

Título

El acero en los durmientes de hormigón pretensado

Steel bars in prestressed concrete sleepers.

预应力混凝土轨枕用钢

Yù yìng lì hùn níng tǔ guǐ zhěn yòng gāng

Palabras claves:

1. Alambre de acero, pretensado, durmientes de hormigón.
2. Steel bars, prestressed, concrete sleepers.
3. 钢丝, 预应力, 混凝土轨枕

Abstract.

Concrete sleepers have a certain amount of steel for structural reinforcement, assembly and manufacturing conditions and for the fastening systems. In this article I will review the different functions that these steels fulfill in a concrete tie, what type of steel they are and some constructions practices that allow us to understand the reason for certain reinforcements. The article refers to the sleepers that currently exist in Argentina.

[El acero en los durmientes de hormigón.](#)

Publicado. 11.9.2023

Los durmientes de hormigón llevan una determinada cantidad de acero para refuerzo estructural, condiciones de montaje y por sistemas de fijaciones. En este artículo revisaremos las diferentes funciones que cumplen esos aceros en los durmientes, qué tipo de acero son y algunas prácticas constructivas que nos permitan entender el porqué de ciertas armaduras. El artículo está referido al acero de los durmientes de hormigón que existen en las vías del ferrocarril argentino.

El acero en los durmientes de hormigón pretensados

Entre los materiales de construcción, el acero tiene una posición de relevancia ya que combina resistencia mecánica, trabajabilidad, disponibilidad y bajo costo.

Los durmientes de hormigón están conformados principalmente por hormigón, acero e insertos. Dependiendo de la tipología del durmiente y los esfuerzos que deberán resistir, los durmientes pueden tener armadura activa, pasiva o una combinación de ambas. Estas armaduras son de acero.

La armadura activa, o aquella que será pretensada (el término de pretensado incluye en su terminología a la tecnología de postensado) es la más común en este tipo de elementos premoldeados. La principal característica del acero para pretensado es que son aceros al carbono de baja relajación.

Por su parte la armadura pasiva es aquella que se coloca en un molde y no recibirá ninguna carga hasta el montaje o servicio. Esta armadura suele ser el refuerzo principal en durmientes de menor carga como bi-block o armadura constructiva en durmientes pretensados.

Los insertos presentes en los durmientes tienen que ver con el sistema de fijación y/o anclajes para sistemas de señalamiento u otra instalación en la vía. Los anclajes pueden ser de plástico (polipropileno, polietileno), fundición, acero, etc.

En el presente artículo introduciremos los distintos tipos de aceros para durmientes de hormigón y algunas de sus propiedades.

Acero Steel Bar	Definición Definition	Dimensiones Dimensions	Resistencia Strength	Resistencia a tracción Tensile strength	Resistencia Yield strength	Relajación (200h) Relaxation (200h)	Relajación de largo plazo Long-term relaxation (17%)	Relajación de largo plazo Long-term relaxation (17%)	Factor de seguridad Safety factor
Acero inoxidable, perfilado de baja relajación con 3 entallas. Stainless steel, low relaxation, profiled with three notches at both ends. ASTM A276, AISI 304, 316, 321, 304L, 316L, 321L	Armadura de pretensado de durmientes. Tubo, perfilado, galvanizado en Argentina, Perú, Chile. Cableado para 400V	6, 200	1710	1510	-1.3 a 80%	2.5	97.4		
Acero inoxidable, baja relajación, diferencia en los extremos, engranado, marcado en ambos extremos. High tensile, low relaxation, equal or unequal ends with threads at both ends. ASTM A276, AISI 304, 316, 321, 304L, 316L, 321L	Armadura de pretensado. Tubo, perfilado galvanizado. Cableado para 400V	6.5, 200	1570	1380	-1.1 a 80%	3.5	116.7		
Cableado de 7 alambres de baja relajación, 2.000 Grados 270. Low relaxation, seven-wire strand, 2.000 Grados 270. ASTM A421, AISI 304, 316	Armadura de pretensado durmientes ANI, estándar europeo.	6, 202	1600	1370	-1.1 a 80%	3.5	76		
Acero inoxidable, baja relajación, diferencia en los extremos, engranado, marcado en ambos extremos. High tensile, low relaxation, equal or unequal ends with threads at both ends. ASTM A276, AISI 304, 316, 321, 304L, 316L, 321L	Armadura de pretensado. Tubo, perfilado galvanizado. Cableado para 400V	6, 200	1570	1380	-1.1 a 80%	3.5	83.1		
Acero inoxidable para hormigón pretensado, Mark 8, engranado. High tensile, low relaxation, equal or unequal ends with threads at both ends. ASTM A276, AISI 304, 316, 321, 304L, 316L, 321L	Armadura de pretensado durmientes de alta resistencia. Standard high tensile, stainless steel.	7, 200	1770	1580	-1.1 a 80%	3.5	64.3		
Acero inoxidable para hormigón pretensado, Mark 8, engranado. High tensile, low relaxation, equal or unequal ends with threads at both ends. ASTM A276, AISI 304, 316, 321, 304L, 316L, 321L	Armadura de pretensado durmientes de alta resistencia. Standard high tensile, stainless steel.	7, 200	1570	1380	-1.1 a 70%	3.5	80		
Acero inoxidable para hormigón pretensado, Mark 8, engranado. High tensile, low relaxation, equal or unequal ends with threads at both ends. ASTM A276, AISI 304, 316, 321, 304L, 316L, 321L	Armadura de pretensado durmientes de alta resistencia. Standard high tensile, stainless steel.	6, 200	1570	1380	-1.1 a 80%	3.5	84.0		
Acero inoxidable para hormigón pretensado, Mark 8, engranado. High tensile, low relaxation, equal or unequal ends with threads at both ends. ASTM A276, AISI 304, 316, 321, 304L, 316L, 321L	Armadura de pretensado durmientes de alta resistencia. Standard high tensile, stainless steel.	6, 210	160	130	N/A	17	N/A		
Acero inoxidable para hormigón pretensado, Mark 8, engranado. High tensile, low relaxation, equal or unequal ends with threads at both ends. ASTM A276, AISI 304, 316, 321, 304L, 316L, 321L	Armadura de pretensado durmientes de alta resistencia. Standard high tensile, stainless steel.	6, 210	160	130	N/A	3.0	N/A		
Acero inoxidable, baja relajación, marcado en ambos extremos, tamaño grande 20.0. High tensile, low relaxation, equal or unequal ends with threads at both ends, Mark 8, size 20.0. ASTM A276, AISI 304, 316, 321, 304L, 316L, 321L	Armadura de pretensado. Tubo, perfilado galvanizado. Cableado para 400V	6, 200	1570	1380	-1.1 a 80%	3.5	87.1		

Leer más.

Contenido

Título	1
El acero en los durmientes de hormigón	1
El acero en los durmientes de hormigón pretensados	2
Armadura activa.....	5
Descripción.....	5
Control de calidad	6
Acero para durmientes fabricados en banco largo.....	6
Acero para durmientes fabricados en banco autoportante semi largo (provisión Belgrano Cargas)	7
Acero adherencia mejorada. Fabricación en planta carrusel.	8
Acero para durmiente pretensado. Fabricación en planta carrusel.	9
Acero para durmiente de aparato de vía. Fabricación en banco largo.	9
Provisión de aceros para pretensado en Argentina.....	10
Miscelánea. Acero para postensado en vía placa	10
Armadura pasiva	11
Armadura espiralada.....	11
Nomenclatura	12
Normativa complementaria y referencias	12

Armadura activa

Descripción

La armadura activa en los durmientes pretensados es la encargada de brindar la resistencia a las cargas de flexión que origina el paso del tren en los durmientes. En el mecanismo de pretensado, esta armadura recibe un esfuerzo de tracción previo que produce una deformación elástica del acero y luego de llenado el molde y endurecido el hormigón, se libera ese esfuerzo generando una compresión en la masa del hormigón cuando el acero intenta volver a su longitud original. Por cuanto el sistema de postensado, el esfuerzo de tracción en el acero se aplica una vez que el hormigón está endurecido y no trabaja por adherencia entre el acero y la masa de hormigón.

Para permitir el esfuerzo y estiramiento de la armadura que genera esa precompresión en los durmientes, los aceros para armadura de pretensado deben ser aceros al carbono (componente que le otorgará resistencia mecánica), de baja relajación y pueden ser trefilados y entallados. El trefilado es la reducción de la sección lograda a partir de pasar el alambre a través de rodillos. El trefilado en frío (hard-drawn) permite lograr una mejor resistencia a la tracción (tensile strength), aunque con mayor fragilidad, ya que el acero se endurece por deformación.

El entallado (indent) sirve para mejorar la adherencia, necesaria en el mecanismo de pretensado. Existen numerosas formas y geometrías de entalla con una implicancia determinante en el acero para durmientes pretensados. Resumidamente, la forma y la distribución de la entalla generan diferentes configuraciones en la longitud de transferencia de este esfuerzo de pretensado, con efectos en los requerimientos del hormigón, tiempo de curado, en las tensiones que se generan en el hormigón que deben ser debidamente controladas para evitar fisuración (longitudinal and end splitting), efecto Hoyer, y pérdida de superficie adherente. Dentro de las formas de entalla, la entalla tipo T2 (común en Argentina) tiene una profundidad en el centro de entre 0.14 y 0.21 mm, ancho 5mm y paso de 8mm en tres caras a 120°.

Por último, el diámetro de la armadura activa es otro parámetro para considerar. A mayor diámetro la sección de acero será mayor y mayor podrá ser la carga aplicada al acero, aunque esta tensión debe estar siempre balanceada. A mayor diámetro, también se podrá considerar mayor tamaño de agregados en la dosificación del hormigón, mejorando la trabazón (interlocking) y la resistencia, podrá generar menor demanda de cemento (cement demand), menor fluencia lenta del hormigón (creep) y menor contracción del hormigón (shrinkage). Por otra parte, habrá que considerar los recubrimientos mínimos y la separación para permitir el correcto funcionamiento de la barra de acero pretensada.

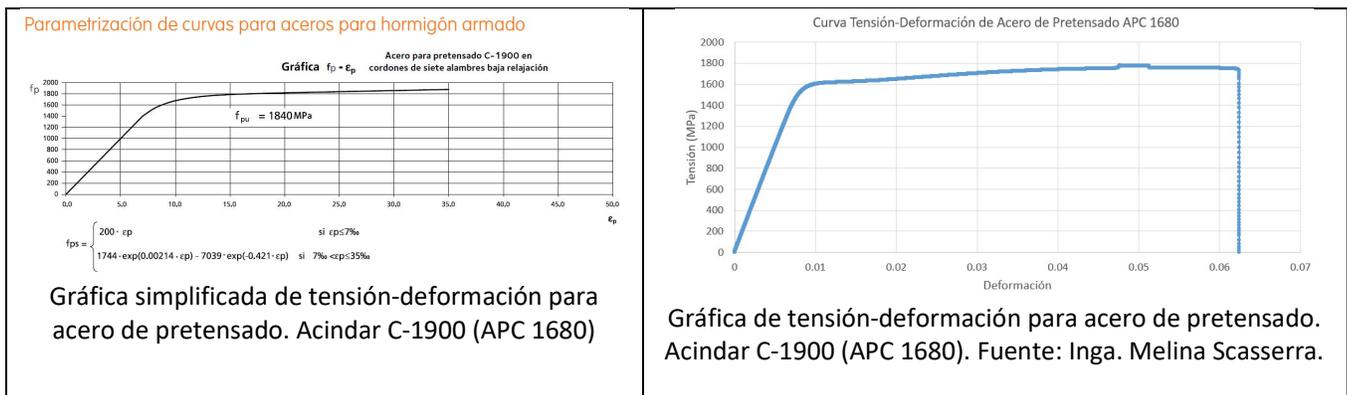
Propiedades y ensayos

Con respecto a la composición química, los aceros para armadura de pretensado cuentan con un porcentaje de Carbono $C < 0,4\%$. Este contenido de carbono le permite elevar la resistencia a la tracción, pero a consecuencia de disminuir su ductilidad.

Con respecto al azufre y fósforo también se limitan en la colada con valores menores a 0.05 y 0.04% respectivamente. Estos componentes le aportarán maquinabilidad para los procesos y resistencia a la corrosión, pero a costa también de la reducción de ductilidad.

Estos aceros son de baja relajación para reducir las pérdidas de pretensado por relajación en el tiempo. Esta propiedad se logra con un proceso termomecánico que se conoce como tratamiento de baja relajación. El mismo consiste en someter al alambre ya trefilado a tensión y calentamiento produciendo ajustes en la estructura microcristalina estabilizándose y elevándose el límite elástico. Esta propiedad se verifica con el método de ensayo de relajación. Los aceros de baja relajación son determinados por la norma IRAM/IAS U500-114 y los valores de relación a 1000h para una carga del 80% de la carga de rotura, es del orden de 3.5%

Esta combinación de composición química y proceso de fabricación le permite a estos aceros tener una tensión de fluencia del orden de 1500N/mm² (1500MPa)



Control de calidad

Las normas IRAM-IAS establecen los controles que deben realizarse a los aceros por entrega. En el dossier de calidad, el fabricante o el laboratorio encargado de realizar los ensayos, determinarán las tensiones características de los aceros que se resumen en la tabla inicial. En el rollo entregado debe figurar el número de colada necesariamente.

Con respecto a la recepción de acero en la línea de producción, no deben utilizarse armaduras para pretensado que presenten corrosión y pérdida de sección ya que ambas situaciones generan un comportamiento no deseado en el mecanismo de pretensado y generan riesgos para el personal en el posible corte de armaduras en el momento del tesado. Asimismo, las armaduras que presentan óxido superficial también deben evitarse (no se considera como defecto una oxidación superficial si es removible frotándola con un trapo seco y en tanto no existan picaduras detectables) ya que el óxido superficial puede ocultar la corrosión, activar otros mecanismos de corrosión y, la diferente rugosidad en la superficie, genera modificación en la longitud de transferencia del esfuerzo de pretensado modificando las tensiones en el hormigón con todas sus consecuencias.

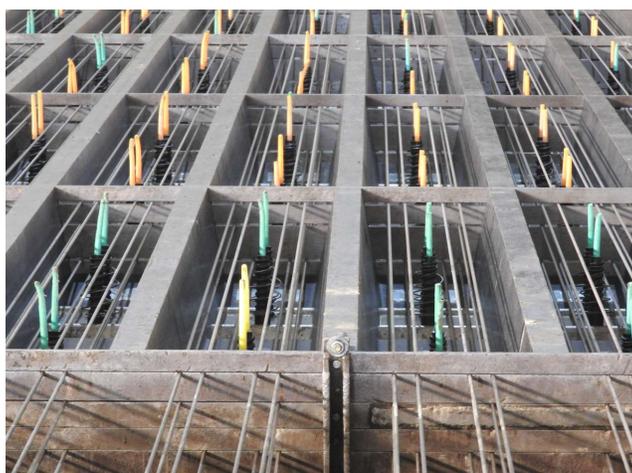
Acero para durmientes fabricados en banco largo

El sistema de fabricación por banco largo requiere de un conjunto de dispositivos que permitan desenrollar la bobina de acero a medida que un carro los va distribuyendo en las cavidades de los moldes.

Este tipo de acero en Argentina lo provee principalmente Acindar, aunque hay también otros fabricantes extranjeros que lo comercializan. La norma de fabricación nacional es la IRAM-IAS U500 245, acero APC 1680 y la norma brasilera es la ABNT NBR 7482



Bobinas de acero para pretensado – banco largo



Distribución de acero en banco largo.

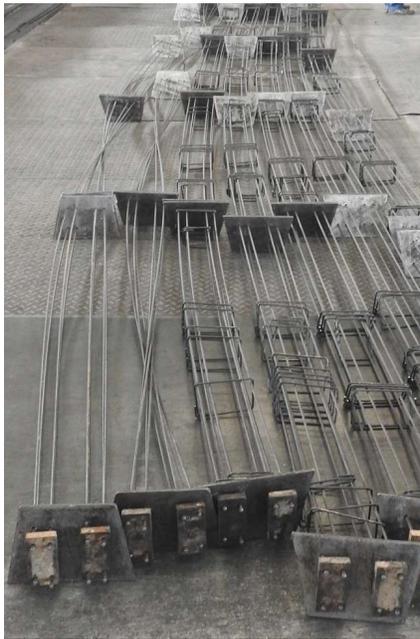
Acero para durmientes fabricados en banco autoportante semi largo (provisión Belgrano Cargas)

En Argentina existen una cantidad de durmientes de trocha ancha y trocha métrica que fueron provistos por el contrato de recuperación del Ferrocarril Belgrano Cargas y fueron fabricados en China. El sistema de fabricación fue a partir de bancos móviles autoportantes con sistema de pretensado. Este sistema de pretensado consta de un cabezal fijo y uno móvil dentro del molde autoportante y en ambos extremos el acero es anclado a través de cabezas de anclaje.

El acero utilizado es de 7 milímetros de diámetro con una nomenclatura y características específicas de la normativa china -GB/T 5223.

Esta nomenclatura puede encontrarse de la siguiente manera:

Ø7,00mm low-slipping scored steel wire: Alambre de acero ranurado de bajo deslizamiento (utilizado en trocha ancha). también, low-slipping spiral indented steel wire: Alambre de acero espiralado de bajo deslizamiento (utilizado en trocha métrica)



Armadura, previo a colocarse en el molde.



Cabeza recalcada en frío para anclaje (trocha métrica)

Acero adherencia mejorada. Fabricación en planta carrusel.

Otro sistema de producción de durmientes pretensados disponible en el país es el sistema carrusel. Este sistema consta de moldes autoportantes con 4 alambres por cada durmiente.

Los diámetros son mayores, la entalla tiene la forma de espiral y está roscado en ambos extremos para generar los anclajes en el molde.

La forma helicoidal le otorga la adherencia mejorada generando una superficie de contacto con el hormigón mayor que en otra geometría de entalla.

Son fabricados bajo norma europea EN 10138.



Acero espiralado, adherencia mejorada.

Acero para durmiente pretensado. Fabricación en planta carrusel.

Otra planta con sistema corrusel que existió en Argentina y distinta a las mencionadas anteriormente, fue una que utilizó acero liso para la armadura de pretensado enhebradas en barras metálicas en ambos extremos.

El alambre liso es producido por trefilación en frío de un alambroón, tiene sección transversal circular y tiene superficie lisa, sin entalla.

Al final del alambre se aprecia la cabeza recalcada para servir de anclaje contra la placa que posteriormente transferirá al hormigón el esfuerzo de pretensado. Esta cabeza se genera por deformación en frío y en los ensayos sobre esta deben soportar la carga mínima de rotura en el ensayo de resistencia a la tracción.

La norma para este acero es IRAM-IAS U 500 517.



Cabeza recalcada enhebrada en barra metálica. Sistema pretensado

Acero para durmiente de aparato de vía. Fabricación en banco largo.

Los durmientes de hormigón pretensado para aparatos de vía desde hace varios años se fabrican en Argentina. La metodología de fabricación es similar los durmientes convencionales de vía corrida en banco largo, con la particularidad que en algún caso se utiliza acero trenzado de 9.5mm de diámetro en lugar de alambre.



Acero trenzado para durmiente de aparato de vía.

El cordón de 7 alambres está generado por seis alambres que están arrollados helicoidalmente en igual sentido y con un paso uniforme alrededor del alambre restante que constituye el eje longitudinal. El alambre central se denomina cordón, es 2% mayor que los alambres exteriores y está recubierto totalmente por los alambres exteriores formando un conjunto compacto.

Los alambres se obtienen por trefilación de un alambrón tratado térmicamente o laminado con proceso de enfriamiento controlado.

[Provisión de aceros para pretensado en Argentina.](#)

En Argentina, el proveedor principal de este tipo de aceros es Acindar. Según norma IRAM-IAS U 500 245, como son aceros de diámetro mayor a 5mm, los mismos se deben entregar en rollos de diámetro mayor a 1,8 m, formando así las bobinas autodesenrollantes con pérdida de memoria de la forma de rollo. Cada rollo pesa aproximadamente 1 tonelada. Son de fabricación nacional.

Los aceros para pretensados de adherencia mejorada vienen en barras de longitud determinada en paquetes de 1 tonelada. Estos aceros son importados de China o Alemania.

Los aceros trenzados (cordón de 7 alambres) también vienen en rollos. Los rollos deben ser de diámetro interior mayor o igual a 600mm.

[Miscelánea. Acero para postensado en vía placa](#)

Actualmente la industria durmientera Argentina cuenta con un fabricante de vía placa de un modelo similar al Bögl.

El sistema de postensado en este caso cuenta con acero en ambas direcciones. Los aceros van de a dos, unidos por una placa metálica de acero dulce que será la que transfiere el esfuerzo al hormigón. Para mantener la carga, en ambos extremos tiene tuercas.

El acero puede ser liso o espiralado, debidamente envainado y engrasado. Es acero fabricado según norma EN 10138.

Las tuercas son de calidad 10.6

Armadura pasiva

La armadura pasiva (no tesa) en los durmientes de hormigón armado puede tener una función estructural, es decir, resistir esfuerzos de flexión provocados por el paso del tren o ser simplemente armadura constructiva o para cubrir esfuerzos puntuales.

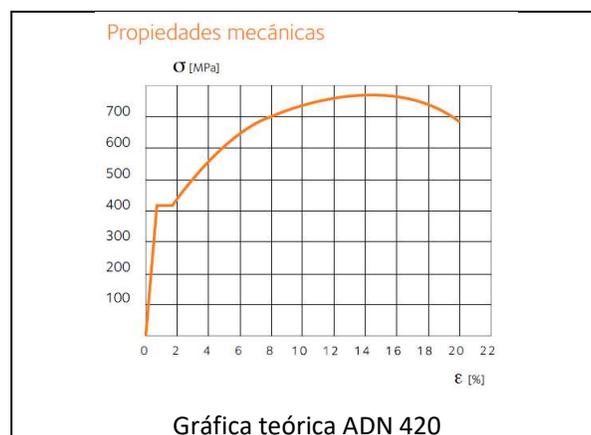
Por lo general los durmientes con armadura pasiva son durmientes de baja carga, por ejemplo los biblock.

En el caso que nos ocupa, los durmientes pretensados, la armadura pasiva puede encontrarse en forma de estribos para tomar esfuerzos de corte y/o transferencia de esfuerzo de pretensado o para armadura espiralada.

Este tipo de acero responde a tipología ADN 420/ ATR500 para diámetros mayores a 6mm, según lineamientos de las normas IRAM-IAS U500

Los estribos pueden ser incluso de barras de acero lisa, como por ejemplo, estribos de diámetro $\varnothing 6\text{mm}$ o $\varnothing 5.5\text{mm}$, barras de acero lisa Q235-A (acero al carbono).

Estos aceros tienen un contenido de carbono menor a los aceros para pretensado, del orden de $C < 0,25\%$



Gráfica tensión-deformación característica de un acero ADN 420

Armadura espiralada

Las armaduras de refuerzo espiraladas que se colocan en coincidencia con la ubicación de los tarugos plásticos y son fabricadas con barras de acero lisa de uso estructural. El acero para armadura espiralada es un acero al carbono de diámetro aproximadamente 3mm de un alambre de acero conformado en frío. (cold drawn steel wire)

No se admiten el uso de alambres de acero recocido de bajo carbono



Armadura espiralada de refuerzo para tarugo plástico

Nomenclatura

Material: ALE ESTAB GRAFILADO 6MM 3 ENT RS1000/1250

Alambre estabilizado, grafilado, diámetro nominal de 6mm, con 3 entallas en rollos de 1000 a 1250kg.

Material: ALE CLAVO-LISO 3,33MM(1008)-RS900

Alambre para clavo, liso, de diámetro nominal 3,33mm, tipo 1008, en rollo de 900Kg.

MATERIAL: ALE CRUDO SOL 2,99MM RS 900

Alambre crudo, soldable, de diámetro nominal 2,99MM en rollos de 900Kg.

MATERIAL: EN10138-4 Y 1770 C 5,0 I

Alambre bajo norma europea, para pretensado (Y), tensión nominal (1770MPa), trefilado en frío (C), diámetro nominal 5,0mm, indentado.

Normativa complementaria y referencias

- IRAM U 500-03:2022. Cordones de 7 alambres de acero para estructuras de hormigón pretensado.
- IRAM U 500-26:2022. Alambres de acero para armadura de estructuras de hormigón.
- IRAM/IAS U 500-102. Materiales metálicos – Ensayo de tracción – Método de ensayo a temperatura ambiente.
- IRAM/IAS U 500-528. Barras de acero conformadas de dureza natural, para armadura en estructuras de hormigón.
- IRAM IAS U 500-245:2022. Alambres de acero indentados para estructuras de hormigón pretensado.
- IRAM IAS U 500-247-2:2017. Alambres lisos e indentados y cordones de dos, tres o siete alambres de acero para estructuras de hormigón pretensado. Parte 2. Inspección por entrega.
- IRAM U 500-502:2022. Barras de acero laminadas en caliente, lisas y de sección circular para armadura en estructuras de hormigón.
- IRAM U 500-517:2004. Alambres de acero lisos para estructuras de hormigón pretensado.

- ABNT NBR 7482 Fios aço para concreto protendido.
- prEN10138-2. Prestressing steels – Part 2: Wire.
- EN 10027-2. Sistemas de designación de aceros. Parte 2: Designación numérica.
- Cirsoc 201 2005.