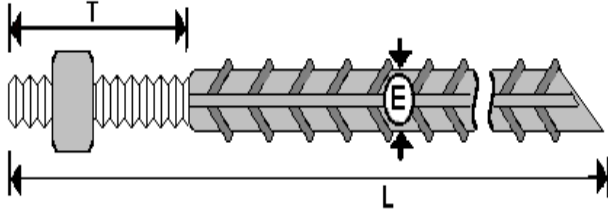


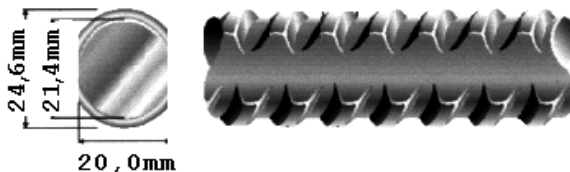
SOSTENIMIENTO CON PERNOS CEMENTADOS

Los tipos de pernos anclados en una lechada de cemento, cartuchos de resina o de cemento comúnmente utilizados son los pernos de sostenimiento: Barra de Construcción (**BC**) y Barra Helicoidal (**BH**)



DESCRIPCIÓN: Pernos de Barra de Construcción, son barras laminadas en caliente con resaltes, con roscas cortadas en un extremo para aceptar una tuerca cuadrada. Las roscas conformen con 3/4" – 10 NC o 1" – 8 NC.

DIMENSIONES



DESCRIPCIÓN: Barras laminadas en caliente con resaltes en forma de rosca helicoidal de amplio paso. El diseño de hilo permite colocar una tuerca que puede rodar longitudinalmente por los resaltes por toda la barra.

Propiedades físicas del acero grado 60

ASTM A615-89		GRADO 60		400 MPa
FLUENCIA		RUPTURA		MODULUS YOUNG
Kg/mm ²	Psi	Kg/mm ²	Psi	N/mm ²
42.2	58,016	63.3	78,321	40,000

diámetro nominal mm (pulg.)	Sección mm ²	Peso Kg/m	Fluencia kN	Ruptura kN
19.1 (3/4")	284	2.235	113.5	153.2
22.0 (7/8")	389	2.980	157.0	211.9
25.4 (1")	510	3.973	201.1	271.5

Los dos tipos de pernos utilizan una platina de apoyo en su instalación, pernos de Barra de Construcción de 3/4" una platina tipo cúpula de 6.4 x 127 x 127 mm (1/4 x 5 x 5") y pernos de Barra Helicoidal una platina plana de 4.7 x 178 x 178 mm (3/16 x 7 x 7") que acepta la tuerca hemisférica. Normalmente una platina de 5 x 5" sería suficiente para controlar la superficie del terreno alrededor del perno instalado y para la instalación de la malla de alambre con cuadrillas de 10 x 10 cm (4 x 4")

Ventajas de los pernos roscados de Barra de Construcción;

- Reducción de costo, de un promedio de 20% por el perno completo
- Reducción en costo de transporte, por su peso menor de 25%
- Una resistencia mas que adecuado como demuestra la información siguiente en este documento
- Procedimientos de la instalación sencilla con herramientas diseñado por este trabajo

Pernos Cementados

Es un sistema de refuerzo normalmente no tensados (se puede tensar con el uso de cartuchos de resina), en el que una mezcla de cemento con o sin arena es inyectada al taladro mediante una bomba de inyección o con el uso de cartuchos de mortero, luego el perno es empujado dentro del taladro. Una placa y una tuerca son generalmente utilizadas.

El cemento cumple 2 propósitos: primero, adhiere la varilla roscada a la roca haciendo la parte integral de la masa rocosa y mejorando la adherencia entre los bloques de material rocoso. Segundo, protege a la varilla contra la corrosión lo que permite su uso en sostenimiento de excavaciones permanentes.

Cálculo de los parámetros resistentes de Pernos Cementado (3/4", 22 mm y 1")

Capacidad de resistencia de Pernos Cementados;

La capacidad resistente de los pernos depende de la calidad del acero empleado y de su diámetro. Para los dos tipos de pernos el acero está adecuado a las especificaciones de los requisitos de propiedades mecánicas ASTM A615, grado 60, con resistencia a la tracción mínima de 6330 Kg/cm². Por lo que se refiere a los diámetros prácticamente sólo se utilizan los de 7/8" (φ 22mm); de 3/4" (φ 19.05 mm) y de 1" (φ 25.4 mm)

La capacidad de soporte, sea con cemento o resina se determina con la siguiente ecuación:

$$P = R_c \times S = \tau \times U \times L$$

$$S = \pi \times d^2/4$$

$$U = \pi \times d$$

$$\tau = 0.25 \times R_c \times d/L$$

Donde,

- P = Capacidad de apoyo del perno (Kg)
- R_c = Resistencia a la tracción mínima del perno = 6330 Kg/cm²
- S = Área del perno
- d = Diámetro del perno (cm)
- τ = Adherencia entre el perno y el cemento (Kg/cm²)
- U = Circunferencia del perno (cm)
- L = Longitud del perno (cm)

Entonces, tenemos:

Pernos de Barra de Construcción de 3/4", Longitud = 1,8 m

- a) Cálculo de soporte con Pernos de Barra Construcción cementado φ = 3/4"
(d = 1.9 cm, r = 0.95 cm, L = 180 cm)

$$\tau = 0.25 \times R_c \times d/L = 0.25 (6330 \text{ Kg/cm}^2)(1.9\text{cm})/(180\text{cm}) = 16.7 \text{ Kg/cm}^2 = 1.64 \text{ MPa.}$$

$$S = \pi \times r^2 = 3.1415(0.95 \text{ cm})^2 = 2.835 \text{ cm}^2$$

$$U = \pi \times d = 3.1415(1.9 \text{ cm}) = 5.97 \text{ cm}$$

$$P = \tau \times U \times L = (16.7 \text{ Kg/cm}^2)(5.97 \text{ cm})(180 \text{ cm}) = 17,945 \text{ Kg} = 17.95 \text{ TN} \quad (175.5 \text{ KN})$$

Pernos de Barra Helicoidal de 22mm, Longitud = 1,8 m

- b) Cálculo de soporte con perno helicoidal cementado de $\phi = 7/8"$
(d =2.2 cm, r = 1.1 cm, L = 180 cm)

$$\tau = 0.25 \times R_c \times d/L = 0.25 (6330 \text{ Kg/cm}^2)(2.2\text{cm})/(180\text{cm}) = 19.34 \text{ Kg/cm}^2 = 1.89 \text{ MPa.}$$

$$S = \pi \times r^2 = 3.1415(1.1 \text{ cm})^2 = 3.8 \text{ cm}^2$$

$$U = \pi \times d = 3.1415(2.2 \text{ cm}) = 6.91 \text{ cm}$$

$$P = \tau \times U \times L = (19.34 \text{ Kg/cm}^2)(6.91 \text{ cm})(180 \text{ cm}) = 24,060 \text{ Kg} = 24 \text{ TN} \quad (234.6 \text{ KN})$$

Pernos de Barra de Construcción de 1", Longitud = 2 m

- c) Cálculo de soporte con perno barra de construcción cementado de $\phi = 1"$ (2.54 cm)
(d =2.54 cm, r = 1.27 cm, L = 200 cm)

$$\tau = 0.25 \times R_c \times d/L = 0.25 (6330 \text{ Kg/cm}^2)(2.54 \text{ cm})/(200 \text{ cm}) = 20.10 \text{ Kg/cm}^2 = 1.97 \text{ MPa.}$$

$$S = \pi \times r^2 = 3.1415(1.27 \text{ cm})^2 = 5.067 \text{ cm}^2$$

$$U = \pi \times d = 3.1415(2.54 \text{ cm}) = 7.979 \text{ cm}$$

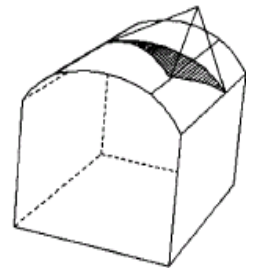
$$P = \tau \times U \times L = (20.10 \text{ Kg/cm}^2)(7.979 \text{ cm})(200 \text{ cm}) = 32,075.6 \text{ Kg} = 32 \text{ TN} \quad (312.9 \text{ KN})$$

Capacidad de los Pernos Cementados;

Barra De Construcción 3/4"	=	18	TN	(176 KN)
Barra Helicoidal	=	24	TN	(235 KN)
Barra De Construcción 1"	=	32	TN	(313 KN)

Condición Estructural de la Roca

Las cuñas o bloques son formados por la intersección de planos estructurales, así como: Planos de estratificación y por sistemas de discontinuidades, los cuales separan a la masa rocosa en piezas.

**Método de Suspensión de Estratos**

Para el soporte de una zona potencialmente inestable en terreno estratificado laminar, el anclaje deberá colocarse por encima de la zona inestable. Si se asume que el peso de la roca de la zona inestable (estrato suspendido) es soportado completamente por la fuerza desarrollada por los pernos, entonces;

$$T = y \times h \times S^2$$

Donde,

T = Peso del bloque muerto

y = Peso unitario de la roca (2.7 Tn/m³)

h = Potencia de la zona inestable (1.5 m)

S = Espaciamiento entre pernos de dirección

longitudinal y transversal (1.2 m x1.2 m)

Entonces, tenemos:

$$T = 2.7 \text{ Tn/m}^3 \times 1.5 \text{ m} \times 1.2 \text{ m} \times 1.2 \text{ m} = 5.83 \text{ TN} = \text{Peso De Un Bloque Suspendido}$$

El Factor de Seguridad “FS” se calcula de la siguiente manera: $FS = P/T$

Donde,
 P = Capacidad de apoyo del perno
 T = Peso del bloque muerto
 FS = factor de seguridad

Entonces, tenemos:

a) **Perno de L = 1.8 m, ϕ = 7/8”** (22 mm) con capacidad de apoyo de 24 TN

$$FS = 24 \text{ TN} / 5.83 \text{ TN} = 4.12$$

b) **Perno de L = 1.8 m, ϕ = 3/4”** (19.05 mm) con capacidad con apoyo de 17.95 TN.

$$FS = 17.9 \text{ TN} / 5.83 \text{ TN} = 3.08$$

c) **Perno de L = 2.0 m, ϕ = 1”** (25.4 mm) con capacidad de apoyo de 32 TN

$$FS = 32 \text{ TN} / 5.83 \text{ TN} = 5.49$$

Factor de Seguridad para los Pernos Cementados

Barra De Construcción 3/4”	=	$FS = 3.08$
Barra Helicoidal 22 mm	=	$FS = 4.12$
Barra De Construcción 1”	=	$FS = 5.49$

Diámetro del Perno

El cálculo del diámetro de perno adecuado para sostener un bloque de roca de 5.83 TN. (Máximo bloque de roca que debe sostener un perno de 1.8 m de longitud), se determina con la siguiente ecuación.

$$T = (\pi/4) \times d^2 \times Rc/F, \text{ despejando “d”, se tiene:}$$

$$d = ((4/\pi)(T \times F)/Rc)^{1/2}$$

Donde,
 Rc = Resistencia a la tracción mínima del perno = 6330 Kg/cm²
 T = Fuerza axial que debe soportar el perno (Kg)
 d = Diámetro del perno (cm)
 F = Factor de seguridad

Entonces, tenemos.

$$d = ((4/\pi)(T \times F) / Rc)^{1/2} = ((4/3.1415)(5830 \text{ Kg} \times 2)/(6330 \text{ Kg/cm}^2))^{1/2} = 1.53 \text{ cm} = 15 \text{ mm}$$

Un perno con un diámetro de **15 mm será suficiente**

Diámetro de la Perforación

El diámetro de perforación de los taladros para alojar los pernos es un parámetro muy importante.

La utilización de un diámetro de perforación inadecuado puede producir importantes variaciones en la rigidez del perno particularmente implica un gasto innecesario de mortero (cemento o resina) y la posibilidad de una mezclado de la resina inadecuada.

Reduciendo el diámetro de perforación mediante la utilización de una broca de 32 mm para los pernos de 19.05 mm y 22 mm va a reducir el tiempo de perforación en un promedio de 20 – 30 % comparado a una broca de 38 mm. Para los pernos de 25.4 mm se puede emplear brocas de 34 – 36 mm.

Con cartuchos o lechada de cemento;

Diámetro de la perforación = ϕ de la barra + 10 a 20 mm

Con cartuchos de resina;

Diámetro de la perforación = ϕ de la barra + 10 a 15 mm

Con lechada de cemento;

Diámetro de la perforación = ϕ de la barra + 10 a 26 mm

Longitud de Mortero

El diseño de la longitud del mortero mínimo de cemento inyectado que debe tener el perno, esta basada en experiencias de campo y pruebas en la misma escala.

$$L_b = P / (1000 \times \pi \times D \times \tau_c)$$

Donde,
 L_b = Longitud de mortero (m)
 P = Carga de diseño (KN)
 D = Diámetro de la roca (m)
 τ_c = Resistencia a lo largo de la interfase roca / mortero (MPa)

Considerando un FS = 3 se recomienda $\tau_c = 1.40$ MPa, dependiendo de la calidad de la roca se recomienda un valor de $\tau_c = 11.05 - 1.40$ MPa según Little, John and Bruce, 1975. Por otro lado, para el tipo de roca: de granito a basalto el valor está entre $\tau_c = 1.7 - 3.1$ MPa (POST TENSIONING INSTITUTE, 1996) Para un caso normal en roca andina, tomaremos el valor de 1.4 MPa para τ_c el cual incluye un factor de seguridad de 3.

Entonces tenemos:

a) **Perno de 3/4"** con: ϕ tal = 0.032 m, $P = 175.6$ KN (18 TN), $\tau_c = 1.40$ MPa.

$$l_b = 175.5 \text{ kN} / (1000 \times 3.1415 \times 0.032\text{m} \times 1.40\text{Mpa}) = 1.25 \text{ m}$$

b) **Perno de 22 mm** con: ϕ tal = 0.036m, $P = 234.6$ KN (24 TN), $\tau_c = 1.40$ MPa.

$$l_b = 234.6 \text{ kN} / (1000 \times 3.1415 \times 0.036\text{m} \times 1.40\text{Mpa}) = 1.48 \text{ m}$$

c) **Perno de 1"** con: ϕ tal = 0.036m, P = 312.9 KN (32 TN), $\tau_c = 1.40$ MPa.

$$l_b = 312.9 \text{ kN} / (1000 \times 3.1415 \times 0.036\text{m} \times 1.40\text{Mpa}) = 1.98 \text{ m}$$

Cálculo del volumen de Mortero

El volumen de mortero necesario es el que resulta del cálculo del espacio anular entre perno y taladro. Para prevenir pérdidas por grietas existentes en el terreno y debidas a una operación incorrecta, la mezcla usada para el mortero debe ser fluido-pastoso pero estable, y debe tener una resistencia mayor que 21 MPa.

El volumen de mortero se calcula por la expresión: $V = \pi/4 (D^2 - d^2) \times L \times 1.20$

Donde,
 V = Volumen litros
 D = Diámetro del taladro
 d = Diámetro del perno
 L = Longitud del anclaje (Longitud del perno en m – 0.1 m)

Entonces, tenemos:

Para: **Perno 3/4"** ϕ perno = 19 mm, ϕ taladro = 32 mm, L = 1.7 m

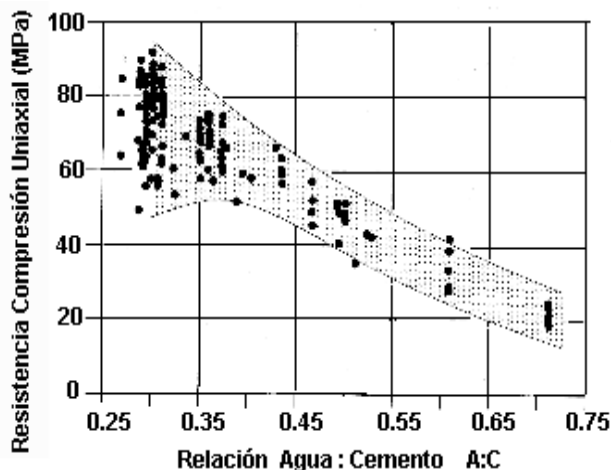
$$V = \pi/4 (3.2^2 - 1.9^2) \times 170\text{cm} \times 1.20 = 1055 \text{ cm}^3 = 0.88 \text{ lt.}$$

Para: **Perno 7/8"** ϕ perno = 22 mm, ϕ taladro = 36 mm, L = 1.7 m

$$V = \pi/4 (3.6^2 - 2.2^2) \times 170\text{cm} \times 1.20 = 1,292 \text{ cm}^3 = 1.08 \text{ lt.}$$

Para: **Perno 1"** ϕ perno = 25.4 mm, ϕ taladro = 36 mm, L = 2 m

$$V = \pi/4 (3.6^2 - 2.54^2) \times 190\text{cm} \times 1.20 = 1,158 \text{ cm}^3 = 0.97 \text{ lt.}$$



El mortero empleado, será de agua y cemento (relación agua cemento a / c = 0.30 a 0.35:1). Considerando la relación a / c = 0.3, para una bolsa de cemento se requiere de 12.75 litros de agua, se sabe que una bolsa de cemento pesa 42.5 Kg y su densidad es 3.1 Kg / lt.

01 bolsa de cemento requiere	= 12.75 lt (agua)
42.5 Kg. De cemento / 3.1	= 13.71lt (cemento)
Volumen de mortero	= 12.75 + 13.71
	= 26.46 lt = 26,460 cm ³

Resistencia en Compresión Uniaxial (MPa)

Resistencia en Compresión Uniaxial (MPa) respecto a la relación Agua : Cemento A : C. El rango de 0.35 – 0.45 resulta en una resistencia óptima para el uso como lechada, para los elementos de sostenimiento (Pernos Cementados, Cables de Acero)

Cálculo de volumen de los Cartuchos (de Resina o Cemento)

Cálculo de la longitud de cartuchos requerido para llenar una perforación;

H = Diámetro perforación en mm

B = Diámetro del perno en mm

C = Diámetro del cartucho

E = Largo del cartucho en mm

L = Largo de cartuchos para llenar cada 300 mm de la perforación con perno

$$\frac{(H^2 - B^2) \times E}{C^2} = L$$

a) **Perno 3/4"** (19.05 mm) ϕ , cartucho 28 x 305 mm, perforación de 32 mm ϕ

$$\frac{(32^2 - 19.05^2) \times 305}{28^2} = 257.2 \text{ mm de cartucho por cada 300 mm}$$

b) **Perno 7/8"** (22 mm) ϕ , cartucho 28 x 305, perforación de 36 mm ϕ

$$\frac{(36^2 - 22^2) \times 305}{28^2} = 315.9 \text{ mm de cartucho por cada 300 mm}$$

c) **Perno 1"** (25.4 mm) ϕ , cartucho 28 x 305, perforación de 36 mm ϕ

$$\frac{(36^2 - 25.4^2) \times 305}{28^2} = 252.87 \text{ mm de cartucho por cada 300 mm}$$



Pernos No Tensados;

Son sistemas de refuerzo no tensados, en el que una mezcla de cemento es inyectada al taladro mediante una bomba de inyección o con el uso de cartuchos de mortero.

ventajas: Es un sistema simple y barato

desventajas: No pueden ser tensados inmediatamente, por lo tanto debe instalarse antes de que se produzcan deformaciones significativas de la masa rocosa.

Pernos Tensados;

Son sistemas de refuerzo tensados, en el que el perno es instalado y anclado inmediatamente.

Existen situaciones donde será recomendable la instalación de pernos tensados de manera inmediata (debido al tipo de roca, proximidad de disparos etc.) mediante la utilización de cartuchos de resina rápida de velocidad variable (rápido, lento) Los cartuchos de resina pueden ser utilizados conjuntamente con cartuchos de mortero donde los cartuchos de mortero reemplazan a los cartuchos de resina lenta reduciendo así el costo de los materiales. Después del tiempo de fragua de los cartuchos de resina rápida se puede ajustar la tuerca para aplicar una presión sobre la platina de apoyo.

Para obtener un diámetro optimizado para pernos de 19mm de ϕ con cartuchos de resina, se recomienda utilizar brocas de 32 –34 mm; para los pernos de 1" ϕ , brocas de 34 – 36 mm.

Torque y ajuste de la tuerca;



Para controlar la formación de la roca suelta es necesario tener una buena presión de la platina contra la superficie de la roca. Citando una diferencia entre pernos de Barra de Construcción con roscas de 3/4" y la Barra Helicoidal podemos hablar de los hilos de rosca. Los pernos roscados de 3/4" tienen 10 hilos por pulgada, la barra helicoidal 2 hilos por pulgada; con el mismo torque tenemos 5 veces más presión. Por consiguiente pernos con roscas de 3/4" NC 10 y roscas de 1" NC 8 aplicamos una mayor presión de la platina contra la roca por una fuerza igual de "torque".

Para explicar la relación entre torque (torsión) y la tensión de un perno para roca, podemos utilizar la siguiente fórmula: **$P = C \times T$**

P = Tensión del perno en libras

1 kN = 225 lb.

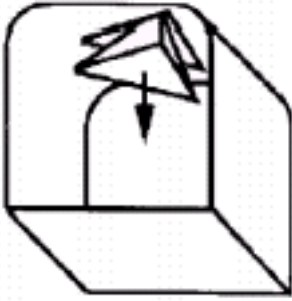
C = Constante estándar

T = "Torque" en libra pies (Ft lb.)

1 Nm = 0.74 Ft lb.

<u>CONSTANTES (Por tipo de perno)</u>	<u>ESTANDAR</u>
Roscas de 3/4" con tuerca	55
Barra Helicoidal 22 mm	11
Roscas de 1" con tuerca	65

Sostenimiento de cuñas o bloques con Pernos Tensados



Peso de la cuña;
 = dimensiones en m^3 x peso de la roca in situ por
 Kg / m^3 = peso del bloque

Con pernos tensados:

Tensión de los pernos instalados (total) = 1.3 a 1.5 del valor W

Ejemplo: Peso de la Cuña (W) = 8 TN
 Sostenido con 3 pernos;

Tensión por cada perno = 2,7 TN (24.8 kN)
 "Presión total": 3 x 2,7 = 8 TN

Perno con roscas 3/4", Torque en lb -Ft. = 100 (135 NM)

Para pernos cementados. los valores para L_r y L_w deben ser ≥ 1 metro

Angulo de inclinación de los pernos: $\theta = (15^\circ \text{ a } 30^\circ)$ con respecto al contacto para que los pernos trabajen en cizalla.

