

BBR HiAm CONA

Sistema de cables atirantados de cordones



Elegancia y fuerza

La familia ampliada de HiAm CONA



A Global Network of Experts
www.bbrnetwork.com



BBR A Global Network of Experts www.bbrnetwork.com

BBR Network es un reconocido grupo de contratistas de ingeniería especializado en el campo del postensado, atirantado y otras técnicas de construcción relacionadas. La innovación y la excelencia técnica, reunidas en 1944 por sus tres fundadores suizos –Antonio Brandestini, Max Birkenmaier y Mirko Robin Ros– se mantienen más de 60 años después, sin perder valores y el espíritu emprendedor de los comienzos. Desde sus oficinas centrales en Suiza, BBR Network se extiende por todo el mundo y cuenta, entre sus recursos, con algunos de los ingenieros y técnicos de mayor talento, así como con la tecnología más innovadora certificada a escala internacional.

LA RED INTERNACIONAL BBR NETWORK

La red internacional BBR Network combina las tradiciones arraigadas y fuertes raíces locales con las ideas más innovadoras y una tecnología de vanguardia. BBR brinda acceso a todos los miembros locales de BBR Network a los conocimientos y recursos técnicos más novedosos, y facilita el intercambio de información a gran escala estableciendo alianzas internacionales. Estas alianzas y cooperaciones internacionales generan ventajas competitivas en cuestiones como la preparación de ofertas competentes, disponibilidad de personal técnico y equipos especializados, o bien mediante la transferencia de conocimientos técnicos.

ACTIVIDADES DE LA RED

Todos los miembros de BBR Network gozan de una excelente reputación dentro de sus círculos empresariales locales y han forjado fuertes vínculos en sus respectivas regiones. Todos ellos han adaptado su organización al mercado local ofreciendo una gama completa de servicios de construcción, además de la actividad principal habitual de postensado.

MARCAS Y TECNOLOGÍAS DE BBR

La tecnología de BBR ha sido utilizada en un amplio abanico de estructuras diferentes: puentes, edificios, depósitos criogénicos de GNL, presas, estructuras marítimas, centrales nucleares, muros de contención, depósitos, silos, torres, túneles, plantas de tratamiento de aguas residuales, depósitos de agua y parques eólicos. Las marcas comerciales y marcas registradas de BBR – BBR®, CONA®, BBRV®, HiAm®, DINA®, BBR E-Trace® y CONNAECT® – gozan de prestigio a nivel mundial. La trayectoria de BBR Network está marcada por la excelencia y las ideas innovadoras y avalada por las miles de estructuras construidas con las tecnologías de BBR. Si bien la historia de BBR se remonta a 1944, el objetivo de BBR Network es construir el futuro mediante la profesionalidad, la innovación y la tecnología más avanzada.

BBR VT International Ltd es la oficina técnica central y el centro de desarrollo empresarial de BBR Network en Suiza. Los accionistas de BBR VT International Ltd son: BBR Holding Ltd (Suiza), filial del Grupo Tectus (Suiza); Spenneteknikk International AS (Noruega), miembro del Grupo KB (Noruega).

Se ha hecho todo lo posible por garantizar que el contenido de esta publicación sea exacto, no obstante el editor BBR VT International Ltd no acepta ninguna responsabilidad por las consecuencias derivadas de ello.

© BBR VT International Ltd 2016

Innovación

Excelencia

Experiencia

Aunque BBR es conocida por los sistemas cables atirantados de alambres, en realidad fue el inventor de los cordones de acero y de carbono para su uso como cables atirantados, y llevó a cabo los primeros proyectos en el mundo utilizando cables atirantados de alambre, cordones y carbono de alta resistencia a la fatiga. ¡Somos la empresa que dio comienzo a todo esto!

A medida que lea las páginas siguientes, descubrirá que la tecnología de cables atirantados de BBR es sencillamente la mejor que existe: rendimiento excelente, gama de productos flexible y facilidad de instalación.

Nuestras raíces suizas están profundamente ligadas al desarrollo tecnológico y, a lo largo de los años, nuestros ingenieros se han esforzado constantemente por producir los productos con la tecnología más avanzada. Actualmente, esto se completa con una sólida red internacional, la red de expertos de BBR Network, quienes en primer lugar escuchan y aconsejan, para después proporcionar las mejores soluciones a los clientes alrededor del mundo.

En muchos sentidos, nuestra historia acaba de comenzar: tuvimos una larga trayectoria en el siglo XX, pero sin duda será superada en el siglo XXI manteniéndonos a la vanguardia tecnológica.

- 2 Estructuras atirantadas
- 7 Referentes en las pruebas de rendimiento
- 9 Tecnología avanzada de cables atirantados
- 12 Opciones flexibles
- 14 Especificaciones técnicas
 - 14 BBR HiAm CONA
 - 17 BBR Pin Connector
 - 18 BBR HiEx CONA Saddle
- 21 Diseño y mecánica

Estructuras



¿Qué es lo primero en lo que piensa cuando ve una estructura atirantada? ¿Quizá en la fuerza de la tecnología que sustenta la estructura o tal vez en la gran elegancia que los cables atirantados aportan al paisaje o al perfil urbano?

atirantadas



“La mejor prueba es, con mucho, la experiencia”

Sir Francis Bacon (1561 - 1626)

Autor inglés, noble y filósofo

Algunos de los diseños arquitectónicos más espectaculares y de las maravillas técnicas de ingeniería proporcionan un servicio fiable a diario a miles de personas en todo el mundo. Muchas de estas creaciones han sido posibles gracias al uso de tecnologías de BBR.



Introducción a los cables atirantados

La tecnología de cables atirantados de BBR se ha aplicado a más de 400 grandes estructuras en todo el mundo. Mientras muchos proveedores de cables comenzaron a construir sus primeras estructuras sustentadas por cables a finales de los setenta y comienzos de los ochenta, la tecnología de cables atirantados de BBR se utilizó por primera vez a finales de los cincuenta y, desde entonces, BBR ha seguido marcando hitos y sentando cátedra en el campo de los cables atirantados.

Aplicaciones atirantadas

La tecnología de cables atirantados de BBR se puede utilizar para las siguientes aplicaciones:

Puentes atirantados – cada vez más populares desde 1950 y especialmente adecuados para puentes con vanos medios a largos de 100 a 1.000 m, donde los factores técnicos y económicos requieren el uso de esta solución. En puentes más pequeños, son otros los parámetros que pueden resultar decisivos a la hora de elegir una solución con cables atirantados, como la reducción del canto del tablero, la metodología de construcción y la estética. La tecnología de cables atirantados de BBR es la opción ideal para cualquier situación.

Puentes en arco – donde la tecnología de cables atirantados de BBR es la solución elegida para los suspensores.

Cubiertas – Una aplicación ideal para la tecnología de cables atirantados de BBR son los techos de tribunas, estadios, hangares y otras estructuras con luces largas.

Torres – La tecnología de cables atirantados de BBR permite estabilizar las torres de instalaciones de comunicación, chimeneas y antenas, así como las turbinas de parques eólicos.

Ventajas del uso de cables atirantados

Las estructuras atirantadas tienen un gran potencial a la hora de satisfacer la creciente demanda de estructuras con largos vanos centrales. Sus ventajas radican principalmente en el aumento de la estabilidad aerodinámica, la reducción de los costes de los estribos, la facilidad y rapidez de construcción y en unas estructuras generalmente más ligeras. Sin embargo, el factor más importante para garantizar la durabilidad y el rendimiento de una estructura atirantada es el sistema de cables atirantados.

Estructuras atirantadas continuación

Durante décadas, BBR ha ofrecido la mejor y más innovadora tecnología para estructuras atirantadas y más de 70 años de conocimientos técnicos especializados lo certifican en la actualidad.



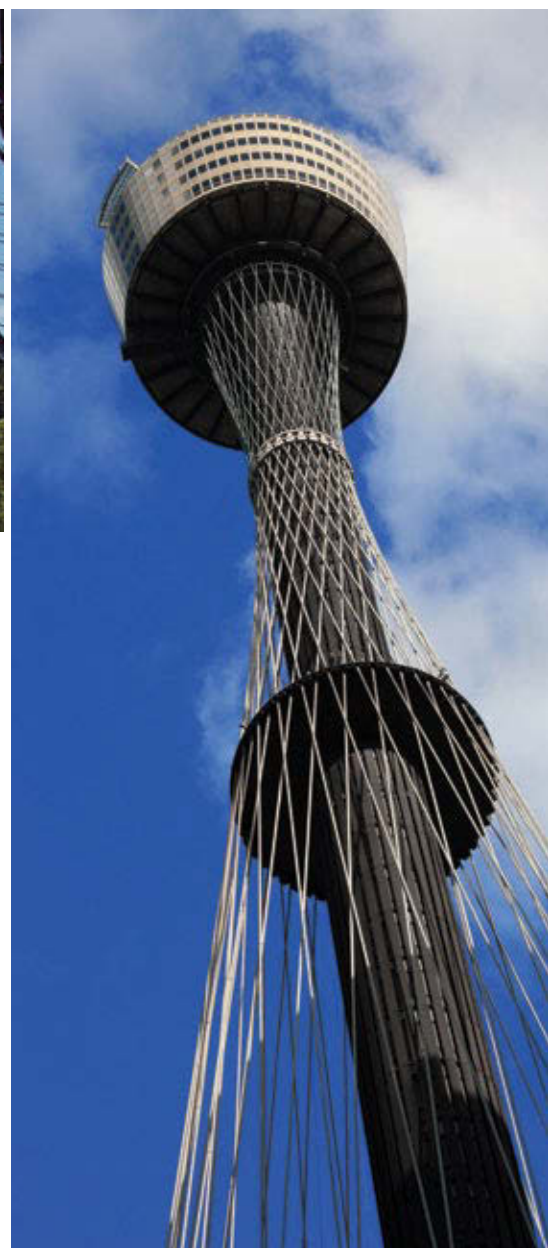
Especificaciones internacionales

En el pasado, las especificaciones para los cables atirantados siempre han sido objeto de directrices y recomendaciones; históricamente, la más popular ha sido la **“Recomendación para el diseño, prueba e instalación de cables atirantados” del Post-tensioning Institute (PTI)** de EE. UU. Existen otras recomendaciones nacionales menos comunes y secundarias como, por ejemplo, las de CIP (Setra) en Francia. Las recomendaciones nacionales abordan únicamente los materiales y las prácticas de construcción disponibles localmente, y su conocimiento se limita a los proveedores locales, lo cual da lugar a un tratamiento incorrecto e injustificado de los sistemas de cables atirantados en términos globales. En aras de garantizar el carácter lícito e internacional de los concursos públicos,

estas recomendaciones nacionales no deben tenerse en cuenta. De manera puntual, podrían utilizarse únicamente como directrices complementarias. Actualmente, la recomendación más reciente y de carácter internacional es la publicada en el Boletín Nr. 30 de la Federación Internacional del Hormigón Estructural (*fib*) **“Aceptación de los sistemas de cables atirantados utilizando acero pretensado”**.

Importancia de la elevada resistencia al esfuerzo

Los cables atirantados se someten a fuerzas de tracción elevadas y, dado que las estructuras sustentadas por cables son normalmente estructuras muy ligeras, los cables están sometidos a grandes variaciones de tensión, de ahí la importancia de utilizar cables atirantados de alta resistencia al esfuerzo.





Cargas típicas de un cable atirantado

Además de los esfuerzos axiales máximos en un cable atirantado en condiciones de servicio, los estados límites últimos y las cargas de esfuerzo, deben tenerse en cuenta otras cargas en la fase de diseño, como las cargas de construcción, las cargas accidentales y los efectos de flexión. Otro factor es la durabilidad de los cables atirantados, respecto a los sistemas de cables atirantados más modernos, estos, han sido desarrollados y probados (*fib*) para que la vida útil prevista sea de más de 100 años.

Investigación y desarrollo

Los esfuerzos en investigación, comprobación y desarrollo sitúan a BBR en la vanguardia de las aplicaciones de postensado y atirantado. Para garantizar la máxima calidad del producto, todos los componentes del sistema se someten a los procedimientos de comprobación y calidad más exhaustivos, de acuerdo con recomendaciones y códigos de reconocimiento internacional.

Cuidado con las imitaciones

Se ha hablado largo y tendido de los componentes falsificados, es decir, copias de la tecnología de cables atirantados de BBR que

pueden poner vidas en peligro y no garantizan el rendimiento necesario para los propietarios. En el mercado hay muchos sistemas de cables atirantados que no guardan relación con la tecnología original y auténtica de BBR, a pesar de que algunos de ellos parecen similares o incluso llevan nuestra marca. En el caso de los cables atirantados, no solo la tecnología tiene que cumplir los máximos requisitos, sino que también la instalación de los cables in situ debe adecuarse a estos estándares y ser efectuada solo por profesionales especializados. Si tiene alguna duda sobre uno de los productos o servicios ofrecidos, consulte a BBR VT International Ltd.



Referentes en las pruebas de rendimiento

Los sistemas de cables atirantados de BBR son el referente en cuanto al rendimiento de las pruebas, y la tecnología de cables atirantados de BBR siempre ha superado criterios de comprobación y rendimiento más estrictos, incluso años antes de que dichas condiciones de prueba hubiesen sido adoptadas y especificadas en códigos y recomendaciones.



Pin Conector de BBR HiAm CONA

Referente en las pruebas de rendimiento continuación

Éxito en la prueba de BBR HiAm CONA

Test de acuerdo a la normativa

La evidencia más impresionante del papel principal de BBR en relación con los tests, son las pruebas ejecutadas con éxito en el sistema de atirantado BBR HiAm CONA:

- Fatiga axial y tracción posterior según *fib*, con rango de tensión de 200MPa y calzos angulares de 0.6° en los anclajes de tendones de diferentes tamaños: pequeños, medianos y grandes.
- Prueba de estanqueidad según *fib* con ciclos axiales, de rotación y de temperatura, mientras que BBR HiAm CONA es el único sistema en el que el sellado se puede sustituir en forma individual como parte de operaciones de sustitución de una sola hebra.
- Fatiga axial y posterior ensayo de tracción según CIP(Setra), con un rango de tensiones de 200 MPa y una rotación angular de 0.6° en los anclajes de un monstruoso cable BBR HiAm CONA de 127 hilos.
- Fatiga axial y posterior ensayo de tracción de acuerdo con CIP(Setra) para aplicaciones de puentes extradados utilizando sillas en las pilas con una rango de tensión de 140 MPa y una carga superior de 55% GUTS.
- Fatiga estática así como axial y posterior prueba de la tensión según *fib* en el conector Pin de BBA HiAm CONA.

Yendo más lejos aún

La posición de liderazgo de BBR es particularmente destacada por las pruebas, recientemente ejecutadas, con parámetros que exceden los requerimientos tradicionales de *fib* y PTI. Lo siguiente ha sido testado satisfactoriamente en el sistema BBA HiAm CONA:

- Fatiga axial y ensayos de tracción posteriores donde las cargas superiores y los rangos de tensión exceden el rango de tensión de 200 MPa comúnmente especificado y la carga superior de 45% de GUTS. En tales ensayos de fatiga, hemos logrado una resistencia a la fatiga de 300 MPa y una carga superior de 55% de GUTS.
- Ensayo de fatiga por flexión con rotaciones aplicadas en los anclajes de 1.2° y 2.8° con 2 y 0.25 millones de ciclos respectivamente.
- Prueba de desgaste y durabilidad de varios millones de ciclos en el amortiguador de sección cuadrada de BBR, demostrando la resistencia y los mínimos requisitos de mantenimiento de este avanzado amortiguador.
- Prueba de eficiencia del amortiguador de sección cuadrada de BBR con tensiones de cable que van del 25% al 45% de GUTS del primer al quinto modo, en un modelo de cable BBR HiAm CONA que representa una longitud de cable de 500 m. Esta prueba es especialmente notable ya que los cables de

esta longitud con baja tensión experimentan ineficacias en su funcionamiento - no así el amortiguador de sección cuadrada de BBR.

Obviamente, los ensayos se han realizado con hilos con resistencia a la tracción de 1.860 MPa con una sección transversal de 150 mm² y una resistencia a la rotura de 279 KN. Muchos proveedores de cable permanecen trabajando con hilos de 1.770 MPa o secciones transversales de 140 mm². Naturalmente, también se han ejecutado pruebas de cumplimiento para tales hebras de menor capacidad en el sistema BBA HiAm CONA.



Test de sillas con BBR HiEx CONA

Tecnología superior de cables atirantados de cordones

El sistema de cables atirantados de cordones paralelos BBR® HiAm® CONA® es el mejor producto del mercado internacional. Cuenta con la gama de anclajes más variada, de mayor capacidad y más compacta.

BBR HiAm CONA

Ventajas clave

- Capacidad del tendón 200 - 60.000 kN
- Alta resistencia al esfuerzo
- Sistema de estanqueidad avanzado
- Alta protección contra la corrosión
- Anclaje y cable compacto
- Instalación sencilla
- Mantenimiento fácil y escaso

Tecnología superior de cables atirantados de cordones continuación

El sistema de cables atirantados de cordones paralelos BBR HiAm CONA, desarrollado, comprobado y en continuo desarrollo por parte de los ingenieros de BBR en Suiza, está siendo utilizado por en la red de BBR Network en todo el mundo. En combinación con los conocimientos de instalación de BBR Network, que cuenta con el respaldo del equipo de ingeniería y proyectos especiales de la oficina central de BBR en Suiza, este sistema de atirantado simplemente no tiene rival en el mundo.

Características principales

Resistente y elegante

Su alta resistencia al esfuerzo "HiAm" es la abreviatura de resistencia al esfuerzo de gran amplitud lo convierten en la opción acertada para los proyectos más desafiantes y, por tanto, resulta atractivo tanto para los ingenieros como para los clientes. Los proyectistas y arquitectos han agradecido especialmente lo compacto que resulta este sistema de cables y anclaje, ya que les brinda un mayor margen para construir una estructura con líneas más elegantes y atractivas visualmente para todos los que la utilicen y admiren.

Certificación

El sistema de cables atirantados BBR HiAm CONA cumple rigurosamente con el *fib*, así como las recomendaciones correspondientes de PTI y CIP (Setra).

Conocimiento local y experiencia internacional

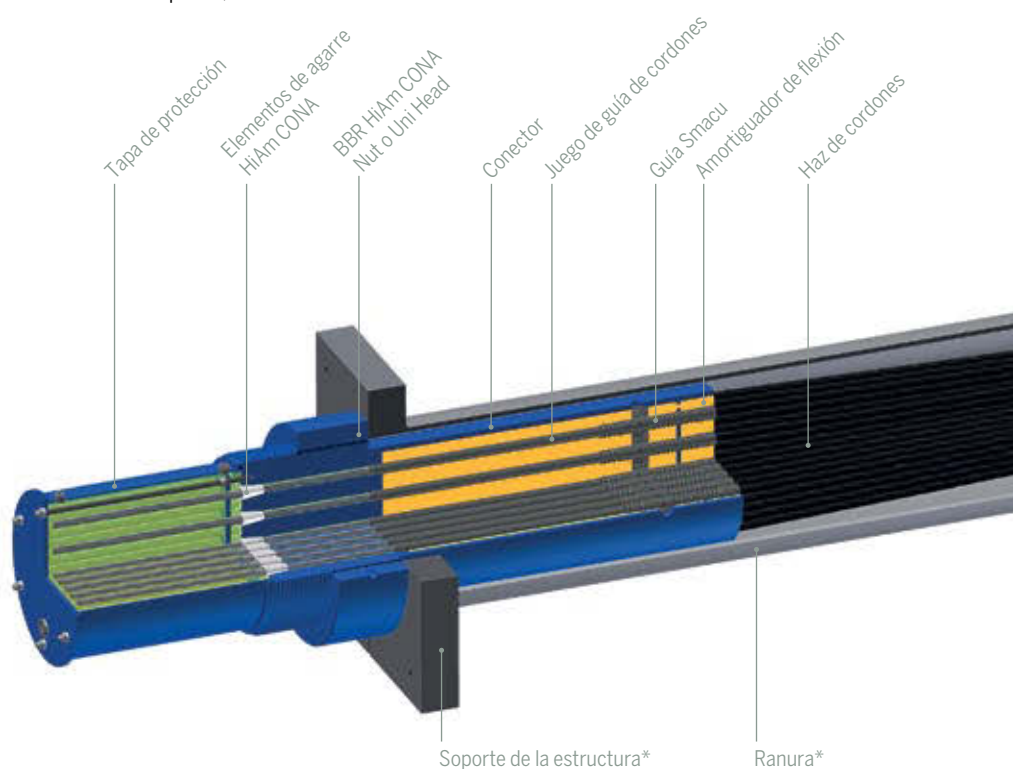
El sistema de cables atirantados BBR HiAm CONA solo puede ser instalado por equipos de empresas especializadas en postensado certificadas por BBR. Los puentes atirantados son proyectos de ingeniería muy especializados que requieren conocimientos locales y específicos de ingeniería. Por tanto, la gestión local del proyecto suele ser llevada por el miembro local de la red, mientras que las especificaciones de cables atirantados y

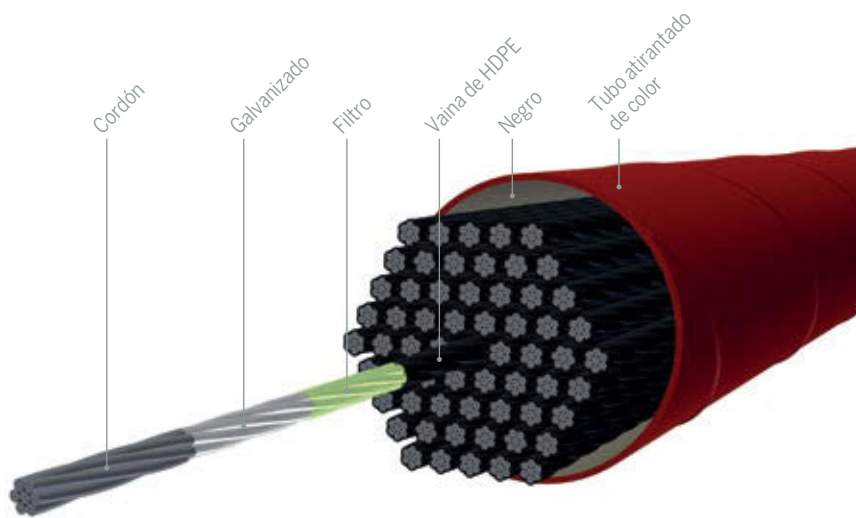
la adquisición y fabricación de componentes de sistemas de ingeniería dependen del equipo de proyectos especiales de la oficina central de BBR en Suiza.

Configuración de los cables atirantados

Los cables de BBR HiAm CONA se componen de un tendón compacto, de un número

predeterminado de cordones paralelos de siete alambres cada uno, introducidos en una vaina de polietileno de alta densidad (HDPE) resistente a la radiación ultravioleta (interior negro y exterior de color) coextruida de sección transversal circular.





Los cordones individuales suelen tener un diámetro de 15,7 mm, tienen un grado de relajación bajo, una sección transversal nominal de 150 mm² y un valor mínimo de resistencia última garantizada (GUTS) de 1.860 MPa. Los cordones están galvanizados, protegidos contra la corrosión y cubiertos individualmente con un revestimiento de HDPE continuo y resistente al desgaste, que proporciona a cada cordón un sistema individual de protección multicapa con tres barreras anidadas. Alternativamente, también pueden utilizarse cordones recubiertos con un sistema de protección contra la corrosión.

Configuración del anclaje

Cerca de la zona de anclaje de los cables de BBR HiAm CONA, el haz de cordones pasa por un desviador y se extiende hasta el conector de BBR HiAm CONA, donde cada cordón se guía de forma individual, se sella herméticamente y se fija a los cabezales de anclaje con elementos de agarre BBR HiAm CONA de alta resistencia al esfuerzo, diseñadas para tal fin. Los anillos roscados atornillados a los cabezales de anclaje transfieren las cargas del cable a la estructura de apoyo por presión de contacto. Los cabezales de anclaje también pueden transferir las cargas directamente a la estructura. Todos los componentes de anclaje de BBR HiAm CONA han sido diseñados para un intervalo de tensión superior a 300 MPa y para soportar la carga de rotura máxima del tendón con una seguridad óptima.



Amortiguador de flexión y contrarrestar la vibración de los cables

En el conector del anclaje, cada cordón está protegido individualmente con un amortiguador de flexión patentado. Pueden aparecer efectos de la flexión en los cables por tolerancias de construcción excesivas, rotaciones/deflexiones estructurales y vibraciones de cables. Los dispositivos de amortiguación internos o externos protegen el cable atirantado de las vibraciones. Otra medida efectiva contra las vibraciones ocasionadas por el viento y la lluvia es el uso de una nervadura helicoidal en el exterior de la superficie del cable.

Instalación

La instalación del sistema BBR HiAm CONA se realiza normalmente en la obra con el método de cordón a cordón, que se compone de cuatro pasos básicos:

- Instalación de los anclajes HiAm CONA superior (pila) e inferior (tablero).
- La vaina premontada del cable atirantado se suspende de los dos anclajes por medio de dos cordones maestros. La vaina del cable atirantado se utiliza ahora como paso de guía de anclaje a anclaje.
- El cordón se coloca al nivel del tablero y se tira del mismo a través la vaina premontada y desde anclaje superior, insertando el otro extremo en el anclaje inferior.
- Cada cordón se tensa inmediatamente después de la instalación, utilizando el método de tensado BBR ISOSTRESS, que garantiza una distribución uniforme de la tensión entre los cordones de cada cable.

Como alternativa al método de instalación de un solo cordón, pueden instalarse y tensarse cables prefabricados total o parcialmente.

Sustitución de un solo cordón

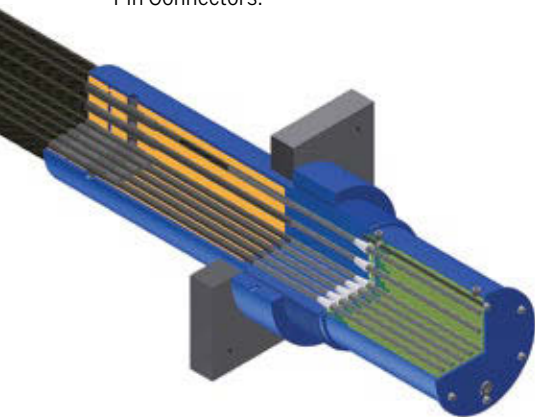
Cada cordón individual instalado en el sistema de cables BBR HiAm CONA se puede volver a tensar en cualquier momento durante o después de la instalación, lo que permite no solo el retesado, sino también la eliminación, inspección, sustitución o adición selectiva de cordones individuales.

*Parte integral de la estructura

Tecnología superior de cables atirantados de cordones continuación

Opciones de anclaje

El extremo del cable atirantado desde el que se tensa (el extremo de tensado), está provisto de anclajes ajustables BBR HiAm CONA Nut Head, y el extremo opuesto, llamado extremo ciego del cable, suele estar provisto de anclajes BBR HiAm CONA o BBR Pin Connectors.



Anclaje BBR HiAm CONA Nut Head con ajuste de 120 mm



Anclaje BBR HiAm CONA Nut Head con ajuste de 0 mm



Anclaje BBR HiAm CONA Uni Head no ajustable

Configuración estándar

La configuración estándar de los anclajes ajustables y ciegos precisa de aberturas idénticas en la placa de soporte; de esta forma, si la estructura está diseñada con esta filosofía y supuestos, la tensión y la orientación del extremo ciego del cable es intercambiable en cualquier momento durante la fase de diseño de la estructura de cables atirantados.

Anclaje BBR HiAm CONA Nut Head (A):

Anclaje ajustable con un ajuste típico de 0, 60 o 120 mm. El ajuste puede modificarse para adaptarse a cualquier normativa o especificación. Este anclaje es necesario en el extremo de tensión del cable y puede ser también necesario en el anclaje del extremo ciego si se instalan cables totalmente prefabricados, o si el detalle del anclaje en la estructura no permite una instalación del anclaje desde la cara posterior de la placa de soporte.

Anclaje BBR HiAm CONA Uni Head (F):

Anclaje no ajustable con dimensiones clave iguales a los del anclaje BBR HiAm CONA Nut Head con ajuste de 0 mm. Este anclaje debe utilizarse si se desean los mismos detalles de anclaje en el pión y en el tablero y si los anclajes pueden instalarse desde la cara posterior de la placa de soporte.

Configuración compacta

Además de la configuración estándar, se ofrece una versión estándar tanto para los anclajes BBR HiAm CONA Nut Head como para BBR HiAm CONA Uni Head. La versión compacta es más adecuada para aberturas pequeñas en la placa de soporte en comparación con la configuración estándar. Todos los anclajes compactos BBR HiAm CONA hacen necesaria una instalación desde la cara posterior del elemento de transferencia de carga.

Anclaje compacto BBR HiAm CONA Nut

Head (CA): Anclaje ajustable, con un ajuste típico de 0, 60 o 120 mm. Se recomienda el uso del anclaje compacto Nut Head solo en aplicaciones especiales, como sustituciones de cables con aberturas dadas en la estructura u otras limitaciones que obliguen al uso del anclaje compacto.

Anclaje compacto BBR HiAm CONA

Uni Head (CF): Anclaje no ajustable con dimensiones reducidas en comparación con el estándar Uni Head.

La máxima flexibilidad: estándar o compacto

Todos los anclajes de BBR pueden combinarse entre sí, lo que supone que, por ejemplo, pueden utilizarse BBR HiAm CONA Nut Head estándar para el anclaje de tensión y BBR HiAm CONA Uni Head compactos para el extremo ciego del cable. Además, todos los detalles de los elementos de anclaje y soporte y del sellado son idénticos en las versiones estándar y compacta del anclaje, por lo que el rendimiento es totalmente idéntico. El uso de un regulador BBR bajo el anclaje BBR HiAm CONA Uni Head puede transformar el anclaje, que de otro modo sería ciego, en un anclaje ajustable con el ajuste necesario.

Opciones de longitud de transición

En la zona de anclaje de los cables atirantados BBR HiAm CONA, los cordones forman un haz en el desviador y se extienden hacia el conector BBR HiAm CONA dentro de una longitud de transición. Dependiendo de la configuración elegida (desviador guía, desviador libre o amortiguador), son necesarias diferentes longitudes de transición.

Desviador guía

Los desviadores guía se han venido utilizando históricamente, con buena experiencia, para soportar lateralmente el cable atirantado y limitar los desplazamientos transversales de los cables atirantados. Como consecuencia, protegen los anclajes de los efectos de las cargas transversales, que se transfieren a la estructura en el punto donde se encuentra el desviador guía. Al utilizar un desviador guía, la longitud de transición mínima necesaria viene indicada por **GDL** (véanse las páginas 14 y 15).

Desviador libre

El uso de un desviador guía no es necesario si las tolerancias de construcción y las rotaciones del anclaje debidas a los estados límite últimos y de servicio existentes son moderadas y se encuentran por debajo del límite previsto en la legislación nacional, PTI o *fib* (por ejemplo, $\pm 0.3^\circ$ y $\pm 1.4^\circ$). Cuando se emplea un desviador libre, debe tenerse en cuenta la instalación de un BBR Square Damper para evitar cualquier posible rotación adicional provocada por las vibraciones del cable. Al utilizar un desviador libre, la longitud mínima de transición necesaria viene indicada por **DVL** con la opción de ajustar dependiendo de las diferentes rotaciones del anclaje (véanse las páginas 14 y 15).

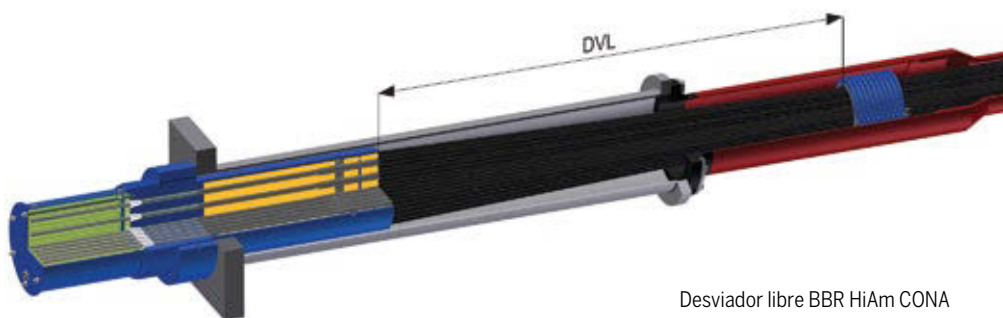
BBR Square Damper

Si se instala un BBR Square Damper para añadir más amortiguación al cable atirantado, debe ajustarse la longitud de transición para que el movimiento transversal en el punto donde se encuentra el amortiguador (debido a cargas de servicio, viento, temperatura y vibración del cable) pueda introducirse con seguridad en el anclaje. Cuando se utiliza un BBR Square Damper, la longitud mínima de transición necesaria, teniendo en cuenta la amplitud

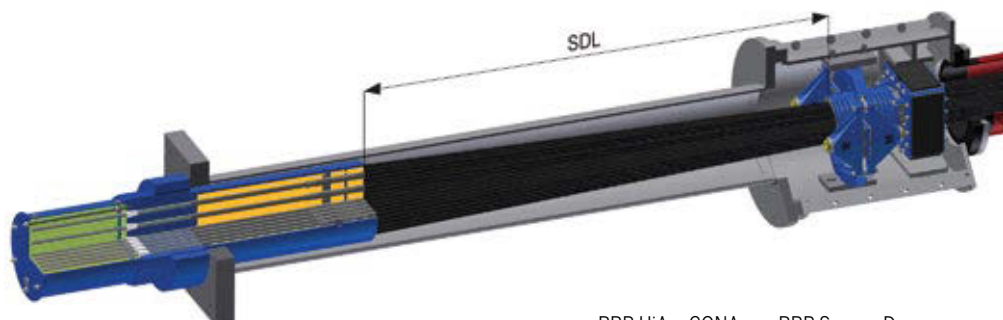
libre máxima del amortiguador (80 mm) viene indicada por **SDL** (véanse las páginas 14 y 15). Sin embargo, esta distancia puede aumentar debido a rotaciones estructurales considerables en el punto donde se encuentre el anclaje o para proporcionar una amortiguación adicional suficiente. En caso de aplicaciones especiales, puede tenerse en cuenta un BBR Bending Damper adicional fuera del conector del anclaje BBR HiAm CONA, lo que permite mayores rotaciones y una longitud mínima de transición.



Desviador guía BBR HiAm CONA



Desviador libre BBR HiAm CONA



BBR HiAm CONA con BBR Square Damper

Especificaciones técnicas

BBR HiAm CONA

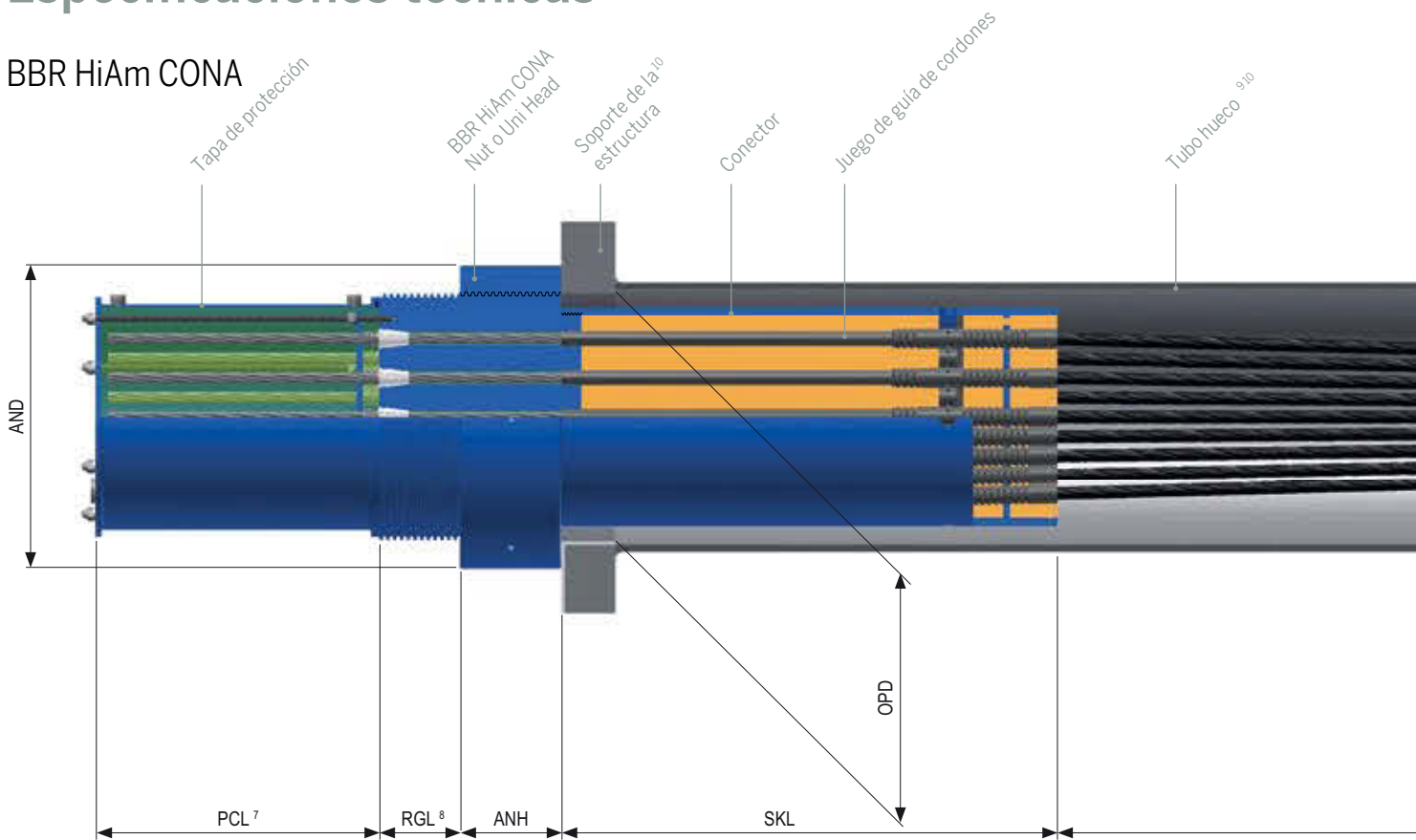


Tabla 1. Especificaciones técnicas de BBR HiAm CONA

BBR HiAm CONA	Tipo			001 06	002 06	003 06	004 06	007 06	012 06	013 06	019 06	022 06	024 06	027 06	031 06
	Número de cordones ¹	n		1	2	3	4	7	12	13	19	22	24	27	31
	Fuerza de rotura ²		[kN]	279	558	837	1,116	1,953	3,348	3,627	5,301	6,138	6,696	7,533	8,649
Tubo atirantado ³	Diámetro estándar	SPD	[mm]	-	50	63	63	90	110	110	125	140	140	160	160
	Grosor de pared	SPT	[mm]	-	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.9	4.4	4.4	5.0	5.0
Anclaje ⁴	Altura	ANH	[mm]	45	55	55	65	65	75	75	90	95	100	105	110
	Diámetro	AND	[mm]	80	115	140	155	180	215	230	265	285	295	310	325
	Longitud	SKL	[mm]	485	535	585	685	735	735	735	735	735	735	735	735
Desviador guía ⁵	Distancia del conector	GDL	[mm]	240	240	275	335	475	720	820	945	1,080	1,180	1,190	1,250
Desviador libre ⁵	Distancia del conector	DVL	[mm]	-	270	310	380	535	820	930	1,070	1,230	1,340	1,350	1,415
Square Damper ⁵	Distancia del conector	SDL	[mm]	1,285	1,465	1,495	1,555	1,685	1,890	1,930	2,085	2,185	2,185	2,290	2,320
Abertura	Abertura estándar	OPD	[mm]	68	98	121	133	148	183	198	228	245	248	258	268
	Abertura compacta ⁶	OPD	[mm]	63	91	102	110	130	165	178	198	218	231	233	242
Peso	Cable atirantado	m _s	[kg/m]	1.3	3.4	4.7	6.0	10.3	17.1	18.4	26.4	30.7	33.3	37.8	43.1

¹ Los tamaños de anclaje intermedios pueden obtenerse omitiendo los cordones en los tipos de anclaje estándares.

² La fuerza de rotura dada es para cordones de pretensado con un diámetro nominal de 0,62", una sección transversal nominal de 150 mm² y una resistencia

³ Sobre los tubos atirantados compactos véase la página 16.

⁴ Las dimensiones exteriores (AND) y (ANH) son iguales para BBR HiAm CONA Nut Head (ajustable / extremo de tensión) y para BBR HiAm CONA Uni Head

⁵ Véanse los detalles sobre las longitudes de transición en la página 13.

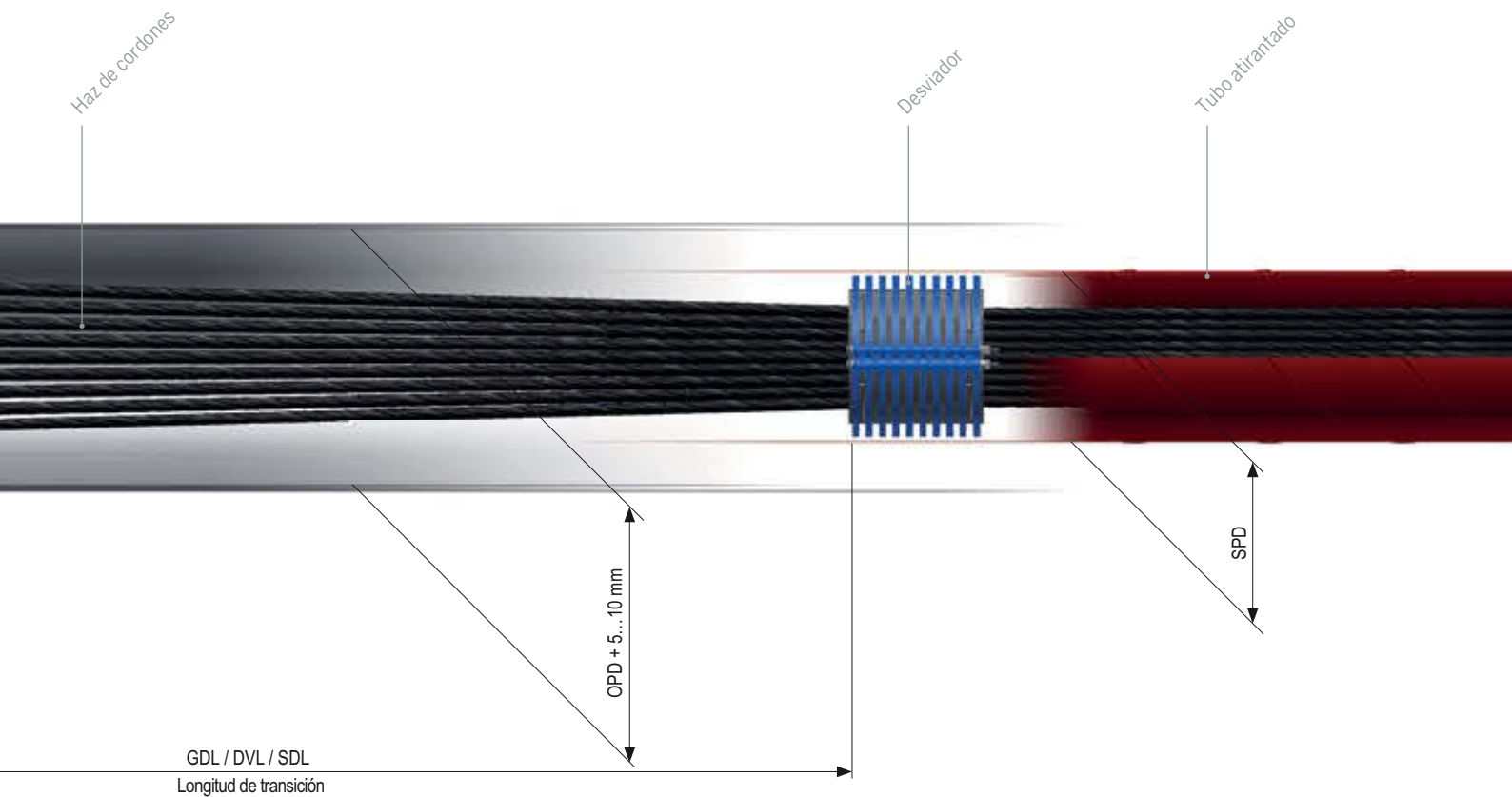
⁶ Para más información sobre los anclajes compactos véase la página 12.

⁷ La longitud de la tapa de protección (PCL) varía dependiendo de los requisitos de tensado y destensado. Los valores de referencia son 60 mm para el extremo

⁸ La longitud de regulación (RGL) del anclaje puede ajustarse a cualquier valor necesario. Los valores de referencia son 0 mm, 60 mm y 120 mm.

⁹ En caso de tubos de acero integrados en el hormigón, el grosor aconsejado de la pared es del 2 % ... 2,5 % del diámetro exterior del tubo hueco.

¹⁰ Partes integrales de la estructura.



037 06	042 06	043 06	048 06	055 06	061 06	069 06	073 06	075 06	085 06	091 06	097 06	109 06	121 06	127 06	151 06	169 06	185 06	217 06
37	42	43	48	55	61	69	73	75	85	91	97	109	121	127	151	169	185	217
10,323	11,718	11,997	13,392	15,345	17,019	19,251	20,367	20,925	23,715	25,389	27,063	30,411	33,759	35,433	42,129	47,151	51,615	60,543
180	180	200	200	200	225	225	250	250	250	280	280	280	315	315	355	400	400	450
5.6	5.6	6.3	6.3	6.3	7.0	7.0	7.8	7.8	7.8	8.8	8.8	8.8	9.8	9.8	11.1	12.5	12.5	14.1
120	125	125	135	140	150	155	160	165	175	185	185	200	215	230	245	250	255	275
355	375	390	400	425	450	475	490	495	525	545	560	595	625	640	700	755	780	860
735	735	735	735	735	735	735	735	735	735	735	735	735	735	735	735	735	735	735
1,415	1,515	1,635	1,660	1,705	1,890	1,965	2,060	2,130	2,165	2,360	2,455	2,500	2,630	2,835	2,950	3,305	3,305	3,775
1,605	1,720	1,855	1,880	1,930	2,140	2,230	2,335	2,415	2,455	2,675	2,780	2,830	2,980	3,210	3,340	3,745	3,745	4,280
2,485	2,540	2,600	2,690	2,715	2,885	2,935	2,985	3,090	3,115	3,285	3,285	3,375	3,510	3,685	3,765	4,090	4,090	4,490
296	309	325	330	352	370	392	403	408	433	448	461	488	513	525	573	623	638	713
268	282	299	302	310	336	347	360	370	375	402	415	422	441	470	486	536	536	603
51.6	58.2	60.2	66.8	75.9	84.8	95.3	101.7	104.3	118.9	126.8	134.7	152.4	168.1	176.0	210.0	236.9	257.8	303.9

BBR se reserva el derecho a cambiar las especificaciones del sistema sin previo aviso

a última garantizada de 1.860 MPa. También pueden utilizarse cordones de pretensado con valores nominales inferiores.

(no ajustable / extremo ciego); véase la página 12.

extremo ciego y 420 mm para el extremo de tensado del cable atirantado.

Especificaciones técnicas continuación



Opciones de tubos atirantados estándares y compactos

El viento produce efectos estáticos y dinámicos en los cables atirantados y, por tanto, debe tenerse en cuenta durante el diseño. La fuerza de resistencia estática en un cable atirantado provoca considerables esfuerzos transversales en la pila, especialmente en los grandes puentes atirantados. La fuerza de resistencia F_d [N/m] viene dada por:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho_A \cdot U^2 \cdot D_s \cdot C_D$$

donde ρ_A [1.25 kg/m³] es la densidad del aire, U [m/s] es la velocidad del viento, D_s [m] es el diámetro externo del cable y C_D es el coeficiente de resistencia.

Tal y como indica esta fórmula, el factor predominante es la velocidad del viento, ya que va al cuadrado. Por ejemplo, la fuerza de resistencia aumenta un 78 % cuando U pasa de 30 m/s a 40 m/s, suponiendo que los demás factores permanecen estables.

En un caso clásico de tubos atirantados circulares, el valor del coeficiente de resistencia depende de la velocidad del viento o, más concretamente, en el número de Reynolds (Re), y de la rugosidad del revestimiento exterior.

Pueden observarse tres intervalos básicos de C_D :

- Intervalo subcrítico a baja velocidad del viento, donde Re está por debajo de $2 \cdot 10^5$: coeficiente de resistencia elevado de 1,20
- Intervalo crítico, donde Re está entre $2 \cdot 10^5$ y $8 \cdot 10^5$: el coeficiente de resistencia baja considerablemente
- Intervalo supercrítico a elevada velocidad del viento, donde Re está por encima de $8 \cdot 10^5$: coeficiente de resistencia bajo de 0,50-0,60.

Los cables atirantados suelen estar en el intervalo supercrítico con vientos fuertes. En las pruebas de túnel de viento puede

conseguirse un C_D de 0,50 para un tubo atirantado liso de BBR y un coeficiente de resistencia de 0,55-0,60 para un tubo atirantado de BBR con nervadura helicoidal. No obstante, los efectos de los vientos extremos suelen calcularse adoptando un C_D de 0,70-0,80 para mayor seguridad y en previsión del posible aumento de la rugosidad de la superficie con el tiempo (acumulación de suciedad, etc.). Puede obtenerse una reducción de la carga del viento reduciendo el diámetro exterior del cable.

En los puentes de tramos de gran extensión, donde la resistencia de los cables atirantados es un factor preponderante, debe evaluarse la instalación de tubos atirantados compactos de BBR. El sistema compacto permite reducir la fuerza de resistencia un 20 % en comparación con el sistema estándar. Este sistema precisa de un material especial y de técnicas de instalación in situ. La primera aplicación de BBR de los tubos atirantados compactos tuvo lugar en el año 2000, cuando se construyó el puente de Rama VIII de Bangkok (Tailandia), de 475 m de longitud. En el tramo libre del cable atirantado compacto de BBR y en el punto donde se sitúa el desviador, el haz de cordones sigue un patrón circular simétrico. El juego de guía de cordones de BBR HiAm CONA está dispuesto de modo que inicia la transición del patrón hexagonal al patrón circular de los cordones. Esta disposición permite que los cordones más desviados en la posición neutral del cable tengan un margen de trabajo adicional más ancho bajo los efectos de las oscilaciones del cable y las desviaciones habituales sin acortar la longitud total del dispositivo de anclaje.



Tubo atirantado de cordones estándar BBR HiAm CONA

Tubo atirantado de cordones compacto BBR HiAm CONA

BBR Pin Connector

BBR HiAm CONA Pin Connector es la combinación perfecta de resistencia y belleza, al mismo tiempo que amplía las ventajas inherentes de la familia BBR HiAm CONA. El anclaje de conector de pines contiene dos placas de anclaje en forma de lóbulo en un cuerpo cilíndrico principal, donde está roscada la HiAm CONA Nut Head estándar. Cada placa de anclaje contiene un orificio a través del cual se inserta el pin y la carga se transfiere desde el cable de atirantado hasta la superestructura a través de la placa de horquilla.

Diseño y comprobación

El BBR Pin Connector se ha diseñado de acuerdo con las normas europeas en función del estado límite de carga (ULS) y el estado de carga de esfuerzo (FLS). Las especificaciones de diseño incluidas en las normas europeas se han fortalecido para dar cabida a eventos de flexión como los causados por las oscilaciones del cable atirantado en la dirección horizontal. La capacidad axial última real y el rendimiento de esfuerzo axial del BBR Pin Connector se han verificado con pruebas de esfuerzo axial y límite y pruebas posteriores de carga de acuerdo con los requisitos de referencia de *fib* y los más estrictos de BBR.

Longitud de transición

De forma análoga a los cables atirantados estándares HiAm CONA, los cables atirantados que terminan en un BBR Pin Connector tienen el haz de cordones en el desviador libre y se extienden hacia el conector dentro de una longitud de transición. En el extremo opuesto al BBR Pin Connector son posibles todas las opciones (desviador libre, desviador guía y BBR

Square Damper), y deberá elegirse la opción más adecuada en una fase temprana para adaptarse a los requisitos del proyecto. En las páginas 14 y 15 pueden consultarse todas las longitudes de transición, que vienen en una lista para cada tamaño concreto.

Principales ventajas

Además de las ventajas estéticas, el sistema BBR Pin Connector ofrece varias ventajas técnicas importantes:

- Los efectos de flexión debidos a las cargas de servicio y las acciones del viento que inducen las oscilaciones del cable en dirección vertical se reducen en su mayoría, gracias a la capacidad de rotación de la clavija del BBR Pin Connector.
- Del mismo modo, las tolerancias de construcción que conducen a las desalineaciones verticales también son absorbidas por la capacidad de rotación libre.
- La instalación del cable atirantado se podría realizar haciendo un premontaje inicial en la obra y una elevación posterior o siguiendo un proceso cordón por cordón, en función de los requisitos del proyecto.
- El BBR Pin Connector con ventana opcional de tamaño medio-grande permite realizar inspecciones de la cuña in situ y sustituir cordones.
- También se ha incorporado al BBR Pin Connector el mismo tipo de sellado utilizado en la familia BBR HiAm CONA, que ha superado con éxito las pruebas de estanqueidad.

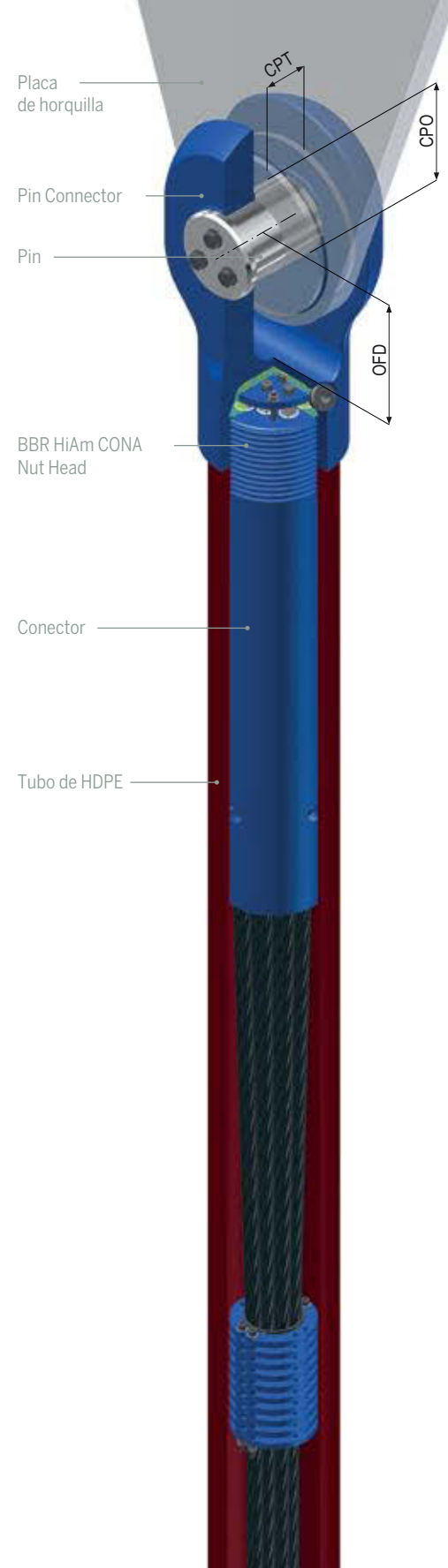


Tabla 2. Especificaciones técnicas de BBR HiAm CONA Pin Connector

BBR HiAm CONA	Tipo			002 06	004 06	007 06	012 06	019 06	024 06	031 06
Pin Connector	Número de cordones	n		2	4	7	12	19	24	31
	Fuerza de rotura		[kN]	558	1,116	1,953	3,348	5,301	6,696	8,649
Anclaje	Diámetro de abertura ¹	CPO	[mm]	58	78	97	121	149	165	185
	Grosor ¹	CPT	[mm]	30	43	57	74	93	104	118
	Distancia frontal ¹	OFD	[mm]	115	154	191	238	292	323	362

BBR se reserva el derecho de cambiar las especificaciones del sistema sin previo aviso

¹ Dimensiones para la placa de horquilla hecha de acero S355. En caso de acero de una calidad diferente póngase en contacto con BBR VT International Ltd.

Especificaciones técnicas continuación

Brida BBR HiEx CONA

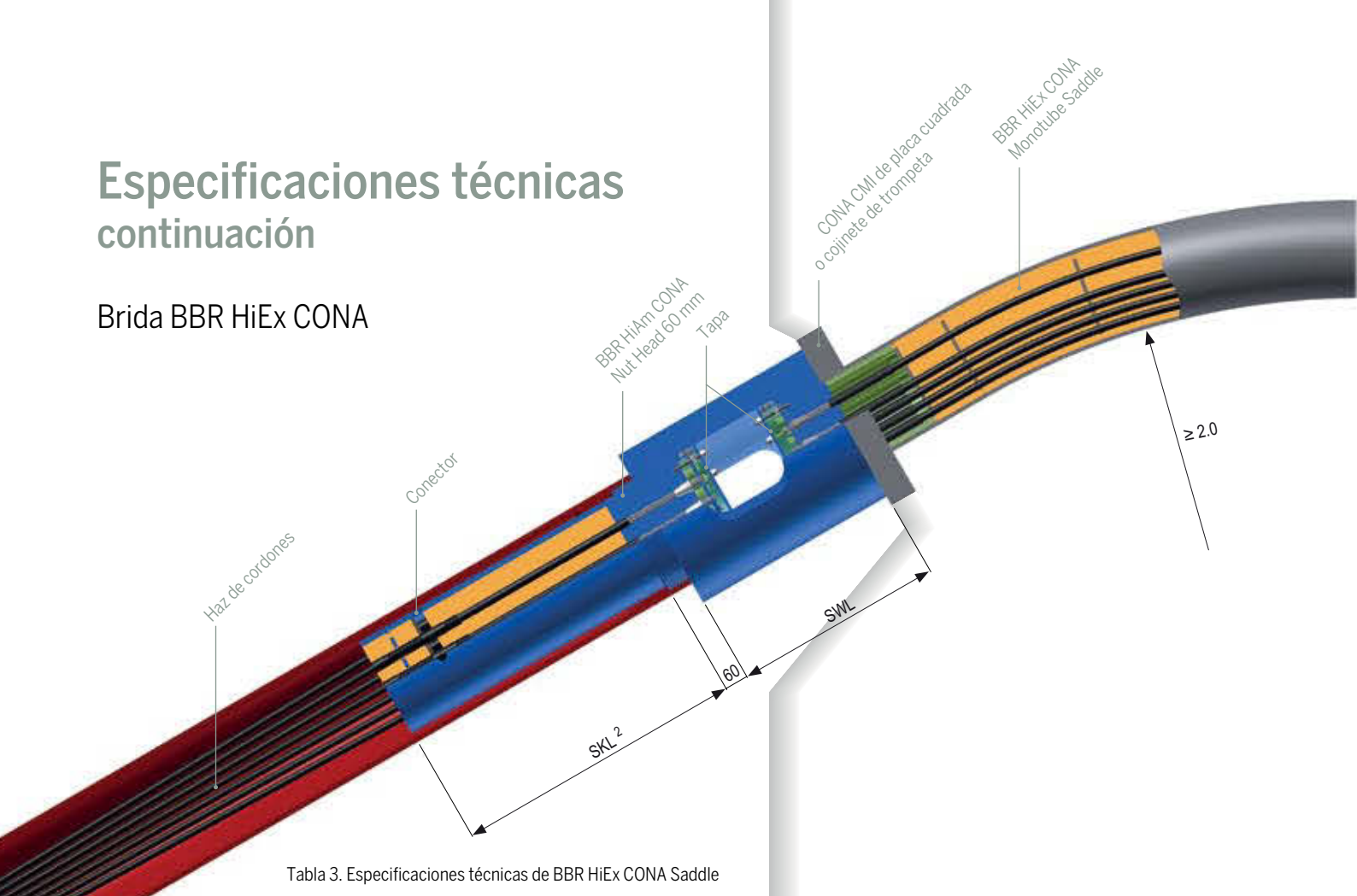


Tabla 3. Especificaciones técnicas de BBR HiEx CONA Saddle

BBR HiEx CONA	Tipo			012 06	013 06	019 06	022 06	024 06	027 06	031 06	037 06	042 06
	Número de cordones	n		12	13	19	22	24	27	31	37	42
	Fuerza de rotura		[kN]	3,348	3,627	5,301	6,138	6,696	7,533	8,649	10,323	11,718
Manguito	Longitud de Sleeve-W	SWL	[mm]	440	440	470	480	485	495	510	530	540
Bundle BBR Saddle	Radio mínimo del haz, f = 0,25	SBR	[m]	2.3	2.4	2.9	3.2	3.3	3.5	3.8	4.1	4.4
	Radio mínimo del haz, f = 0,35	SBR	[m]	2.8	2.9	3.5	3.8	3.9	4.2	4.4	4.9	5.2

¹ Diseño registrado internacional

² Puede consultarse la longitud del conector para cada tamaño concreto en las páginas 14 y 15.

La conexión de cables atirantados a la pila puede efectuarse mediante anclajes estándar o bridas. Tradicionalmente, la conexión con la pila se ha efectuado principalmente con anclajes de cables atirantados, aunque con el tiempo algunos proyectistas han optado por sustituir los anclajes estándares con bridas de fricción o bridas equipadas con llaves de cortante con la intención de reducir las dimensiones de la pila. Sin embargo, las bridas de fricción presentan algunos inconvenientes importantes que desaconsejan su uso, como, por ejemplo, que la inspección/sustitución de los elementos portantes de carga es imposible y que sufren rozamiento y deslizamiento cuando se enfrentan a fuerzas diferenciales o durante la instalación, retirada o sustitución de cordones. La BBR HiEx CONA Saddle elimina por completo los problemas asociados a las bridas de fricción estándar y, al mismo tiempo, permite construir una pila más compacta y delgada.

Más avanzado que las bridas de fricción

La BBR HiEx CONA Saddle es el sistema más novedoso y moderno para puentes atirantados y extradados. La solución técnica resulta de la combinación de los siguientes sistemas autorizados y comprobados:

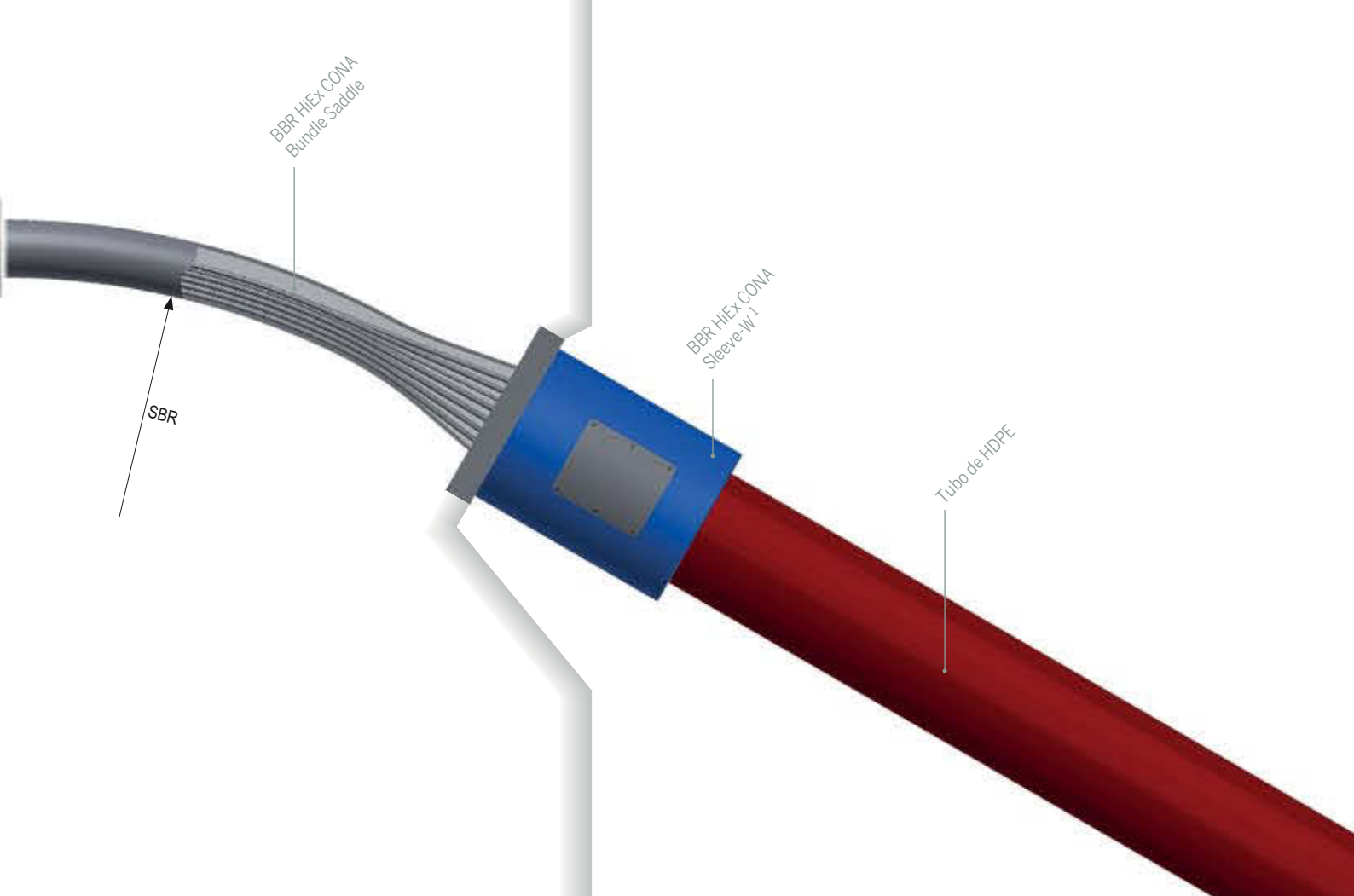
- El sistema de postensado interior BBR VT CONA CMI de múltiples cordones.
- El sistema de cables atirantados de cordones BBR HiAm CONA.

La instalación de un tendón de postensado CONA CMI, como sustituto de la brida de fricción estándar, genera compresión y proporciona un punto de fijación para el cable atirantado en la pila. La conexión de CONA CMI y BBR HiAm CONA se realiza con el BBR HiEx CONA Sleeve-W que incorpora

dos accesos para la inspección de la cuña, la instalación cordón por cordón y la sustitución del cable.

Configuraciones de BBR HiEx CONA

La configuración estándar de BBR HiEx CONA Saddle consiste en una disposición en paralelo de sistemas de guiado individuales rodeados por una lechada de alta resistencia, introducidos en un tubo de acero liso curvado (BBR HiEx CONA Monotube Saddle). Los cordones de acero de siete alambres recubiertos de HDPE y pretensados, inyectados de fábrica con un material que los protege contra la corrosión, se insertan a través del sistema de guiado y se conectan a los cabezales de acoplamiento colocados a ambos lados de la pila. Aunque la lechada de alta resistencia proporciona rigidez, los cordones se pueden sustituir totalmente y no existe ninguna adherencia entre el sistema de guiado y el HDPE exterior de los cordones.



043 06	048 06	055 06	061 06	069 06	073 06	075 06	085 06	091 06	097 06	109 06	121 06	127 06	151 06	169 06	185 06	217 06
43	48	55	61	69	73	75	85	91	97	109	121	127	151	169	185	217
11,997	13,392	15,345	17,019	19,251	20,367	20,925	23,715	25,389	27,063	30,411	33,759	35,433	42,129	47,151	51,615	60,543
540	555	575	585	605	615	625	645	665	675	695	725	755	795	825	855	895
4.4	4.7	5.0	5.3	5.6	5.7	5.8	6.1	6.3	6.5	6.9	7.2	7.4	8.0	8.5	8.9	9.5
5.2	5.5	5.9	6.2	6.6	6.8	6.8	7.2	7.5	7.7	8.1	8.6	8.7	9.5	10.0	10.5	11.3

BBR se reserva el derecho a cambiar las especificaciones del sistema sin previo aviso

El radio mínimo de esta configuración de brida, SMR, es 2,0 m. Como alternativa, podría utilizarse también un haz de cordones descubiertos adheridos o no a la pila si está permitido en el lugar de uso (BBR HiEx CONA Bundle Saddle). El radio mínimo de esta configuración de brida, SBR, depende del grado de llenado y de la presión de contacto máxima permitida en el lugar de uso. Puede consultarse arriba el radio mínimo real para los grados de llenado típicos y presiones de contacto máximas para cada tamaño concreto.

BBR HiEx CONA Sleeve-W

El BBR HiEx CONA Sleeve-W se ha diseñado de acuerdo con las normas europeas a partir del estado límite de carga (ULS) y el estado de carga de esfuerzo (FLS). Estos criterios de cálculo de esfuerzo combinan las especificaciones más restrictivas para puentes atirantados y extradosados.

Comprobación del esfuerzo de la brida

Se ha comprobado tanto la transferencia de carga axial límite como el esfuerzo con consiguiente carga en el BBR HiEx CONA Saddle. La comprobación del esfuerzo se llevó a cabo en un intervalo de tensión axial de 200 MPa para 2.000.000 ciclos de carga con rotaciones de anclaje de 0,6° a una carga axial superior del 55 % de GUTS, lo que satisfacía las especificaciones tanto de *fib* como de CIP (Setra) para aplicaciones de cables atirantados y extradosados. La comprobación del esfuerzo se ha efectuado en la BBR HiEx CONA Saddle según criterios de aceptación, carga superior axial e intervalo de tensión que superaban las recomendaciones de *fib*, CIP (Setra) y ETAG 013.

Exclusión de las fuerzas diferenciales

La acción de las cargas "vivas" en dos tramos consecutivos puede provocar fuerzas diferenciales en ambos lados de la brida. Dichas fuerzas diferenciales no deben ocasionar deslizamientos del cable con respecto a la brida. Contrariamente a las fuerzas de fricción, que intentan compensar las fuerzas diferenciales con la fricción entre el cordón y el material interno de la brida, la BBR HiEx CONA Saddle es un punto estructural fijo que garantiza que no se produzcan deslizamientos y se transmita plenamente la carga entre el cable atirantado y la brida incluso en casos de cargas que superan el máximo permisible (60 % de GUTS en casos accidentales o breves, de acuerdo con *fib*). La BBR HiEx CONA Saddle se comprueba verificando la transferencia a más de 95 % de GUTS.

Especificaciones técnicas continuación

Longitud de transición

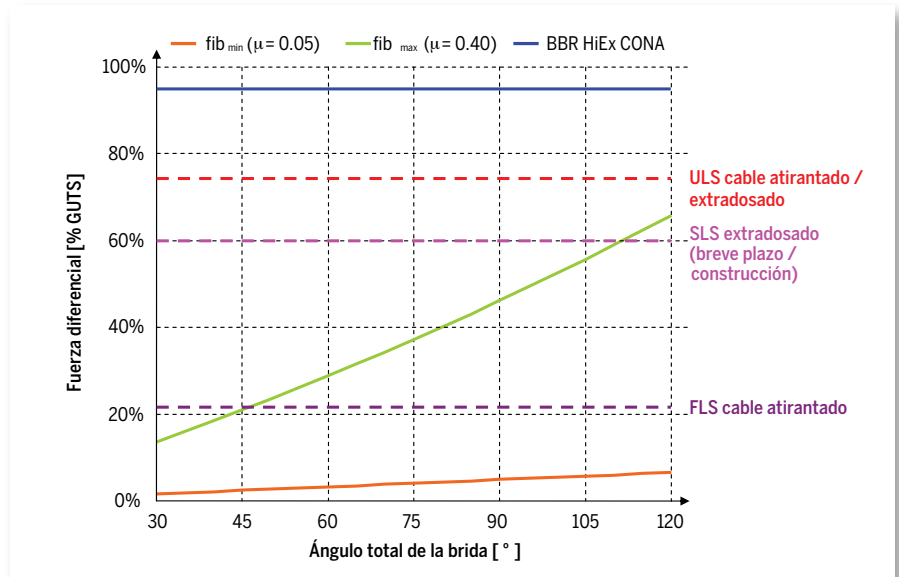
Los cables atirantados equipados con una BBR HiEx CONA Saddle tienen el haz de cordones en el desviador y se extienden hacia el conector dentro de una longitud de transición. En el lado de la brida es posible que haya desviadores guía o libres. En el lado del tablero son posibles todas las opciones (desviador libre, desviador guía y BBR Square Damper), y deberá elegirse la opción más adecuada en una fase temprana dependiendo de los requisitos del proyecto. En las páginas 14 y 15 pueden consultarse todas las longitudes de transición para cada tamaño concreto.

Principales ventajas

La BBR HiEx CONA Saddle mantiene la principal ventaja del concepto de la brida, es decir, la reducción del espacio necesario para la pila, mientras que cuenta con ventajas indiscutibles con respecto a las bridas de fricción:

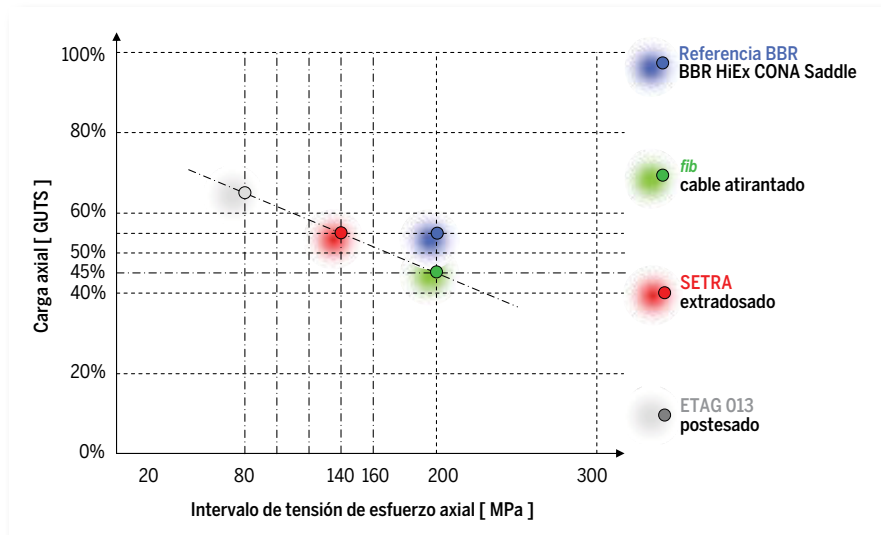
- La tecnología de cable atirantado y los anclajes BBR HiAm CONA empleados en los cables atirantados izquierdo y derecho están comprobados y verificados de acuerdo con *fib* y otras recomendaciones.
- La brida está equipada con la tecnología de postensado BBR VT CONA CMI comprobada y verificada.

Figura 1. Fuerza transferida máxima en la brida



- La BBR HiEx CONA Sleeve W garantiza que toda la fuerza diferencial que aparece a ambos lados de la pila sea completamente absorbida sin deslizamiento en la brida.
- Se eliminan el esfuerzo axial y el rozamiento en la brida. Además, la compresión evita la aparición de fisuras por tensión y mejora la protección frente a la corrosión.
- La protección frente a la corrosión en la brida BBR HiEx CONA es mayor que en las bridas convencionales, ya que tiene hasta cinco barreras contra la corrosión en la configuración estándar (hormigón, vaina, lechada, revestimiento y cera/grasa en el cordón).
- La BBR HiEx CONA permite una inspección completa de los elementos portantes de carga, la instalación del cable cordón por cordón y la sustitución del cable.
- Durante las actividades de instalación, mantenimiento o sustitución, la BBR HiEx CONA Saddle solo precisa de la sustitución del tirante afectado en un lado de la pila y no de toda su longitud. La sustitución es aún más fácil, porque los elementos de tracción que hay que retirar no cruzan la pila.

Figura 2. Comparación de las diferentes condiciones de comprobación del esfuerzo



Diseño y mecánica con BBR HiAm CONA

Los proyectistas, constructores y propietarios de estructuras atirantadas tienen que estar seguros de que disponen de componentes especificados que proporcionen el nivel de rendimiento que buscan. Por tanto, hay varios detalles técnicos relacionados con la comprobación, el diseño y la mecánica que hay que tener en cuenta.

Diseño y mecánica continuación

Consideraciones de diseño

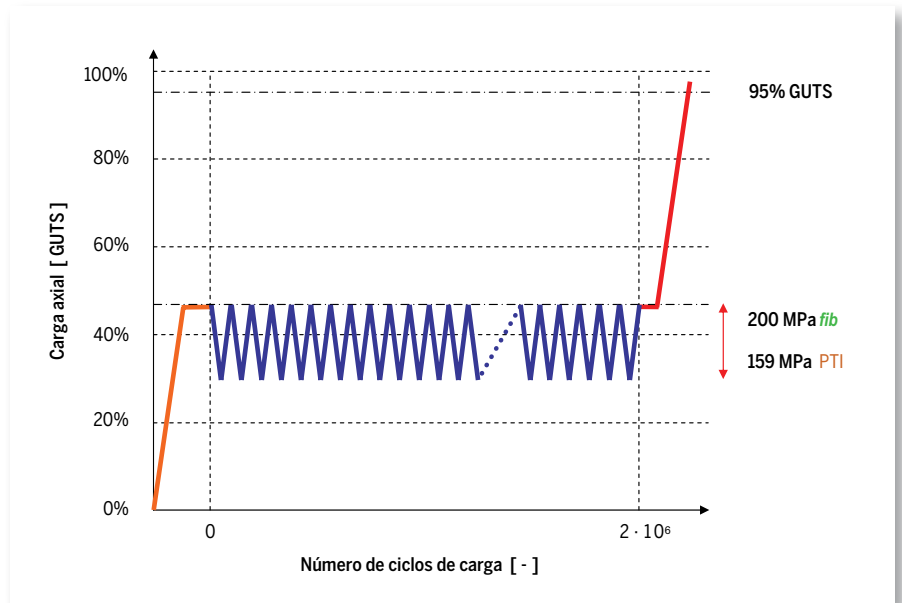
Comprobación del rendimiento de los anclajes de los cables atirantados

Los requisitos tradicionales de PTI especifican que los cables atirantados de cordones deben poder soportar pruebas de certificación de 2 106 ciclos de carga con un intervalo de tensión de 159 MPa a una carga superior del 45 % de la resistencia última garantizada (GUTS) de los elementos de tracción. Las últimas recomendaciones a nivel internacional de *fib* exigen un intervalo de tensión de esfuerzo de 200 MPa. Además, se introducen las rotaciones del anclaje de 0,6° durante la prueba para simular las tolerancias de construcción. En las estructuras de tipo extradosado, las disposiciones de prueba pueden incluir comprobaciones a una carga superior del 55 % o 60 % con un intervalo de tensión de 120-140 MPa. Al final, el tendón se carga hasta que falle y la resistencia a la tracción posterior a la prueba de esfuerzo debe ser superior al 95 % de GUTS.

Diseño del estado límite de servicio (SLS)

La sección transversal de un cable atirantado suele tener un tamaño en el que el esfuerzo axial máximo en el cable atirantado en condiciones de servicio (SLS) no supere los límites especificados.

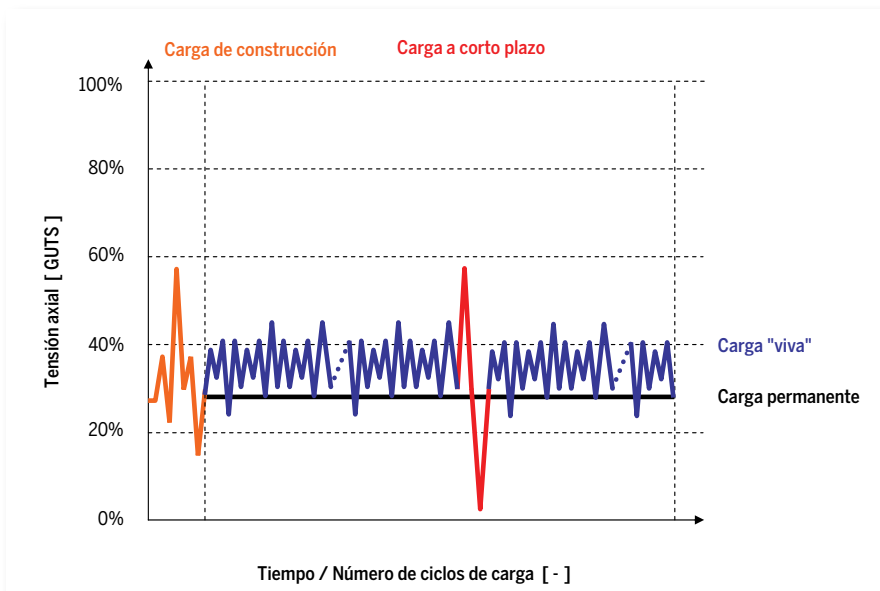
Figura 3. Prueba de esfuerzo y prueba consiguiente de tracción



Antes, el esfuerzo axial máximo estaba limitado al 45 % de GUTS. Debido a los requisitos de comprobación más estrictos especificados por *fib*, actualmente se consideran permisibles mayores esfuerzos axiales de hasta el 50 % de GUTS para aplicaciones de cables atirantados con elevadas exigencias de esfuerzo, y del orden del 60 % para aplicaciones con bajas exigencias de esfuerzo (puentes

extradosados). Las cargas de los cables atirantados durante la construcción o la sustitución de los cables no deben introducir deformaciones inelásticas en el sistema de cables atirantados, y suele ser suficiente verificar los esfuerzos axiales con los esfuerzos permisibles. Los esfuerzos axiales permisibles durante la construcción y la sustitución de cables suelen estar limitados al 60-70 % de GUTS.

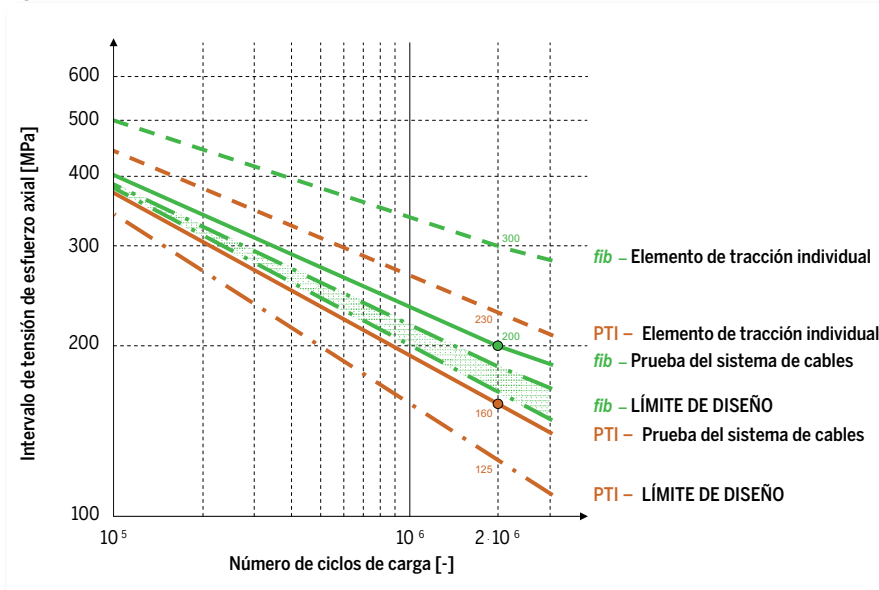
Figura 4. Cargas típicas en cables atirantados



Diseño del estado límite último (ULS)

Al verificar el estado límite último (ULS), la GUTS de los elementos de tracción puede considerarse como la resistencia característica del sistema de cables atirantados. Deben aplicarse los factores de resistencia, según los estándares nacionales, para hallar la resistencia del diseño. Si los códigos nacionales no proporcionan factores de resistencia para los cables atirantados, puede utilizarse un factor de resistencia de 1,35 para los cables atirantados probados con rotación angular, y de 1,50 para los cables atirantados probados sin rotación angular.

Figura 5. Curvas de esfuerzo S-N



Diseño del estado límite de esfuerzo (FLS)

Las estructuras de cables atirantados suelen ser ligeras y, por ello, los cables atirantados experimentan grandes variaciones de tensión. Por eso son tan importantes los cables atirantados con una alta resistencia al esfuerzo. El cálculo del esfuerzo de los cables atirantados debe tener en cuenta las cargas de esfuerzo relevantes, según los estándares nacionales aplicados a la estructura concreta, para determinar el rango de tensión de esfuerzo relevante en los cables atirantados y luego compararlo con el rendimiento de esfuerzo del sistema de cables atirantados. En el más sencillo de los casos, la carga de esfuerzo relevante es un bogie específico (carga axial) y las variaciones de tensión en el cable atirantado creadas por esta carga, que se comparan con una resistencia reducida de prueba del esfuerzo del cable atirantado, mientras que la reducción depende de las regulaciones nacionales. En la situación del diseño real, puede que la verificación del esfuerzo tenga que realizarse en un número de ciclos de carga, distinto a los 2 · 10⁶ ciclos de carga, donde se pueden usar las "curvas de Wöhler" (curvas S-N).

Incendios e impacto

Los puentes cuentan con buena ventilación y, por ello, raramente están expuestos a altas temperaturas en caso de incendio. Si se incendia un bogie en un puente atirantado, por lo general las llamas no afectarían a más de un cable atirantado a la vez, excepto si los cables

están agrupados, por ejemplo, en soportes. Por tanto, la estabilidad estructural no suele ser un problema. Sin embargo, algunos puentes están situados en entornos especiales (por ejemplo, cerca de depósitos de combustible o refinerías de petróleo) y suelen ser utilizados por camiones de transporte de combustible. En estos casos, puede ser necesaria una mayor resistencia al fuego de los cables atirantados para evitar la pérdida de los principales elementos de tracción en caso de incendio. Las consideraciones habituales de diseño de incendios o impactos establecen que un fallo en un cable atirantado no debe suponer un fallo de toda la estructura. El diseñador también debe tener en cuenta los efectos dinámicos provocados por la rotura del tirante. Pueden ser necesarias medidas adicionales para conjuntos de cables atirantados, en los que las barreras de impacto estructurales proporcionarían una protección adecuada.



Sustitución de los cables atirantados

Los sistemas de cables atirantados deben ser reemplazables. Esto es particularmente importante en el caso de los puentes. En la fase inicial, debe decidirse si los cables atirantados de la estructura van a ser reemplazables, uno por uno o varios a la vez. También debe especificarse si es posible realizar la sustitución con el tráfico habitual, tráfico reducido o si es necesario cortar el tráfico. Normalmente, en el caso de los puentes en autopistas, el diseño debe tener en cuenta la sustitución individual de los cables atirantados, con tráfico reducido, es decir, cerrando el carril más cercano.

Durabilidad

Los cables atirantados modernos tienen un sistema de protección anticorrosión múltiple y deben someterse a varias pruebas de corrosión y estanqueidad. Actualmente, los cables atirantados modernos – que han sido sometidos a pruebas según las disposiciones más recientes – tienen una vida útil prevista de 100 años.

Tolerancias de construcción

Para cumplir los requisitos de PTI y *fib* con respecto a los efectos de la flexión cerca de los anclajes, el proyectista debe especificar una tolerancia de instalación de las placas de soporte y los tubos de guiado de acero de 0,3° (5 mrad) alrededor del eje teórico del cable atirantado.

Cargas transversales

Los tirantes de las estructuras apoyadas en cables aguantan principalmente cargas de tracción. Sin embargo, aunque son mínimas en comparación con las cargas axiales, las cargas transversales de diferentes fuentes también actúan sobre los cables atirantados.

Diseño y mecánica continuación

Las principales causas de cargas transversales son:

- tolerancias de construcción y desalineaciones
- cambios en el combado del cable provocados por la construcción y las cargas de tráfico
- rotación de los puntos de anclaje debida a las cargas sobre la estructura
- cargas del viento sobre los cables
- cambios de temperatura.

Contrarrestar las cargas transversales

Se utilizan a menudo centralizadores para proteger los anclajes de los cables atirantados de los efectos de las cargas transversales. El soporte transversal proporcionado por el centralizador al cable atirantado hace que la geometría del cable atirantado se tuerza. Por consiguiente, el cable ejerce una fuerza transversal al centralizador y el centralizador, a la estructura. Como orientación para el diseño preliminar de la estructura que sostiene el centralizador, se sugiere una acodadura angular de $1,4^\circ$ (25 mrad) como asunción razonable, lo que se traduce en una carga transversal de un 2,5 % de la fuerza del cable. Para el sistema BBR HiAm CONA, no se requiere el uso de un desviador guía y puede utilizarse el denominado desviador libre BBR, que simplifica considerablemente la mecánica del tablero y la pila. Si va a utilizarse un desviador libre BBR en el anclaje de la pila, debe considerarse instalar un sistema BBR Square Damper en el nivel del tablero para evitar grandes rotaciones del anclaje provocadas por la vibración del cable.

Flexión

Los cables atirantados se caracterizan, en comparación con otros elementos estructurales, por su excepcional esbeltez. Esta característica las hace muy flexibles en casos de carga normal distribuida con respecto a su configuración axial, y casi evita la aparición de tensiones de flexión en su longitud libre. Sin embargo, los cables atirantados podrían sufrir tensiones de flexión en anclajes o al pasar sobre una brida. En ambas situaciones, las tensiones de flexión podrían ser del mismo orden de magnitud que las tensiones axiales y podrían requerir un análisis específico.

La tensión de flexión de índice de extremo fijo máximo σ_B [MPa] en cables atirantados en la ubicación del anclaje podría evaluarse con la siguiente ecuación:

$$\sigma_B = 2 \cdot \alpha \sqrt{E_p \cdot \sigma_A}$$

Donde α [rad] es la desviación angular del cable atirantado con respecto a la posición permanente, mientras que E_p [MPa] y σ_A [MPa] son el módulo de Young y la tensión axial en el acero, respectivamente. Al evaluar esta ecuación se desprende que, para ángulos de desviación relativamente pequeños, el nivel de tensión general (tensión axial + tensión de flexión) podrían exceder el límite permitido. Por consiguiente, siempre se recomienda establecer disposiciones apropiadas y bien comprobadas para minimizar las tensiones de flexión que se producen en los anclajes.

En el sistema BBR HiAm CONA, cada cordón está sostenido de forma individual e independiente por un tubo guía hiperelástico (guía SmaCu). La guía SmaCu está diseñada para sostener cada cordón para todos los ángulos de desviación del diseño aplicables en toda su longitud. Esto minimiza la curvatura impuesta en cada cordón. La guía SmaCu garantiza que la curvatura en cada cordón individual sea mínima y no constante para el ángulo de desviación aplicable. Independientemente del ángulo de desviación aplicable, la curvatura máxima de los cordones no es superior a 1/3500, lo que se traduce en tensiones de flexión de índice en el cordón de solo 145 MPa.



Amortiguación y vibración del cable

A pesar del extenso uso de los puentes atirantados, todavía hay varias áreas que suscitan gran preocupación, sobre todo los efectos y la eliminación de los fenómenos de vibración de cables. Incluso los puentes atirantados de nueva construcción han experimentado vibraciones bastante intensas. Se han identificado y caracterizado varios mecanismos de vibración de cables. Los cuatro fenómenos más comunes son: el desprendimiento de vórtices, el galope, la excitación paramétrica –interacción entre el tablero/pila y el cable– y las vibraciones inducidas por la lluvia o el viento. La consecuencia a corto plazo de la vibración del cable son las reclamaciones por parte del público (usuarios del puente). Las consecuencias a largo plazo son una menor seguridad o incluso el fallo de cables completos debido a una rápida acumulación de ciclos de tensión de esfuerzo de flexión en los anclajes.

Amortiguación inherente

Los elementos estructurales tienen un determinado nivel de “autoamortiguación” inherente, δ_i , que prudentemente puede asumirse para los cables atirantados de cordones como una disminución logarítmica del 0,8 %. La amortiguación inherente de un cable atirantado es el índice máximo al que el cable disipa la energía que lo hace oscilar. A menudo, la amortiguación inherente no es suficiente para amortiguar el cable atirantado y es necesario añadir amortiguación pasiva complementaria. Además de la amortiguación complementaria, la instalación de medidas especiales –como el tratamiento de superficies del cable y de los travesaños– podría reducir la amortiguación complementaria requerida, $\delta_{\text{Compl. Req}}$, y por lo tanto, mejorar la respuesta del cable atirantado frente a las vibraciones.

Especificación

El proyectista debe especificar la amortiguación complementaria requerida para una disposición particular de los cables, la configuración de tubos atirantados (diámetro, con o sin tratamiento de superficie) y la masa de cables atirantados. Luego debe deducirse la amortiguación inherente de la



“El objetivo de los ingenieros es dar a luz estructuras sanas sin planificar la implementación de marcapasos antes de que las estructuras hayan siquiera nacido.”

configuración particular. Debe alcanzarse un factor de seguridad suficiente, S_F , en el orden de los factores de carga aplicados en ingeniería estructural, entre la amortiguación complementaria requerida y la amortiguación complementaria teórica máxima:

$$\delta_{\text{Req, sup}} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{S_c \cdot \rho_A \cdot D_s^2}{m_s} - \delta_i \leq S_F \cdot \delta_{\text{Max, Sup}}$$

donde $\delta_{\text{Max, Sup}} = \pi \cdot \frac{L_D}{L_S}$

Donde S_c es el número Scruton, ρ_A [1,25 kg/m³] es la densidad del aire, D_s [m] es el diámetro exterior del cable atirantado, m_s [kg/m] es la masa lineal del cable atirantado, L_D [m] es la distancia del anclaje al amortiguador y L_S [m] es la longitud del cable atirantado.

Amortiguación complementaria

En cada oscilación, se pierde una pequeña parte de la energía almacenada a través de la longitud del cable atirantado debido al fenómeno de la fricción, cerca de los anclajes. En algunos casos, el índice al que se pierde esta energía es muy escaso (esto es, la amortiguación inherente es baja), lo que se traduce en grandes amplitudes y gran número de oscilaciones. En estos casos, los dispositivos de amortiguación complementaria aumentan la energía perdida en cada ciclo y reducen el tiempo de oscilación libre. La amortiguación complementaria máxima que un amortiguador perfecto podría proporcionar a un cable (esto es, no se considera la eficiencia del amortiguador)

depende únicamente de la ubicación relativa del amortiguador a lo largo del cable, L_D/L_S , y depende de la naturaleza del amortiguador (fricción, viscoso, gas, etc.). En general, los amortiguadores suelen estar instalados en cables medios o largos ($L_S \geq 150$ m) a una distancia ~2,5 % de la longitud del cable, por lo que el proyectista debe establecer unas disposiciones específicas en la fase inicial.

También están disponibles dispositivos de amortiguación activos, pero requieren fuentes de alimentación externas y un elevado mantenimiento. Por lo tanto, solo deben considerarse para tareas de reparación y reacondicionamiento.

Instalación de amortiguadores

Los amortiguadores suelen instalarse una vez que los cables atirantados están estructuralmente activos y transportan las cargas permanentes y superimpuestas de la estructura. Después de la instalación, los factores (como las cargas de servicio, tráfico, viento y temperatura) modifican la geometría de toda la estructura y, por consiguiente, inducen rotaciones relativas entre la estructura y el cable atirantado, lo que se traduce en movimientos transversales y longitudinales en la ubicación del amortiguador. Estos movimientos suelen ser mayores que los impuestos sobre el amortiguador y sobre los anclajes

por las posibles vibraciones del cable. Para garantizar un buen rendimiento del amortiguador, durabilidad y seguridad, el amortiguador, los cables atirantados y los anclajes deben considerarse como un sistema integrado que ha de ser analizado, diseñado y detallado en su totalidad. Por consiguiente, tanto el cable atirantado como el dispositivo de amortiguación deben ser suministrados por la misma empresa.



BBR Square Damper

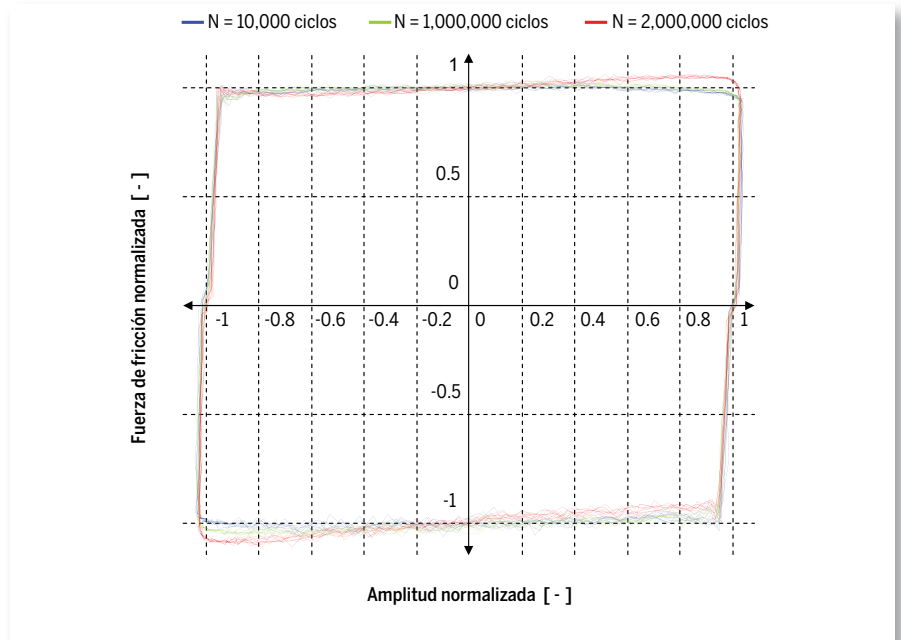
Diseño y mecánica continuación

Cálculo de la vibración del cable

Puede realizarse una evaluación preliminar de la susceptibilidad a la vibración de un cable atirantado utilizando el número Scruton, que es una medida de la estabilidad aerodinámica del cable. En general, se recomienda que el número Scruton se mantenga lo más alto posible y se suelen sugerir valores superiores a 10. A lo largo de los años, la sede de BBR ha desarrollado un amplio conocimiento de todos estos fenómenos especiales de los cables atirantados que ha conllevado la elaboración de una amplia y exhaustiva documentación y la creación de herramientas de software patentadas y fiables que permiten un análisis seguro, detallado y preciso. Entre otros, BBR proporciona asistencia técnica a proyectos de cables atirantados en los siguientes aspectos:

- Una evaluación temprana y precisa de la amortiguación inherente real para una configuración particular de cable atirantado podría evitar la instalación de dispositivos de amortiguación, lo que se traduce en un ahorro considerable de los gastos.
- Algunos fenómenos de vibración complejos, como oscilaciones por hielo, en seco y las vibraciones Den Hartog en los cables atirantados temporales no están cubiertos por los valores SC estándares considerados y deben analizarse específicamente para cada proyecto concreto.

Figura 6. Rendimiento y comportamiento de histéresis – resistencia del amortiguador



- Está demostrado que los cables largos que oscilan en modos de vibración simétricos (esto es, primero, segundo, etc.) presentan zonas de movimiento reducido cerca de los anclajes, que disminuyen la amortiguación complementaria real proporcionada por el dispositivo de amortiguación. En estos casos, son necesarias distancias LD más largas. BBR proporciona un análisis preciso para

ubicar de forma exacta el dispositivo de amortiguación sin sobreestimación de LD, lo que aumenta los costes y perjudica la estética del puente.

- Los amortiguadores deben estar bien ajustados para ofrecer el máximo rendimiento en los modos de vibración más comunes (es decir, en los modos de vibración 1 y 2).

Reducción de la amortiguación complementaria

BBR ofrece otra medida efectiva contra las vibraciones provocadas por la lluvia y el viento, equipando la superficie exterior del cable con una nervadura helicoidal. El cordón helicoidal ayuda a evitar la formación de pequeñas corrientes de agua ascendentes que generan vibraciones en el cable y, de este modo, mitiga la excitación en su origen. Al usar los tubos atirantados de cordones BBR con nervadura helicoidal, es posible reducir a un valor tan bajo como 5 el número Scruton mínimo requerido para evitar la vibración del cable por lluvia o viento. La amortiguación complementaria puede reducirse además si se escoge un tubo atirantado de cordones BBR (véase la página 13).





“Todo debería hacerse lo más simple posible, pero no más simple.”

Albert Einstein

Dispositivos de amortiguadores BBR

BBR Square Damper es un dispositivo de amortiguación pasiva complementaria de alto nivel, cuyo funcionamiento se basa en la fricción. El dispositivo se puede utilizar como amortiguador interior, instalándolo dentro de un tubo de guiado de acero o como amortiguador exterior, conectado a la longitud libre del cable usando una carcasa de amortiguación y una abrazadera exterior. Si la fuerza transversal sobre el cable en la ubicación del amortiguador supera la fuerza de fricción estática del amortiguador, este comienza a moverse con el cable y disipa energía, lo que produce la amortiguación del cable. Las características básicas del BBR Square Damper son:

- El amortiguador no está activado en amplitudes de cable bajas y no críticas, lo que evita el trabajo constante del amortiguador y minimiza los requisitos de mantenimiento.
- La eficiencia de la amortiguación no depende de la aceleración y del modo de vibración del cable.
- Se ha demostrado mediante pruebas que el amortiguador logra la amortiguación pasiva complementaria máxima considerada para un “amortiguador perfecto” y, de este modo, pueden reducirse los factores de seguridad relativos a la amortiguación complementaria requerida.
- Se proporciona movimiento longitudinal libre y rotación libre del cable atirantado en la ubicación del amortiguador, lo que permite la elongación por temperatura y variaciones de la fuerza del cable atirantado sin limitaciones.
- Es posible ajustar en cualquier momento las características de amortiguación.

- Las partes de fricción garantizan propiedades de fricción uniformes y un mantenimiento muy bajo.

Gracias a su diseño sencillo, su alta eficiencia, su fácil ajuste y la baja necesidad de mantenimiento, BBR Square Damper es mejor que otros dispositivos de amortiguación. BBR también ofrece una selección de otras medidas de vibración, previa petición, para proyectos concretos.

Materiales de nueva generación

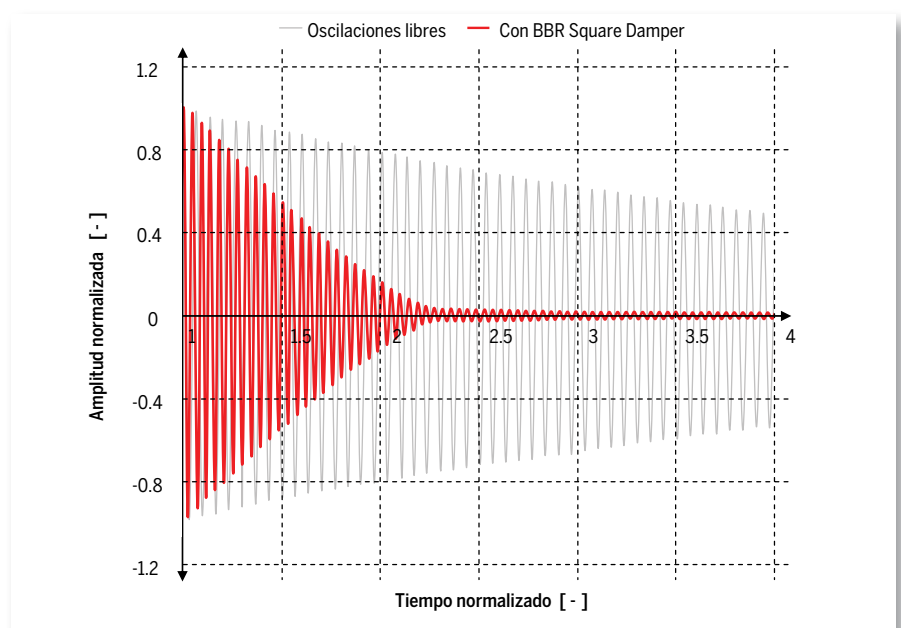
El desarrollo de BBR Square Damper ha incluido, entre otros, varios millones de ciclos de pruebas de desgaste de oscilación de amortiguación completa para establecer la resistencia real de los componentes de fricción. Durante las pruebas, la temperatura se mantuvo deliberadamente elevada ($T > 300\text{ }^{\circ}\text{C}$) de manera constante para favorecer el desgaste

y los daños. Estas pruebas demostraron que solo podía utilizarse una nueva generación de materiales de fricción, especialmente concebidos para la intensidad de esta aplicación. El sistema BBR Square Damper incorpora esta nueva generación de materiales de fricción junto con un sistema de ventilación/ aislamiento para mejorar la durabilidad de los componentes y para distanciar los intervalos de mantenimiento.

I+D en cables extralargos

El sistema BBR Square Damper ha sido probado ampliamente en múltiples configuraciones de cable, como cables normales y cables poco profundos. Siempre se alcanzó la amortiguación pasiva complementaria máxima de cada configuración específica para los modos 1 a 4, incluso en las pruebas en cables poco profundos con longitudes equivalentes de hasta 500 m.

Figura 7. Tiempo-desplazamiento en mitad del cable



Y por último ...




Si ha llegado a esta página, no tendrá ninguna duda acerca de nuestro compromiso con la mejor tecnología y de nuestro entusiasmo por llevar a cabo nuestros proyectos.

Durante nuestras seis décadas de experiencia, la tecnología de BBR se ha aplicado a más de 400 estructuras y, en el proceso, hemos seguido perfeccionando nuestra gama. Como resultado, podemos ofrecer la mejor tecnología disponible: el sistema BBR HiAm CONA.

Sin embargo, la tecnología no evoluciona por sí sola. A lo largo de los años hemos tenido la suerte de contar con algunos de los mejores ingenieros del sector. La reputación de BBR se ha sustentado en su dedicación, y así sigue siendo en la actualidad.

Nuestra consolidada red mundial se apoya en el desarrollo de estructuras de cables atirantados por parte de nuestro equipo de proyectos especiales, que ayudará en la tarea de especificación y suministro de los sistemas necesarios. De este modo, el conocimiento local se combina con la técnica internacional para poder llevar a cabo los proyectos. Ya sean proyectos grandes o proyectos pequeños, siempre son espectaculares y destacan por su excelencia técnica.





*“Sin progreso ni crecimiento continuos,
palabras como mejora, logro y éxito carecen
de significado.”*

Benjamin Franklin,
estadista, científico, filósofo, tipógrafo, escritor e inventor estadounidense
1706-1790

BBR VT International Ltd
Ringstrasse 2
8603 Schwerzenbach (ZH)
Switzerland

Tel +41 44 806 80 60
Fax +41 44 806 80 50

www.bbrnetwork.com
info@bbnetwork.com

BBR VT International Ltd
Technical Headquarters and Business Development Centre
Switzerland



A Global Network of Experts
www.bbrnetwork.com