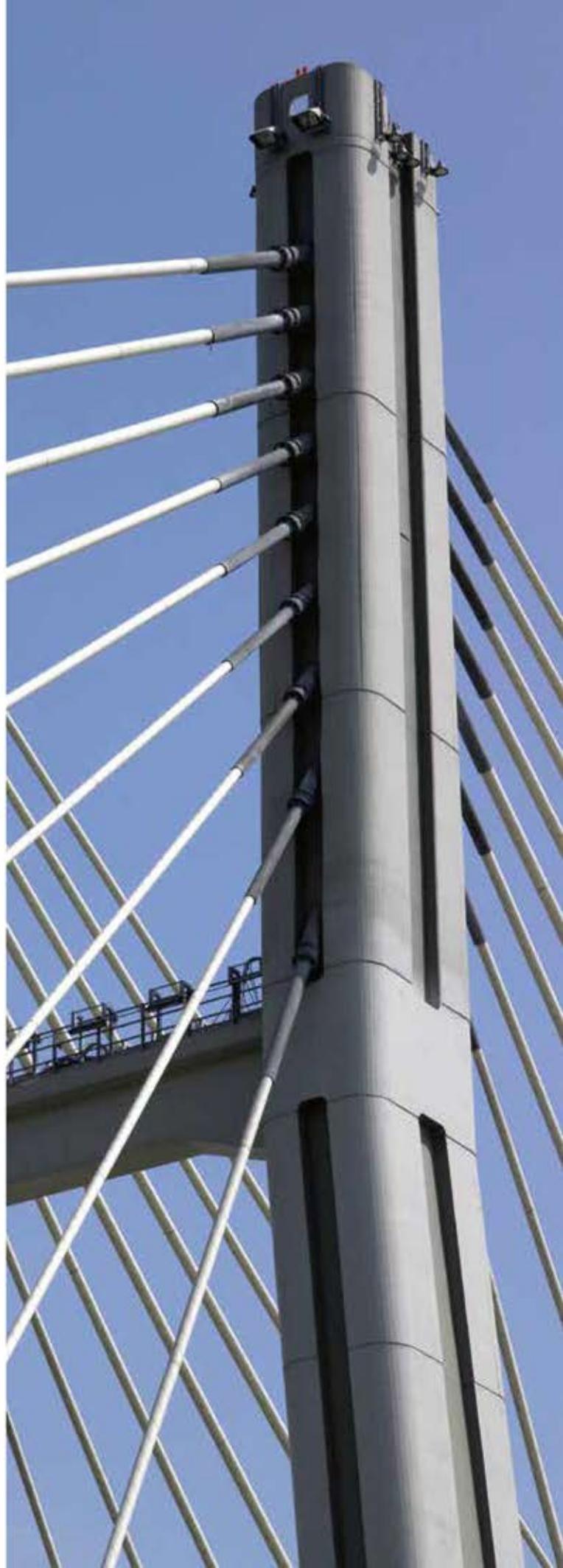




VOLUME	PRODUCTS CATALOGUE
<b>01</b>	<b>TIRANTES</b>

YOUR CHALLENGES,  
OUR SOLUTIONS



---

<b>01. PERFIL DE LA EMPRESA .....</b>	<b>03</b>
<b>02. SISTEMAS DE TIRANTES .....</b>	<b>07</b>
<b>03. DESARROLLO DE PRODUCTOS Y ENSAYOS .....</b>	<b>23</b>
<b>04. PROPIEDADES Y DIMENSIONES DEL SISTEMA .....</b>	<b>27</b>
<b>05. INSTALACIÓN .....</b>	<b>37</b>



Línea de Tren de Alta Velocidad de Milán a Nápoles, puente atirantado sobre el río Po, Piacenza (Italia)

---

# 01

---

## PERFIL DE LA EMPRESA

Nuestra misión es mejorar constantemente los métodos y la calidad de los procesos de construcción a través de la investigación, la innovación y la cooperación con diseñadores, ingenieros y contratistas en todo el mundo.



# TENSA

---

Tensacciai, actualmente denominada TENSA, fue fundada en 1951 y tiene su sede central en Milán, Italia. Mantiene actividades en más de 50 países y tiene presencia directa en 14 países. TENSA es líder en tirantes, sistemas de postensado, dispositivos antisísmicos, apoyos estructurales y juntas de calzada. TENSA dispone de amplias referencias y sus productos han recibido numerosas certificaciones en todo el mundo.

## HISTORIA

**1951:** Inicio de la actividad

**1964:** En los años 60, Tensacciai crece de forma notable en Italia. La tecnología de postensado está dando sus primeros pasos y su aplicación es todavía experimental.

**1970:** Se inicia un programa de renovación tecnológica con la adopción del cable de acero.

**1980:** Tensacciai desarrolla nuevos equipos y sistemas de tendido para anclajes al suelo que combinan innovación, versatilidad y facilidad de uso.

**1990:** Se abren nuevas filiales en Brasil, India y Australia. En Europa se establecen empresas asociadas en Portugal, Grecia y Países Bajos.

**2000:** El proceso de internacionalización de Tensacciai sigue su curso.

**2010:** La compañía se implica directamente en proyectos de los cinco continentes.

**2011:** Tensacciai es adquirida por Deal - proveedor de soluciones líder mundial en el campo de la construcción de puentes - y pasa a formar parte de De Eccher Group. Tensacciai es ahora miembro de una organización capaz de diseñar, fabricar e instalar sistemas en todo el mundo gracias a la especialización de los ingenieros y técnicos del departamento técnico y de control de calidad. Todos los procesos de producción y entrega están avalados por las certificaciones ISO 9001, ISO 14001 y OHSAS 18001.

**2012:** Tensacciai se fusiona con Tesit, otro importante proveedor especializado en hormigón y con experiencia internacional en postensado, barras de acero, apoyos estructurales y juntas de calzada.

La fusión los convierte en un actor principal en el campo de la subcontratación especializada. Tensacciai celebra un acuerdo de licencia de exclusividad mundial con TIS (Tecnico Idraulico-Stradali S.r.l.), una empresa con sede en Roma experta en el diseño y la producción de apoyos estructurales, juntas de calzada y dispositivos antisísmicos desde 1973.

**2014:** Tensacciai adquiere TIS.

**2015:** TENSA se constituye a partir de la fusión y el desarrollo de las tres compañías mencionadas anteriormente: Tensacciai, Tesit y TIS.

## MISIÓN

Nuestra misión es mejorar constantemente los métodos y la calidad de los procesos de construcción a través de la investigación, la innovación y la cooperación con diseñadores, ingenieros y contratistas de todo el mundo. Una apuesta decidida por la calidad es la única manera de garantizar estructuras seguras y duraderas. Apoyamos el diseño desde la fase inicial, sobrepasando los estándares para desarrollar soluciones personalizadas. Consideramos que la puntualidad en la ejecución y el servicio es un aspecto clave para el establecimiento de relaciones sólidas. Nuestra base de conocimiento se centra en tirantes, sistemas de postensado, dispositivos antisísmicos, apoyos estructurales y juntas de calzada, además de todos los accesorios, equipos y servicios relacionados.

TENSA procura aplicar su vasta experiencia en la búsqueda de nuevos métodos y variantes de aplicaciones, desarrollando para ello soluciones ingeniosas que se emplearán en la construcción de nuevas estructuras, ya sean edificios o infraestructuras, así como en la rehabilitación de las ya existentes.

## CATÁLOGOS DE PRODUCTOS

### 01 - TIRANTES

- 02 - POSTENSADO
- 03 - ANCLAJES AL TERRENO
- 04 - JUNTAS DE DILATACIÓN
- 05 - APOYOS
- 06 - AMORTIGUADORES Y STU
- 07 - AISLADORES SÍSMICOS
- 08 - DISPOSITIVOS ELASTO-PLÁSTICOS
- 09 - CONTROL DE VIBRACIONES



---

Puente de Erasmus, Rotterdam (Países Bajos)



---

# 02

---

## SISTEMAS DE TIRANTES

El sistema de tirantes es adecuado para su uso en diferentes aplicaciones como puentes atirantados, puentes en arco, estructuras colgantes, edificios y estructuras con servicios tecnológicos.



# INTRODUCCION

---

TENSA empezó a desarrollar su tecnología para puentes atirantados en los años ochenta del siglo XX.

El primer puente atirantado se construyó en 1988, abriendo las puertas al desarrollo del sistema de tirantes de torones paralelos, anclados individualmente por medio de cuñas y protegidos con resina que encontró su aplicación en el puente sobre el río Garigliano en Formia.

Más adelante, la tecnología con torones protegidos individualmente con cera y vaina de polietileno fue adoptada, encontrando su aplicación más conocida en el singular puente de Erasmus en Rotterdam, Países Bajos, con tirantes de 127 torones de más de 300 metros de longitud.

A lo largo de los años, el progreso constante ha permitido que TENSA permanezca a la cabeza de esta tecnología, resultando en la construcción de más de 50 puentes atirantados, utilizando su sistema de tirantes TSR.

Uno de los más prestigiosos es el puente atirantado sobre el río Po, diseñado para la línea de ferrocarril de alta velocidad de Milán a Bolonia, en Italia. Es el primer ejemplo conocido de este tipo de estructura.

Más adelante, TENSA completó el montaje de los tirantes del puente sobre el río Adige en Italia con tirantes de hasta 169 torones, proporcionando una carga de rotura máxima de más de 47,000 kN.

Se han construido diferentes tipos de puentes atirantados en distintos lugares, y el sistema TSR también ha sido adoptado en los Estados Unidos, India, Oriente Medio además del mercado europeo.

En la actualidad, TENSA está participando directamente en proyectos de puentes atirantados en los cinco continentes.

Como contratista especializado con décadas de experiencia en el campo, el Departamento de Ingeniería de TENSA puede proporcionar todos los servicios relacionados con el diseño, fabricación e instalación, así como el control de los tirantes.

Partiendo del análisis de la estructura completa, se lleva a cabo el diseño de los tirantes, con diseños de taller y especificaciones para la fabricación. Igualmente se preparan los métodos de instalación con la verificación de carga y alargamientos junto a otros servicios de ingeniería.

Soluciones nuevas y personalizadas son creadas continuamente para acomodar diferentes proyectos.

TENSA sigue directamente todas las operaciones de instalación, con su propio personal y equipos especializados que cumplen rigurosamente con el sistema de control de seguridad ISO 9001.

El sistema de tirantes de TENSA puede ser utilizado para diferentes aplicaciones de construcción como:

## **Puentes atirantados**

Se utilizan tirantes para conectar el tablero a los pilonos, permitiendo un aumento considerable de la luz del vano del puente.

## **Puentes en arco**

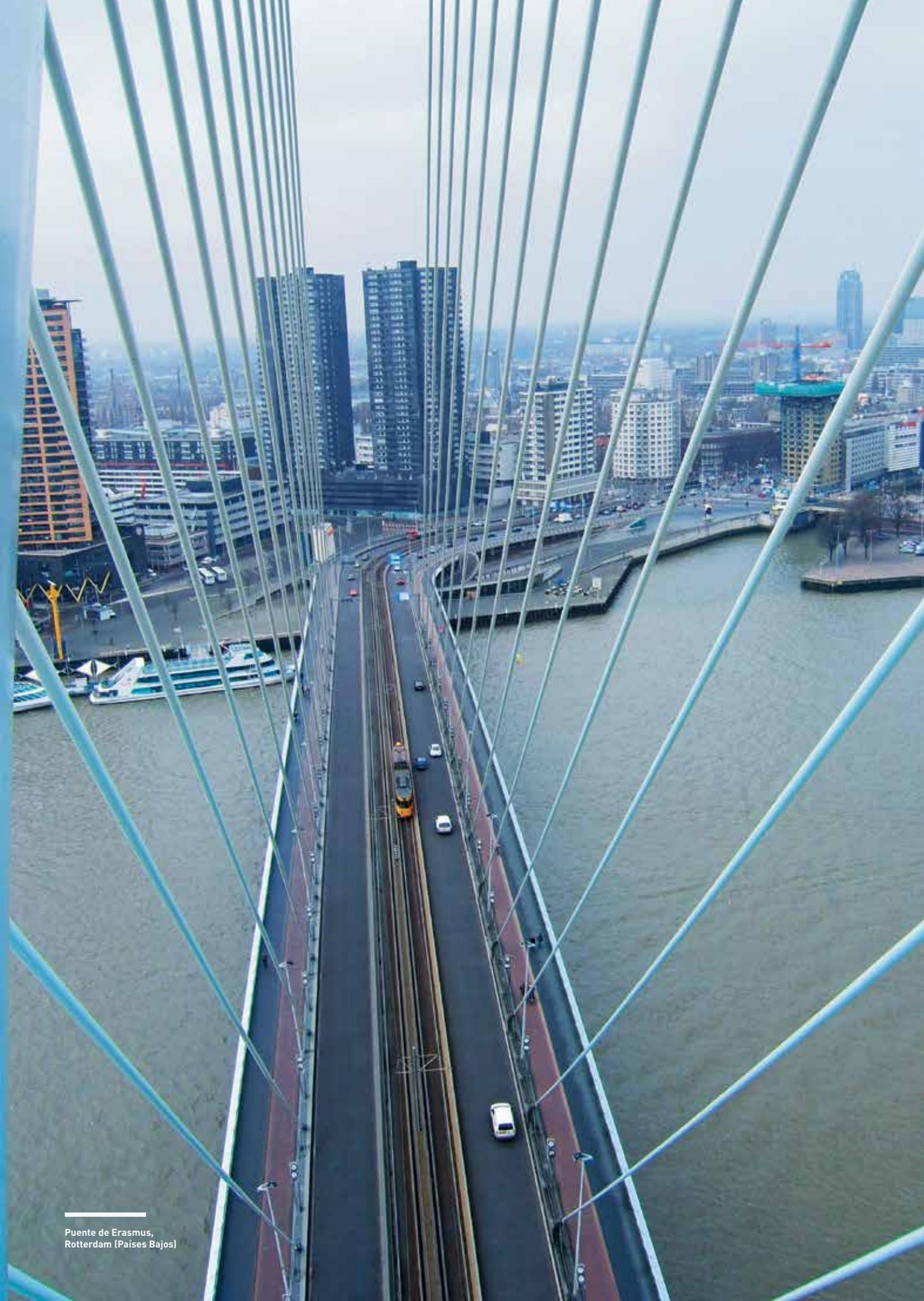
Los tirantes hacen de péndolas verticales o inclinadas conectando el tablero al arco.

## **Estructuras suspendidas**

Cubiertas, pasarelas y bóvedas livianas pueden ser suspendidas fácilmente con tirantes.

## **Edificios y estructuras con servicios tecnológicos**

Torres de telecomunicación, torres para la energía eólica y columnas para anuncios pueden construirse y estabilizarse con tirantes.



---

Puente de Erasmus,  
Rotterdam (Países Bajos)

# SISTEMA DE TIRANTES DE TORONES PARALELOS

---

El sistema de tirantes de TENSA ha sido diseñado y probado para garantizar los niveles de rendimiento más altos, cumpliendo los requisitos más estrictos del mercado.



Puente atirantado en Alves, Bressanone (Italia)

Las ventajas principales se pueden resumir como:

## **Protección contra la corrosión de altas prestaciones, tanto en la zona de anclaje como en la longitud libre de los tirantes**

La protección contra la corrosión se consigue adoptando diferentes capas de protección alrededor del elemento de tensión (por ejemplo torón de acero). Las zonas de anclaje y transición se proporcionan con una protección contra la corrosión de alto rendimiento; los sellos y las conexiones estancas en la longitud de los tirantes garantizan la protección completa y una durabilidad mayor.

## **Gran comportamiento frente a fatiga**

El uso de cuñas de alto rendimiento y de dispositivos de control de flexión situados en la zona de transición de los tirantes proporciona una solución extraordinariamente segura para el rendimiento a largo plazo de los tirantes.

## **Fácil sustitución y mantenimiento**

Un sistema multitorón con diseño modular que permite la sustitución de torones individuales y la fácil inspección de todos los componentes. El sistema satisface la demanda de tecnología sostenible que minimice los costes de mantenimiento y reduzca los desperdicios durante el ciclo de vida del producto.

## **Control de vibraciones de los tirantes**

La combinación de ductos de tamaño compacto equipados con hélices y diferentes tipos de amortiguadores, tanto internos como externos, proporciona una solución adecuada para minimizar el efecto de las vibraciones inducidas por viento y lluvia.

## **Instalación sencilla y eficiente**

Equipos especiales y métodos de instalación, continuamente en evolución, permiten programas flexibles de montaje para satisfacer las demandas del Contratista de tener un número reducido de actividades de montaje de tirantes en el camino crítico.

## **Estética exaltada**

El uso de ductos compactos con variedad de colores, anclajes de formas especiales como horquillas y una variedad de soluciones técnicas para diferentes aplicaciones permiten a los Clientes y Diseñadores crear soluciones elegantes que atraen a todos los usuarios.

## SISTEMA DE TIRANTES TSR

El sistema de tirantes TSR está formado por un conjunto compacto de torones paralelos de acero de siete hilos contenidos en un ducto co-extruido (capas negras y de colores) de polietileno de alta densidad.

Según el principio de modularidad, pueden obtenerse tirantes de varios tamaños, desde los más pequeños (por ejemplo, el 3TSR15), a los más grandes y complejos (por ejemplo, el 169TSR15). Hay disponibles mayores dimensiones bajo pedido.

En la actualidad, el tipo de torón más utilizado tiene un diámetro de 15,7 mm (0,62"), grado 1860 MPa y baja relajación; pero el uso del diámetro 15,2mm (0,6") también es posible. Hay disponibles diferentes tratamientos de protección contra la corrosión como la galvanización de torones individuales, capas de inhibidor de corrosión (cera o grasa) y recubrimiento de polietileno extruido.

Siempre se proporcionan tres barreras de protección en el elemento tensor de acuerdo con las últimas normativas y recomendaciones.



## SISTEMA DE TIRANTES TSRF

Este sistema dispone de todas las principales ventajas del sistema TSR y cuenta además con una conexión de horquilla y bulón que se conecta a una orejeta en la estructura.

Este sistema está disponible con anclajes fijos y ajustables. Es adecuado para todos los puentes atirantados donde hay falta de espacio en el pilón y en la zona de conexión del tablero del puente.

También se usa frecuentemente en estructuras suspendidas donde los cables se usan.

En estas aplicaciones el sistema TSRF se puede instalar con abrazaderas especiales para fijar las péndolas verticales a los cables de suspensión.

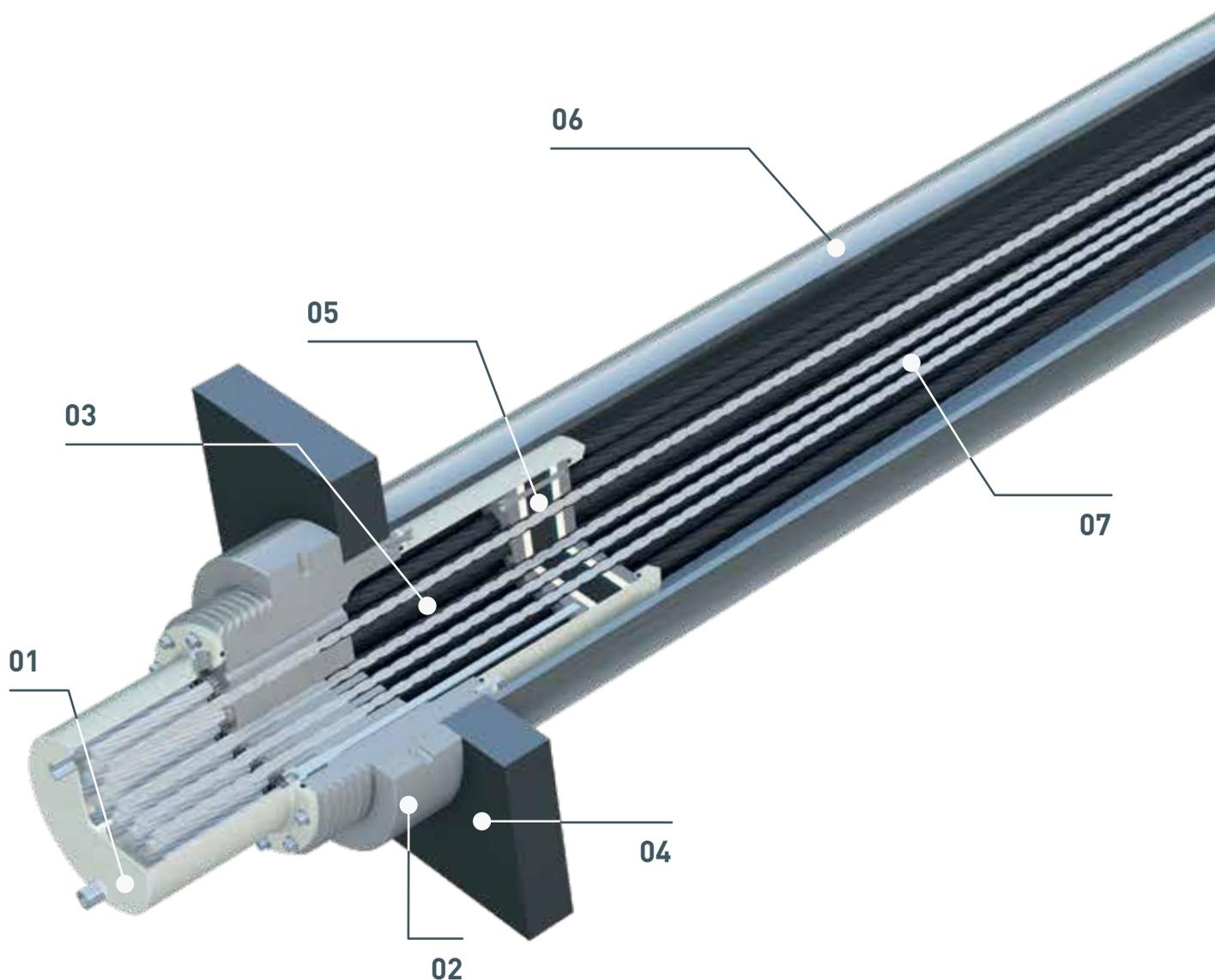


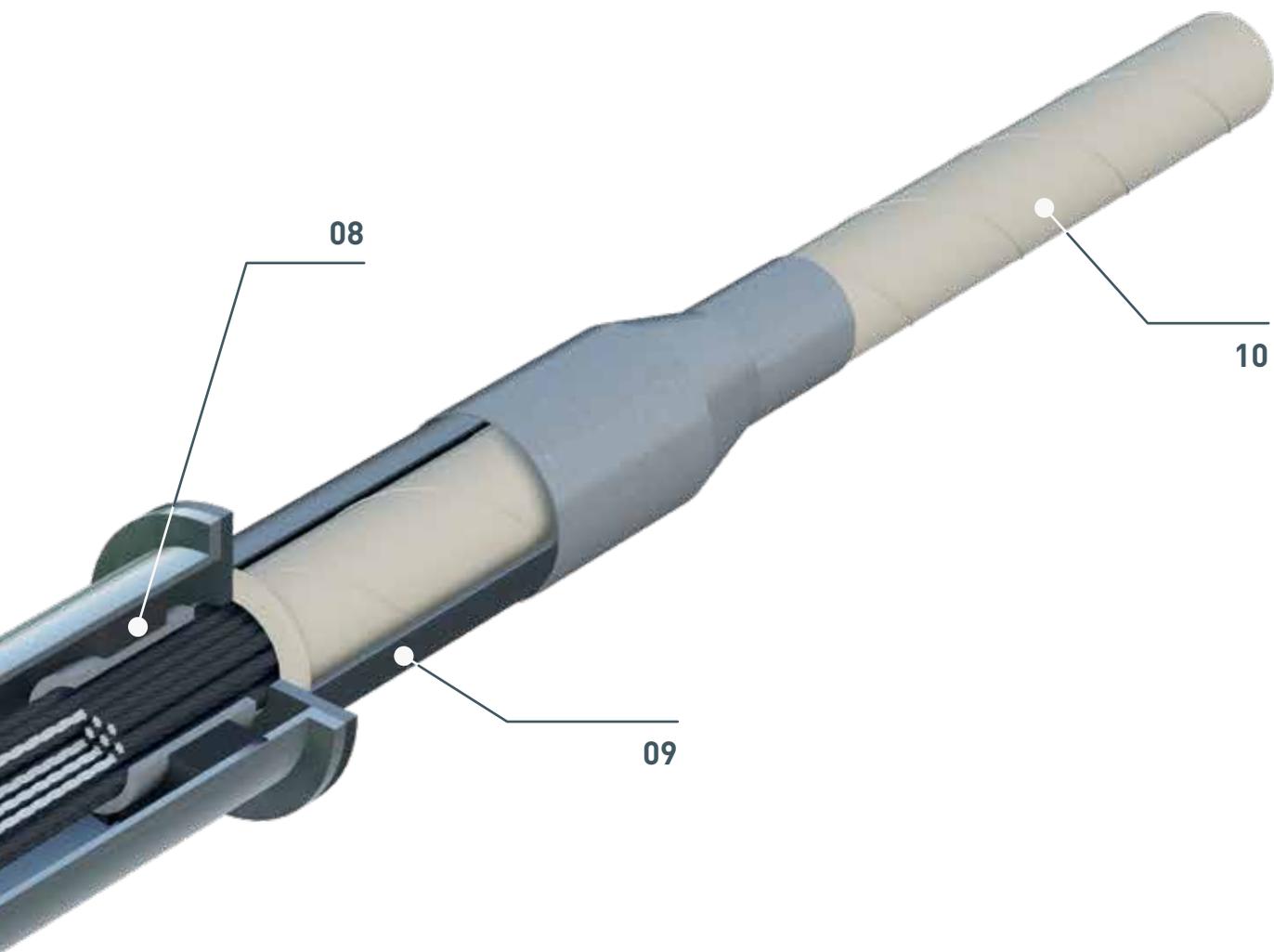
El diseño del sistema y la fabricación de todos sus componentes cumplen con los más estrictos requisitos de las normas internacionales más importantes como el boletín FIB 30 "Aceptación de sistemas de tirantes utilizando aceros de pretensado", PTI "Recomendaciones para el diseño, ensayo e instalación de tirantes" y SETRA (CIP) "Tirantes - Recomendaciones de la comisión interministerial francesa sobre postensado".

# SISTEMA DE TIRANTES TSR

---

El sistema de tirantes TSR se compone de elementos básicos diseñados y combinados para proporcionar la mayor protección ante la corrosión y el mejor rendimiento estructural.





PARTE	DENOMINACION
01	CAPOT DE PROTECCION
02	ANCLAJE AJUSTABLE (TIPO TSRA)
03	COMPUESTO ANTICORROSIVO
04	PLACA DE APOYO
05	CAJA PROTECCION DE CERA
06	TUBO GUÍA
07	TORÓN GALVANIZADO, ENGERADO Y PLASTIFICADO
08	CENTRADOR/AMORTIGUADOR
09	TUBO ANTI VANDALISMO/TELESCÓPICO
10	DUCTO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

# SISTEMA DE SILLETA

---

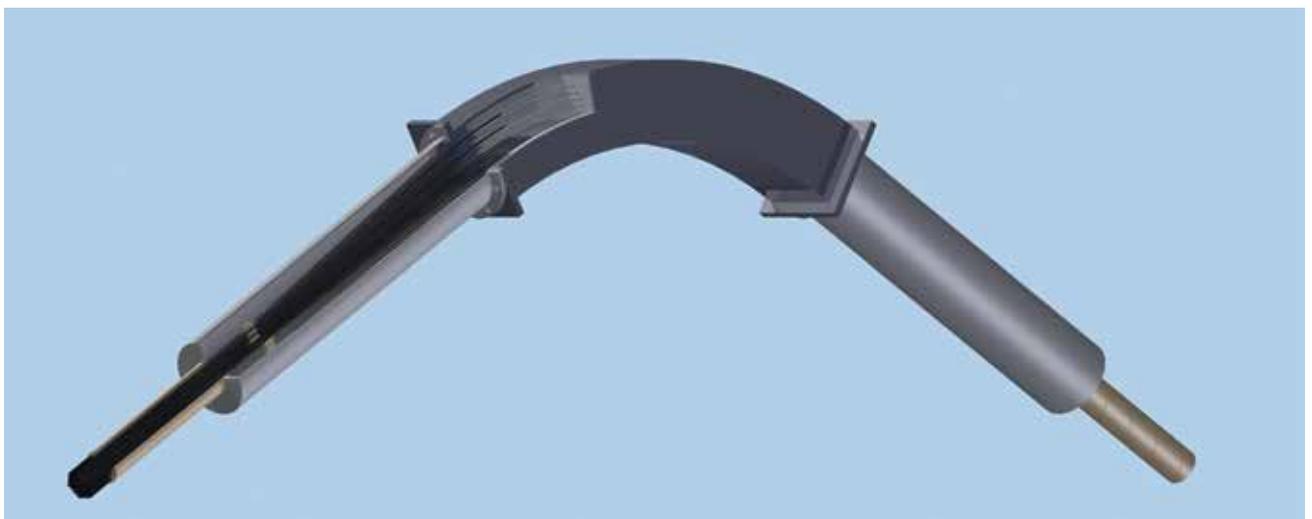
A lo largo de los años TENSA ha estado desarrollando su tecnología para silletas, tanto para puentes atirantados como extradosados, de manera a dar respuesta a los problemas que afectan a los diseños existentes de silletas relacionados con la fatiga, corrosión y sustitución de torones. Una de las mayores ventajas del sistema de silletas TSS es que permite a los diseñadores simplificar la estructura de los pilonos y utilizar secciones muy esbeltas para conseguir un diseño estético.

El sistema usado habitualmente es la silleta TSS-T, donde los torones autoprotectidos se alojan en tubos individuales con la protección adecuada y permiten garantizar fuerzas diferenciales entre cada lado del pilono.

Cada torón se aloja individualmente en un tubo específico, proporcionando las siguientes ventajas:

- **Durabilidad de la protección contra la corrosión,**
- **Enfilado torón a torón,**
- **Resistencia a la fatiga idéntica a la de un anclaje de un tirante estándar.**

Sistema de silleta Tipo TSS-T



Otro tipo de silleta, el tipo TSS-B, compuesto de una caja de acero rectangular rellena de un compuesto de alta resistencia puede ser utilizado si las especificaciones técnicas del proyecto lo permiten. El conjunto completo de torones está adherido al pilono gracias a la alta fricción entre el cable y la silleta. Los cables completos pueden ser sustituidos, mientras que los torones pueden tensarse independientemente durante las fases de instalación.

Un tercer tipo, el sistema TSS-ST, está diseñado como una estructura curvada de acero embebido en el pilono, capaz de acomodar anclajes de tirantes estándar TENSA TSR en ambos extremos.

Las fuerzas diferenciales entre los dos tirantes que conectan a la misma silleta TSS-ST se absorben en la silleta misma, anclada firmemente al pilón; los anclajes se mantienen fuera del pilono.

Los anclajes permanecen accesibles e inspeccionables para cualquier operación de mantenimiento desde el exterior del pilono.

Por ello no hay necesidad de tener acceso en el interior del pilono.

Esta silleta TSS-ST está diseñada y fabricada según los códigos vigentes aplicables a estructuras de acero, por ejemplo Eurocódigo, y no es necesario que sea evaluada mediante ensayos de laboratorio complicados y a menudo poco factibles.



# COMPONENTES DEL TIRANTE

---

## ANCLAJES

Los anclajes tienen que garantizar la correcta transferencia de las cargas de los cables a la estructura.

Así, deben soportar condiciones de carga severas con acciones dinámicas debido al tráfico de vehículos y fuerzas del viento que actúan en la longitud libre del cable.

Han sido diseñados para soportar con seguridad la carga última de ruptura del conjunto de torones y garantizar un rendimiento excelente bajo cargas de fatiga.

Asimismo, han sido diseñados para absorber los esfuerzos de flexión de segundo orden debidos a las tolerancias de construcción y a las rotaciones producto de las cargas dinámicas. Dichos esfuerzos se resisten por medio de un sistema de guiado incluido en el anclaje.

Los torones se fijan en los anclajes con cuñas especialmente diseñadas, ensayadas a fatiga y tracción de acuerdo con los códigos y recomendaciones más exigentes a nivel

internacional. La estanqueidad de los anclajes se ha verificado mediante ensayos realizados a tamaño real.

Hay dos tipos de anclajes disponibles:

**Ajustable** (tipo TSRA o TSRAF), cuenta con una tuerca de regulación y **Fijo** (tipo TSR o TSRF).

Ambos tipos pueden ser utilizados en el pilono o en el tablero, según las necesidades de instalación y del proyecto.

El tensado torón a torón puede realizarse desde un anclaje ajustable o bien el fijo.

Los anclajes ajustables permiten la regulación de cargas cuando es necesario, incluso mientras el puente está en servicio, con un gato de ajuste especial que actúa en la cabeza roscada del anclaje.



## TORONES DE ACERO

Los sistemas de tirantes TENSA usan torones que cumplen las recomendaciones del FIB y del PTI.

Los tirantes generalmente disponen de torones de acero de siete hilos de baja relajación con un diámetro nominal de 15,7 mm (sección transversal de 150 mm<sup>2</sup>) o 15,2 mm (139 mm<sup>2</sup>) y resistencia característica de 1,860 MPa.

Torones de postensado con resistencia nominal más baja también pueden ser utilizados.

Las capas de protección contra la corrosión consideran el uso de cables galvanizados, una capa de inhibidor de corrosión (cera o grasa) y una capa de polietileno co-extruido.

También permite el uso de torones recubiertos de resina epoxi.



## DUCTOS DE TIRANTES

El conjunto de torones está protegido por un ducto de polietileno de alta densidad en toda su longitud libre, proporcionando mayor protección contra agentes externos, incluyendo rayos UVA.

Normalmente los ductos están constituidos de una base negra con una capa co-extruida fina de color.

Se dispone de ensayos de envejecimiento acelerado según los códigos internacionales más estrictos para los colores habitualmente utilizados en los puentes atirantados. De esta manera se garantiza una gran resistencia contra la degradación medioambiental en cualquier ubicación del mundo.

Para poder reducir significativamente el riesgo de vibraciones de los tirantes debido al efecto combinado del viento y la lluvia, los ductos pueden instalarse con la superficie externa con una nervadura helicoidal doble. Esta solución permite la desviación de las corrientes de agua que caen por el cable, evitando el incremento de los fenómenos de inestabilidad por vibraciones. Existen informes que demuestran este rendimiento.

Para puentes atirantados de grandes luces a menudo es necesario reducir las cargas de viento que actúen en los tirantes, y por estas razones el diámetro del cable exterior tiene que reducirse tanto como sea posible.

En estos casos se prefiere escoger un ducto compacto, que reduce significativamente las fuerzas de arrastre.

Esta solución requiere métodos de instalación especiales.

Los ductos externos de acero o acero inoxidable están disponibles bajo pedido.



Ducto estándar



Ducto compacto

# SOLUCIONES PARA EL CONTROL DE VIBRACIONES

---

La mitigación de las vibraciones de los tirantes es muy importante para evitar situaciones de inestabilidad, aumento de desplazamientos y problemas relacionados con la fatiga. Pueden adoptarse varias soluciones para evitar y controlar eventos inesperados relacionados con las vibraciones de los tirantes.

## SUPERFICIE EXTERNA DE LOS DUCTOS

La forma externa de los ductos de los tirantes puede afectar el comportamiento de los tirantes bajo los efectos de la lluvia y el viento.

Se ha verificado que una nervadura helicoidal doble situada en la superficie externa de los ductos puede ser eficaz para disminuir el riesgo de vibraciones, minimizando las fuerzas de arrastre al mismo tiempo.

## DUCTO COMPACTO

El uso de tirantes compactos ayuda a minimizar las fuerzas de arrastre inducidas en los tirantes por el viento. Esta contramedida debería ser adoptada con especial cuidado en caso de los puentes de grandes luces, donde las fuerzas transversales inducidas por el viento también pueden afectar a las conexiones de los tirantes a los pilonos y tableros.

## AMORTIGUADORES

Los tirantes en base a torones paralelos tienen un índice de amortiguación logarítmico intrínseco bajo, en el rango entre 0,5% - 2,5%. Existen diferentes tipos de amortiguadores para conseguir el requerimiento de amortiguación necesario para cada proyecto.

Puede haber amortiguadores internos y externos. La opción por la mejor solución depende del nivel de rendimiento requerido y las condiciones locales del proyecto (geometría, longitud de los tirantes, condiciones de viento).

### Tipo de amortiguador interno TRD (Tens Rubber Damper)

Es el dispositivo más simple que puede utilizarse para mitigar las vibraciones de tirantes, utiliza un anillo de elastómero de alta amortiguación para disipar la energía de las vibraciones. Se coloca en el extremo de la zona de transición, cerca del extremo del tubo guía, permitiendo un fácil acceso para las actividades de mantenimiento. Se utiliza principalmente en tirantes medianos-cortos.

### Amortiguador interno tipo TFVDi (Tens Fluid Viscous Damper - internal)

Se trata de amortiguadores para ser utilizados en tirantes medianos-largos.

Consiguen el objetivo de amortiguar diferentes amplitudes de vibraciones en un amplio rango de frecuencias, evitando el aumento de oscilaciones visibles (desagradables cuando se observan) y la consecuente posibilidad de daños peligrosos inducidos por la fatiga. Se instalan dentro de la sección interna del tirante, al final de la zona de transición y pueden ser inspeccionados y mantenidos fácilmente.

### Amortiguador externo tipo TFVDe (Tens Fluid Viscous Damper - external)

Cuando los tirantes largos requieren una cantidad considerable de energía para disipar las vibraciones, es preferible el uso de amortiguadores externos.

Los amortiguadores conectan los tirantes a estructuras rígidas de acero colocadas en el tablero. De esta manera se dispone de una mayor carrera y mayor capacidad de amortiguación.

Los amortiguadores pueden estar hechos de uno o dos dispositivos individuales. Este tipo de solución es capaz de cumplir los requerimientos de amortiguación más exigentes, muy por encima de los índices de amortiguación logarítmicos mínimos necesarios en obra (6% y más). Existen modelos de cálculo adecuados para determinar las propiedades (factor de amortiguación, carga, carrera, etc) para cada tirante en un proyecto específico y sus condiciones de obra relevantes.

## CABLES CRUZADOS

En casos especiales donde la inestabilidad es un problema, puede ser necesario instalar cables cruzados, colocados en el plano vertical de los tirantes. Actúan para poder aumentar la frecuencia natural de los tirantes y el umbral de velocidad del viento que desencadena los fenómenos de inestabilidad.

En cualquier caso es importante resaltar las dificultades de instalación y mantenimiento de esta opción que solo es eficiente en el plano vertical.



# OPCIONES ADICIONALES

---

Todos los sistemas de tirantes de TENSA pueden ser suministrados (si es necesario) con las siguientes opciones adicionales:

## Monitoreo

El monitoreo de los tirantes es importante durante la construcción del puente, así como en servicio y es crítico en muchos casos.

Se pueden monitorear varios parámetros para recoger datos que ayudan en:

- La validación de las hipótesis de diseño y construcción para mejorar las técnicas de construcción;
- Detección de posibles daños y de comportamientos no previstos;
- Desarrollo de métodos de mantenimiento eficientes.
- Reducción de los costes de mantenimiento durante la vida de las estructuras.

Las cargas pueden monitorearse mediante el uso de células de carga permanentes situadas en los anclajes.

Las células de carga pueden ser tipo monotorón, donde la célula de carga se sitúa en un solo torón del anclaje, proporcionando la carga completa del tirante por extrapolación de la carga de un solo torón. También pueden ser anulares, situándose entre la tuerca del anclaje ajustable y la placa de anclaje y proporcionando lecturas de la carga que actúa sobre todo el tirante. Todas las células de carga están diseñadas para minimizar la sensibilidad a cargas y superficies de apoyo inusuales y pueden ser conectadas a un sistema de adquisición de datos, proporcionando un conjunto de lecturas tomadas en diferentes células.

Este método de monitoreo completo de todos los tirantes puede realizarse proporcionando el estado en tiempo real del puente durante su vida útil.

Los sistemas de control de vibración pueden ser instalados con acelerómetros colocados directamente sobre los tirantes o a través de sistemas innovadores de detección por radar, que permiten la detección de cargas, amplitudes de vibración y frecuencias a través de dispositivos interferométricos por radar. Este último sistema garantiza lecturas correctas que proporcionan resultados precisos y fiables sin necesidad de realizar muchas actividades en obra.

## Protección contra fuego

Los tirantes pueden estar equipados con diferentes sistemas de protección contra fuego en su parte cercana al tablero, especialmente en puentes donde hay una mayor exposición al riesgo de fuego debido a un mayor tráfico de vehículos.

## Protección con tubos antivandalismo

Donde haya un mayor riesgo de daños causados por actos de vandalismo y otros eventos, los tubos de acero antivandalismo, hechos de una o más carcasas, pueden ser instalados. Los tubos de acero inoxidable también pueden ser una solución atractiva.

## Sistemas de iluminación

Se pueden instalar sistemas de iluminación especiales que proporcionan una iluminación estéticamente atractiva de los tirantes, cumpliendo con los requisitos arquitectónicos, que por supuesto no afecta a la función ni la instalación de los tirantes.



Puente atirantado de Santa Apolonia, Lisboa (Portugal)

---

Puente atirantado  
sobre el río Belbo,  
Nizza Monferrato (Italia)



---

Puente atirantado de Favazzina en Sicilia (Italia)



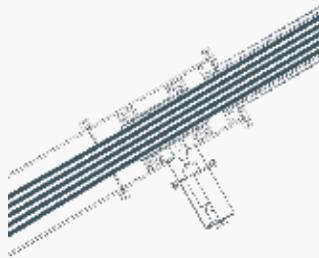
---

# 03

---

## DESARROLLO DE PRODUCTOS Y ENSAYOS

A lo largo de los años los sistemas de tirantes han sido sometidos a un proceso continuo de mejora para satisfacer las demandas más exigentes del mercado y la necesidad de productos con mayor rendimiento, todo ello verificado mediante la realización de ensayos.



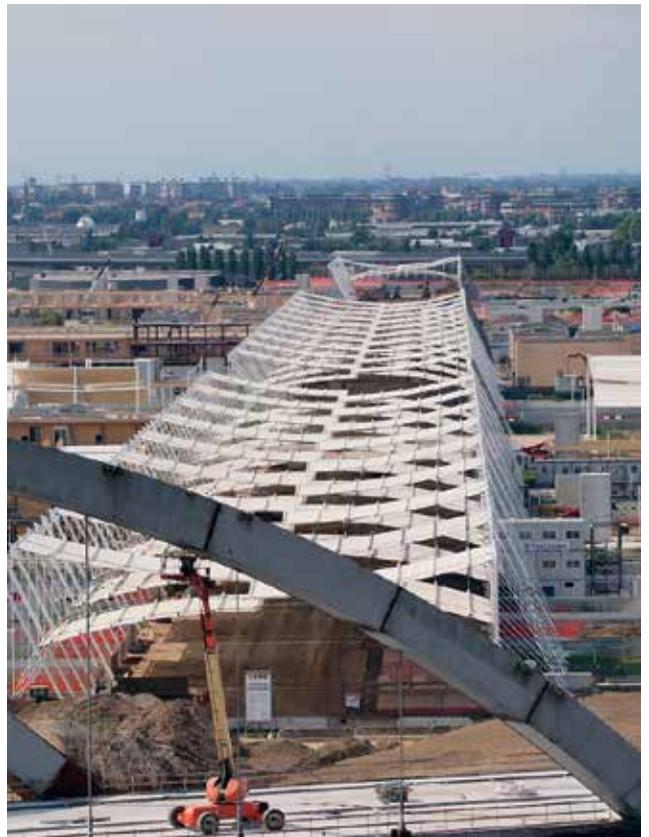
# DESARROLLO DE PRODUCTOS

---

El desarrollo de productos se ha realizado durante años para cumplir los requisitos especiales de cada proyecto y para introducir los sistemas de tirantes en nuevos campos de aplicación. Desde simples pasarelas peatonales, los tirantes han sido mejorados para ser utilizados con éxito en puentes atirantados, donde se aplicaban especificaciones muy estrictas. Los sistemas también han sido actualizados para satisfacer la demanda de aislamiento eléctrico, mayor protección contra la corrosión y uso de aplicaciones en puentes de ferrocarril de alta velocidad. Se han desarrollado nuevos sistemas específicamente para ser utilizados en puentes suspendidos, donde tanto los cables de suspensión como las péndolas verticales están constituidos de torones paralelos protegidos adecuadamente contra la corrosión.

Se han introducido abrazaderas especialmente diseñadas para permitir la conexión entre diferentes cables y propagar el uso de sistemas de tirantes en estructuras en suspensión. La nueva generación de anclajes tipo TSRF cumple este requisito de uso dentro de una gama variada de aplicaciones como puentes y estructuras suspendidas.

Otra mejora la constituye el diseño de un sistema para que pueda ser usado en conjunto con cables principales en base a torones recubiertos de epoxi, se trata de una buena solución para los puentes suspendidos por ejemplo.



Estructuras suspendidas en la Exposición Universal EXPO 2015 de Milán (Italia)

Puente suspendido en Chihani, Wilaya El Tarf (Algeria)



# ENSAYOS

---

Se realizan continuamente campañas de ensayos para validar el desarrollo del producto.

Los ensayos se llevan a cabo, no solo en tirantes montados a escala real, sino también en componentes individuales, como cuñas, anclajes y amortiguadores.

Se han realizado ensayos utilizando torones de acero de diámetro de 15,7 y 15,2 mm, con clase 1860 MPa.

Las pruebas de fatiga al 45% GUTS con un rango de esfuerzo de 200 MPa y cuñas inclinadas de 10 mrad en los anclajes han sido realizadas en el sistema de tirantes TSR a escala completa y para unidades pequeñas, medianas y grandes. Estos anclajes también han sido sometidos a pruebas de tensión hasta rotura.

Las pruebas de fatiga por flexión con desplazamiento transversal aplicadas en la longitud libre del tirante y las pruebas de tensión hasta rotura consiguientes se han realizado también en unidades grandes de tirantes TSR.

Las pruebas de tensión axial desviadas se han realizado en el sistema TSRF introduciendo esfuerzos complementarios inducidos por las abrazaderas en aplicaciones de estructuras suspendidas.

Se han realizado pruebas de estanqueidad en muestras a escala real según las recomendaciones PTI (tirantes sumergidos en agua a temperatura ambiente después de las pruebas de fatiga) y SETRA (CIP) (tirante bajo 1000 ciclos de fatiga transversal y ciclos de temperatura en el agua de 50°C a lo largo de seis semanas).

Las pruebas se han realizado en laboratorios internacionales independientes de acuerdo a recomendaciones internacionales como PTI "Recomendaciones de Tirantes para Ensayos e Instalación de Diseño de Tirantes", Boletín FIB 30 "Aceptación de sistemas de cables utilizando aceros de pretensado" y SETRA (CIP) "Tirantes - Recomendaciones de la comisión interministerial francesa sobre pretensado".



---

Puente en arco sobre  
el canal Twente,  
Eefde ( Países Bajos)



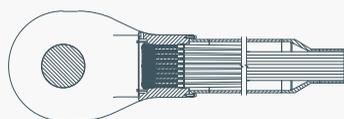
---

# 04

---

## PROPIEDADES Y DIMENSIONES DEL SISTEMA

Un resumen de todas las propiedades  
y dimensiones  
incluidas en tablas para cada sistema



# CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL SISTEMA DE TIRANTES DE TORONES PARALELOS

Nº de TORONES	AREA	PESO	CARGA NOMINAL	MÁXIMA CARGA	MÁXIMA CARGA
	DE ACERO <sup>(1)</sup>	NOMINAL <sup>(1)</sup>	DE ROTURA <sup>(1)</sup>	DE TRABAJO <sup>(2)</sup>	DE TRABAJO <sup>(3)</sup>
	A <sub>p</sub> [mm <sup>2</sup> ]	M [kg/m]	F <sub>pk</sub> [kN]	50% F <sub>pk</sub> [kN]	60% F <sub>pk</sub> [kN]
2	300	2.34	558	279	335
4	600	4.69	1 116	558	670
7	1 050	8.20	1 953	977	1 172
12	1 800	14.06	3 348	1 674	2 009
19	2 850	22.27	5 301	2 651	3 181
27	4 050	31.64	7 533	3 767	4 520
31	4 650	36.33	8 649	4 325	5 189
37	5 550	43.36	10 323	5 162	6 194
43	6 450	50.40	11 997	5 999	7 198
55	8 250	64.46	15 345	7 673	9 207
61	9 150	71.49	17 019	8 510	10 211
73	10 950	85.56	20 367	10 184	12 220
91	13 650	106.65	25 389	12 695	15 233
109	16 350	127.75	30 411	15 206	18 247
127	19 050	148.84	35 433	17 717	21 260
169	25 350	198.07	47 151	23 576	28 291

Cuando los torones se utilizan según ASTM A416, los valores especificados anteriormente deben ser reducidos consecuentemente

(1) Basándose en la especificación de torones de acero prEN 10138-3

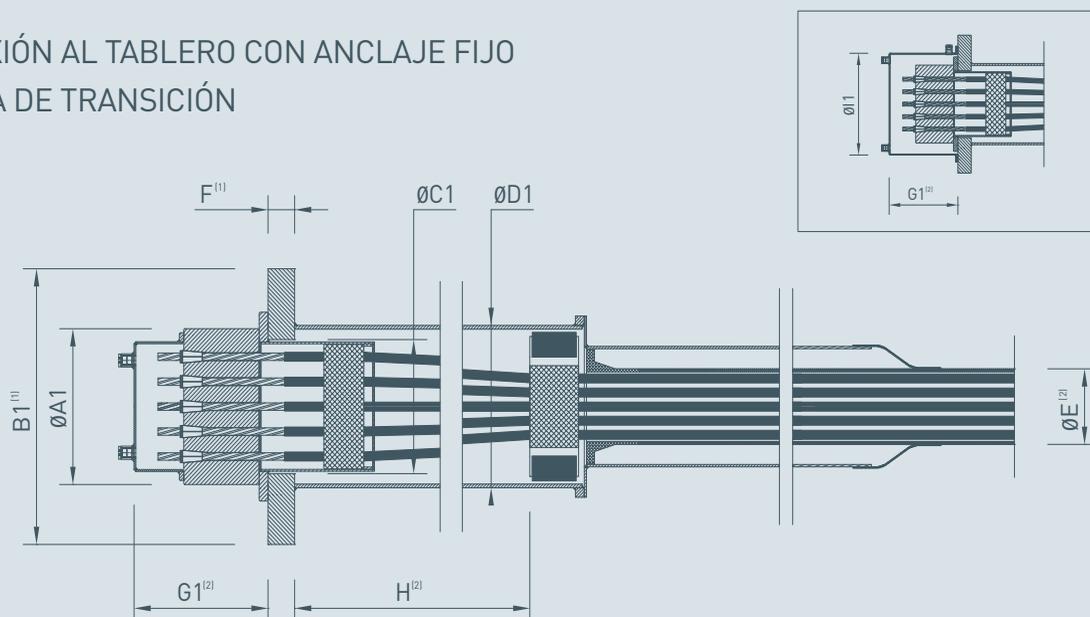
(2) Esfuerzo de servicio máximo recomendado para tirantes según el boletín FIB 30 y Setra

(3) Esfuerzo de servicio máximo recomendado para puentes extradados según Setra



# SISTEMA TSR

## CONEXIÓN AL TABLERO CON ANCLAJE FIJO Y ZONA DE TRANSICIÓN



Dimensiones principales (utilizando torón de acero de diámetro 15,7 mm y grado 1,860 MPa)

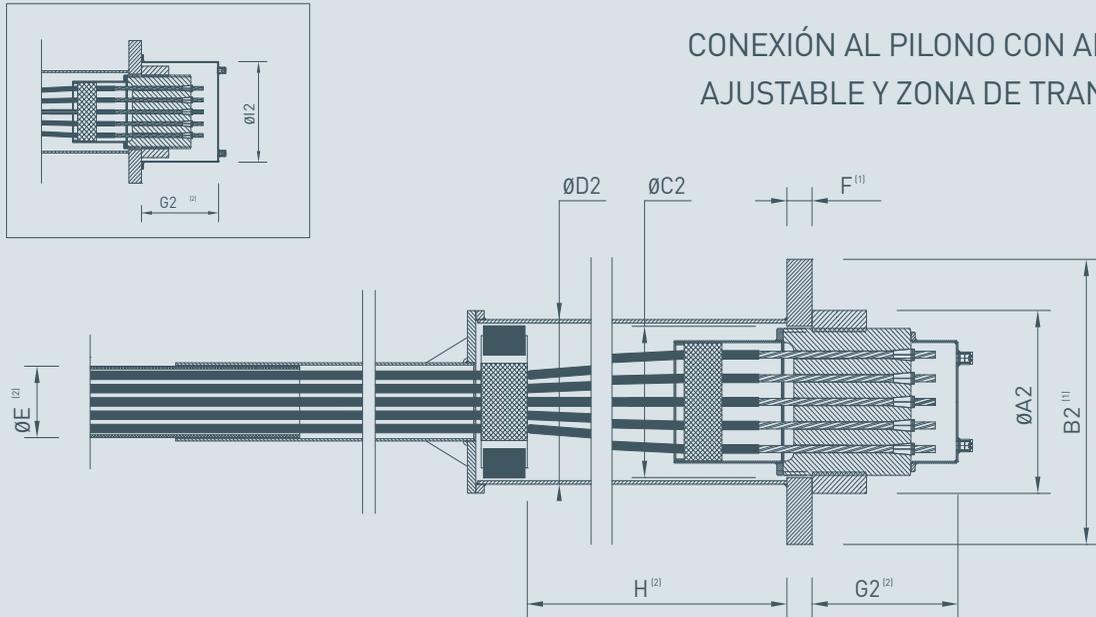
Nº de TORONES	ØA1 [mm]	B1 <sup>(1)</sup> [mm]	ØC1 [mm]	ØD1 [mm]	ØE		F <sup>(1)</sup> [mm]	G1 <sup>(2)</sup> [mm]	H		Ø11 [mm]
					ESTÁNDAR [mm]	COMPACTO [mm]			ESTÁNDAR [mm]	COMPACTO [mm]	
4	130	280	100	127	63	63	20	285	460	610	190
7	150	300	122	152.4	75	63	30	295	580	790	210
12	190	375	160	193.7	110	110	40	300	910	1 250	255
19	225	390	180	219.1	125	110	50	320	1 010	1 420	290
27	260	410	217	254	160	140	60	390	1 330	1 860	330
31	275	415	230	267	160	140	70	400	1 330	1 860	345
37	280	430	237	273	180	160	80	410	1 460	2 070	355
43	320	475	267	305	200	180	80	425	1 660	2 360	400
55	335	475	282	323.9	200	180	90	445	1 770	2 490	425
61	360	550	305	355.6	225	200	100	475	1 920	2 730	445
73	390	590	325	368	250	225	100	525	2 080	2 950	475
91	425	650	365	419	280	250	120	555	2 330	3 340	525
109	450	700	380	431.8	280	250	125	585	2 500	3 560	550
127	500	750	425	482.6	315	280	130	615	2 800	4 010	600
169	570	900	485	558.8	400	315	145	655	3 220	4 620	680

Tamaños adicionales disponibles bajo pedido

(1) Si el anclaje descansa en hormigón con  $f_{ck} = 45$  MPa y considerando 45% de  $F_{pk}$

(2) Valores sujetos a variaciones según las especificaciones de cada proyecto

## CONEXIÓN AL PILONO CON ANCLAJE AJUSTABLE Y ZONA DE TRANSICIÓN



Nº de TORONES	ØA2 [mm]	B2 <sup>(1)</sup> [mm]	ØC2 [mm]	ØD2 [mm]	E <sup>(2)</sup>		F <sup>(1)</sup> [mm]	G2 <sup>(2)</sup> [mm]	H		Ø12 [mm]
					ESTÁNDAR [mm]	COMPACTO [mm]			ESTÁNDAR [mm]	COMPACTO [mm]	
4	160	300	140	168.3	63	63	20	325	430	580	190
7	180	340	160	193.7	75	63	30	345	550	760	210
12	220	440	200	229	110	110	40	345	860	1 200	250
19	280	450	235	267	125	110	50	360	960	1 370	310
27	320	480	270	305	160	140	60	380	1 280	1 810	350
31	330	500	285	323.9	160	140	70	390	1 280	1 810	360
37	345	500	290	323.9	180	160	80	400	1 410	2 020	375
43	390	560	330	368	200	180	80	435	1 610	2 310	420
55	410	560	345	394	200	180	90	450	1 720	2 440	445
61	440	610	370	419	225	200	100	450	1 870	2 680	475
73	475	650	400	445	250	225	100	470	2 030	2 900	510
91	520	700	435	482.6	280	250	120	505	2 280	3 290	555
109	545	740	460	508	280	250	125	540	2 400	3 460	580
127	600	800	510	558.8	315	280	130	580	2 700	3 910	640
169	680	900	580	635	400	315	145	670	3 120	4 520	720

Tamaños adicionales disponibles bajo pedido

(1) Si el anclaje descansa en hormigón con  $f_{ck} = 45$  MPa y considerando 45% de  $F_{pk}$

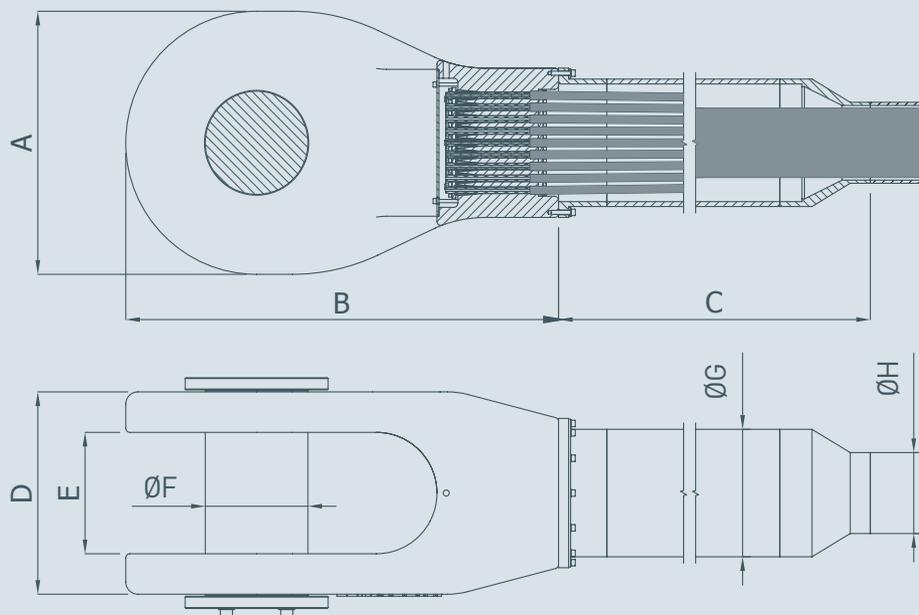
(2) Valores sujetos a variaciones según las especificaciones de cada proyecto

Viaducto sobre el muelle VII, Trieste (Italia)



# SISTEMA TSRF

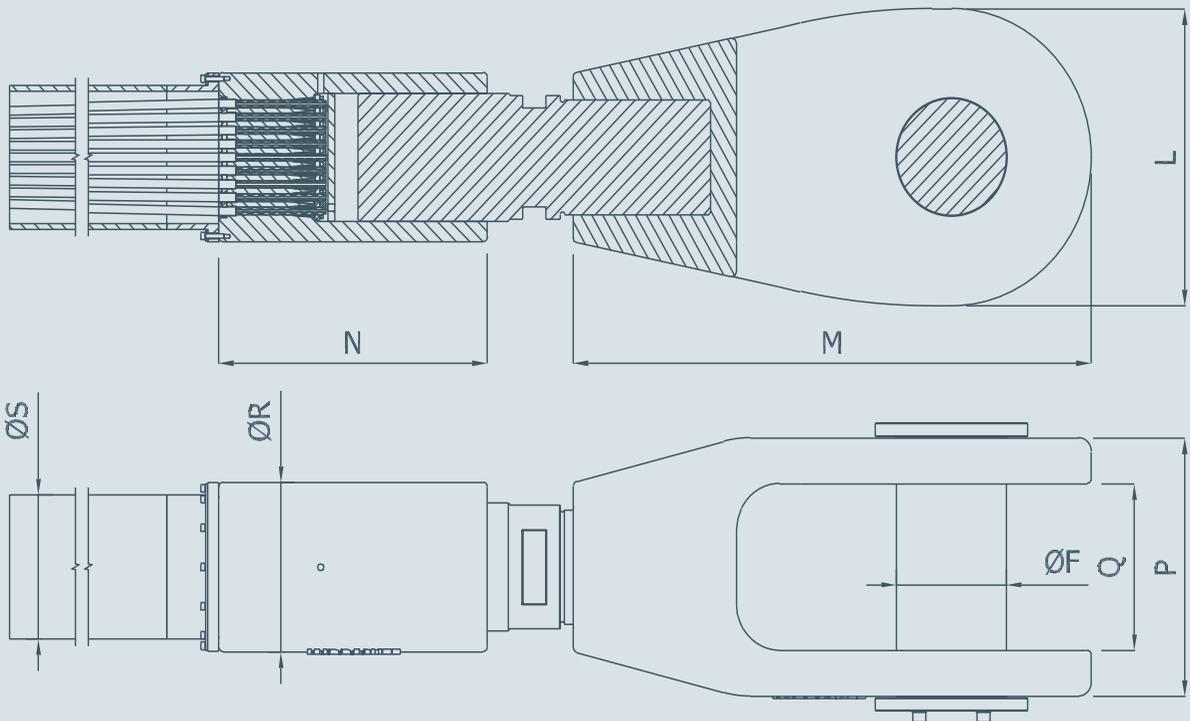
## HORQUILLA FIJA



Nº de TORONES	A [mm]	B [mm]	C [mm]	D [mm]	E [mm]	ØF [mm]	ØG [mm]	ØH [mm]
2	110	285	400	80	56	44	63	50
4	135	325	650	120	84	54	110	63
7	180	390	900	145	105	72	110	63
12	240	470	1300	230	180	89	140	110
19	300	560	1600	300	240	119	160	110
31	410	670	2100	360	280	158	200	140
37	440	750	2100	360	280	173	225	160
43	510	890	2400	430	290	198	250	180
61	650	1075	2800	500	300	255	315	200

Tamaños adicionales disponibles bajo pedido

## HORQUILLA REGULABLE



Nº de TORONES	L [mm]	M [mm]	N [mm]	P [mm]	Q [mm]	ØF [mm]	ØG [mm]	ØH [mm]
2	115	220	175	115	85	44	115	63
4	135	275	185	125	89	54	125	110
7	160	360	240	155	115	72	155	110
12	240	420	300	210	160	89	185	140
19	300	510	340	280	200	119	225	160
31	410	650	420	350	250	158	280	200
37	440	760	450	370	270	173	300	225
43	520	920	530	450	310	198	330	250
61	650	1200	625	565	365	255	370	315

Tamaños adicionales disponibles bajo pedido



---

Puente atirantado sobre el río Sangone, Giaveno (Italia)



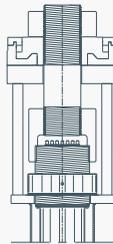
---

# 05

---

## INSTALACIÓN

Nuestro personal se encarga de las distintas fases de instalación, gracias a la experiencia de décadas en obras y a métodos de montaje específicos.



# INSTALACIÓN

---

La instalación tiene un papel crítico en el rendimiento adecuado de los sistemas. Décadas de experiencia y equipos especializados formados son la clave para un buen rendimiento.



La instalación de los sistemas TSR/TSRF se realiza en obra por técnicos experimentados de TENSA en todo el mundo. Nuestros equipos se ocupan de todas las fases, gracias a la experiencia de décadas en obras y a métodos de montaje específicos.

La instalación se lleva a cabo generalmente torón a torón, mediante equipos de instalación livianos especialmente diseñados.

Las operaciones preliminares consisten en el soldado de los ductos de polietileno y el corte de los torones sobre bancos especiales, usando una devanadora, para así cortar los torones a la medida correcta.

Con los anclajes colocados en el pilono y el tablero, el ducto se eleva con la grúa torre o un cabrestante y se enfila el primer torón, siguiendo una secuencia predefinida.

El tensado se lleva a cabo a medida que se enfilan uno a uno los torones, mediante el uso de un gato especial monotorón TENSA, equipado con un sistema de medición de carga y alargamiento.

Este paso se lleva a cabo utilizando el principio de iso-elongación: el tensado se lleva a cabo comparando las marcas de posición indicadas sobre los torones, garantizando que la misma carga actúe sobre cada torón del conjunto.

Cuando el tirante completo ya está instalado, se pueden retensar los torones con el gato monotorón.

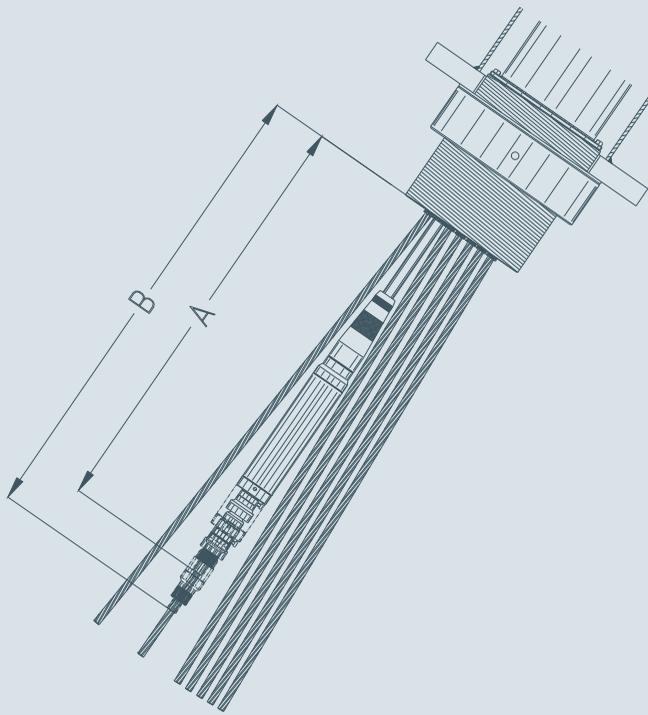
Se realizan pequeñas regulaciones finales con el uso de un gato de ajuste TENSA, actuando directamente sobre el anclaje ajustable y girando la tuerca a su posición final.

Cuando las operaciones de tensado se hayan completado, se llevan a cabo las inyecciones y cierres finales.

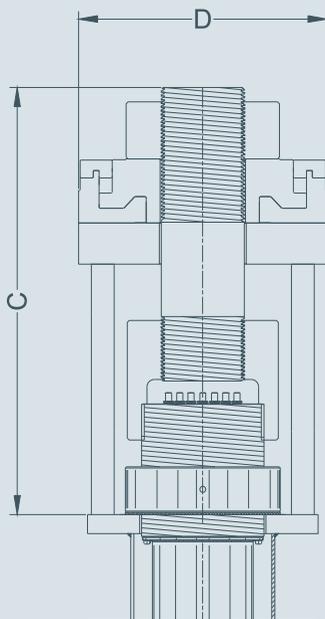
La instalación también se puede llevar a cabo con tirantes prefabricados dependiendo de las condiciones de la obra y las necesidades de la construcción.

El ajuste de cargas en los tirantes, la sustitución individual de torones o de tirantes completos puede realizarse en cualquier momento con un impacto reducido en el funcionamiento de la estructura.

Puente atirantado sobre el río Kwanza, Barra do Kwanza (Angola)



TIPO DE	A (MIN)	B (CARRERA MAX)
GATO	[mm]	[mm]
<b>PTP 140</b>	<b>510</b>	<b>550</b>
<b>PTP 150</b>	<b>970</b>	<b>1015</b>



Nº de TORONES	D	C <sub>MAX</sub>
	[mm]	[mm]
<b>4 - 7 - 12</b>	<b>425x425</b>	<b>950</b>
<b>19-31-37-42-55</b>	<b>585x585</b>	<b>1165</b>
<b>61</b>	<b>650x650</b>	<b>1165</b>
<b>73</b>	<b>705x705</b>	<b>1295</b>
<b>91</b>	<b>750x750</b>	<b>1320</b>
<b>127 - 169</b>	<b>950x950</b>	<b>1850</b>

---

Puente atirantado sobre el río Adige, Piacenza d'Adige (Italia)





# TENSA AROUND THE WORLD

---

## TENSA HEADQUARTERS

TENSA - HEAD OFFICE  
Via Pordenone, 8  
20132 Milano - ITALY  
T +39 02 4300161  
F +39 02 48010726  
[mail@tensainternational.com](mailto:mail@tensainternational.com)

TENSA - ROME OFFICE  
Via Cremona, 15b  
00161 Roma - ITALY  
T +39 06 8084621  
F +39 06 8085427  
[mail@tensainternational.com](mailto:mail@tensainternational.com)

TENSA - WORKSHOP  
Via Buttrio, 36  
33050 Pozzuolo del Friuli (UD) - ITALY  
T +39 0432 6071  
[mail@tensainternational.com](mailto:mail@tensainternational.com)

## BRANCHES

TENSA AMERICA LLC  
1111 Kane Concourse, S.te 200  
Bay Harbor Island - 33154 FL  
T +1 305 8669917  
[mail@tensaamerica.com](mailto:mail@tensaamerica.com)  
[www.tensaamerica.com](http://www.tensaamerica.com)

TENSA INDIA  
Private LTD, India  
K-71, Lokmanya Pan Bazar,  
Chunabhatti,  
Mumbai 400021  
M + 91 98 70793974  
[www.tensaindia.com](http://www.tensaindia.com)

TENSA RUSSIA  
5th Yamskogo Polya Street, 5  
Bldg 1, 16th Floor  
125040 Moscow  
T +7 495 2300024  
[mail@tensarussia.com](mailto:mail@tensarussia.com)  
[www.tensarussia.com](http://www.tensarussia.com)





**TENSA PORTUGAL**

Constr. Civil e Obras Publicas  
Rua Eng. Frederico Ulrich, 3210-3  
Sala 314  
4470-605 Moreira da Maia  
T +351 229416633  
F +351 229415151  
[mail@tensainternational.com](mailto:mail@tensainternational.com)  
[www.tensainternational.com](http://www.tensainternational.com)

**TENSA AUSTRALIA**

Level 1, 488 Botany Road  
Alexandria, NSW 2015  
T +61 2 8332 6151  
F +61 2 8332 6101  
[mail@tensainternational.com](mailto:mail@tensainternational.com)  
[www.tensainternational.com](http://www.tensainternational.com)

**TENSA MIDDLE EAST**

RAKIA Business Center 5  
Building A4, floor 12, office 1209  
T +971 72432888  
[mail@tensainternational.com](mailto:mail@tensainternational.com)  
[www.tensainternational.com](http://www.tensainternational.com)



**TENSA**

**Via Pordenone, 8  
20132 Milano, Italy**

**T +39 02 4300161**

**F +39 02 48010726**

**mail@tensainternational.com**

**www.tensainternational.com**