

CAPITULO C.18 CONCRETO PREESFORZADO

C.18.0 - NOMENCLATURA

A	=	área de aquella parte de la sección transversal entre la cara de tracción a flexión y el centro de gravedad de la sección bruta, expresada en mm^2 .
A_{ps}	=	área del refuerzo preesforzado en la zona de tracción, expresada en mm^2 .
A_s	=	área del refuerzo no preesforzado que trabaja a tracción, expresada en mm^2 .
A'_s	=	área del refuerzo no preesforzado que trabaja a compresión, expresada en mm^2 .
b	=	ancho de la cara a compresión del elemento, expresado en mm.
d	=	distancia desde la fibra extrema a compresión hasta el centroide del refuerzo no preesforzado a tracción, expresada en mm.
d'	=	distancia desde la fibra extrema a compresión hasta el centroide del refuerzo no preesforzado a compresión, expresada en mm.
d_p	=	distancia desde la fibra extrema a compresión hasta el centroide del refuerzo preesforzado
D	=	cargas muertas, o sus efectos internos.
e	=	base de los logaritmos neperianos
f'_c	=	resistencia nominal del concreto a la compresión, expresada en MPa.
$\sqrt{f'_c}$	=	raíz cuadrada de la resistencia nominal del concreto a la compresión, expresada en MPa
f'_{ci}	=	resistencia a la compresión del concreto en el momento de transferencia del preesfuerzo, expresada en MPa.
$\sqrt{f'_{ci}}$	=	raíz cuadrada de la resistencia a la compresión del concreto en el momento de transferencia del preesfuerzo, expresada en MPa
f_{pc}	=	esfuerzo de compresión promedio en el concreto debido solamente a la fuerza de preesfuerzo efectivo (después de descontar todas las pérdidas del preesfuerzo), expresado en MPa
f_{ps}	=	esfuerzo en el refuerzo preesforzado a la resistencia nominal del elemento, expresada en MPa.
f_{pu}	=	resistencia nominal a la tracción de los tendones de preesfuerzo, expresada en MPa
f_{py}	=	resistencia nominal a la fluencia de los tendones de preesfuerzo, expresada en MPa.
f_r	=	módulo de ruptura del concreto expresado en MPa.
f_{se}	=	esfuerzo efectivo en el refuerzo preesforzado (después de descontar todas las pérdidas de preesfuerzo), expresado en MPa.
f_y	=	resistencia nominal a la fluencia del refuerzo no preesforzado, expresada en MPa.
h	=	espesor total del elemento, expresado en mm
K	=	coeficiente de fricción por desviación, por metro de tendón de preesfuerzo.
ℓ	=	longitud de la luz de losas en dos direcciones, en la dirección paralela a la del refuerzo que se está determinando. Véase la ecuación C.18-8.
ℓ_x	=	longitud del tendón de preesforzado desde el extremo del gato hasta cualquier punto x , en metros. Véanse las ecuaciones C.18-1 y C.18-2.
L	=	cargas vivas, o sus efectos internos
N_c	=	fuerza de tracción en el concreto debida a la carga muerta más la carga viva no mayorada ($D + L$)
P_i	=	fuerza en el tendón de preesfuerzo en el extremo del gato.
P_x	=	fuerza en el tendón de preesfuerzo en cualquier punto x .
r	=	porcentaje de redistribución de momentos.
α	=	variación angular total del perfil del tendón de preesfuerzo, en radianes, desde el extremo del gato hasta cualquier punto x
β_1	=	coeficiente definido en C.10.2.7.1
γ_p	=	coeficiente para el tipo de tendón de preesfuerzo
	=	0.55 para f_y/f_{pu} no menor de 0.80
	=	0.40 para f_y/f_{pu} no menor de 0.85
	=	0.28 para f_y/f_{pu} no menor de 0.90
μ	=	coeficiente de fricción por curvatura, por radián.
ρ	=	cuantía del refuerzo a tracción. A_s/bd .

- ρ' = cuantía del refuerzo a compresión. A'_s/bd .
- ρ_p = cuantía del refuerzo preesforzado. A_{ps}/bd_p .
- ϕ = coeficiente de reducción de resistencia. Véase C.9.3.
- ω = $\rho f_y / f'_c$
- ω' = $\rho' f_y / f'_c$
- ω_p = $\rho_p f_{ps} / f'_c$

$\omega_w, \omega_{pw}, \omega'_w$ = índices de refuerzo para las secciones con alas, calculados en igual forma que ω, ω_p y ω' excepto que b debe ser el ancho del alma, y el área del refuerzo debe ser la que se requiere para desarrollar la resistencia a la compresión del alma únicamente.

C.18.1 - ALCANCE

C.18.1.1 - Las disposiciones de este Capítulo deben aplicarse a los elementos preesforzados con alambres, torones, o barras, que cumplen las disposiciones para tendones para concreto preesforzado del Capítulo C.3.

C.18.1.2 - Todas las disposiciones del Reglamento cuya exclusión no sea específicamente mencionada, y que no estén en conflicto con las disposiciones de este Capítulo, aplican al concreto preesforzado.

C.18.1.3 - Las siguientes disposiciones del Reglamento no deben aplicarse al concreto preesforzado, excepto aquellas partes de ellas en que se indique específicamente que se permite utilizarlas en concreto preesforzado: C.7.6.5, C.8.5.7.1 a C.8.5.7.3, C.8.5.12, C.10.3.2, C.10.3.3, C.10.5, C.10.6, C.10.9.1, C.10.9.2, C.13, C.14.3, C.14.5 y C.14.6.

C.18.2 - GENERALIDADES

C.18.2.1 - Los elementos preesforzados deben cumplir los requisitos de resistencia especificados en el presente Título C.

C.18.2.2 - El diseño de los elementos preesforzados debe basarse en la resistencia y en el comportamiento bajo condiciones de servicio, en todas las etapas de carga que puedan ser críticas durante la vida de la estructura, desde el momento en que se aplique por primera vez el preesfuerzo.

C.18.2.3 - En el diseño deben considerarse las concentraciones de esfuerzos debidas al preesfuerzo.

C.18.2.4 - Deben tomarse las medidas necesarias para prevenir los efectos que tengan sobre los elementos adyacentes las deformaciones elásticas y plásticas, las deflexiones, los cambios de longitud, y las rotaciones debidas al preesfuerzo. Deben incluirse también los efectos de la retracción y variación de la temperatura.

C.18.2.5 - Es necesario tener en cuenta la posibilidad de pandeo en un elemento entre los puntos donde están en contacto con el concreto los tendones de preesfuerzo, y el pandeo de almas y alas delgadas.

C.18.2.6 - También debe tenerse en cuenta el efecto por la pérdida de área, debida a ductos no inyectados, al calcular las propiedades de la sección antes de la adherencia de los tendones de preesfuerzo.

C.18.3 - SUPOSICIONES DE DISEÑO

C.18.3.1 - El diseño por resistencia de los elementos preesforzados para flexión y fuerzas axiales, debe basarse en las suposiciones dadas en C.10.2, excepto que C.10.2.4 únicamente debe aplicarse a refuerzo que cumpla con lo dispuesto en C.3.5.3, C.3.5.4, y C.3.5.5.

C.18.3.2 - Para la investigación de los esfuerzos en transferencia del preesfuerzo, al nivel de cargas de servicio, y al de cargas de fisuración, puede utilizarse la teoría elástica lineal cumpliendo las siguientes suposiciones.

C.18.3.2.1 - Las deformaciones varían linealmente con la profundidad del elemento a través de todo el rango de cargas.

C.18.3.2.2 - En secciones fisuradas, el concreto no resiste tracción.

C.18.4 - ESFUERZOS ADMISIBLES EN EL CONCRETO - ELEMENTOS A FLEXION

C.18.4.1 - Los esfuerzos en el concreto inmediatamente después de la transferencia del preesfuerzo (antes de las pérdidas de preesfuerzo dependientes del tiempo), no deben exceder los siguientes valores:

- (a) Esfuerzo en la fibra extrema a compresión $0.60 f'_{ci}$
- (b) Esfuerzo en la fibra extrema a tracción, excepto lo permitido en (c) $\frac{\sqrt{f'_{ci}}}{4}$ (*)
- (c) Esfuerzo en la fibra extrema a tracción en los extremos de
elementos simplemente apoyados $\frac{\sqrt{f'_{ci}}}{2}$ (*)

Donde los esfuerzos de tracción calculados excedan los valores dados anteriormente, debe suministrarse refuerzo auxiliar adherido, (preesforzado o no preesforzado) en la zona de tracción para resistir la totalidad de la fuerza de tracción en el concreto calculada bajo la suposición de que la sección no está fisurada.

C.18.4.2 - Los esfuerzos en el concreto ante cargas de servicio (después de descontar todas las pérdidas del preesfuerzo) no deben exceder los siguientes valores:

- (a) Esfuerzo en la fibra extrema a compresión debido
al preesfuerzo más las cargas permanentes $0.45 f'_c$
- (b) Esfuerzo en la fibra extrema a compresión debido
al preesfuerzo más las cargas totales $0.60 f'_c$
- (c) Esfuerzo en la fibra extrema a tracción en la zona
a tracción precomprimida $\frac{\sqrt{f'_c}}{2}$ (*)
- (d) Esfuerzo en la fibra extrema a tracción en la zona de tracción precomprimida
de los elementos (excepto sistemas de losas en dos direcciones) en los
cuales un análisis basado en secciones fisuradas transformadas y utilizando
relaciones momento-deflexión bilineales, demuestra que las deflexiones,
inmediatas y a largo plazo, cumplen los requisitos de C.9.5.4 y donde los
requisitos de recubrimiento cumplen con C.7.7 3.2 $\sqrt{f'_c}$ (*)

C.18.4.3 - Los esfuerzos admisibles en el concreto dados por C.18.4.1 y C.18.4.2 pueden excederse si se demuestra por medio de ensayos o por análisis que el funcionamiento de la estructura no se ve afectado.

C.18.5 - ESFUERZOS ADMISIBLES EN LOS TENDONES DE PREESFUERZO

C.18.5.1 - El esfuerzo de tracción en los tendones de preesfuerzo no debe exceder los siguientes valores.

- (a) Debido a la fuerza en el gato $0.94 f_{py}$
pero no puede ser mayor que el menor valor entre $0.80 f_{pu}$
y el valor máximo recomendado por el fabricante
de los tendones de preesfuerzo o los anclajes.
- (b) Inmediatamente después de la transferencia del preesfuerzo $0.82 f_{py}$
pero no mayor de $0.74 f_{pu}$
- (c) Tendones de postensado, en los anclajes y acoples,
inmediatamente después del anclaje de los tendones $0.70 f_{pu}$

C.18.6 - PERDIDAS DEL PREESFUERZO

C.18.6.1 - Para determinar el preesfuerzo efectivo, f_{se} , deben considerarse reducciones causadas por las pérdidas debidas a:

- (a) Corrimiento del anclaje.
- (b) Acortamiento elástico del concreto.
- (c) Flujo plástico del concreto.
- (d) Retracción de fraguado del concreto.
- (e) Relajación del esfuerzo del tendón
- (f) Pérdidas por fricción debidas a la curvatura intencional y no intencional en los tendones en postensado

C.18.6.2 - PERDIDAS POR FRICCION EN LOS TENDONES DE CONCRETO POSTENSADO - El efecto de las pérdidas por fricción en los tendones de postensado debe calcularse por medio de la siguiente ecuación:

$$P_s = P_x e^{(K\ell_x + \mu\alpha)} \quad (\text{C.18-1})$$

Cuando $(K\ell_x + \mu\alpha)$ sea menor de 0.3, el efecto de las pérdidas por fricción puede calcularse utilizando:

$$P_s = P_x (1 + K\ell_x + \mu\alpha) \quad (\text{C.18-2})$$

C.18.6.2.1 - Las pérdidas por fricción deben basarse en valores determinados experimentalmente de los coeficientes de fricción, por desviación K y curvatura μ , y deben verificarse durante las operaciones de tensado del tendón. Los valores aproximados de los coeficientes de fricción por curvatura y desviación presentados en la tabla C.18-1, pueden utilizarse cuando no se disponga de valores obtenidos experimentalmente

TABLA C.18-1
COEFICIENTES DE FRICCION PARA TENDONES DE PREESFUERZO
EN CONCRETO POSTENSADO PARA USO EN LAS ECUACIONES C.18-1 Y C.18-2

			Coeficiente por desviación, K	Coeficiente por curvatura, μ
Tendones Adheridos Inyectados en ducto Metálico		Alambres	0.0010 - 0.0030	0.15 - 0.25
		Barras de alta resistencia	0.0001 - 0.0012	0.08 - 0.30
		Torones de 7 alambres	0.0005 - 0.0040	0.15 - 0.25
Tendones no Adheridos	Cubiertos con Masilla	Alambres	0.0010 - 0.0040	0.05 - 0.15
		Torones de 7 alambres	0.0010 - 0.0040	0.05 - 0.15
	Pre engrasados	Alambres	0.0003 - 0.0040	0.05 - 0.15
		Torones de 7 alambres	0.0003 - 0.0040	0.05 - 0.15

C.18.6.2.2 - Los valores de los coeficientes de fricción por desviación y curvatura utilizados en el diseño, los rangos aceptables de las fuerzas en los gatos y los alargamientos de los tendones, deben indicarse en los planos de diseño.

C.18.6.3 - Donde se pueda presentar pérdida del preesfuerzo en un elemento debido a la conexión a elementos adyacentes, esta pérdida de preesfuerzo debe tenerse en cuenta en el diseño.

C.18.7 - RESISTENCIA A FLEXION

C.18.7.1 - La resistencia de diseño a momento de los elementos a flexión debe calcularse por el método de la resistencia especificado en Título B de este Reglamento. Para el cálculo de resistencia de los tendones de preesfuerzo, f_{ps} debe sustituirse por f_y .

C.18.7.2 - En lugar de una determinación más exacta de f_{ps} , basada en la compatibilidad de deformaciones, pueden utilizarse los siguientes valores aproximados de f_{ps} , siempre y cuando f_{se} no sea menor de $0.5 f_{pu}$.

- (a) Para elementos con tendones de preesfuerzo adheridos.

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right] \right) \quad (C.18-3)$$

En caso de que se tome en cuenta cualquier refuerzo que trabaje a compresión en el cálculo de f_{ps} en la ecuación C.18-3, el mínimo valor que puede utilizarse para el término

$$\left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right]$$

es 0.17 y d' no puede ser mayor de $0.15d_p$.

(b) Para elementos con tendones de preesforzado no adheridos y con una relación de luz a espesor de 35 o menos

$$f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f'_c}{100\rho_p} \quad (C.18-4')$$

pero el valor de f_{ps} en la ecuación C.18-4 no debe tomarse mayor que f_{py} ni mayor que $(f_{se} + 420)$.

(c) Para elementos con tendones de preesforzado no adheridos y con una relación de luz a espesor mayor de 35.

$$f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f'_c}{300\rho_p} \quad (C.18-5')$$

pero el valor de f_{ps} en la ecuación C.18-5 no debe tomarse mayor que f_{py} ni mayor que $(f_{se} + 200)$.

C.18.7.3 - Puede considerarse que el refuerzo no preesforzado, que cumpla con C.3.5.3, utilizado en combinación con tendones de preesfuerzo, contribuye a la resistencia a tracción y puede incluirse en los cálculos de resistencia a momento con un esfuerzo igual a su resistencia a la fluencia f_y . Otros refuerzos no preesforzados pueden ser incluidos en los cálculos de resistencia solamente si se hace un análisis de compatibilidad de deformaciones para determinar los esfuerzos en dicho refuerzo.

C.18.8 - LIMITES PARA EL REFUERZO DE ELEMENTOS A FLEXION

C.18.8.1 - Las cuantías del refuerzo preesforzado y no preesforzado que se utilizan para el cálculo de la resistencia a momento de un elemento, exceptuando lo establecido en C.18.8.2, deben ser tales que ω_p , $[\omega_p + (d/d_p)(\omega - \omega')]$ o $[\omega_{pw} + (d/d_p)(\omega - \omega'_w)]$ no sean mayores de $0.36\beta_1$.

C.18.8.2 - Cuando la cuantía del refuerzo sea mayor de la especificada en C.18.8.1, la resistencia de diseño a momento no debe exceder la resistencia a momento obtenida a partir de la porción de compresión del par de momento.

C.18.8.3 - La cantidad total del refuerzo preesforzado y no preesforzado debe ser la adecuada para desarrollar una carga mayorada al menos 1.2 veces la carga de fisuración calculada con base en el módulo de ruptura f_r , especificado en C.9.5.2.2, con la excepción de elementos a flexión con resistencias al corte y a la flexión por lo menos del doble de las requeridas por C.9.2.

C.18.9 - REFUERZO ADHERIDO MINIMO

C.18.9.1 - Debe suministrarse un área mínima de refuerzo adhiriendo en todos los elementos a flexión con tendones de preesfuerzo no adheridos tal como se exige en C.18.9.2 y C.18.9.3.

C.18.9.2 - Exceptuando lo establecido en C.18.9.3, el área mínima de refuerzo adherido debe calcularse como.

$$A_s = 0.004 A \quad (C.18-6)$$

C.18.9.2.1 - El refuerzo adherido solicitado por la ecuación C 18-6 debe distribuirse uniformemente sobre la zona a tracción precomprimida y tan cerca como sea posible a la fibra extrema a tracción

C.18.9.2.2 - El refuerzo adherido debe utilizarse obligatoriamente, sean cuales fueren las condiciones de esfuerzos bajo cargas de servicio.

C.18.9.3 - Para losas macizas en dos direcciones, que se definen como losas sólidas de espesor uniforme, el área mínima y la distribución del refuerzo adherido deben ser como sigue:

C.18.9.3.1 - No se requiere refuerzo adherido en las zonas de momento positivo donde el esfuerzo de tracción calculado en el concreto, al nivel de cargas de servicio, (después de descontar todas las pérdidas de preesfuerzo) sea inferior a $(1/6)\sqrt{f'_c}$.

C.18.9.3.2 - En las zonas de momento positivo donde el esfuerzo de tracción calculado en el concreto al nivel de cargas de servicio, exceda $(1/6)\sqrt{f'_c}$, el área mínima de refuerzo adherido debe calcularse por:

$$A_s = \frac{N_c}{0.5 f_y} \quad (C.18-7)$$

donde la resistencia a la fluencia de diseño f_y no debe exceder 420 MPa. El refuerzo adherido debe distribuirse uniformemente sobre la zona de tracción precomprimida tan cerca como sea posible de la fibra extrema a tracción.

C.18.9.3.3 - En las zonas de momento negativo en los apoyos de columna, el área mínima de refuerzo adherido en cada dirección debe calcularse por:

$$A_s = 0.00075 h \ell \quad (C.18-8)$$

donde ℓ es la longitud de la luz en la dirección paralela a la del refuerzo que se está determinando. El refuerzo adherido que solicita la ecuación C.18-8 debe distribuirse dentro de un ancho de losa conformado por líneas que están a una distancia $1.5h$ por fuera de las caras opuestas de la columna de apoyo. Deben colocarse al menos 4 barras o alambres en cada dirección. El espaciamiento del refuerzo adherido no debe exceder 300 mm.

C.18.9.4 - La longitud mínima del refuerzo adherido requerido por C.18.9.2 y C.18.9.3, debe ajustarse a:

C.18.9.4.1 - En las zonas de momento positivo, la longitud mínima del refuerzo adherido debe ser 1/3 de la longitud de la luz libre y debe estar centrada dentro de la zona de momento positivo.

C.18.9.4.2 - En zonas de momento negativo, el refuerzo adherido debe extenderse hasta 1/6 de la luz libre a cada lado del apoyo.

C.18.9.4.3 - Donde se coloque refuerzo adherido para resistencia a flexión de acuerdo con C.18.7.3, o para condiciones de esfuerzo de tracción de acuerdo con C.18.9.3.2, la longitud mínima además debe cumplir las disposiciones del Capítulo C.12.

C.18.10 - ESTRUCTURAS ESTATICAMENTE INDETERMINADAS

C.18.10.1 - Los pórticos y estructuras de concreto preesforzado donde haya continuidad deben diseñarse para que su comportamiento sea satisfactorio bajo condiciones de carga de servicio, y para que además tengan una resistencia adecuada.

C.18.10.2 - El comportamiento bajo condiciones de carga de servicio debe determinarse por medio de un análisis elástico, considerando las reacciones, momentos, cortantes y fuerzas axiales producidas por el preesfuerzo, flujo

plástico, retracción de fraguado, cambios de temperatura, deformación axial, restricciones de los elementos estructurales conectados, y asentamientos de la cimentación

C.18.10.3 - Los momentos que se utilicen para calcular la resistencia requerida deben ser la suma de los momentos debidos a las reacciones inducidas por el preesfuerzo (con un coeficiente de mayoración de 1.0) y los momentos debidos a las cargas mayoradas de diseño. La suma de estos momentos puede ajustarse tal como se permite en C 18.10.4

C.18.10.4 - REDISTRIBUCION DE MOMENTOS NEGATIVOS DEBIDO A CARGAS DE GRAVEDAD EN ELEMENTOS CONTINUOS PREESFORZADOS A FLEXION - La redistribución de momentos negativos debidos a las cargas de gravedad en elementos preesforzados continuos a flexión, deben obedecer a las siguientes pautas:

C.18.10.4.1 - Donde se coloque refuerzo adherido en los apoyos de acuerdo con C 18.9.2, los momentos negativos calculados por la teoría elástica para cualquier suposición de distribución de carga pueden aumentarse o disminuirse hasta en

$$r = 20 \left[1 - \frac{\omega_p + \frac{d}{d_p}(\omega - \omega')}{0.36\beta_1} \right] \quad (\text{C.18-9})$$

C.18.10.4.2 - Los momentos negativos modificados deben utilizarse para calcular los momentos en las secciones dentro de las luces para la misma distribución de carga

C.18.10.4.3 - La redistribución de momentos negativos puede hacerse únicamente cuando la sección en la cual se reduce el momento esté diseñada de tal manera que la que ω_p , $[\omega_p + (d/d_p)(\omega - \omega')]$ o $[\omega_{pw} + (d/d_p)(\omega - \omega'_w)]$, el que sea aplicable, no exceda $0.24\beta_1$.

C.18.11 - ELEMENTOS A COMPRESION Y A FLEXION Y COMPRESION COMBINADAS

C.18.11.1 - Los elementos de concreto preesforzado sometidos a flexión y fuerzas axiales combinadas, con o sin refuerzo no preesforzado, deben dimensionarse utilizando el método de la resistencia para elementos sin preesfuerzo. En el diseño deben incluirse los efectos del preesfuerzo, flujo plástico, retracción de fraguado y variaciones de temperatura

C.18.11.2 - LIMITES PARA EL REFUERZO EN ELEMENTOS PREESFORZADOS A COMPRESION - Los elementos cuyo preesfuerzo promedio f_{pe} sea menor de 1.5 MPa, deben tener un refuerzo mínimo de acuerdo con C 10.9.1 y C.10.9.2 y C.7.10, para columnas, o C.14.3 para muros

C.18.11.2.1 - Con la excepción de los muros, los elementos con un preesfuerzo promedio f_{pe} mayor o igual a 1.5 MPa, deben tener todos los tendones de preesfuerzo confinados por espirales o estribos de acuerdo con los siguientes requisitos.

- (a) Las espirales deben cumplir lo estipulado en C 7.10.2.
- (b) Los estribos deben ser al menos de barra N° 3 (3/8"), ó 10M (10 mm) o malla electrosoldada de alambre de área equivalente, y tener un espaciamiento a lo largo del eje del elemento menor de 48 diámetros de la barra, o alambre, del estribo, o la menor dimensión del elemento a compresión.
- (c) El primer estribo debe localizarse con un espaciamiento igual a la mitad del prescrito en los literales anteriores, (a) y (b), medido a partir del plano superior de la zapata, y debe extenderse la colocación hasta un plano también distante en no más de media separación contada a partir de la armadura inferior más baja de los elementos que se apoyen encima.
- (d) Donde haya vigas o ménsulas en todos los lados de una columna, los estribos pueden terminarse a una distancia no mayor de 75 mm, por debajo del refuerzo más bajo de tales vigas o ménsulas.

C.18.11.2.2 - Para muros con un preesfuerzo promedio f_{pe} igual o mayor a 1.5 MPa, el refuerzo mínimo que requiere C 14.3 puede dispensarse si el análisis estructural indica una resistencia y una estabilidad adecuadas

C.18.12 - SISTEMAS DE LOSAS PREESFORZADAS

C.18.12.1 - En sistemas de losas preesforzadas, reforzadas para flexión en más de una dirección, los momentos y cortantes mayorados deben determinarse de acuerdo con los requisitos de C.13.7 (exceptuando C.13.7.2 y C.13.7.3) o por otro procedimiento de diseño más elaborado.

C.18.12.2 - La resistencia a momento de las losas preesforzadas en cada una de sus secciones debe ser al menos igual a la resistencia requerida por C.9.2 y C.9.3 y por C.18.10.3 y C.18.10.4. La resistencia a cortantes en los apoyos de columna de las losas preesforzadas debe ser al menos igual a la resistencia requerida por C.9.2, C.9.3, C.11.1, C.11.2.2 y C.11.2.6.2.

C.18.12.3 - Deben cumplirse todas las limitaciones de funcionamiento al nivel de cargas de servicio, incluyendo los límites especificados para las deflexiones, teniendo en cuenta los factores enumerados en C.18.10.2.

C.18.12.4 - Para cargas vivas normales uniformemente distribuidas, el espaciamiento de los tendones de preesfuerzo o de los grupos de tendones, en una dirección no puede exceder 8 veces el espesor de la losa, ni 1.50 m. El espaciamiento de los tendones debe ser tal que provea un esfuerzo promedio mínimo de 0.9 MPa (después de haber tomado en cuenta las pérdidas de preesfuerzo) en la sección de losa aferente al tendón o grupo de tendones. Un mínimo de dos tendones debe colocarse en cada dirección a través de la sección crítica para cortante sobre las columnas. Deben realizarse consideraciones especiales acerca del espaciamiento de los tendones en losas donde haya cargas concentradas.

C.18.12.5 - En losas donde se utilicen tendones preesforzados no adheridos, debe colocarse refuerzo adherido de acuerdo con los requisitos de C.18.9.3 y C.18.9.4.

C.18.12.6 - En losas izadas (lift slab) el refuerzo adherido de la parte inferior de la losa debe detallarse siguiendo C.13.5.8.5.

C.18.13 - ZONAS DE ANCLAJE DE TENDONES

C.18.13.1 - En las zonas de anclaje de tendones, debe colocarse refuerzo, cuando se requiera, para resistir los efectos inducidos por los anclajes del tendón. Las regiones donde haya un cambio abrupto de sección deben reforzarse adecuadamente.

C.18.13.2 - Deben utilizarse bloques extremos cuando se requiera por efectos del apoyo o para distribuir las fuerzas concentradas de preesfuerzo.

C.18.13.3 - Los anclajes de postensado y el concreto que les da soporte, deben diseñarse para resistir la máxima fuerza en el gato a la resistencia del concreto en el momento del tensionamiento.

C.18.13.4 - Las zonas de anclaje del preesfuerzo deben diseñarse para desarrollar la resistencia a tracción última garantizada de los tendones de preesfuerzo, utilizando un coeficiente de reducción de resistencia $\phi = 0.90$ para el concreto.

C.18.14 - PROTECCION CONTRA LA CORROSION DE TENDONES DE PREESFUERZO NO ADHERIDOS

C.18.14.1 - Los tendones no adheridos deben recubrirse completamente con material adecuado para garantizar su protección contra la corrosión.

C.18.14.2 - La envoltura de los tendones debe ser continua sobre toda la longitud no adherida, y debe impedir el paso de pasta de cemento o la pérdida de materiales de recubrimiento durante la colocación del concreto.

C.18.14.3 - Los tendones no adheridos con un solo torón deben protegerse contra la corrosión de acuerdo con los requisitos de las "Especificaciones para tendones no adheridos de un solo torón", revisadas en Julio de 1993, publicadas por el Post-Tensioning Institute.

C.18.15 - DUCTOS DE POSTENSADO

C.18.15.1 - Los ductos para los tendones inyectados con lechada así como para los no adheridos, deben ser a prueba de fuga de mortero y a prueba de reacción con el concreto de los tendones o con el material de relleno.

C.18.15.2 - Los ductos para los tendones inyectados con lechada, de un solo alambre, torón o barra, deben tener un diámetro interior, al menos, 6.6 mm mayor que el diámetro del tendón.

C.18.15.3 - Los ductos para los tendones, inyectados con lechada, de varios torones, cables, o barras deben tener un área transversal, por lo menos, 2 veces mayor que el área neta de los tendones.

C.18.15.4 - Los ductos deben mantenerse libres de agua en el caso de que los elementos que se vayan a inyectar con lechada puedan estar expuestos a temperaturas por debajo del punto de congelación antes de la inyección de la lechada.

C.18.15.5 - Los cables de postensionamiento, sus ductos y anclajes deben sujetarse firmemente al hierro de refuerzo y la formaleta para evitar desplazamiento durante la colocación del concreto.

C.18.15.6 - Los cables deben colocarse con una tolerancia de 5 mm en secciones de concreto de 150 mm o menos de espesor; de 10 mm en secciones de concreto mayores de 150 mm y menores de 500 mm de espesor, y de 13 mm en dimensiones de concreto de más de 500 mm de espesor. En losas la tolerancia horizontal de colocación de los cables no debe exceder 25 mm por cada 5 m de longitud del cable

C.18.15.7 - Antes de fundir el concreto deben examinarse los ductos de los cables y deben repararse los desperfectos que puedan encontrarse.

C.18.16 - LECHADA PARA TENDONES DE PREESFUERZO ADHERIDOS

C.18.16.1 - La lechada debe consistir en cemento portland y agua, o cemento portland, arena y agua.

C.18.16.2 - Los materiales para lechada deben cumplir los siguientes requisitos:

- (a) El cemento portland debe cumplir con lo especificado en C.3.2.
- (b) El agua debe cumplir con lo estipulado en C.3.4.
- (c) La arena, si se utiliza, debe cumplir con la norma NTC 2240 (ASTM C144), excepto que la granulometría puede modificarse, según sea necesario, para obtener una trabajabilidad satisfactoria.
- (d) Pueden utilizarse aditivos que cumplan con C.3.6 y de los cuales se conozca que no tienen efectos nocivos sobre la lechada, el acero, o el concreto. No pueden utilizarse cloruros.

C.18.16.3 - DOSIFICACION DE LA LECHADA - Las proporciones de los materiales para la lechada deben basarse en uno de los siguientes criterios:

- (a) Resultados de ensayos efectuados sobre la lechada fresca y humedecida antes de empezar las operaciones de colocación de la misma, o
- (b) experiencia documentada con materiales y equipos similares y bajo condiciones de campo comparables.

C.18.16.3.1 - El cemento que utilice la obra debe corresponder a aquel en el cual haya basado la dosificación de la lechada.

C.18.16.3.2 - El contenido de agua debe ser el mínimo necesario para el bombeo adecuado de la lechada; sin embargo, la relación agua-cemento no debe exceder de 0.45 por peso

C.18.16.3.3 - No debe agregarse agua para aumentar la fluidez de la lechada cuya trabajabilidad haya disminuido por la demora en el uso

C.18.16.4 - MEZCLADO Y BOMBEO DE LA LECHADA - La lechada debe mezclarse en un equipo capaz de efectuar un mezclado y una agitación mecánica continuas y que produzca una distribución uniforme de los materiales, debe

pasarse a través de tamices, y bombearse de una manera tal que llene completamente los conductos de los tendones.

C.18.16.4.1 - La temperatura de los elementos en el momento de la inyección de la lechada debe estar por encima de los 2° C y se debe mantenerse por encima de ésta hasta que los cubos de lechada de 50 mm, curados en el campo, alcancen una resistencia mínima a la compresión de 6 MPa.

C.18.16.4.2 - La temperatura de la lechada no debe estar por encima de los 32° C durante el mezclado y el bombeo.

C.18.17 - PROTECCION PARA LOS TENDONES DE PREESFUERZO

C.18.17.1 - Las operaciones de quemado o soldadura en la vecindad de los tendones de preesfuerzo, deben hacerse con cuidado evitando que los tendones se vean sometidos a temperaturas excesivas, chispas de soldadura, u obren como polo a tierra.

C.18.18 - APLICACION Y MEDIDA DE LA FUERZA DEL PREESFUERZO

C.18.18.1 - La fuerza del preesfuerzo debe determinarse por los dos métodos siguientes:

- (a) Medida del alargamiento del tendón. El alargamiento requerido debe determinarse con base en las curvas promedio de carga-alargamiento para los tendones de preesfuerzo que se utilicen.
- (b) Observaciones de la fuerza en el gato por medio de un manómetro calibrado, celda de carga, o dinamómetro calibrado.

La causa de cualquier diferencia en los valores de la fuerza obtenidos de acuerdo con (a) y (b) que exceda del 5% para elementos pretensados y de 7% para elementos postensados, debe investigarse y corregirse.

C.18.18.2 - Cuando la transferencia del preesfuerzo del banco de tensionamiento al concreto se logre mediante corte de los tendones de preesfuerzo con soplete de acetileno, los puntos de corte y la secuencia de los cortes debe determinarse previamente para evitar esfuerzos temporales indeseables.

C.18.18.3 - Los tramos largos de los torones preesforzados que queden expuestos, deben cortarse cerca del elemento para minimizar el impacto sobre el concreto

C.18.18.4 - La pérdida total de preesfuerzo debida a tendones rotos no reemplazados, no debe exceder del 2% del preesfuerzo total.

C.18.19 - ANCLAJES Y ACOPLES DE POSTENSADO

C.18.19.1 - Los anclajes y acoples para tendones de preesfuerzo adheridos y no adheridos, deben desarrollar al menos 95% de la resistencia nominal a la rotura de los tendones, cuando se ensayen en una condición no adherida, sin exceder el corrimiento previsto del anclaje. Los anclajes y acoples para tendones de preesfuerzo adheridos, deben localizarse de tal manera que sea posible desarrollar el 100% de la resistencia nominal a la rotura de los tendones, en las secciones críticas después de que los tendones estén adheridos al elemento.

C.18.19.2 - Los acoples deben colocarse en áreas aprobadas por el Ingeniero Diseñador y encerrarse en nichos suficientemente largos para permitir los movimientos necesarios.

C.18.19.3 - En la construcción no adherida que esté sometida a cargas repetidas, debe prestarse especial atención a la posibilidad de fatiga en los anclajes y acoples.

C.18.19.4 - Los anclajes y las conexiones de los extremos deben protegerse permanentemente contra la corrosión.

CAPITULO C.19

PRUEBAS DE CARGA

C.19.0 - NOMENCLATURA

D	=	carga muerta o sus efectos.
f'_c	=	resistencia nominal del concreto a la compresión, en MPa.
h	=	espesor total del elemento, expresado en mm.
L	=	carga viva o sus efectos.
ℓ_t	=	luz del elemento al que se le realiza la prueba de carga (la luz más corta en las losas que trabajan en dos direcciones). La luz de un elemento, excepto para voladizos, es la distancia entre los centros de los apoyos, o la distancia libre entre ellos, más el espesor del elemento, la que sea menor, expresada en mm. Para voladizos es el doble de la distancia desde el apoyo hasta el extremo del voladizo, en mm.
Δ_{max}	=	máxima deflexión medida de un elemento bajo la carga de ensayo, con respecto a la línea que une los extremos de la luz, o del extremo libre de un voladizo con respecto a su apoyo, expresada en mm (véase la ecuación C 19-1)
$\Delta_{r max}$	=	deflexión residual de un elemento después de retirar la carga de ensayo, con respecto a la línea que une los extremos de la luz, o del extremo libre de un voladizo con respecto a su apoyo, expresada en mm (véanse las ecuaciones C 19-2 y C.19-3).
$\Delta_{f max}$	=	máxima deflexión medida de un elemento en la repetición de la prueba de carga y causada por la carga de ensayo, con respecto a la línea que une los extremos de la luz, o del extremo libre de un voladizo con respecto a su apoyo, expresada en mm (véase la ecuación C.19-3).
ϕ	=	coeficiente de reducción de resistencia definido en C 9.3 y en C.19.2.5 para efectos de la aplicación del presente Capítulo

C.19.1 - EVALUACION DE LA RESISTENCIA - GENERALIDADES

C.19.1.1 - Cuando existan dudas de que una estructura, o parte de ella, no cumpla los requisitos de seguridad de este Reglamento, el Ingeniero Diseñador, o el Supervisor Técnico, pueden ordenar la realización de una evaluación de la resistencia de la estructura, la cual debe ajustarse a los requisitos del presente Capítulo

C.19.1.2 - Si los efectos de la deficiencia en resistencia corresponden a fenómenos adecuadamente entendidos dentro de la mecánica estructural y el concreto estructural, y es posible determinar las dimensiones y propiedades de los materiales requeridas para poder realizar una evaluación analítica, se permite realizar la evaluación de la resistencia de la estructura por medio de análisis. La información requerida acerca de la estructura debe determinarse de acuerdo con los requisitos de C.19.2.

C.19.1.3 - Si los efectos de la deficiencia en resistencia no corresponden a fenómenos bien entendidos, o no es posible determinar las dimensiones y propiedades de los materiales requeridas por medio de mediciones, debe realizarse además de la evaluación analítica, una prueba de carga de la estructura, o la porción afectada, para que ésta pueda ser utilizada o pueda permanecer en servicio.

C.19.1.4 - Si la duda acerca de la seguridad de la estructura, o parte de ella, incluye fenómenos de deterioro progresivo, y el comportamiento observado durante la prueba de carga cumple con los criterios de aceptación dados en el presente Capítulo, se puede permitir el uso de la estructura, o de la porción afectada, por un período de tiempo que se debe indicar explícitamente. La definición del período de tiempo debe basarse en consideraciones acerca de

- (a) la naturaleza del problema,
- (b) los efectos ambientales,
- (c) el efecto de las cargas de uso,
- (d) la historia de la estructura en condiciones de servicio, y
- (e) el alcance del programa de inspección periódica.

Una vez se agote el período de uso permitido a la estructura, para que ésta pueda continuar en servicio deben realizarse nuevas evaluaciones acerca de su resistencia y seguridad

C.19.2 - DETERMINACION DE LAS DIMENSIONES Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES REQUERIDAS

C.19.2.1 - Deben determinarse las dimensiones de los elementos estructurales en las secciones críticas de estos elementos.

C.19.2.2 - La localización y tamaños de las barras de refuerzo, mallas electrosoldadas y torones de preesfuerzo deben determinarse por medio de mediciones. La localización de los refuerzos puede definirse utilizando los planos disponibles de la estructura, siempre y cuando se realicen algunas verificaciones en la estructura que permitan confirmar que la construcción se realizó de acuerdo con los planos disponibles.

C.19.2.3 - Las resistencias de los concretos utilizados deben basarse en resultados ensayos de cilindros o de núcleos extraídos de la porción de la estructura donde exista la duda. La resistencia del concreto, f'_c , debe determinarse de acuerdo con los requisitos de C 5.6.4.

C.19.2.4 - La resistencia de los aceros de refuerzo o de los tendones de preesfuerzo debe basarse en ensayos a tracción de muestras representativas de los materiales empleados en la estructura. Se requieren por lo menos tres muestras por cada tipo de refuerzo que afecte el problema bajo investigación. Si las muestras son extraídas de la estructura, éstas deben provenir de lugares en los cuales la extracción no afecte la seguridad de la estructura.

C.19.2.5 - Si las dimensiones y las propiedades de los materiales se determinan por medio de mediciones en la estructura y ensayos de los materiales de ella, y la evaluación analítica se realiza de acuerdo con la sección C 19.1.2, se permite incrementar el valores de los coeficientes de reducción de resistencia, ϕ , sin exceder los valores dados a continuación.

Flexión sin fuerza axial $\phi \leq 1.00$

Tracción axial y tracción axial con flexión $\phi \leq 1.00$

Compresión axial y compresión axial con flexión

Elementos con refuerzo en espiral que
cumple los requisitos de C 10.9.3 $\phi \leq 0.90$

Otros elementos $\phi \leq 0.85$

Cortante y Torsión $\phi \leq 0.90$

Esfuerzos de contacto en el concreto $\phi \leq 0.85$

C.19.3 - PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE CARGA

C.19.3.1- DISPOSICION DE LA CARGA - El número y definición de las luces o paneles de losa que se cargan, debe seleccionarse de tal manera que se obtengan las deflexiones y esfuerzos máximos en las regiones críticas de los elementos estructurales cuya resistencia está en duda. Debe emplearse más de una disposición de la carga del ensayo si una sola disposición no conduce simultáneamente a valores máximos de los efectos tales como deflexiones, rotaciones y esfuerzos, necesarios para demostrar la bondad de la estructura.

C.19.3.2 - CARGA MUERTA - Cuando se trate de edificaciones no terminadas, o en construcción, con una anticipación no menor de cuarenta y ocho horas a la iniciación del ensayo de carga, debe aplicarse una carga que simule el efecto de la parte de las cargas muertas que todavía no actúan en la estructura y dejarla colocada hasta que termine el ensayo en su totalidad.

C.19.3.3 - INTENSIDAD DE LA CARGA - La carga a emplear en la prueba de carga, incluyendo la carga muerta que ya esté colocada, no debe ser menor que.

$$0.85(1.4D + 1.7L)$$

Se permite disminuir la carga viva, L , en la cantidad que permitan los requisitos de B.4.5.1.

C.19.3.4 - EDAD DE LA ESTRUCTURA - No se debe realizar la prueba de carga hasta que la porción de la estructura tenga al menos 56 días de haberse vaciado el concreto. Si el Ingeniero Diseñador, el Supervisor Técnico, el constructor de la estructura, y el propietario están de acuerdo, la prueba de carga puede hacerse a una fecha más temprana.

C.19.4 - SECUENCIA DE MEDICIONES Y COLOCACION DE LA CARGA

C.19.4.1 - Con anterioridad, no mayor de una hora, a la colocación del primer incremento de carga deben obtenerse los valores iniciales de todas las mediciones tales como deflexiones, rotaciones, deformaciones, movimiento de los apoyos, longitud y espesor de las fisuras. Las mediciones deben hacerse en los lugares donde se esperan las máximas respuestas. Deben realizarse mediciones en lugares adicionales si así se requiere.

C.19.4.2 - La carga de la prueba debe aplicarse en no menos de cuatro incrementos aproximadamente iguales

C.19.4.3 - Las cargas de prueba distribuidas deben aplicarse de una manera tal que garanticen la uniformidad de la carga que se transmite a los elementos que se ensayan. Debe evitarse que el material utilizado para producir la carga de prueba trabaje en forma de arco.

C.19.4.4 - Debe realizarse un conjunto de mediciones de la respuesta de la estructura dentro de la hora siguiente a la terminación de la aplicación de cada incremento de carga y 24 horas después de que se haya colocado el último incremento de carga a la estructura.

C.19.4.5 - Debe iniciarse el retiro de la carga de la prueba inmediatamente después de que se tomen las medidas de respuesta. La totalidad de la carga de la prueba debe haberse retirado dentro de las 24 horas siguientes a la realización de las mediciones de respuesta.

C.19.4.6 - Deben tomarse las mediciones finales 24 horas después de que se haya retirado la totalidad de la carga de ensayo.

C.19.5 - CRITERIO DE ACEPTACION DE LA PRUEBA DE CARGA

C.19.5.1 - Puede considerarse que la estructura es adecuada para carga vertical, cuando una vez realizada la prueba de carga, no presenta evidencia de falla y además se cumplen los requisitos dados en esta Sección. El descascaramiento y/o el aplastamiento del concreto en compresión debe considerarse como indicación de falla.

C.19.5.2 - Las deflexiones máximas deben cumplir una de las siguientes condiciones:

$$\Delta_{\max} \leq \frac{\ell_t^2}{20000h} \quad (C.19-1)$$

$$\Delta_{r\max} \leq \frac{\Delta_{\max}}{4} \quad (C.19-2)$$

Si las máximas deflexiones medidas no satisfacen las ecuaciones C.19-1 y C.19-2, se permite repetir la prueba de carga. La repetición de la prueba de carga puede llevarse a cabo no antes de 72 horas contadas a partir del retiro de la carga de la primera prueba. La segunda prueba de carga se considera satisfactoria si,

- (a) la porción ensayada de la estructura no muestra evidencia de falla en la repetición del ensayo, y
- (b) la recuperación de la deflexión cumple la condición:

$$\Delta_{r\max} \leq \frac{\Delta_{f\max}}{5} \quad (C.19-3)$$

donde $\Delta_{r_{max}}$ es la máxima deflexión medida durante la repetición de la prueba de carga

C.19.5.3 - Los elementos estructurales ensayados no deben tener, ni presentar durante el ensayo, fisuras o grietas que indiquen inminencia de una falla por cortante o tracción diagonal.

C.19.5.4 - En las regiones de los elementos estructurales que no dispongan de estribos o refuerzo transversal, la aparición de fisuras estructurales inclinadas con respecto al eje longitudinal y que tengan una proyección horizontal más larga que la altura del elemento en el punto medio de la fisura, debe ser evaluada y puede considerarse razón válida para definir que no se cumplió con la prueba de carga.

C.19.5.5 - En las regiones donde se ancle el refuerzo, o haya empalmes de refuerzo por traslapo, la aparición a lo largo de la proyección del refuerzo en la superficie del elemento, de una serie de fisuras cortas e inclinadas, o de una fisura longitudinal, debe considerarse razón válida para definir que no se cumplió con la prueba de carga.

C.19.6 - PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

C.19.6.1 - Las pruebas de carga deben realizarse tomando todas las precauciones posible para salvaguardar la vida de las personas que participen en ella. Además deben disponerse medidas que impidan el colapso parcial o total de la estructura en caso de presentarse una falla súbita durante el ensayo.

C.19.6.2 - Las medidas de seguridad que se tomen no deben interferir con el procedimiento de la prueba de carga ni deben afectar los resultados

■