

## **ARTÍCULO 641 - 07**

### **ACERO DE PREESFUERZO**

#### **641.1 DESCRIPCIÓN**

Este trabajo consiste en el suministro, colocación y tensionamiento de acero de preesfuerzo, de acuerdo con los detalles indicados en los planos, las exigencias de esta especificación y las instrucciones del Interventor. Consiste, además, en el suministro e instalación de todos los accesorios necesarios para los diferentes sistemas de preesfuerzo usados, incluyendo ductos, anclajes e inyecciones de lechada.

#### **641.2 MATERIALES**

##### **641.2.1 Acero de preesfuerzo**

El acero de preesfuerzo podrá consistir de cables de acero de alta resistencia de siete alambres, alambre de acero de alta resistencia, o barras de alta resistencia del tipo y grado especificados en los planos o en las especificaciones que se mencionan a continuación.

###### **641.2.1.1 Cables**

Los cables de siete alambres sin revestimiento deberán cumplir lo especificado en la norma AASHTO M-203, NTC 2010 o ASTM A-416.

###### **641.2.1.2 Alambres**

Los alambres de acero sin recubrimiento deberán cumplir los requisitos de la norma AASHTO M-204, NTC 159 o ASTM A-421.

###### **641.2.1.3 Barras**

Las barras de alta resistencia sin recubrimiento deberán cumplir los requisitos de la norma AASHTO M-275, NTC 2142 o ASTM A-722. Se podrán usar barras con resistencia última mayor a la especificada en las normas anteriores, siempre y cuando se demuestre que poseen propiedades superiores a las especificadas.

Todo cable, alambre o barra que se envíe al sitio deberá tener un número de envío para efectos de identificación. Los anclajes deberán identificarse de igual manera.

Cada lote de alambre o barras y cada rollo de cable deberá estar acompañado de un certificado de fábrica que incluya características técnicas, composición química, sección transversal, esfuerzos de fluencia y último, elongación a la rotura, módulo de elasticidad, y curva esfuerzo deformación del acero que se pretende utilizar. La resistencia real del acero de preesfuerzo no deberá ser menor que la especificada en la norma aplicable, y las pruebas se deberán realizar según los procedimientos de dicha norma.

### **641.2.2 Anclajes y acoples**

Todos los anclajes y acoples deberán desarrollar al menos el noventa y cinco por ciento (95%) de resistencia última especificada para el acero de preesfuerzo, al ser probados antes de ser adheridos, sin exceder el asentamiento del anclaje esperado. Los acoples de tendones no deberán reducir la elongación de rotura por debajo de los requisitos del tendón mismo. Los acoples o sus componentes deberán estar encerrados en camisas que permitan los movimientos necesarios. Los acoples sólo se podrán utilizar en los sitios mostrados en los planos o aprobados por el Interventor. No se podrán utilizar en sitios donde se presenten fuertes curvaturas.

Los dispositivos de anclaje para cables no adheridos, deberán ser capaces de transmitir al concreto una carga igual a la capacidad del cable bajo las condiciones de carga estática y cíclica.

Cualquier refuerzo suplementario requerido en la zona local del anclaje, para resistir concentraciones de esfuerzos en la vecindad del anclaje, que sea dependiente de la configuración del anclaje, debe ser considerado parte integrante del anclaje. Dicho refuerzo deberá ser diseñado por el suministrador del anclaje, y colocado adicionalmente al refuerzo general de la zona que se muestre en los planos.

### **641.2.3 Ductos**

Los ductos utilizados para proveer las cavidades en el concreto para la colocación de cables de postensionamiento podrán estar formados bien sea por núcleos removibles o por ductos rígidos o semirrígidos que se funden dentro del concreto. Los ductos formados por núcleos removibles no deberán tener reducciones que tiendan a cerrar el paso de lechada. Todos los materiales del núcleo deberán removerse. Los ductos formados que deban quedar embebidos no deberán permitir el paso de lechada, deberán ser capaces de transferir los esfuerzos de contacto, y conservar su forma bajo el peso del concreto, manteniendo el alineamiento sin pandeos visibles durante la colocación del concreto.

#### **641.2.3.1 Ductos metálicos**

Los ductos laminados deberán ser metálicos, a menos que se apruebe algo diferente. Deberán ser de metal ferroso galvanizado, y fabricados con uniones soldadas o trabadas. Los ductos soldados no requieren galvanizado. Los ductos rígidos deberán tener paredes interiores suaves, y deberán ser capaces de sufrir curvaturas hasta los límites requeridos, sin sufrir achatamiento. Los ductos semirrígidos deberán ser corrugados, y cuando los tendones sean insertados con posterioridad a la colocación del concreto, el espesor mínimo de pared deberá ser calibre veintiséis (26) para ductos de diámetros menores o iguales a sesenta y siete milímetros (67 mm), y calibre veinticuatro (24) para diámetros mayores. Cuando los tendones son preensamblados con dichos ductos, el espesor de pared del ducto no deberá ser inferior al calibre treinta y uno (31).

#### **641.2.3.2 Ductos de polietileno**

Como alternativa a ductos metálicos, los ductos para tendones transversales en placas de piso y en otros sitios mostrados en los planos o aprobados por el Interventor, podrán ser de polietileno de alta densidad, de acuerdo a la norma ASTM D-3350. Los ductos de polietileno no se podrán usar cuando el radio de curvatura del tendón sea inferior a nueve metros (9 m).

Los ductos semirrígidos de polietileno que se usen completamente embebidos en concreto deberán ser corrugados, con un espesor mínimo de material de un milímetro y tres décimas, más o menos tres décimas de milímetro ( $1.3 \text{ mm} \pm 0.3 \text{ mm}$ ). Tales ductos deberán tener una cubierta exterior blanca, o ser de material blanco con estabilizadores ultravioletas incorporados.

Los ductos rígidos de polietileno para uso donde el tendón no esté embebido en concreto deberán ser de tubería rígida fabricada según las normas ASTM D 2447, ASTM F 714, ASTM D 2239, o ASTM D 30. Para aplicaciones externas, estos ductos deberán tener una relación diámetro/espesor de pared de veintiuno o menor ( $\leq 21$ ).

Para aplicaciones donde los ductos de polietileno estén expuestos a la luz solar o ultravioleta, deberá incorporarse un compuesto negro de carbón a la resina de polietileno del ducto, para proveer resistencia a la degradación por luz ultravioleta, de acuerdo con la norma ASTM D 1248.

#### **641.2.3.3 Área de ductos**

El diámetro interior de los ductos deberá ser al menos seis milímetros (6 mm) mayor que el diámetro nominal del alambre, barra o cable o, en el caso de tendones de varios cables, el diámetro del ducto debe ser al menos dos (2) veces el área neta del acero de preesfuerzo. Cuando los tendones se coloquen por el método de empuje a través del ducto, el área del ducto debe ser al menos dos y media (2.5) veces al área neta del acero de preesfuerzo.

#### **641.2.3.4 Accesorios de los ductos**

Los acoples y transiciones de ductos formados por láminas deberán ser de metal ferroso o polietileno, y deberán ser a prueba de entrada de lechada y poseer la suficiente resistencia para prevenir distorsión o desplazamiento de los ductos durante la colocación del concreto. Todos los ductos de los ensambles de anclaje deberán proveerse de tubos u otras conexiones apropiadas en cada extremo del ducto para la inyección de lechada posterior al preesfuerzo. Deberán tener, también, orificios de ventilación en los puntos altos y de drenaje en puntos intermedios bajos. Los tubos de ventilación y drenaje deberán ser de un diámetro mínimo de doce milímetros y medio (12.5 mm) o tubos plásticos apropiados. Las conexiones a ductos deberán hacerse con sujetadores metálicos o plásticos. Las ventilaciones y drenajes deberán ser a prueba de mortero, y se deberán proveer medios para inyección a través de las ventilaciones y para sellado que evite fugas de lechada.

#### **641.2.4 Inhibidor de corrosión**

Será del tipo VPI según la especificación MIL-P-3420. Cuando sea aprobado por el Interventor, se puede utilizar aceite soluble en agua.

#### **641.2.5 Lechada**

Los materiales para la lechada de inyección deberán cumplir los requisitos indicados en el numeral 631.2 del Artículo 631.

### **641.3 EQUIPO**

Los gatos hidráulicos usados para tensionar el acero deberán ser capaces de proveer y sostener las fuerzas necesarias y deberán estar equipados con manómetros de presión o celdas de carga, para determinar el esfuerzo de gateo. El sistema deberá permitir medir independientemente la elongación del cable. El manómetro deberá tener una escala apropiada, y deberá estar debidamente calibrado, hecho del cual el Constructor deberá entregar al Interventor la certificación correspondiente. Las celdas de carga deberán tener un indicador que permita establecer la fuerza de tensionamiento. El rango de lectura será tal, que no se utilice el diez por ciento (10%) inferior de la capacidad certificada por el fabricante, para determinar la fuerza de gateo. Los manómetros y celdas de carga deberán recalibrarse con frecuencia. Sólo se podrán usar llama de oxígeno o elementos mecánicos de corte para cortar cables después de la instalación del elemento o después del preesfuerzo. No se deberán usar soldadores de arco eléctrico.

El equipo para preparación e inyección de la lechada se describe en el numeral 631.3 del Artículo 631.

### **641.4 EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS**

#### **641.4.1 Planos de trabajo**

Cuando los planos no incluyan detalles completos del sistema de preesfuerzo y su método de instalación, o cuando los detalles completos mostrados en los planos puedan ser objeto de modificación por parte del Constructor, éste deberá preparar y remitir para aprobación del Interventor, información completa sobre los sistemas que se propone utilizar. Los planos de trabajo deberán mostrar detalles completos y memorias de cálculo justificativas, descripción de materiales y equipos, e incluir posibles modificaciones a la disposición del acero de refuerzo o a las dimensiones del concreto mostradas en los planos. Estos detalles deberán mostrar la secuencia de preesfuerzo, especificaciones del acero, de los anclajes, esfuerzos de trabajo, esfuerzos en el anclaje, elongación de los tendones, tipos de ductos y cualquier otro dato pertinente, incluyendo la distribución del acero de preesfuerzo en el miembro. Los planos de trabajo deberán ser enviados al Interventor con la suficiente anticipación para permitir su revisión, ajuste y aprobación, sin que se afecte el programa de trabajo.

#### **641.4.2 Pruebas del acero de preesfuerzo y anclaje**

El Interventor podrá ordenar las pruebas que considere necesarias sobre muestras tomadas de los lotes suministrados por el Constructor, las cuales deberán ser proporcionadas por éste, sin costo para el Instituto Nacional de Vías.

Para acero de pretensado se deberá suministrar una muestra de dos metros (2 m) de largo, como mínimo, por cada lote de veinte toneladas (20 t) de acero, debiendo cortarse las muestras de los extremos de los rollos.

Para las pruebas requeridas en el acero de postensado, se proporcionarán las siguientes longitudes:

- Un metro y medio (1.50 m) para alambres que requieran cabezas.
- Para alambres que no requieran cabezas, una longitud suficiente para hacer un cable de tendido paralelo de un metro y medio (1.50 m) de largo, consistente del mismo número de alambres con que el cable va a ser habilitado en obra.
- Para torones con accesorios de anclaje, un metro y medio (1.50 m) entre los extremos más cercanos de los accesorios.
- Para barras con extremos roscados y tuercas, un metro y medio (1.50 m) entre los extremos más cercanos de las roscas.

Si las pruebas a ser efectuadas así lo requieren, se deberán proporcionar dos (2) anclajes adicionales completos, incluyendo placas de repartición y demás aditamentos propios del sistema.

#### **641.4.3 Protección, transporte y almacenamiento**

El Constructor deberá proteger tanto el acero de preesfuerzo como los anclajes, ductos y otros accesorios a ser utilizados, cuidando la limpieza de los mismos y tomando las medidas necesarias para preservarlos de la corrosión, con el fin de garantizar que, en todo momento, se mantenga su calidad.

Durante el transporte, tanto el acero de preesfuerzo como los demás elementos de acero se deberán envolver en papel impermeable u otro material que los proteja de la humedad.

Los alambres y cables no deberán ser enrollados en diámetros pequeños, para evitar la formación de microfisuras superficiales que propician la corrosión a bajo esfuerzo.

Los ductos se deberán manejar con cuidado durante su carga, transporte y descarga, para evitar lastimaduras y dobleces que los puedan perjudicar posteriormente.

El almacenamiento de estos materiales se deberá efectuar en locales cerrados y secos, evitando su proximidad a refinerías y plantas industriales. Los rollos deberán ser apilados según los diferentes lotes de fabricación e identificados adecuadamente. El apilamiento se hará sobre tarimas que queden separadas del suelo por lo menos treinta centímetros (30 cm).

Para almacenamiento por períodos no superiores a tres (3) meses, se permitirá recubrir el material con un toldo, además protegerlo con el inhibidor de corrosión.

#### **641.4.4 Dirección y asesoría de los trabajos**

El Constructor deberá proporcionar un técnico calificado en el uso del sistema de preesfuerzo a ser utilizado, quien será el responsable de la correcta ejecución de todas las operaciones requeridas.

#### **641.4.5 Aprobación del sistema por usar**

Para cualquier sistema que utilice el principio de preesfuerzo, el Constructor deberá demostrar y garantizar plenamente su eficacia, seguridad y funcionalidad, puestas de manifiesto en obras similares ejecutadas con anterioridad.

#### **641.4.6 Colocación de los ductos**

Los ductos se deberán soportar rígidamente en intervalos adecuados dentro de las formaletas mediante amarres al acero de refuerzo, que eviten el desplazamiento durante la colocación del concreto. De ser necesario, se deberán usar barras suplementarias. Las juntas entre secciones de ductos deberán acoplarse con conexiones efectivas que no resulten en cambios de ángulo en las juntas y que prevengan la entrada de pasta de cemento del concreto. Después de colocar los ductos, y el refuerzo y la formaleta se encuentren en su sitio, se deberá realizar una inspección para detectar posibles daños a los ductos. Todos los orificios no intencionales en los ductos deberán ser reparados antes de la colocación del concreto. Las aberturas para inyección y ventilación deberán ser ancladas seguramente al ducto y a la formaleta o al acero de refuerzo, para evitar su desplazamiento en las operaciones de vaciado. Después de instaladas las formaletas, los extremos de ductos deberán ser cubiertos, para prevenir la entrada de agua o lechada.

Todos los ductos de estructuras continuas deberán ser ventilados en los puntos más altos del perfil, excepto cuando la curvatura es pequeña, como en placas continuas, y en los sitios adicionales indicados en los planos. Donde se anticipe congelamiento antes de la inyección, se deberán instalar drenajes en los puntos más bajos, para prevenir la acumulación de agua. Estos drenajes deberán permanecer abiertos hasta la iniciación de los trabajos de inyección. Los extremos de ventilaciones y drenajes deberán removerse hasta veinticinco milímetros (25 mm) por debajo de la superficie del concreto después de terminar la inyección, y los orificios llenados con mortero.

#### **641.4.7 Colocación del acero de preesfuerzo**

##### **641.4.7.1 Colocación para pretensionamiento**

El acero de preesfuerzo se deberá instalar precisamente dentro de las formaletas y mantener en su sitio mediante los gatos o anclajes temporales u otros accesorios especiales. Los accesorios que se usen en los cambios de pendiente de la trayectoria deberán ser de baja fricción, debidamente aprobados. El acero de preesfuerzo no deberá retirarse de su cubierta protectora mientras no se vaya a colocar el concreto, debiéndose tomar todas las medidas necesarias para evitar la corrosión. Todo el acero de preesfuerzo preensamblado en ductos e instalado antes de la colocación del concreto, deberá ser asegurado y mantenido en su sitio adecuadamente.

##### **641.4.7.2 Colocación para postensionamiento**

Cuando el acero se instale con posterioridad a la colocación del concreto, el Constructor deberá demostrar a satisfacción del Interventor que los ductos se encuentran libres de agua o lechada antes de la instalación del acero. El número total de cables en un tendón individual podrá ser colocado en un solo tiempo, o los cables individuales podrán ser colocados uno a uno. Los accesorios de anclaje deberán ser colocados en su sitio de modo que su eje coincida con el eje del tendón, y las platinas de anclaje sean normales en todas direcciones al tendón.

El acero de preesfuerzo se deberá distribuir de modo que la fuerza en cada elemento corresponda a las indicaciones de los planos. Para vigas cajón con más de dos nervios, a juicio del Constructor, la fuerza de preesfuerzo puede variar hasta un cinco por ciento (5%) respecto de la fuerza teórica

requerida por nervio, siempre que la fuerza total requerida se obtenga, y que ésta se distribuya simétricamente en la sección.

#### **641.4.7.3 Protección del acero después de la instalación**

El acero de preesfuerzo instalado en elementos antes del vaciado y curado del concreto, o instalado en el ducto pero no inyectado dentro de los límites de tiempo dados a continuación, deberá ser protegido contra oxidación mediante un compuesto inhibidor colocado en el ducto o directamente sobre el acero. El acero de preesfuerzo colocado con posterioridad al vaciado y curado del concreto, e inyectado dentro de los límites de tiempo siguientes, no requiere el uso de inhibidores de corrosión.

- |   |         |
|---|---------|
| - Atmósfera húmeda o a nivel del mar<br>(humedad > 70%) | 7 días  |
| - Atmósfera moderada<br>(humedad entre el 40% y 70%)    | 15 días |
| - Atmósfera seca<br>(humedad menor del 40%)             | 20 días |

Una vez que los tendones se hayan colocado en los ductos, las aberturas en los extremos deberán ser selladas para prevenir la entrada de humedad. Cuando se use curado con vapor, el acero de preesfuerzo no se deberá instalar hasta tanto no se haya terminado el curado. Cuando se realice soldadura eléctrica en cercanías de miembros que tengan acero de preesfuerzo, la conexión a tierra deberá sujetarse directamente al acero que se esté soldando. Todos los elementos se deberán proteger de la caída de chispas o escoria de soldadura.

#### **641.4.8 Tensionamiento**

##### **641.4.8.1 Generalidades**

El acero de preesfuerzo deberá ser tensionado mediante gatos hidráulicos para producir las fuerzas mostradas en los planos, con los debidos márgenes para pérdidas. Las pérdidas deberán corresponder adecuadamente con los análisis. Para el caso de postensionamiento, se deberá, además, incluir la pérdida por corrimiento del anclaje, dependiendo del sistema utilizado.

El método de tensionamiento empleado debe ser uno de los siguientes, según haya sido aprobado:

##### **- Pretensado**

El cable o tendón se esfuerza antes de ser embebido en el concreto. Una vez el concreto ha alcanzado su resistencia, se libera el acero de los anclajes externos, y la fuerza se transfiere, por adherencia, al concreto.

#### **- Postensado**

Los cables o tendones se instalan en ductos dentro del concreto, y son tensados y anclados después de que el concreto ha adquirido la resistencia de diseño. Como operación final, los ductos son inyectados con lechada a presión.

#### **- Método combinado**

Parte del refuerzo se pretensiona y parte se postensiona. Para este método se aplican todas las condiciones particulares de cada uno de los métodos anteriores.

Durante el tensionamiento de cables, las fallas individuales de alambres son aceptadas por el Interventor, siempre y cuando no más de un alambre en el cable se rompa, y el área de los alambres rotos no exceda el dos por ciento (2%) del área total del acero de preesfuerzo en el miembro. En tal caso, la fuerza total de tensionamiento necesaria se deberá alcanzar aumentando la tensión de los alambres restantes, siempre que para ello no sea preciso elevar la tensión de cada alambre individual en más de dos por ciento (2%) del valor inicialmente previsto. La aplicación de tensiones superiores requiere un nuevo estudio, el cual se deberá efectuar con base en las características mecánicas de los materiales realmente utilizados.

#### **641.4.8.2 Resistencia del concreto**

Las fuerzas de preesfuerzo no deberán ser aplicadas o transferidas al concreto hasta tanto éste no haya alcanzado la resistencia especificada para el tensionamiento inicial. Además, el concreto fundido en sitio, diferente al de puentes segmentados, no deberá ser postensionado hasta que hayan pasado al menos diez (10) días de la colocación.

#### **641.4.8.3 Secuencia de tensionamiento**

Cuando la secuencia de tensionamiento de tendones individuales no haya sido especificada, el tensionamiento de elementos postensados y la liberación de elementos pretensados deberá ser realizada en una secuencia que produzca el mínimo de fuerzas excéntricas en el miembro.

#### **641.4.8.4 Medida de esfuerzos**

El Constructor deberá llevar un reporte de las presiones y elongaciones de cada tendón, para revisión y aprobación del Interventor. Las elongaciones deberán ser medidas con una precisión de un milímetro (1.0 mm). Los sobrantes de cable de elementos postensados no deberán ser cortados hasta tanto no se hayan aprobado los reportes de tensionamiento.

Los esfuerzos en los tendones durante el tensionamiento deberán ser determinados mediante las lecturas de manómetros o celdas de carga, y deberán ser verificados con las elongaciones medidas. Los cálculos de elongaciones esperadas se deberán realizar con base en el módulo de elasticidad suministrado por el fabricante, y tomando como base el área nominal, o usando propiedades medidas mediante ensayos sobre el acero utilizado en la obra.

Todos los tendones deben ser tensados preliminarmente hasta la fuerza necesaria para eliminar cualquier falla en el sistema de tensionamiento que pueda afectar la lectura de deformaciones. Esta fuerza preliminar puede variar entre el cinco y el veinticinco por ciento (5% - 25%) de la fuerza



final de gateo. La fuerza inicial deberá ser medida con un dinamómetro o por otro método aprobado, de modo que su magnitud pueda ser usada como verificación de las elongaciones. Cada cable deberá ser marcado antes del esfuerzo final, para permitir medidas de deformación y asegurar que las cuñas se acomodan correctamente.

Cuando existan discrepancias entre las medidas tomadas con manómetros y las deformaciones leídas, se deberá usar una carga que, leída en el manómetro, produzca ligeros sobreesfuerzos antes que esfuerzos más bajos de lo previsto. Si esta discrepancia es mayor del cinco por ciento (5%) en tendones con longitudes superiores a quince metros (15 m) y del siete por ciento (7%) en tendones de menor longitud, toda la operación se debe revisar cuidadosamente para encontrar la fuente de error, y corregirla antes de continuar con el tensionamiento.

#### **641.4.8.5 Requisitos del método de pretensionamiento**

El preesfuerzo puede obtenerse mediante tensionamiento de cables individuales, o grupos de ellos. La cantidad de preesfuerzo que debe darse a cada cable será la indicada en los planos o aprobada por el Interventor. Todo cable que deba esforzarse en grupo, deberá llevarse a una tensión inicial antes del tensionamiento definitivo. El rango de esta fuerza de tensionamiento será el mismo indicado para cables postensados, y su magnitud dependerá de la pista de tensionamiento y del número de cables en el grupo.

Los tendones colgados pretensados deberán ser tensionados parcialmente por gateo en los extremos de la pista y por levantamiento o descenso de los cables, o ser tensados en su totalidad por gateo, sosteniendo los cables mediante rodillos, pasadores u otros medios aprobados. Se deberán usar accesorios de baja fricción aprobados, en los cambios de pendiente.

Si la carga en un tendón, determinada mediante las medidas de elongación, es inferior a la indicada en los manómetros del gato, en más de cinco por ciento (5%), el cable deberá ser tensionado desde ambos extremos de la pista, y las cargas calculadas con base en la suma de las dos (2) elongaciones en los extremos, deberá corresponder dentro del cinco por ciento (5%) especificado.

Cuando el Interventor así lo solicite, los cables de pretensionamiento deberán verificarse para pérdidas de preesfuerzo, no más de tres (3) horas antes de colocar el concreto. El método y equipos de medición estarán sujetos a aprobación del Interventor. Todo cable que indique pérdidas superiores al tres por ciento (3%) deberá ser tensionado hasta alcanzar la fuerza original de gateo.

Los esfuerzos en todos los cables se deben mantener mediante anclajes, hasta que el concreto alcance la resistencia especificada al momento de la transferencia. Cuando se tensionen miembros a temperaturas de más de catorce grados centígrados (14° C) por debajo de la temperatura del concreto en el fraguado inicial, la elongación calculada de acero de preesfuerzo deberá ser incrementada para compensar la pérdida de esfuerzo ocasionada por el cambio de temperatura, pero en ningún caso el esfuerzo en el gateo deberá exceder el ochenta por ciento (80%) de la resistencia última a tensión especificada para el acero.

Los métodos de traslape de cables deberán ser aprobados por el Interventor. Sólo se permitirá un traslape en el caso de cables individuales. Si se gatean simultáneamente varios cables, o todos deben traslaparse, o sólo un diez por ciento (10%) de ellos. Los cables traslapados deberán ser de

características similares, y con el mismo giro. Todos los traslajos deberán quedar por fuera de los elementos que se preesfuercen.

Todas las formaletas o accesorios que impidan las deformaciones de los elementos deberán ser retiradas, antes de liberar el acero.

A menos que se indique algo diferente en los planos, todos los cables de elementos pretensados deberán ser cortados a ras con el extremo del miembro, y los extremos expuestos, así como una franja de veinticinco milímetros (25 mm) del concreto alrededor del cable, deberán ser limpiados y pintados. La limpieza se hará mediante cepillo, para remover materiales que no estén firmemente adheridos. Las superficies se cubrirán con una capa gruesa de pintura rica en zinc.

#### **641.4.8.6 Métodos para postensionamiento**

Antes de postensar cualquier elemento, el Constructor deberá demostrar, a satisfacción del Interventor, que el acero de preesfuerzo esté libre y no adherido al ducto que lo contiene. A menos que el Interventor apruebe lo contrario, todos los cables de cada tendón, excepto aquellos que estén en ductos planos con no más de cuatro (4) cables, deberán ser tensados simultáneamente con un gato múltiple. A menos que se apruebe algo diferente, los tendones en miembros continuos postensados deberán ser gateados en cada extremo del tendón. Para tendones rectos, y cuando se permita tensionamiento en un solo extremo, el tensionamiento se podrá realizar en uno (1) o ambos extremos, a juicio del Constructor.

#### **641.4.9 Inyección**

Cuando se use el método de postensionamiento, el acero de preesfuerzo deberá protegerse permanentemente adhiriéndolo al concreto, llenando los vacíos de los ductos con lechada. El trabajo se realizará conforme se describe en el Artículo 631, “Lechada para ductos de concreto preesforzado”.

#### **641.4.10 Protección permanente de los anclajes**

Siendo los anclajes mecanismos altamente esforzados, requieren una protección completa contra la corrosión y contra el fuego, motivo por el cual deberán ser recubiertos por algún medio que resulte satisfactorio para el Interventor.

#### **641.4.11 Medidas de seguridad**

El preesfuerzo implica la utilización de fuerzas muy grandes, esforzándose el acero y el concreto en un porcentaje alto de su carga última. Además, durante la construcción y montaje se ponen en juego fuerzas hidrostáticas de vibración, desbalances y fuerzas dinámicas, por lo que se deben tomar las medidas y disposiciones adecuadas para la seguridad del personal y del equipo. Estas medidas deberán incluir una planificación adecuada, el uso de los arriostamientos temporales que se requieran para el manipuleo, transporte y montaje de los elementos estructurales, la instalación de avisos de prevención y la instrucción del personal mediante un programa continuo.

#### **641.4.12 Manejo ambiental**

Todas las labores de suministro de acero de preesfuerzo se realizarán teniendo en cuenta lo establecido en los estudios o evaluaciones ambientales del proyecto y las disposiciones vigentes sobre la conservación del medio ambiente y los recursos naturales.

### **641.5 CONDICIONES PARA EL RECIBO DE LOS TRABAJOS**

#### **641.5.1 Controles**

Durante el desarrollo de los trabajos, el Interventor adelantará los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y funcionamiento del equipo empleado por el Constructor.
- Exigir al Constructor certificados de fábrica que incluyan las características físicas y químicas que garanticen la calidad de todos los suministros de los aceros requeridos para la ejecución de los trabajos.
- Comprobar que la calidad de los materiales empleados cumpla las exigencias de la presente especificación.
- Evaluar, y aprobar cuando corresponda, el sistema de preesfuerzo propuesto por el Constructor.
- Vigilar la regularidad del suministro del acero durante el período de ejecución de los trabajos.
- Verificar que los trabajos se realicen de acuerdo con el sistema aprobado, los planos del proyecto y la presente especificación.
- Efectuar las pruebas pertinentes para verificar la calidad del trabajo ejecutado.
- Exigir al Constructor la adopción de medidas para garantizar la seguridad del personal y los equipos durante la ejecución de los trabajos.
- Medir, para efectos de pago, el trabajo correctamente ejecutado de acuerdo con los planos, esta especificación y sus instrucciones.

#### **641.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias**

##### **641.5.2.1 Calidad del acero**

Los elementos de acero utilizados en los trabajos objeto de la presente especificación, deberán ser ensayados en la fábrica y sus resultados deberán satisfacer los requisitos que indiquen las normas ICONTEC, AASHTO o ASTM relacionadas en el numeral 641.2.

El Constructor deberá suministrar al Interventor una certificación de los resultados de los análisis químicos y pruebas físicas realizados por el fabricante para el lote correspondiente a cada envío de acero a la obra. En caso de que el Constructor no cumpla este requisito, el Interventor ordenará, a

expensas de aquél, la ejecución de todos los ensayos que considere necesarios sobre el acero, antes de aceptar su utilización. Si los resultados no son satisfactorios, rechazará todo acero representado por ellos.

#### **641.5.2.2 Calidad de los materiales de los ductos y sus accesorios**

El Constructor deberá entregar al Interventor certificaciones de los fabricantes que garanticen que la calidad de los ductos y sus accesorios se ajusta a las exigencias de la presente especificación. Si el Constructor no las presenta, o en caso de duda, el Interventor ordenará la ejecución de todas las pruebas pertinentes, a expensas de aquél, antes de aceptar la utilización de dichos materiales. Si los resultados de tales pruebas no son satisfactorios, rechazará los materiales representados por ellos.

#### **641.5.2.3 Calidad del inhibidor de corrosión**

El Interventor verificará que el producto por utilizar sea apropiado para el trabajo y que, además, no se utilice después de cumplida su fecha de vencimiento.

#### **641.5.2.4 Calidad de la lechada de inyección**

Tanto los ingredientes como la lechada elaborada, deberán cumplir las exigencias del numeral 631.5.2 del Artículo 631 de estas especificaciones.

#### **641.5.2.5 Distancias entre armaduras y recubrimientos**

La distancia libre entre alambres, barras o cables, medida en los extremos de un elemento, no deberá ser inferior a cuatro (4) diámetros para alambres, ni tres (3) diámetros para torones. En la porción media de la luz, se permite una separación menor y el agrupamiento de torones.

Los ductos para colocar el acero de tensionamiento podrán ser agrupados si el Constructor demuestra que no se dificulta la colocación del concreto. Además, se deberán tomar medidas preventivas para evitar que el acero rompa a través del ducto cuando aquel se tense.

Las armaduras, ductos y anclajes deberán cumplir los recubrimientos mínimos indicados en el Artículo C-7.7.3 de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-98).

#### **641.5.2.6 Tolerancias de colocación**

Salvo que los planos o una especificación particular establezcan algo diferente, la posición de los tendones en cualquier sección transversal del elemento podrá variar hasta un tres por ciento (3%) de la dimensión de la pieza, paralela al desplazamiento del tendón, siempre que dicho valor no exceda de veinticinco milímetros (25 mm). Si se demuestra que el desplazamiento no afecta al canto útil de la sección, ni la colocación del concreto, la tolerancia se podrá aumentar al doble del valor citado.

#### **641.5.2.7 Tolerancias en el tensionamiento**

Los alargamientos no podrán diferir de los previstos en el programa de tensionamiento en más de cinco por ciento (5%) en tendones con longitudes superiores a quince metros (15 m) y siete por

ciento (7%) en los de menor longitud. Si esta tolerancia se excede, se deberán examinar las posibles causas de variación, tales como errores de lectura, de sección de armaduras, de módulos de elasticidad o de los coeficientes de rozamiento, rotura de algún elemento del tendón, tapones de lechada, etc., y se procederá a un nuevo tensionamiento con una nueva medida de alargamientos.

En caso de rotura de alambres, se procederá como se indica en el numeral 641.4.8.1. La pérdida total en la fuerza de tensionamiento, originada en la rotura de alambres irremplazables, no podrá exceder nunca de dos por ciento (2%) de la fuerza total prevista.

Todo defecto de calidad o de instalación que exceda las tolerancias de esta especificación, deberá ser corregido por el Constructor, a su costa, de acuerdo con procedimientos aceptados por el Interventor y a plena satisfacción de éste.

#### **641.6 MEDIDA**

La unidad de medida será la tonelada-metro (ton-m) efectiva del acero de preesfuerzo medido en el centro de la luz, o por kilogramos (kg), suministrado y correctamente instalado y tensado, de acuerdo con los planos, esta especificación y las instrucciones del Interventor.

La cantidad de toneladas-metro efectivas se determinará multiplicando el número de metros lineales de cable, aproximados al centímetro, por el número de toneladas efectivas en el centro de la luz.

El número de toneladas efectivas en el centro de la luz se determinará con aproximación al décimo de tonelada. Si el cálculo resulta en una fracción mayor o igual a cinco centésimas de tonelada ( $\geq 0.05$  t), la aproximación a la décima se realizará por exceso y en caso contrario, por defecto.

Si la medida se realiza por kilogramos (kg), ésta se efectuará con aproximación al kilogramo completo. Si el cálculo resulta en una fracción mayor o igual a medio kilogramo ( $\geq 0.5$  kg), se aproximará por exceso y en caso contrario, por defecto.

#### **641.7 FORMA DE PAGO**

El pago se hará al precio unitario del contrato para el acero de preesfuerzo, por todo trabajo aceptado a satisfacción por el Interventor. El precio unitario deberá cubrir todos los costos por concepto de suministro, almacenamiento, transportes y colocación de acero, ductos, anclajes y demás accesorios requeridos para completar satisfactoriamente el trabajo. También, deberá cubrir todos los costos de tensionamiento del acero y los de suministro de materiales para la lechada requerida para llenar los ductos, su almacenamiento, manejo, transportes, cargues, descargues, mezcla, preparación de ductos e inyección; el suministro y aplicación del inhibidor de corrosión; suministro y aplicación de pinturas necesarias; todo el equipo, mano de obra, asesoría, preparación de planos, patentes, muestras de ensayo, medidas de seguridad, limpieza final de la zona de las obras y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del trabajo especificado.

Además, deberá incluir la administración, los imprevistos y la utilidad del Constructor.

**ÍTEM DE PAGO**

641.1 Acero de preesfuerzo  
641.2 Acero de preesfuerzo

Tonelada-metro (ton- m)  
Kilogramo (kg)