento tensor con su valor real, es decir, multiplicado por el factor 1,0.
- En el caso de estados de carga posteriores a la adherencia, y cuando se trata de elementos tensores ubicados en zonas comprimidas ( $\epsilon_b < 0$ ), se tendrá en cuenta en la determinación de R, el valor real del prealargamiento multiplicado por el factor 1,5. Sin embargo, en este caso, sólo se podrá tener en cuenta la disminución del alargamiento específico del elemento tensor, originado por la deformación impuesta por el plano límite considerado, hasta un valor máximo de 1,5‰. Ver el anexo a este artículo.
- Para los estados de carga anteriores a la adherencia, véase el artículo 11.3. Ver el anexo a este artículo.

2)- Las solicitaciones originadas por la modificación prevista del sistema estático (por ejemplo, por el procedimiento constructivo por etapas), y que sólo afectan a las solicitaciones originadas por las cargas permanentes y por el pretensado, se deberán afectar con los factores de mayoración correspondientes a cargas permanentes y pretensado respectivamente. Se tendrá en cuenta la influencia de la fluencia lenta y de la relajación.

3)- Las solicitaciones de coacción debidas a probables descensos de apoyos, a retracción, y a temperatura (si son desfavorables), se tendrán en cuenta con el factor de mayoración igual a 1,0. Se puede considerar el efecto favorable de la fluencia lenta.

En el caso de puentes se deben considerar los efectos debidos a los asentamientos posibles multiplicados por el factor 0,4, si resultan más desfavorables que los efectos por descensos probables.

4)- Las solicitaciones debidas a cargas permanentes, sobrecargas y pretensado pueden calcularse también con las rigideces correspondientes al estado II,

aún en el caso de modificaciones previstas del sistema estático. Las rigideces correspondientes al estado II, serán las que resultan, bajo la acción de las cargas, multiplicadas por los factores de la ecuación (2) y teniendo en cuenta el prealargamiento con el factor 1. Los módulos de elasticidad para el acero normal y para el acero de pretensado se tomarán de acuerdo con el Reglamento CIRSOC 201, Capítulo 26, artículo 7.2. y para el hormigón comprimido de acuerdo con el Reglamento CIRSOC 201, Capítulo 26., artículo 7.3. En este caso, se deberán tomar las solicitaciones debidas a coacción por probable descenso de apoyo, por retracción y efecto de temperatura, multiplicados por el factor 1,75. Para la verificación del corte se deberá tener presente en este caso, adicionalmente las indicaciones dadas en el Reglamento CIRSOC 201, artículo 26.12.4.1., párrafo 6.

- 5- En el caso de superposición de solicitaciones en la misma dirección originada por acciones portantes distintas (por ejemplo, acción como viga principal y localmente acción como losa en la misma sección), sólo será necesario para cada caso aislado, la consideración del estado de deformación correspondiente.
- 6- Para la zona traccionada precomprimida se podrá sustituir la verificación a rotura según el primer párrafo, por una verificación de tensiones bajo cargas de servicio, de acuerdo con el Reglamento CIRSOC 201, Capítulo 26. En este caso, se limitan las tensiones admisibles dadas en el Reglamento CIRSOC 201, Capítulo 26, Tabla 47 a los siguientes valores:

-Hormigón a compresión ,en la zona traccionada precomprimida						
Para estados de carga anteriores a la adherencia de los elementos tensores						
		Campo de aplicación	Tensiones admisibles MN/m <sup>2</sup> *			
			H-21	H-30	H-38	H-47
		2	3	4	5	6
1		Compresión céntrica en columnas y elementos comprimidos	8	10	11,5	13
2		Tensiones de borde en secciones macizas (por ejemplo sección rectangular)(Flexión plana)	11	14	17	19
3		Tensiones de borde en las alas de secciones aligeradas (por ejemplo, vigas placa y secciones cajón)	10	13	16	18
4		Tensión en esquina por flexión oblicua	12	15	18	20

Para estados de carga posteriores a la adherencia de los elementos tensores						
5		Compresión céntrica	11	13	15	17
6		Tensiones de borde en secciones macizas (por ejemplo sección rectangular) (Flexión plana)	14	17	19	21
7		Tensión de borde en las alas de secciones aligeradas (por ej. vigas placa y secciones cajón)	13	16	18	20
8		Tensión en esquina por flexión oblicua	15	18	20	22
<b>- Hormigón a tracción en la zona comprimida</b>						
En general - Con exclusión de los puentes						
18		En general:				
19		Tracción céntrica	1,2	1,4	1,6	1,8
20		Tensión de borde	3,0	3,5	4,0	4,5
		Tensión en esquina	3,5	4,0	4,5	5,0
21		Bajo suma de estados de carga poco probables:				
22		Tracción céntrica	1,6	2,0	2,2	2,4
23		Tensión de borde	4,0	4,4	5,0	5,6
		Tensión en esquina	4,4	5,2	5,8	6,4
24		Estado de construcción:				
25		Tracción céntrica	0,8	1,0	1,1	1,2
26		Tensión de borde	2,0	2,2	2,5	2,8
		Tensión en esquina	2,2	2,6	2,9	3,2
En puentes y construcciones similares						
36		Bajo cargas principales:				
37		Tracción céntrica	1,0	1,2	1,4	1,6
38		Tensión de borde	2,5	2,8	3,2	3,5
		Tensión en esquina	2,8	3,2	3,6	4,0
39		Bajo cargas principales y secundarias:				
40		Tracción céntrica	1,2	1,4	1,6	1,8
41		Tensión de borde	3,0	3,6	4,0	4,5
		Tensión en esquina	3,5	4,0	4,5	5,0
42		Estado de construcción:				
43		Tracción céntrica	0,8	1,0	1,1	1,2
44		Tensión de borde	2,0	2,2	2,5	2,8
		Tensión en esquina	2,2	2,6	2,9	3,2

Se deberá verificar la absorción de la resultante de las tensiones de tracción mediante armadura. Las tensiones en el acero no deberán superar en este caso los valores dados en el Reglamento CIRSOC 201, Tabla 47, renglones 65, 68 y 69.

		Tensiones admisibles
65	Acero de pretensado	$0,85 \beta_S \text{ ó } 0,70 \beta_Z$
68	Acero no tesado	$\beta_S/1,75$
69	AM-500-L	$240 \text{ MN/m}^2$

### 11.3. VERIFICACION BAJO ESTADOS DE CARGA ANTERIORES A LA ADHERENCIA ENTRE EL HORMIGON Y LOS ELEMENTOS TENSOSES

1) Para la verificación de la seguridad a rotura de la zona traccionada pre-comprimida, bajo estados de carga anteriores a la adherencia se introducirá en la ecuación (2), en el término correspondiente a  $S_y$ , tanto el efecto isostático como también el efecto hiperestático del esfuerzo de pretensado. Por lo tanto, en la determinación de la capacidad resistente  $R$  de la sección, de acuerdo con la ecuación (2), se prescindirá en este caso de la consideración de los elementos tensores.

En sustitución de esta verificación se podrá usar también el procedimiento indicado en el artículo 11.2., punto 6.

2) La verificación de la zona comprimida por flexión y de la armadura traccionada para estados de carga anteriores a la adherencia se requiere cuando las sollicitaciones correspondientes a estos estados son superiores al 70% de las sollicitaciones correspondientes al estado posterior a la adherencia de los elementos tensores. En tal caso se introducirá para  $S_y$ , tanto la componente isostática como también la hiperestática correspondiente al pretensado. Se podrá tener en cuenta el incremento de tensión en los elementos tensores originado por el incremento de las cargas, pudiendo utilizarse al efecto los valores aproximados dados en el Reglamento CIRSOC 201, artículo 11.3., punto (2). En la determinación de  $R$ , en la ecuación (2), se prescindirá de la consideración de los elementos tensores.

- Ver el anexo a este artículo.



## ANEXOS AL CAPITULO 11.

## 11.2. 1º PARRAFO. REFERENCIAS CON RESPECTO A LA ECUACION (2)

$$\left\{ \begin{array}{c} 1,75 \\ \delta \\ 1,25 \end{array} \right\} S_g + 1,75 S_p + \left\{ \begin{array}{c} 1,0 \\ \delta \\ 1,5 \end{array} \right\} S_v \leq R$$

Los coeficientes que figuran en la ecuación (2) pueden desglosarse en factores de mayoración  $\gamma_s$ , que afectan a las solicitaciones, y en factores de minoración  $\gamma_m$ , que afectan como divisores a la resistencia.

Así se obtiene:

Para  $S_p$  :  $\gamma_s = 1,4$  y  $\gamma_m = 1,25$ , por lo tanto  $\gamma = 1,75$

Para  $S_g$  : - si es favorable :  $\gamma_s = 1,0$  y  $\gamma_m = 1,25$ , por lo tanto  $\gamma = 1,25$

- si es desfavorable:  $\gamma_s = 1,4$  y  $\gamma_m = 1,25$ , por lo tanto  $\gamma = 1,75$

Para  $S_v$  : - si es favorable :  $\gamma_s = 0,8$  y  $\gamma_m = 1,25$ , por lo tanto  $\gamma = 1,00$

- si es desfavorable:  $\gamma_s = 1,2$  y  $\gamma_m = 1,25$ , por lo tanto  $\gamma = 1,50$

Para estados de coacción se admite que la disminución de rigideces, al pasar la estructura del estado I al estado II, fisurado, sea del orden de  $\frac{1}{1,75}$ , con lo cual las solicitaciones por coacción en estado II, resultan  $\frac{1}{1,75}$  veces las del estado I. Si admitimos que:

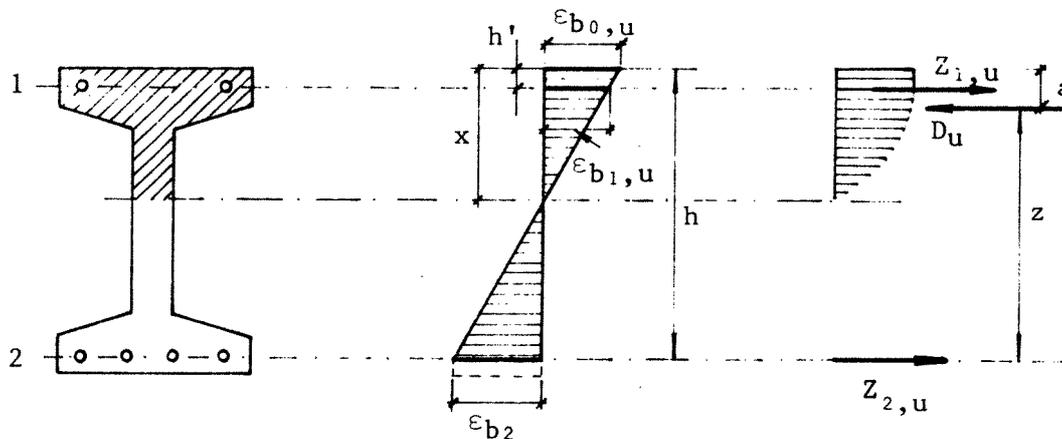
$$\gamma_s = 1,4 \quad \text{y} \quad \gamma_m = 1,25$$

resulta:

$$\frac{1}{1,75} \cdot 1,4 \cdot 1,25 = 1 = \gamma, \text{ factor con el que se afectan las solicitaciones calculadas en estado I.}$$

## 11.2. 1º PARRAFO. REFERENCIAS CON RESPECTO A R

En el caso de estados de carga posteriores a la adherencia, y cuando se trata de elementos tensores ubicados en la zona comprimida ( $\epsilon_b < 0$ ), tendremos:



$$\epsilon_{b2,u} = \epsilon_{b0,u} \cdot \frac{x - h'}{x}$$

Se recomienda, en el caso de hormigón con pretensado total o limitado, con elementos tensores en la zona comprimida, no tomar para el acortamiento específico de  $\epsilon_{b0,u}$  un valor mayor que 2% , ya que el acortamiento de rotura del hormigón de 3,5 % disminuye en forma considerable, en las secciones inmediatas a la sección crítica y en general, no se suele alcanzar en estos casos la adherencia necesaria entre el elemento tensor y el hormigón, para garantizar la igualdad de deformaciones del hormigón y del acero.

Resulta:

$$\epsilon_{z1,u} = \epsilon_{z,1}^{(0)} + \epsilon_{b1,u}$$

siendo:

$\epsilon_{z,1}^{(0)}$  igual al prealargamiento (valor positivo);

$\epsilon_{b1,u}$  igual al acortamiento de signo negativo.

En el presente caso, de hormigón con pretensado parcial, se podrá tener en cuenta  $\epsilon_{b1,u}$  sólo con un valor máximo de 1,5‰.

Además, teniendo en cuenta, que en el pretensado parcial se prescinde de la verificación de tensiones bajo cargas de servicio, se deberá tener en cuenta el prealargamiento  $\epsilon_{z,1}^{(0)}$  con un factor de mayoración de 1,5.

(Este factor de mayoración es un coeficiente de seguridad que considera una disminución de la resistencia del hormigón y un incremento no previsto del esfuerzo de pretensado).

Con esto resulta:

$$\varepsilon_{z1,u} = 1,5 \varepsilon_{z1}^{(0)} + \varepsilon_{b1,u} \quad (\varepsilon_{b1,u} \text{ es negativo})$$

Con el valor de  $\varepsilon_{z1,u}$  se obtiene la tensión correspondiente del acero y con esto, el esfuerzo residual en el elemento tensor de la fibra 1.

$$Z_{1,u} = \sigma_{z1,u} \cdot A_1 \quad (\text{puede ser también de compresión})$$

Para la determinación del eje neutro debe cumplirse la ecuación de equilibrio

$$D_{u,z} - Z_{1,u} (h - h') = M_{z2,u} \quad M_{z2,u} \text{ es el momento referido al elemento tensor 2}$$

y de ahí

$$A_{z2,nec} = \frac{1}{\sigma_{z2,u}} (D_{u,z} - Z_{1,u} + N_u)$$

siendo:

$N_u$  el esfuerzo normal, si lo hay (esfuerzo externo, positivo si es de tracción);

$D_{u,z}$  es positivo;

$Z_{1,u}$  es positivo si resulta de tracción.

### 11.3. REFERENCIAS CON RESPECTO A LA DETERMINACION DE LA SEGURIDAD A ROTURA PARA ESTADOS DE CARGA ANTERIORES A LA ADHERENCIA

Se podrá calcular como en el caso general con adherencia

$$M_{zu} = M_u - N_u \cdot y_z$$

siendo:

$M_{zu}$  el momento referido al eje del elemento tensor;

$y_z$  la distancia desde el eje del sistema, al cual está referido  $M_u$  hasta el eje del elemento tensor

$N_u$  el esfuerzo normal externo, positivo si es de tracción.

-En el caso de sección rectangular se podrá determinar  $k_z$  en función de:

$$100 m_z = \frac{100 M_{zu}}{b \cdot h \cdot \beta'_R}$$

y con el diagrama de Rüsck para cargas de rotura ( ver Cuaderno 220, de la Comisión Alemana para el Estudio del Hormigón Armado), considerando  $\beta'_R = 0,7 \sigma'_{bk}$ . El valor de  $k_z$  se utiliza para determinar  $z = k_z \cdot h$ .

-En el caso de sección placa se podrá determinar aproximadamente con:

$$M_{zu1} = \beta'_R (b - b_0) / d (h - d/2) \quad \text{Momento que toma la placa.}$$

$$\Delta M_{zu} = M_{zu} - M_{zu1} \quad \text{Momento que toma el nervio.}$$

$k_z$  y  $z$  se determinan en forma similar partiendo de la siguiente fórmula:

$$m_u = \frac{\Delta M_{za}}{b h^2 \beta'_R}$$

y del diagrama de Rüsck.

Con esto se obtiene:

En el caso de sección rectangular:

$$A_v \cdot \sigma_{zu} + A_s \cdot \sigma_{su} \geq \left( \frac{M_{zu}}{z} + N_u \right)$$

En el caso de sección placa:

$$A_v \cdot \sigma_{zu} + A_s \cdot \sigma_{su} \geq \frac{M_{zu}}{h - \frac{d}{2}} + \frac{\Delta M_{zu1}}{k_z h} + N_u$$

siendo:

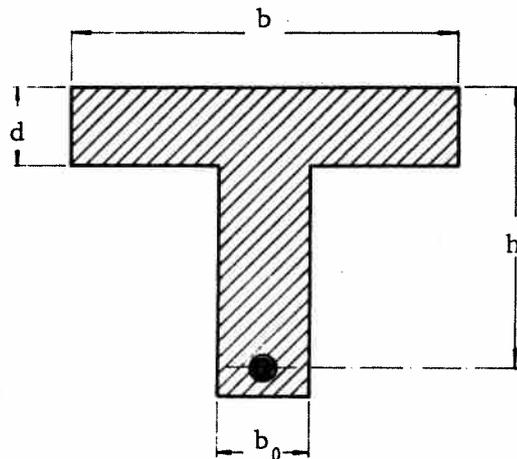
$A_v$  la sección de acero del elemento tensor;

$A_s$  la sección de acero no tesa;

$\sigma_{su}$  la tensión en el acero no teso;

$\sigma_{zu}$  la tensión en el acero de pretensado;

$N_u$  el esfuerzo normal externo, positivo si es de tracción.



Para  $\sigma_{zu}$  se podrá tomar como valor máximo:

- para viga simplemente apoyada  $\sigma_{zu} = \sigma_v^{(0)} + 110 \text{ MN/m}^2 \leq \beta_{sv}$
- para voladizo  $\sigma_{zu} = \sigma_v^{(0)} + 50 \text{ MN/m}^2 \leq \beta_{sv}$
- para viga continua  $\sigma_{zu} = \sigma_v^{(0)}$

siendo:

- $\sigma_v^{(0)}$  la tensión en el elemento tensor en el estado constructivo;
- $\beta_{sv}$  la tensión de fluencia del acero de pretensado (ver CIRSOC 201, Capítulo 26, artículo 11.3.).



## CAPITULO 12. TENSIONES PRINCIPALES Y VERIFICACION A CORTE

- No se requiere la verificación bajo cargas de servicio con excepción de las verificaciones correspondientes a la acción conjunta de corte y flexión transversal. En este último caso, rige el Reglamento CIRSOC 201, artículo 26.15.6. En el caso de carga no predominantemente estática debe tenerse en cuenta también el artículo 9.2., punto 2.
- Para las verificaciones bajo cargas de rotura teóricas, se aplicará el Reglamento CIRSOC 201, artículo 26.12. En este caso se usará exclusivamente la combinación de cargas

$$1,75 S_g + 1,75 S_p + 1,0 S_v$$

incluyendo las solicitaciones correspondientes a coacción por descenso probable de apoyos, retracción y temperatura, cuando corresponda, multiplicadas por el factor 1,0.

### NOTA :

La verificación a punzonado es en rigor una verificación a rotura, aunque con cargas de servicio.

Por lo tanto la carga  $Q_v$  llevada directamente por los elementos tensores al apoyo, o sea, la componente vertical de los elementos tensores en la sección de corte con la superficie o perímetro de punzonado, se puede considerar sólo con el valor disminuido en 1,75.

Esto no resulta claro del texto del artículo 26.12.9. del Reglamento CIRSOC 201, el que será modificado oportunamente.

## CAPITULO 13. VERIFICACION DE LA ADHERENCIA ENTRE LOS ELEMENTOS TENSORES Y EL HORMIGON

Rige el Reglamento CIRSOC 201, Capítulo 26, artículo 13.



## CAPITULO 14. ANCLAJE Y ACOPLAMIENTO DE ELEMENTOS TENSORES, COBERTURA DEL DIAGRAMA DE TRACCIONES.

Se aplicará el Reglamento CIRSOC 201, artículo 26.14. con excepción del artículo 26.14.2.

Ver el anexo al Capítulo 14.

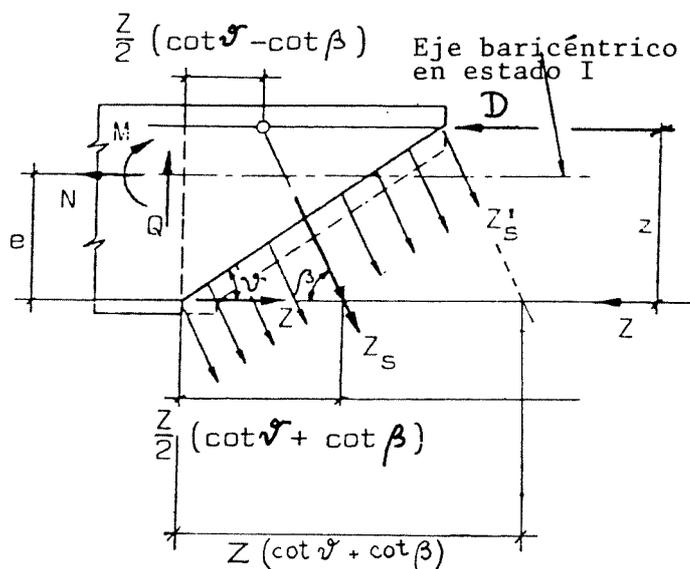


## ANEXO AL CAPITULO 14

En estructuras con pretensado parcial deberá cuidarse especialmente las indicaciones del Reglamento CIRSOC 201, artículo 26.14., sobre todo en el caso de que no se prolongue la armadura no tesa en forma corrida hasta el apoyo.

El artículo 26.14.3. del Reglamento CIRSOC 201 prevé en el punto 3 que: "cuando en el apoyo se levantan elementos tensores de la parte inferior de la viga, se deberá asegurar la colaboración de la altura total de la viga para la absorción del esfuerzo de corte, mediante una armadura mínima del cordón traccionado, dimensionada para absorber un esfuerzo de tracción  $Z_u = 0,5 Q_u$ . Los elementos tensores que quedan en el cordón traccionado (los que no se levantan) pueden incluirse en esta verificación con su valor de tesado inicial  $V_0$  (ver anexo a este artículo en el Reglamento CIRSOC 201)" .

El cuaderno 320 de la Comisión Alemana para el Hormigón Armado, traducido por IRAM, trae al efecto el siguiente dibujo ilustrativo:



$$M_c = M - N \cdot e \quad (N \text{ es negativo cuando es de compresión})$$

$$\left[ Z = A_s \text{ long} \cdot \sigma_s \text{ long} = \frac{M}{z} + N + \frac{Q}{2} (\cot \psi - \cot \beta) \right] \quad (a)$$

De esta fórmula resulta el decalaje teórico igual a  $\frac{Z}{2} (\cotg \nu' - \cotg \beta)$ .

Es decir, la tracción Z de la armadura longitudinal se deberá incrementar en las zonas afectadas por fisuración oblicua (zonas de corte) en la magnitud  $\frac{Q}{2} (\cotg \nu' - \cotg \beta)$ , es decir, resulta mayor que en una zona con flexión pura (y fisuración vertical).

El Reglamento CIRSOC 201, en los artículos 26.14.3. y 18.7.2., Tabla 30, exige que se contemple esto mediante un decalaje v tomado en la siguiente forma:

En losas sin armadura de corte	v = 1,5 h
En general:	armadura de corte minorada
armadura de corte inclinada separación $\leq 0,25 h$	v = 0,25 h
armadura de corte inclinada separación $> 0,25 h$	v = 0,75 h
armadura de corte normal al eje del elemento constructivo	v = 1,0 h

Esto significa, que en general, en cortes oblicuos, la armadura de tracción longitudinal debe absorber, además del esfuerzo resultante de la verificación a rotura normal (a flexión con o sin esfuerzo axial, según el capítulo 11), el esfuerzo adicional  $Q \frac{v}{h}$ .

En la ecuación (a), se considerará para N:

- en el caso de pretensado con adherencia, N representa sólo un eventual esfuerzo normal externo ;
- en el caso de verificación de la armadura no tesa necesaria para el equilibrio, antes de la adherencia se deberá considerar el esfuerzo de pretensado como carga externa, e incluirla en el valor de N.

En el Reglamento CIRSOC 201, artículo 26.14.3., punto 4 dice: "En la zona de apoyos intermedios, esta armadura del cordón inferior debe prolongarse en dirección hacia el apoyo en v = 1,5 h, por sobre la sección que bajo la combinación de carga considerada tenga todavía tensiones de tracción. En el estado de carga considerado se deberán incluir también las sollicitaciones de coacción desfavorables (por ejemplo, diferencia de temperatura y asentamiento de apoyo)".

En el Reglamento CIRSOC 201, artículo 26.14.3., punto 5 dice: "Para el cordón superior se procederá análogamente".

Impreso en Diciembre de 1997  
en REPROGRAFIAS JMA S.A., San José 1573 / 5  
(1136) Capital Federal - Tel.: 304-0267 - 306-5566 - Fax: 304-9608

Edición de 1.000 ejemplares