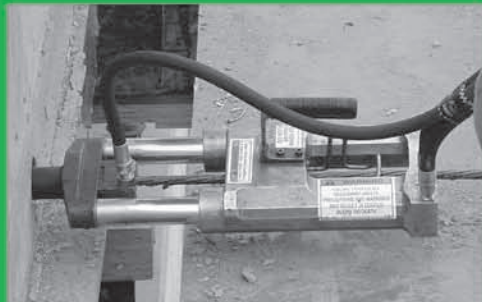


ENTRENAMIENTO Y CERTIFICACIÓN DE PERSONAL DE CAMPO PARA POSTENSADO SIN TENDONES ADHERENTES

NIVEL 1 – ASPECTOS BÁSICOS EN CAMPO



MANUAL INSTRUCTIVO PARA EL ENTRENAMIENTO Y CERTIFICACIÓN DE PERSONAL DE CAMPO PARA POSTENSADO SIN TENDONES ADHERENTES

NIVEL 1 ASPECTOS BÁSICOS EN CAMPO

Elaborado por
Comité de Entrenamiento y Capacitación PTI de Personal
de Campo para Postensado sin Tendones Adherentes

Larry Krauser
Presidente del comité
General Technologies, Inc.

Thomas Mathews
Director de programas recertificación
Post-Tensioning Institute

Randy Draginis
David Harrison
Joe Harrison
Gregory Hunsicker
Harry B. Hoff
Neel Khosa
Rattan L. Khosa
Andy D. Kochis
Terry McCrackin
Harley A. Nethken
Russell L. Price
Alan F. Rodriguez
Charles Skarbrevik

Hayes Specialty Machining, Ltd.
PC Strand & Wire Sales
General Technologies, Inc.
VSL
Jacks and Accessories, Inc.
AMSYSCO, Inc.
AMSYSCO, Inc.
Ready Cable, Inc.
Suncoast Post-Tension Ltd.
Tech-Con Systems, Inc.
Suncoast Post-Tension Ltd.
Adrian Division-Tiger Industries Corp.
Charles R. Adams & Associates, Inc.

Copyright ©2006 Post-Tensioning Institute

Impreso en EE.UU.
ISBN 0-9778752-4-5

Todos los derechos reservados. Esta publicación o cualquiera de sus partes no puede ser reproducida de forma alguna sin autorización escrita de Post-Tensioning Institute.

Copyright Post-Tensioning Institute
Provided by IHS under license with PTI
No reproduction or networking permitted without license from IHS

EXCLUSIÓN DE RESPONSABILIDADES

El presente manual educativo fue preparado por el Comité de entrenamiento y capacitación de personal de campo para postensado con tendones no adherentes del Post-Tensioning Institute únicamente con el propósito de que sirva como una guía general y como ayuda para la colocación, instalación e inspección de sistemas de postensado no adherentes de un solo cable, la operación del equipo de tensado y accesorios.

Las responsabilidades específicas del diseño e instalación de los arquitectos, ingenieros, contratistas y propietarios de la obra son particulares para cada instalación. Este manual instructivo no pretende ser una especificación exhaustiva y detallada de los procedimientos de seguridad, manejo e instalación de la obra. La colocación e instalación de los sistemas de postensado no adherentes de un solo cable son subjetivos. Las prácticas de seguridad del diseño e instalación del arquitecto, ingeniero, contratista y propietario regirán, en cada caso, las responsabilidades relacionadas.

El Post-Tensioning Institute al preparar este manual educativo no garantiza de forma alguna las recomendaciones contenidas en éste, incluyendo las garantías de calidad, mano de obra o seguridad, expresas o implícitas, incluyendo entre otras, a las garantías implícitas de comerciabilidad o idoneidad para un propósito en particular. **EL POST-TENSIONING INSTITUTE NO SERÁ RESPONSABLE DE CUALQUIERA DAÑO, INCLUYENDO LOS DAÑOS RESULTANTES, MÁS ALLÁ DEL REEMBOLSO DEL PRECIO DE COMPRA DE ESTE MANUAL EDUCATIVO.**

La incorporación como referencia o cita de este manual educativo en cualquier especificación, ordenes de compra, planos o detalles de obra serán bajo el riesgo de quienes las realicen y el Post-Tensioning Institute quedará exento de cualquier responsabilidad, directa o indirecta, y los que realicen dicha referencia o cita renunciarán a cualquier demanda contra el Post-Tensioning Institute.

TABLA DE CONTENIDO

MANUAL INSTRUCTIVO PARA EL ENTRENAMIENTO Y CERTIFICACIÓN DE PERSONAL DE CAMPO PARA POSTENSADO SIN TENDONES ADHERENTES

1.0 INTRODUCCIÓN

1.1	Propósito	1
1.2	Responsabilidades	1
1.3	Definiciones	1

2.0 TEORIA DE POSTENSADO

2.1	Antecedentes de concreto preforzado y postensado	7
2.2	Teoría	16
2.3	Preforzado para lograr el equilibrio de cargas	16
2.4	Preforzado parcial o total	17
2.5	Miembros continuos	17
2.6	Vigas voladizas	18
2.7	Cimientos sobre suelo para obras residenciales y comerciales ligeras	20

3.0 FABRICACIÓN

3.1	Fabricación de tendones	21
-----	-------------------------	----

4.0 CONTROL DE DOCUMENTOS

4.1	General	25
4.2	Instalación	25
4.3	Listas de envío	25
4.4	Certificación de los materiales	25
4.5	Calibración del gato	25
4.6	Registros de tensado	26

5.0 ENTREGA, RECIBO, MANEJO Y ALMACENAMIENTO

5.1	Entrega y recibo	27
5.2	Manejo y almacenamiento	27

TABLA DE CONTENIDO

MANUAL INSTRUCTIVO PARA EL ENTRENAMIENTO Y CERTIFICACIÓN DE PERSONAL DE CAMPO PARA POSTENSADO SIN TENDONES ADHERENTES

6.0 INSTALACIÓN

6.1	General	29
6.2	Coordinación de todas las funciones relacionadas	29
6.3	Procedimientos generales de instalación	29
6.4	Procedimientos de instalación para losas de una dirección y placas planas de dos direcciones	30
6.5	Procedimientos de instalación de viga y losa	36
6.6	Procedimientos de instalación de losas sobre suelo	40
6.7	Instalación en obra de extremos fijos	43
6.8	Lista de verificación antes de la instalación y colocación del concreto	43
6.9	Ejemplos de planos de instalación típicos	44

7.0 COLOCACIÓN DEL CONCRETO

7.1	Procedimientos generales	48
-----	--------------------------	----

8.0 ANCLAJES

8.1	General	49
8.2	Anclaje	49
8.3	Cuñas	49
8.4	Tensado	51
8.5	Consideraciones de seguridad	51

9.0 TENSADO DE TENDONES

9.1	General	52
9.2	Preparación	52
9.3	Tensado de tendones	53
9.4	Tensado de tendones en losas sobre suelo	58
9.5	Procedimientos de seguridad	58
9.6	Lo que NO debe hacerse durante el tensado	60
9.7	Inspección antes, durante y después del tensado de tendones	60

10.0 ELONGACIÓN

10.1	General	62
10.2	Preparación	62
10.3	Medición	63
10.4	Registro	63

TABLA DE CONTENIDO

MANUAL INSTRUCTIVO PARA EL ENTRENAMIENTO Y CERTIFICACIÓN DE PERSONAL DE CAMPO PARA POSTENSADO SIN TENDONES ADHERENTES

11.0 TERMINADO DE TENDONES

11.1	Corte de las colas del tendón	65
11.2	Inyección de las cajas de tensado	65

12.0 SISTEMAS ENCAPSULADOS

12.1	General	66
12.2	Propósito y alcance	66
12.3	Fabricación de tendones encapsulados	66
12.4	Descarga de tendones encapsulados	66
12.5	Manejo en obra de los tendones encapsulados	66
12.6	Instalación de los sistemas encapsulados	67
12.7	Acabado de los sistemas encapsulados	67

13.0 CABLES DE BARRERA

13.1	General	68
13.2	Instalación de los cables a través de las columnas	68
13.3	Instalación de los cables en el borde de las columnas	69
13.4	Consideraciones especiales de tensionado	70

14.0 RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN LA OBRA

14.1	Declaración de "Peligro"	73
14.2	Prevención del problema más frecuente	73
14.3	Resbalamiento de cables o "suspensión" de gato	74
14.4	Panal en el concreto	75
14.5	Rupturas por estallido	76
14.6	Ruptura del cable (uno o más hilos)	76
14.7	Tendones demasiado cortos para tensarse mediante los procedimientos comunes de tensado	77
14.8	Empalme de tendones	78
14.9	Cuñas fisuradas	79
14.10	Procedimientos de "despegue"	79
14.11	Resolución de problemas del equipo para monocable	80

15.0 APÉNDICE

15.1	Ejemplo – Certificación de los materiales	83
15.2	Ejemplo – Gráfica de calibración del gato	84
15.3	Ejemplo – Formato para registro de tensado	85
15.4	Ejemplo – Lista de verificación de inspección	86
15.5	Ejemplo – Etiqueta de certificación PTI de planta	91
15.6	Reparación de revestimiento dañado	92
15.7	Traducción al Español de las definiciones	94



Documents

Document Sharing Hub

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Propósito

Este manual se desarrolló para proporcionar una guía al personal de campo involucrado en la instalación, tensado y acabado de tendones de un solo cable no adheridos. Este manual también ofrece información para la inspección de la construcción que utiliza tendones mono-cable no adherentes y contiene una amplia sección de resolución de problemas en la obra para este tipo de construcción.

Debe entenderse que aunque los detalles y recomendaciones presentadas en este manual pretenden representar las prácticas industriales generalmente aceptadas, las prácticas de cada empresa en ciertos temas (particularmente en los procedimientos de operación de los equipos para tensado) pueden variar de los detalles y recomendaciones incluidos aquí. En caso de existir algún conflicto entre este manual y los documentos del contrato o instrucciones escritas del proveedor de postensado, los documentos de obra o las instrucciones escritas prevalecerán.

1.2 Responsabilidades

Las responsabilidades de la instalación, tensionado y acabado de los tendones no adherentes, así como también las responsabilidades de supervisión técnica de la obra deberán estar claramente definidas en los documentos del contrato y las estipulaciones especiales del proyecto, y dentro de los términos del contrato entre el contratista general, el fabricante de los materiales de postensado y el instalador. Cuando los tendones son comprados de un proveedor de postensado bajo condiciones F.O.B. (libre a bordo), generalmente las responsabilidades de la obra son obligación del contratista general.

1.3 Definiciones

Las definiciones de los términos empleados en este manual son las siguientes:

- Acero de presfuerzo:** Acero de alta resistencia que se utiliza para preforzar el concreto, comúnmente es un cable o barra de siete hilos. Es el elemento del tendón que se alarga y se ancla para proporcionar la fuerza requerida de preforzado.
- Acero protector:** Acero de refuerzo que se usa para controlar las fuerzas de tensión de estallido desarrolladas en el lado de rozamiento del ancla conforme la fuerza concentrada de anclaje de los tendones tensionados se dispersa en todas las direcciones.
- Acoplador:** Un dispositivo, normalmente accionado por resorte, para conectar los extremos de dos torones y transferir así la fuerza de preforzado a toda la longitud del tendón.
- Acortamiento elástico:** El acortamiento de un miembro, que sucede inmediatamente después de aplicarse la fuerza de preforzado.
- Adaptador delantero:** La parte delantera del dispositivo de elevación que encaja en la caja de tensado, sirve para alinear el gato con el ancla.

Ancla:	Para tendones monocable, normalmente es una pieza fundida de hierro dúctil que alberga a las cuñas y se usa para transferir la fuerza de preforzado al concreto.
Ancla de barril:	Un dispositivo cilíndrico metálico que alberga las cuñas y que normalmente se usa con un disco de presión para transferir la fuerza de preforzado al concreto.
Ancla de compensación:	Es un ancla especial que se usa para la modificación estructural o reparación de tendones existentes. Esta ancla consiste de un segmento removible que le permite deslizarse sobre un cable existente. El segmento se regresa y se aprieta mediante un tornillo o perno.
Anclaje:	Dispositivo mecánico que consta de todos los componentes necesarios para anclar al acero de presfuerzo y transmitir permanentemente la fuerza de preforzado al concreto.
Anclaje de extremo fijo:	El anclaje que está al final del tendón el cual usualmente se instala antes de que el tendón llegue a la obra, éste no se usa para el tensado del tendón en campo.
Anclaje de extremo muerto:	Ver Anclaje de extremo fijo .
Anclaje del extremo de tensado:	Es el anclaje en el extremo de tensado de un tendón que se usa para tensar al acero para preforzado (cable).
Anclaje intermedio:	Es un anclaje, ubicado en cualquier punto de la longitud del tendón, que puede usarse para tensar una cierta longitud del tendón sin necesidad de cortarlo. Normalmente se usa en los intervalos de vaciado del concreto para facilitar el tensado temprano y retiro de los encofrados.
Barras de refuerzo:	Acero de refuerzo que se usa para controlar las fuerzas de tensión indirecta en el concreto resultantes de la fuerza concentrada de anclaje desarrollada por los tendones tensionados.
Cable:	Cables de acero de alta resistencia torcidos alrededor de un cable central. En el caso de los tendones no adherentes, casi exclusivamente se usan cordones de 7 cables conforme a ASTM A-416.
Cable de barrera:	Torones de acero de alta resistencia que se erigen alrededor del perímetro de una estructura y en bordes abiertos de rampas para evitar que los automóviles y peatones caigan por los lados abiertos.
Cavidad de anclaje:	La apertura en el ancla que da cabida al cable que pasa y permite el asentamiento adecuado de las cuñas.
Cola del tendón:	Es el cable excedente que sobresale del ancla en el extremo de tensado.
Concreto preforzado:	Es el concreto en el que se inducen fuerzas internas por medio de refuerzos preforzados, normalmente tendones de acero. Se logra mediante dos métodos: preforzado postensado y preforzado pretensado.

Cuñas:	Piezas de metal ahusadas dentadas que “muerden” el cable durante la transferencia de la fuerza de preforzado. El extremo delantero de los dientes está biselado para garantizar el desarrollo gradual de la fuerza del tendón sobre la longitud de la cuña. Normalmente se usan cuñas de dos piezas para los tendones monocable.
Destensado:	Un medio que permite liberar la fuerza de preforzado del tendón.
Disco de presión:	Una placa de metal que se asienta directamente contra el concreto y es parte de un sistema de anclaje.
Dona:	Ver Ancla de barril .
Dona partida:	Ver Ancla de compensación .
Elongación:	Aumento en la longitud del acero preforzado (cable) bajo la fuerza de preforzado aplicada.
Encofrado de borde:	Encofrado que se usa para delimitar la extensión horizontal del concreto fresco en superficies planas como pisos.
Equipo de tensado:	Normalmente consiste de un gato, una bomba, mangueras y un manómetro.
Extremo activo:	Ver Extremo de tensionado .
Extremo de tensado:	El extremo del tendón en el que se aplica la fuerza de preforzado.
Fijación de las cuñas:	Ver Pérdida de asentamiento .
Fluencia lenta:	Deformación dependiente del tiempo (acortamiento) del acero preforzado o concreto bajo tensión (carga) continua.
Formador de cajas:	Es un dispositivo temporal que se usa en el extremo de tensado durante la colada del concreto para formar una apertura que permite el acceso del equipo de tensado a la caja del ancla.
Fricción por oscilación:	Es la fricción producida por la desviación horizontal accidental del tendón.
Fuerza:	El producto de la masa de un objeto multiplicado por su aceleración.
Fuerza de estiramiento:	La máxima fuerza temporal ejercida por el gato mientras se introduce la fuerza de preforzado en el concreto a través del tendón.
Fuerza de tensado:	Ver Fuerza de estiramiento .
Fuerzas de tracción:	Fuerzas internas que se alejan de la parte de un cuerpo en las que se ejercen.
Gato:	Un dispositivo mecánico (normalmente hidráulico) utilizado para ejercer fuerza en el tendón de preforzado.
Herramienta manual de asentamiento:	Un dispositivo pequeño, manual, que se usa para alinear correctamente (asentar) las cuñas en el ancla antes de conectar el gato al cable.

Inspector de umbrales:	Este es el término empleado por algunos estados para definir a un ingeniero calificado que es contratado por ley para inspeccionar los parámetros definidos para ciertas estructuras conocidas como edificios umbral y que también inspeccionan los tendones postensados.
Inspector especial:	Individuo certificado por la Conferencia Internacional de Oficiales de la Construcción (ICBO) para llevar a cabo inspecciones especiales de concreto preforzado según se define en la Sección 306(a) del Código Uniforme de Construcción (UBC).
Kip:	Un Kip = 1000 libras de fuerza (Un kip = 4.44 kN)
Lechada de concreto:	Pasta cementante mezclada con agregados finos. (de concreto premezclado.)
Mamparo:	Ver Encofrado de borde .
Mandril:	Ver Ancla de barril .
Mandril conector:	Ver Acoplador .
Mandril conector multiusos:	Un acoplador que usa cuñas de tres piezas y está hecho de un material que permite su uso repetido.
Matriz partida de cajas:	Es un dispositivo temporal de dos piezas que se usa en el extremo intermedio durante la colada del concreto para formar una apertura que permite el acceso del equipo de tensado a la caja del ancla.
Ménsula:	Cualquier miembro estructural horizontal que se proyecte más allá de su soporte vertical.
Molde:	Ver Ancla .
Monocable:	Un sólo cable.
MUTS:	Resistencia mínima a la tracción última.
Peralte:	Una deformación curva causada por la aplicación de una fuerza de preforzado.
Pérdida por asentamiento:	Es el movimiento relativo de las cuñas hacia la cavidad de anclaje durante la transferencia de la fuerza de preforzado hacia el anclaje que resulta en cierta pérdida de la fuerza de preforzado.
Pérdida de fricción:	La pérdida de fuerza en un tendón preforzado resultante de la fricción creada entre el cable y el revestimiento debido a la oscilación y/o perfil del tendón durante el tensado.
Perfil:	Es la proyección o vía de extremo a extremo que sigue un tendón dentro del concreto.
Pinzas del gato:	Cuñas que se usan en el gato para sostener el cable durante la operación de tensado.

Placas de las pinzas del gato:	Placas de acero diseñadas para fijar las pinzas en el gato.
Planos de instalación:	Planos proporcionados por el proveedor de postensados en los que aparece información como el número, tamaño, longitud, marcas, ubicación, elongación y perfil de cada uno de los tendones que se van a colocar.
Planos de taller:	Ver Planos de instalación .
Pliegue:	Ver Perfil .
Postensado:	Un método de preforzado en el que los tendones se tensionan después de que el concreto ha endurecido.
Preforzado efectivo:	La fuerza de preforzado en un lugar específico en un miembro de concreto preforzado después de todas las pérdidas.
Preforzado inicial:	La tensión (fuerza) presente en el tendón inmediatamente después de transferir la fuerza de preforzado al concreto. Esto sucede después de que las cuñas se han asentado en el ancla.
Preforzado parcial:	Es el preforzado del concreto a niveles de tensión tales que las fuerzas de tracción pueden existir bajo las cargas de servicio de diseño.
Presión:	Fuerza ejercida por unidad de área.
Pretensar:	Es poner a un material (ej. concreto) en un estado de compresión antes de aplicarle cargas.
Recubrimiento:	Material empleado para proteger contra la corrosión y reducir la fricción del acero preforzado. (Ver Recubrimiento P/T)
Recubrimiento P/T:	Material de recubrimiento anticorrosivo que cumple o excede los criterios de rendimiento del Post-Tensioning Institute según se detalla en las "Especificaciones para tendones no adherentes de un solo cable" del PTI.
Resistencia:	Capacidad de un cuerpo u objeto para ejercer o resistir fuerzas.
Revestimiento:	Es un forro que forma una envoltura en la que el acero para preforzado (cable) es encajonada para evitar su adhesión durante la colocación del concreto, para proporcionar protección contra la corrosión y para albergar el recubrimiento P/T. Es un material de polietileno de alta densidad continuo que se extruye directamente sobre el cable recubierto.
Ruptura por explosión:	Una ruptura es una falla en el concreto que se presenta durante o después del tensado. Puede ser de carácter explosivo.
Separador de armadura de losa:	Barra continua que se usa para soportar o sostener los tendones postensados en la parte inferior de las losas.
Silla:	Equipo empleado para dar soporte o sostener los tendones de postensado en su lugar para evitar su desplazamiento antes o durante la colocación del concreto.

Sistema encapsulado:	Sistema que proporciona conexiones herméticas en todos los extremos de tensado, intermedios y fijos, tiene el lado de la cavidad de anclaje cubierta por un tapón hermético relleno con un material de recubrimiento anticorrosivo (recubrimiento P/T).
Tendón:	Es un mecanismo completo constituido por anclajes, acero para preforsado (cable), recubrimiento P/T y revestimiento. Imparte la fuerza de preforsado hacia el concreto.
Tendón adherente:	Un tendón(es) en el que el espacio anular alrededor del(los) cable(es) de acero preforsado son lechados después de tensionarse, adhiriéndose así el tendón a la sección de concreto.
Tendón no adherente:	Es un tendón en el que se evita que el acero (cable) se adhiera al concreto por lo que es libre de moverse respecto al concreto y por lo tanto la fuerza de preforsado se transfiere permanentemente al concreto únicamente a través del anclaje.
Tendones distribuidos:	Un tendón o grupo de tendones distribuidos de forma uniforme, normalmente perpendicular a los tendones flejados (vigas, paredes, etc.) y separados a un máximo de 8 veces el grosor de la losa o 5 pies (1.5 metros).
Tendones flejados:	Grupo(s) de tendones estrechamente agrupados dentro de una tira delgada que normalmente corre a lo largo de la columna.
Tendones suplementarios:	Tendones que normalmente son cortos en longitud que se colocan en lugares específicos, como vanos terminales, para aumentar la capacidad estructural en ese lugar sin tener que usar tendones de largo completo.
Tensado en etapas:	Tensado sucesivo de los tendones en varios pasos o etapas en lugar de tensar todos los tendones en una sola operación.
Tensión:	El efecto de las fuerzas de tracción en un cuerpo.
Tensiones:	Fuerzas internas que actúan en las partes adyacentes a un cuerpo.
Zona de anclaje:	La región en el concreto adyacente al anclaje sujeta a las tensiones que se derivan de la fuerza de preforsado.

Nota: Las prácticas, costumbres y usanza pueden emplear terminología, lenguaje técnico y apodos diferentes a los términos y definiciones establecidas en este manual. Verifique con su inspector u otro personal calificado para aclarar los términos y definiciones.

CAPITULO 2

TEORIA DE POSTENSADO

2.1 Antecedentes de concreto reforzado y postensado

1. Como respuesta a la pregunta “¿Qué es el concreto reforzado?” son miembros de concreto como vigas y losas en que los que se inducen fuerzas internas mediante un refuerzo prefabricado.
2. Para comprender los principios del concreto reforzado es importante estar consciente de la capacidades estructurales del acero y del concreto. El concreto es muy fuerte ante la compresión pero relativamente débil ante la tensión. Una viga ordinaria de concreto reforzado soporta una carga mediante el desarrollo de fuerzas compresivas en la parte superior, pero como el concreto no puede resistir la tensión en la parte inferior, se fractura como se muestra en la **Fig. 2-1**. Las barras de acero de refuerzo se colocan en esta zona de tensión para resistir la tensión y controlar el agrietamiento.

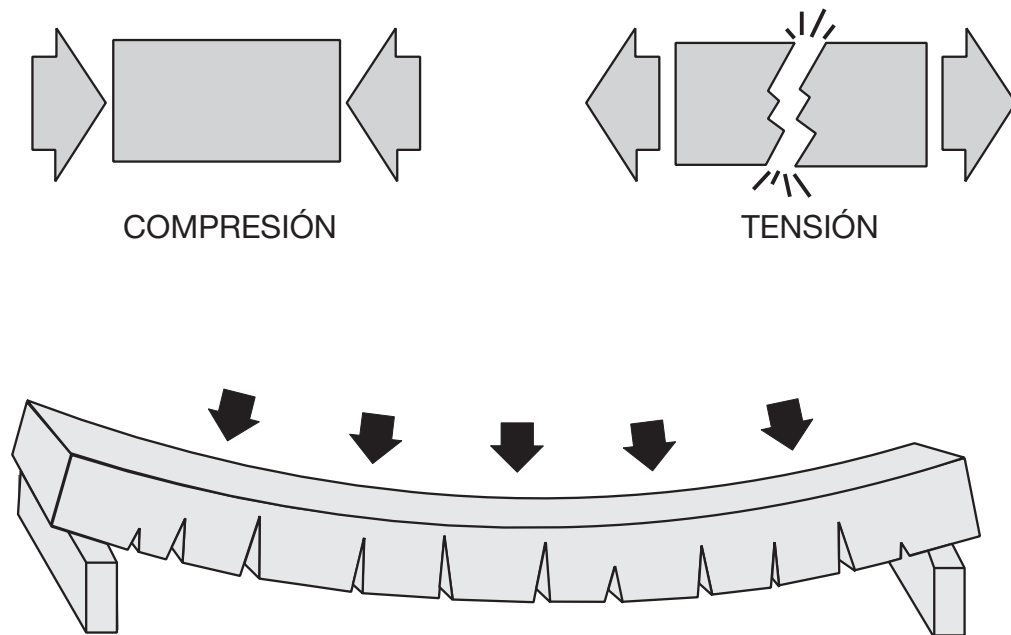


Fig. 2-1 Viga común de concreto reforzado

3. Al observar un corte transversal de la misma viga de concreto reforzado, la parte superior está bajo compresión y la parte inferior, ya que está agrietada, no puede hacer más que sostener a las barras de acero en su lugar como se muestra en la **Fig. 2-2**. Las barras son bastante grandes y con frecuencia determinan el ancho de la viga. El diagrama de tensión en la **Fig. 2-2** le da una mejor idea de lo que está sucediendo dentro de esta viga. El concreto de la parte superior sin grietas de la viga está bajo una fuerza de compresión que va desde cero donde inicia la grieta hasta su máximo casi al llegar a la parte superior. El concreto que está en la parte inferior de la viga está bajo tensión y toda esta tensión es soportada por las barras de acero.

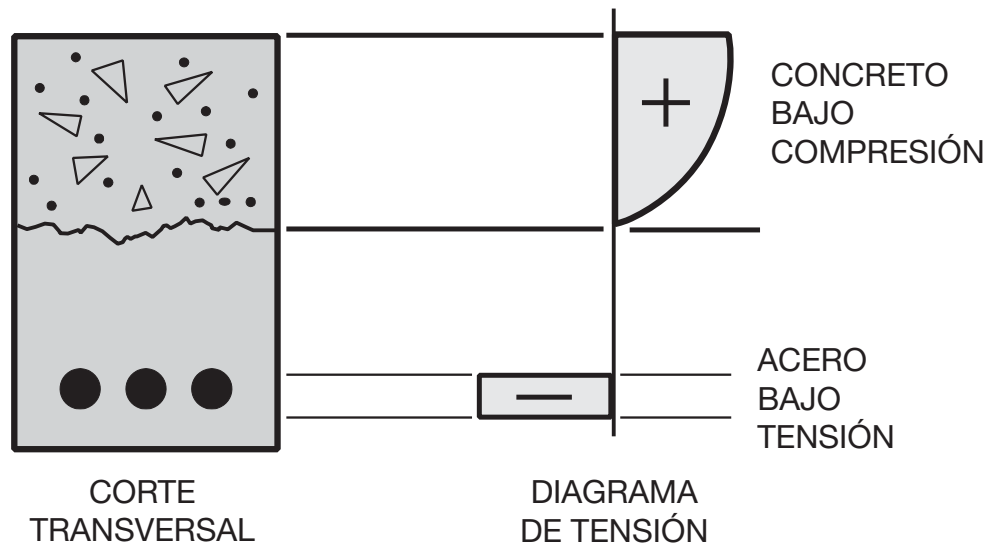


Fig. 2-2 Corte transversal y diagrama de tensión de una viga común de concreto reforzado

4. Imagine un cable de acero de alta resistencia (con una carga de ruptura de 270,000 psi [1860 MPa]) que estiramos dentro de su límite elástico hasta....digamos unos 216,000 psi [1490 MPa] como se muestra en la **Fig. 2-3**. Si liberamos esta carga, el acero regresaría a su longitud original ya que lo estamos estirando elásticamente.

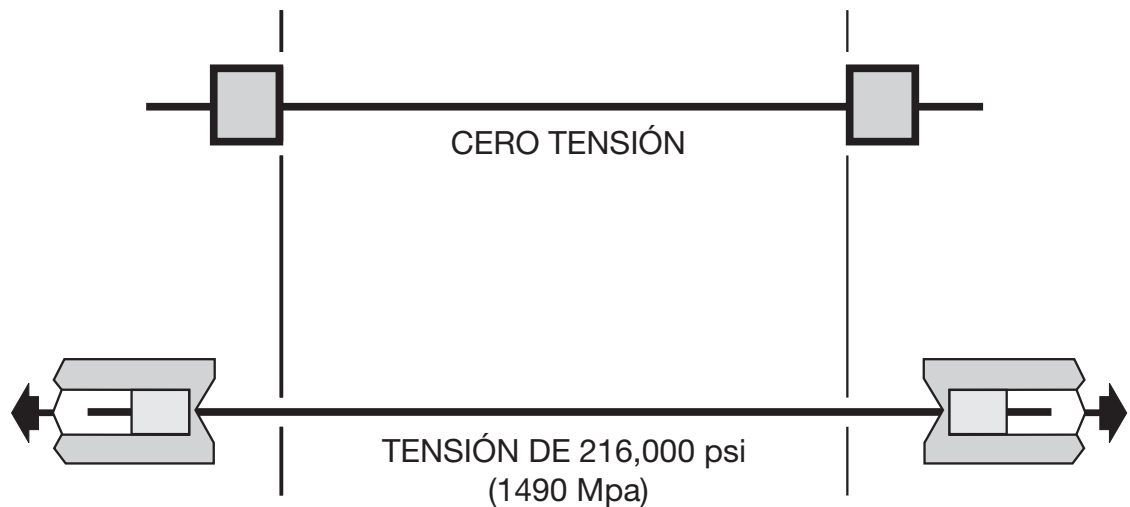


Fig. 2-3 Tensión de cable de acero de siete alambres de baja relajación de 270,000 psi (270 ksi) [1860 Mpa]

5. En el concreto postensado, el tendón no se jala (tensa) hasta que el concreto endurece a un 75% de su resistencia total. Por lo tanto, ni el concreto ni el tendón están bajo tensión inicialmente (**Fig. 2-4.1**).

Tense (estire) el tendón a 216,000 psi (= 33 kips por cable de ½ pulg.) [1490 MPa = 147 kN por cable de 12.7 mm] que está dentro de su límite elástico. Ahora el tendón está bajo tensión y el concreto bajo compresión. (**Fig. 2-4.2**)

En el siguiente pasos, las cuñas se aferran al tendón conforme el gato las libera. En esta transición, se pierde parcialmente la elongación inicial del tendón debido al asentamiento de las cuñas (llamado “Pérdida por asentamiento”) al igual que una pequeña porción de la fuerza inicial aplicada perdida por el acortamiento elástico del concreto y la fricción del tendón. Esto reduce la tensión del tendón a aproximadamente 189,000 psi (= 28.9 kips por cable de ½ pulg.) [1305 MPa = 128 kN por cable con diámetro de 12.7mm]. (**Fig. 2-4.3**)

Después, en el transcurso de un periodo de tiempo más largo (de uno a cinco años) se presentan otros cambios de volumen en el concreto. El acero se relaja ligeramente, resultando en una tensión final (después de todas las pérdidas) de aproximadamente 173,000 psi (= 26.5 kips por cable ϕ de ½ pulg) [1195 MPa = 118 kN por cable con diámetro de 12.7mm]. (**Fig. 2-4.4**)

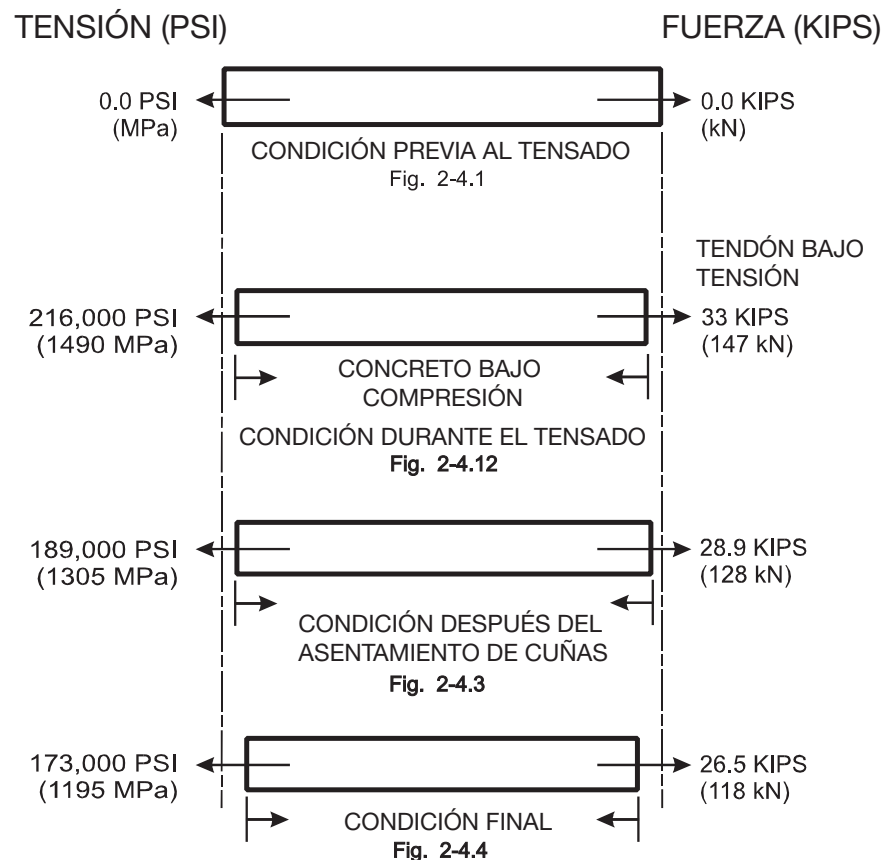


Fig. 2-4 Fuerza y tensión en varias fases de tensión

6. Un diagrama de tensión es parecido al bosquejo que se muestra en el diagrama superior de la **Fig. 2-5**. Aplicamos una fuerza al centro que resultó en una fuerza compresiva en la sección transversal. Cada pulg.² [mm²] del concreto está soportando una fuerza de 100 libras. [445 N]. Nótese que a diferencia de la distribución de fuerzas en el concreto reforzado, la viga preforzada emplea toda la profundidad de la sección.

En el diagrama inferior, la fuerza de prefuerzo se mueve hacia el tercer punto más bajo. El resultado es cero tensión en la parte superior y el doble de la fuerza compresiva original en la parte inferior. Así, hemos creado una reserva importante de resistencia a la compresión en la parte inferior de la viga que puede usarse para contrarrestar las fuerzas de tracción que resultan de una carga aplicada.

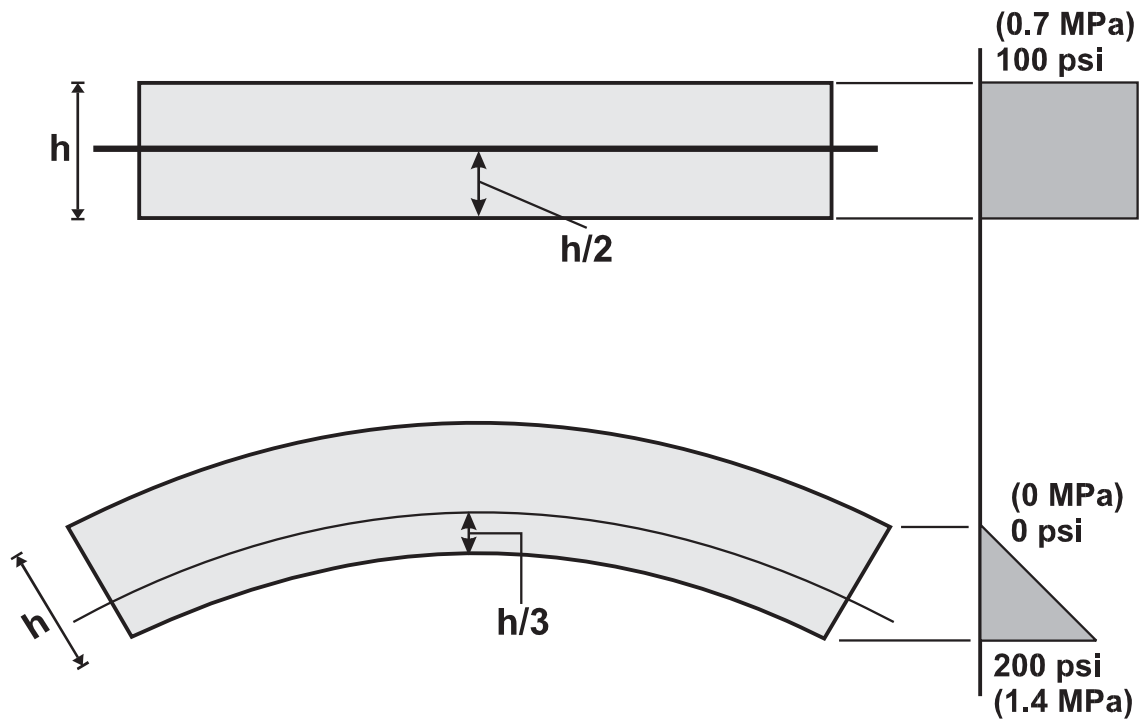


Fig. 2-5 Diagrama de tensión de fuerza de prefuerzo

7. En la **Figura 2-6** se observa la misma viga con la carga aplicada en el centro. La distribución de la tensión del concreto debido a la fuerza de prefuerzo permanece igual como se muestra en la **Fig. 2-5**. En el medio de la viga con soporte simple de abajo, la fuerza aplicada y el peso de la viga desarrollan fuerzas compresivas en la parte superior y fuerzas de tracción en la parte inferior de aproximadamente 200 psi [1.4 MPa]. Ahora, al agregar las fuerzas inducidas por la fuerza de prefuerzo, el resultado es cero tensión en la parte inferior de la viga. Como se afirma en nuestra definición, hemos aplicado una fuerza de prefuerzo para contrarrestar a las fuerzas que resultan de la carga. En la práctica, el ingeniero estructuralista tiene un amplio campo para controlar estas fuerzas en todas las partes de la viga.

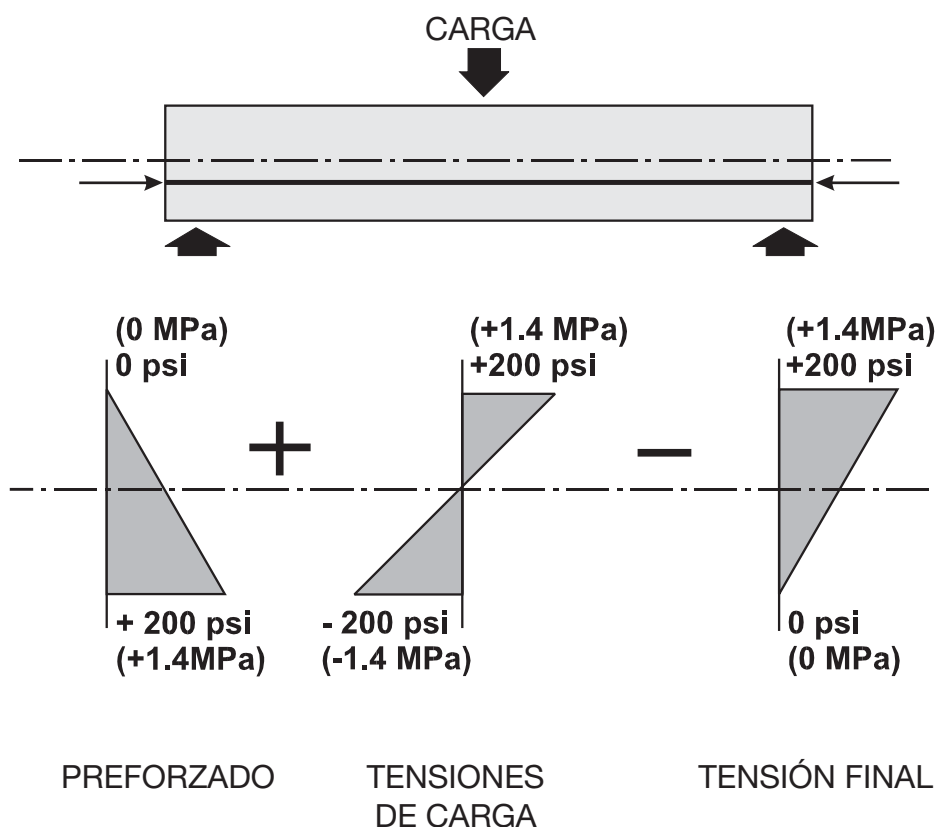


Fig. 2-6 Distribución resultante de tensión

8. Existen dos métodos básicos para preforzar el concreto...POSTENSADO y PRETENSADO. Como se define en este manual, el concreto preforzado normalmente se fabrica en una planta remota a la obra civil. Los tendones de acero se tensan antes de colocarse el concreto.

CONCRETO PREFORZADO PRETENSADO

Los tendones de acero se tensan antes de colocarse el concreto, en una planta de prefabricación remota a la obra civil. Los elementos de concreto preforzados, pre-moldeados y pretensados son transportados a la obra.

9. Las vigas o elementos son construidos en una cama de tensado. Se muestra un esquema de esto en la **Fig. 2-7**. Primero, el cable se tensa entre dos contrafuertes anclados a una cama de tensado que soporta la fuerza del cable desnudo estirado. Después de estirar el acero con gatos hidráulicos, el concreto se coloca en moldes alrededor del cable y se deja endurecer. Cuando el concreto alcanza una resistencia suficiente, la fuerza de preforzado es transferida al concreto por adhesión cuando se corta y libera el cable de acero (en los extremos de la viga) de los contrafuertes.

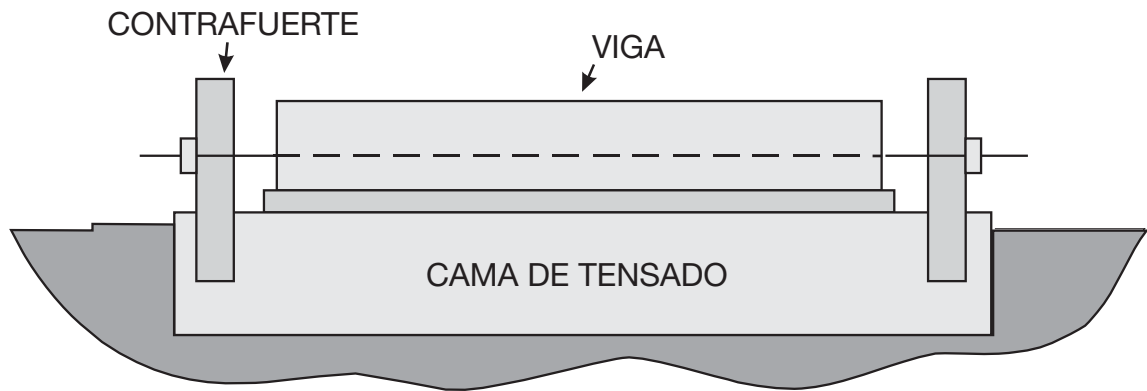


Fig. 2-7 Concreto preforzado

10. El **concreto preforzado postensado**, tema principal de este manual, es básicamente un método de aplicar el preforzado a las estructuras y a veces a otros materiales **en la obra**. La capacidad de realizar la operación de preforzado en la obra elimina el costo de transportar los elementos prefabricados y permite los beneficios de preforsar estructuras grandes cuando el premoldeado no es factible. Otras ventajas del postensado incluyen la construcción de tramos continuos y el perfilado de la fuerza de preforzado. El postensado otorga una amplia flexibilidad en el diseño y con frecuencia se usa en las obras para conectar y preforsar secciones premoldeadas pequeñas para producir estructuras grandes o de tramos largos.

CONCRETO PREFORZADO POSTENSADO

Los tendones de acero se tensan después de colocarse el concreto y que éste ha alcanzado una resistencia suficiente en la obra.

11. La secuencia de construcción del postensado también varía de la secuencia empleada para el pretensado. Primero, como se observa en la **Fig. 2-8**, se levantan los moldes y los tendones de postensado se colocan en el lugar correcto dentro de los moldes. También se colocan barras de refuerzo adherentes en ciertos lugares y el acero se fija en la posición especificada por los ingenieros estructuristas. En esta etapa, ya se ha colocado el recubrimiento P/T en los tendones y se han envuelto en revestimiento de polietileno de alta densidad.



Fig. 2-8 Disposición de tendones agrupados y distribuidos en la plataforma

12. En el siguiente paso, el concreto es vaciado en los moldes alrededor de los tendones y se deja endurecer hasta que alcanza la resistencia necesaria (Por ejemplo, el concreto se coloca el viernes y se tensa en lunes). (**Fig. 2-9**)



Fig. 2-9 Colocación del concreto

13. Una vez endurecido el concreto, el acero de presfuerzo (separado del concreto por el revestimiento de polietileno) se tensa mediante un gato hidráulico que empuja directamente contra un ancla incrustada en el concreto endurecido (Ver **Fig. 2-10**). La fuerza en el acero se transfiere permanentemente al concreto a través de los dispositivos de anclaje que están en el extremo del elemento estructural.



Fig. 2-10 Tensionado de tendone

14. Algunas de las **ventajas** del concreto preforzado postensado son:

1. Uso efectivo y eficiente de materiales de alta resistencia
2. Miembros más esbeltos y más ligeros que permite estructuras más atractivas
3. Reducción en la altura de edificación (ahorro en revestimientos exteriores y otros servicios/materiales)
4. Peso reducido del edificio o de los miembros que resulta en una reducción en el costo de cimentación
5. Reducción en la carga de columnas y muros, por lo tanto ahorro en materiales
6. Un menor peso permite una reducción en las cargas sísmicas
7. Tramos largos y económicos
8. Mejor control de las deformaciones
9. Reducción en grietas
10. Construcción hermética
11. Construcción resistente al fuego de bajo costo
12. Costos reducidos de mantenimiento
13. Menor costo de operación y mantenimiento

15. El concreto preforzado postensado en comparación con el concreto preforzado pretensado ofrece las siguientes ventajas:

1. Continuidad estructural de los miembros
2. Preforzado por etapas
3. Preforzado en campo
4. Menos pérdidas por preforzado
5. Conexiones en campo de elementos prefabricados
6. Construcción en áreas de acceso limitado o restringido
7. Uso de mano de obra y materiales locales

2.2 Teoría

Básicamente hay dos tipos de estructuras encofradas de concreto:

1. Losa de una dirección o larguero soportado por vigas soportadas por columnas/muros.
2. Losas de dos direcciones, con o sin panel de refuerzo soportado por columnas/muros.

Los elementos o componentes de estas estructuras (es decir, losas/largueros/vigas/columnas/paredes soportan las cargas que se ejercen sobre éstas y al hacerlo soportan fuerzas tangenciales, de tracción y/o compresión.

El concreto que se usa en estos elementos es inherentemente eficiente en soportar las fuerzas compresivas mientras que los tendones de postensado y barras de refuerzo son inherentemente eficientes en soportar las fuerzas de tracción (Ver **Fig. 2-2**). Así, el uso combinado de estos dos materiales puede crear estructuras económicas y seguras que son competitivas con otros materiales.

2.3 Preforzado para lograr el equilibrio de cargas

Un concepto útil es visualizar el preforzado principalmente como un intento de equilibrar las cargas ejercidas en un miembro (Ver **Fig. 2-11**). Un miembro como una losa o una viga que soporta su propio peso o su propio peso y una carga uniforme ($w_{aplicada}$) se dobla o flexiona hacia abajo. Cuando los tendones se colocan en dicho miembro en una curva parabólica y se estiran, ejercen una carga uniforme ascendente (w_{bal}) en el miembro. Se puede calcular la cantidad de estiramiento o el número de tendones requeridos para contrarrestar toda o parte de la carga gravitacional descendente en el miembro.

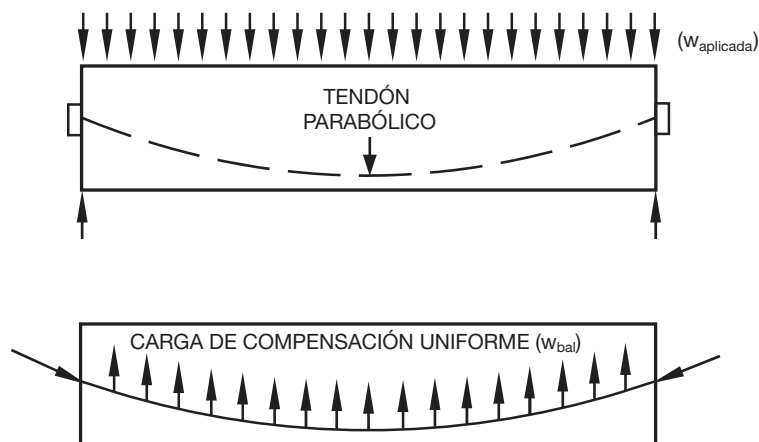


Fig. 2-11 Concepto de fuerzas del sólido aislado para concreto postensado

2.4 Preforzado parcial o total

Cuando un miembro esta diseñado de manera que no se produzcan fuerzas traccionales cuando se expone a una carga, entonces se dice que el concreto está totalmente preforsado. Teóricamente, este tipo de miembro requiere una cantidad importante de acero de presfuerzo. Por otro lado, si se permite la producción de fuerzas traccionales en el miembro cuando se ejerce una fuerza de trabajo, entonces se le conoce como concreto parcialmente preforsado (este término a veces se usa también para describir el proceso de aplicar un porcentaje de la fuerza final en un periodo previo al periodo normal de 72 horas). Es posible que para el concreto parcialmente preforsado se requiera una barra de refuerzo de acero bajo en carbono para controlar el agrietamiento bajo tensión. Por razones económicas, el preforsado parcial es la forma más común de preforsado utilizada en la estructuras. Con este método se usa una cantidad suficiente de acero de presfuerzo para compensar la mayoría del peso del miembro y otras cargas muertas. Ocasionalmente se incluye también una pequeña porción de carga variable. La tensión producida por el resto de la carga variable es soportada por la combinación del acero preforsado y no preforsado, resultando en estructuras económicas. La barra de refuerzo de acero adherente garantiza el control del ancho y distribución de las grietas, en caso de que efectos secundarios o una sobrecarga provoque que el miembro se fisure.

2.5 Miembros continuos

En la **Fig. 2-12** a la **2-14** se presenta un miembro continuo de 4 tramos en 5 soportes.

La **Fig. 2-12** muestra las zonas de tensión y compresión que se producirían en el concreto del miembro bajo el efecto de una carga externa uniforme. ($w_{aplicada}$)

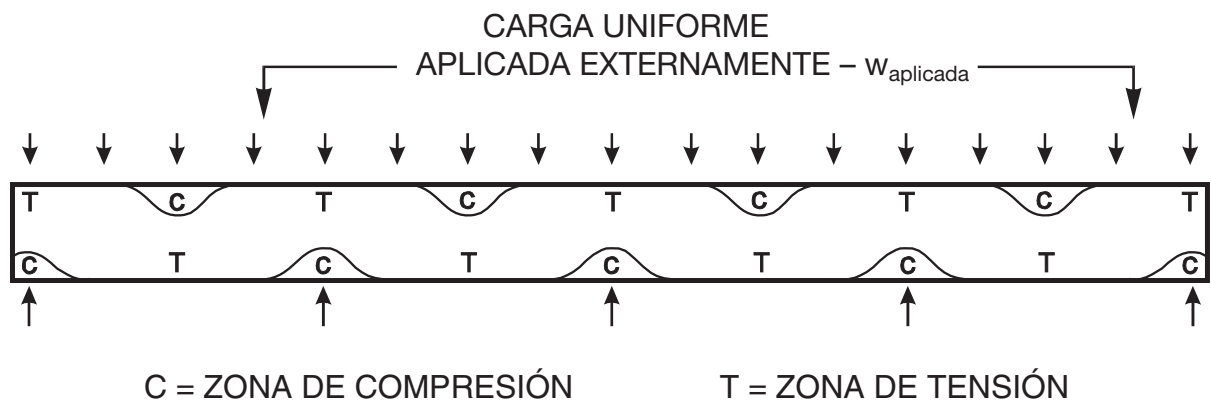


Fig. 2-12 Zonas de tensión y compresión bajo una carga externa uniforme ($w_{aplicada}$)

La **Fig. 2-13** muestra al tendón colocado en el miembro en perfil parabólico. Al tensarse, el tendón aplicará internamente cargas uniformes de compensación (w_{bal}) en dirección ascendente y descendente (según indican las flechas) a lo largo de las porciones del tendón entre los puntos de inflexión, es decir, los puntos de inversión en la curvatura del tendón.

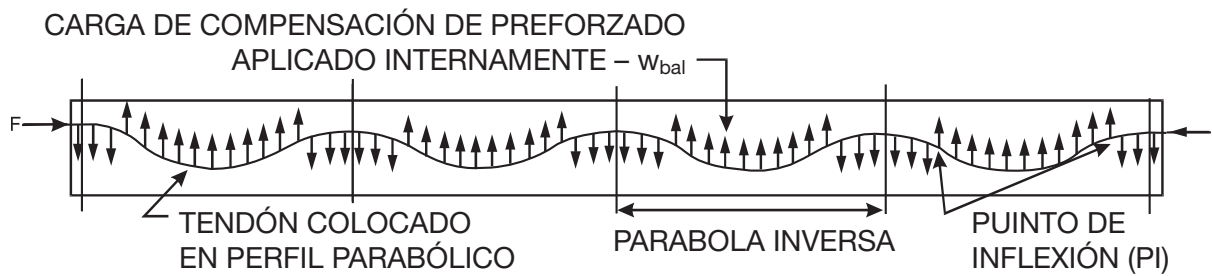


Fig. 2-13 Carga uniforme equilibrante aplicada internamente (w_{bal})

La **Fig. 2-14** muestra las zonas de tensión y compresión producidas por las cargas de compensación uniformes aplicadas internamente.

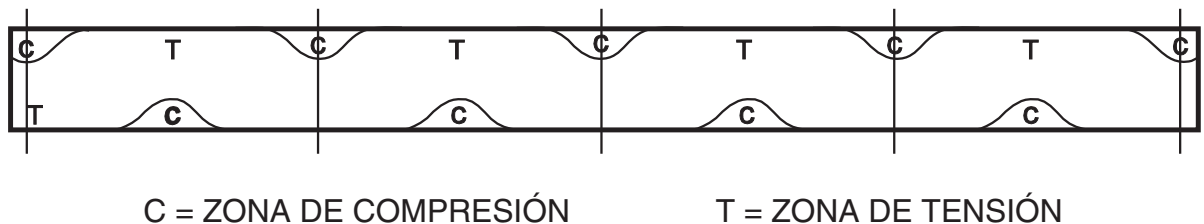


Fig. 2-14 Zonas de tensión y compresión bajo cargas de compensación internas uniformes (w_{bal})

Al comparar las figuras 2-12 y 2-14 se observa que el componente de elevación del preforzado produce zonas de tensión opuestas a las producidas por la carga externa, anulando o reduciendo los efectos de la tensión de las cargas externas y llevar la tensión resultante hacia los límites permitidos.

En caso de una diferencia significativa en la longitud de los tramos y/o diferencias en la magnitud de las cargas, se pueden emplear diferentes opciones de diseño. Ya sea reducir el pliegue mientras que se conserva la misma cantidad de presfuerzo o mantener todo el pliegue pero reducir la fuerza de presfuerzo, aun se puede lograr la misma compensación de cargas requerida.

Como se observa en las figuras, es importante colocar los tendones en el perfil correcto para lograr los criterios de diseño.

2.6 Vigas voladizas

Los miembros voladizos son esenciales ya que su diseño depende de su longitud, las cargas aplicadas y la influencia de los tramos interiores adyacentes. Durante la etapa de diseño se logra un equilibrio crucial entre la viga voladiza y su tramo de anclaje, por ello el perfil del tendón en una viga voladiza debe vigilarse cuidadosamente.

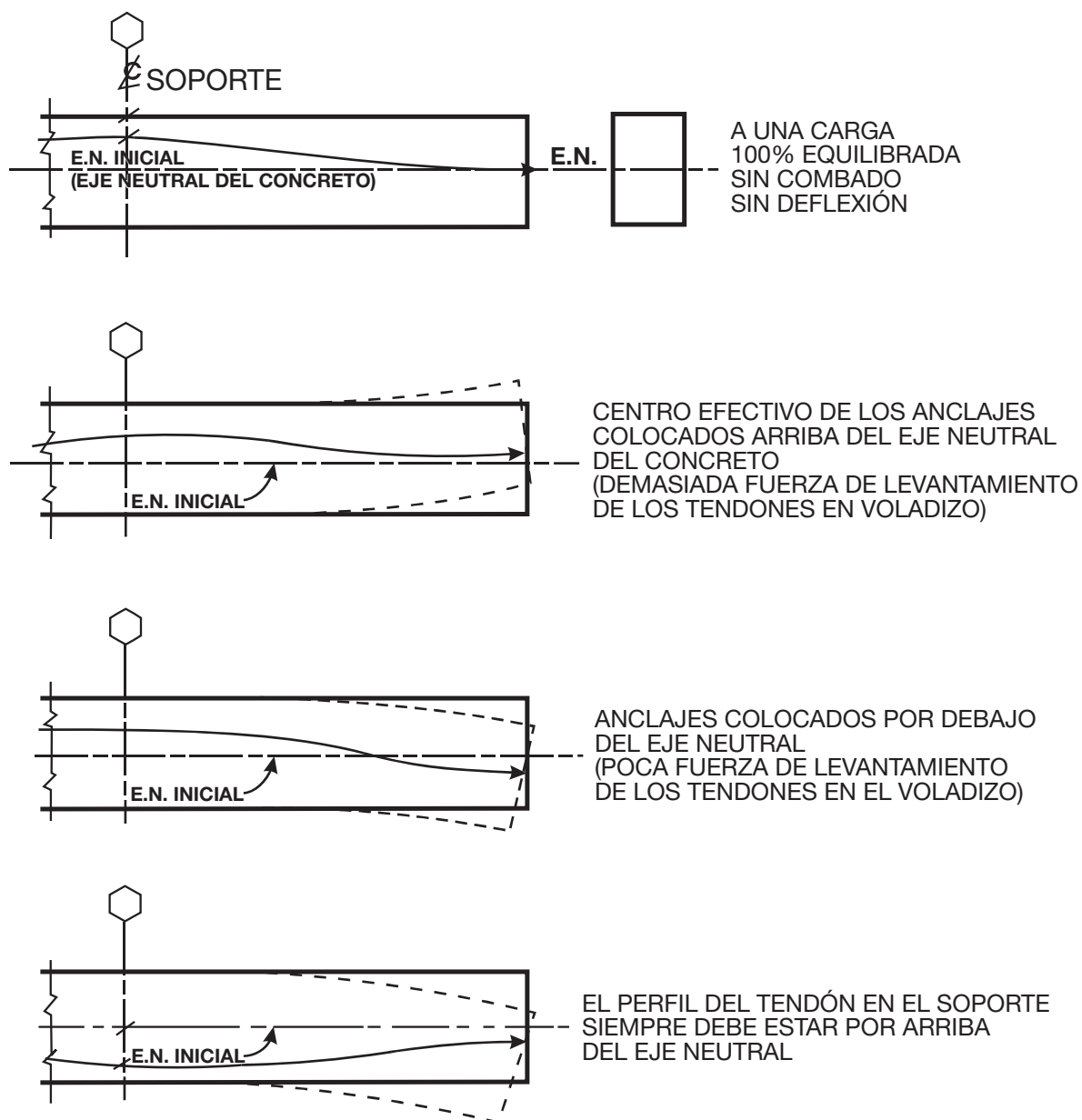


Fig. 2-15 Efecto del perfil del tendón sobre el comportamiento de las vigas voladizas

2.7 Cimientos sobre suelo para obras residenciales y comerciales ligeras

El propósito de un cimiento es actuar como amortiguador entre el suelo de abajo y la superestructura de arriba para evitar deformaciones inaceptables en la superestructura. Un cimiento postensado está diseñado para resistir o librar deformaciones inducidas por la humedad en el suelo al mismo tiempo que conserva su superficie superior dentro de los niveles permitidos.

En el caso de cimientos postensados, las cargas aplicadas a la losa vienen de arriba (estructura) y de abajo (la contracción y expansión de la tierra de soporte). Las cargas resultantes de la contracción y expansión de la tierra varían constantemente durante toda la vida de la estructura, es decir, la tierra cambia constantemente de volumen conforme experimenta los ciclos constantes de humedecimiento y secado. Por esta razón, la mayoría de las losas postensadas sobre suelo no intentan sacar ventaja de las fuerzas de levantamiento mediante el solapamiento de tendones.

En lugar de esto, normalmente el perfil de los tendones en estas losas es plano. Al usar un perfil plano, el diseñador usa sólo la fuerza compresiva inducida en la losa por los tendones al comprimir la losa de concreto, lo cual aumenta la resistencia a la tracción de las losas (resistencia a la flexión).

El diseñador puede requerir que los tendones se coloquen en la parte inferior de las vigas en cimientos nervurados. El perfil de estos tendones también es plano, aunque los anclajes pueden elevarse a la parte superior de la viga para permitir el acceso del tensado.

En un cimiento de losa sobre suelo expansivo esto puede resultar en una menor cantidad de vigas o vigas más ligeras para reforzar una losa nervurada, o una reducción en el grosor de una losa de grosor uniforme (en comparación a un cimiento reforzado convencional). Además, la compresión funciona para contrarrestar la fisuración causada por la contracción del concreto al curarse.

El perfil y colocación de los tendones en cualquier losa sobre suelo postensada es tan importante como en una losa estructural (elevada). Habitualmente, el diseñador proyecta que el perfil sea plano y que los tendones se coloquen en la mitad de la losa. Si los tendones se pliegan o se colocan por arriba o por abajo del eje neutral del concreto puede resultar en la inducción de fuerzas de elevación o descendentes no intencionales en una losa.

CAPITULO 3

FABRICACIÓN

3.1 Fabricación de tendones

En este manual se presupone y recomienda, que los procedimientos para la fabricación de tendones no adherentes cumplen con los requisitos de la “Especificación para tendones no adherentes de un solo cable” del Post-Tensioning Institute, publicada en Julio de 1993.

El primer paso en el proceso de manufactura es el recubrimiento del cable (**Fig. 3-1**). Esto se logra usando el método de extrusión de plástico.

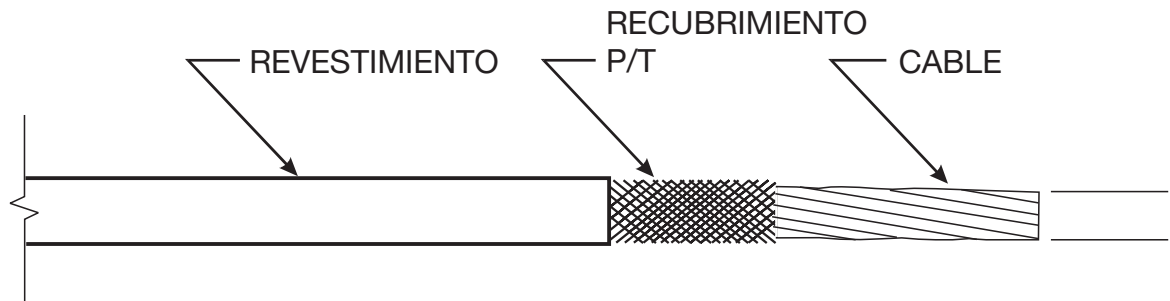


Fig. 3-1 Cable recubierto y revestido

El cable desnudo se recibe del fabricante de cables en un paquete estándar, (para cables de ½" [12.7 mm] esto representa aproximadamente 12,000 pies [3660 metros].) Ver **Fig. 3-2**.



Fig. 3-2 Bobina de cable desnudo

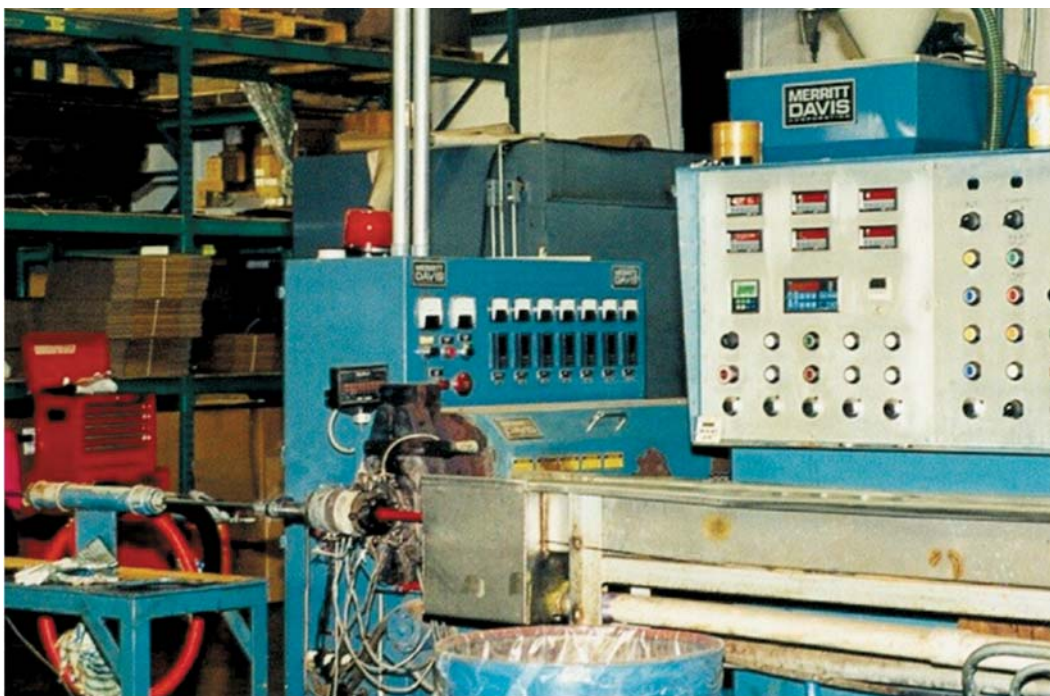


Fig. 3-3 Proceso de extrusión

Al cable desnudo se le aplica una capa de recubrimiento P/T y después se forra con un revestimiento de plástico (**Fig. 3-3**). El proceso de extrusión inicia al pasar el cable a través de un aplicador del recubrimiento P/T que cubre al cable de manera uniforme con la cantidad adecuada de recubrimiento P/T. Conforme el cable recubierto continúa por el proceso la cabeza extrusora aplica y regula el grosor correcto de plástico derretido. El paso final del proceso implica el paso del cable por agua de enfriamiento antes de enrollarse en una bobina.

El cable revestido (**Fig. 3-4**) se lleva a una línea de corte donde se corta a la longitud requerida y se clasifica por color o se etiqueta para su identificación correcta. Después de cortar el cable revestido a la longitud especificada, son llevados a un área donde se colocan los anclajes de extremo fijo según se requiera.



Fig. 3-4 Bobinas de cable revestido



Fig. 3-5 Almacenamiento de bobinas de tendón fabricado