

# ■ Refuerzo de edificios de piedra





# El grupo Freyssinet

Freyssinet reúne **un conjunto de experiencias sin parangón en el sector de la ingeniería civil especializada**. La empresa aplica soluciones de gran valor añadido en dos áreas clave: la construcción y la reparación.

Freyssinet participa en numerosos proyectos en los cinco continentes, lo que le sitúa a la cabeza mundial en sus especialidades:

- pretensado;
- métodos de construcción;
- estructuras con cables;
- equipamientos de obras;
- reparación; y
- refuerzo y mantenimiento de estructuras.

Freyssinet está plenamente comprometida con las cuestiones relativas al desarrollo sostenible y, en este sentido, multiplica sus acciones, en especial aquellas iniciativas orientadas a reducir el impacto medioambiental de las obras, o a reforzar su política de responsabilidad social.

Freyssinet es una filial del grupo Soletanche Freyssinet, líder mundial en estructuras y suelos, así como en el sector nuclear.

*Fotografías de la portada:  
Abadía de Hambye, Francia*

**Gracias a los sesenta años de experiencia acumulada en el refuerzo de estructuras, Freyssinet, empresa general de trabajos especializados, pone su conocimiento técnico y saber hacer al servicio de sus clientes para reforzar sus estructuras de piedra.**

Con las soluciones Foreva® Piedra, Freyssinet estabiliza cimientos, refuerza la mampostería y consolida las estructuras, minimizando las intervenciones que puedan repercutir en la valiosa autenticidad de los elementos antiguos.

Los edificios de piedra se deforman, fracturan y/o fisuran debido a entre otros, asientos del terreno, pandeo de la estructura, pérdida de cohesión de la mampostería, empuje de los arcos... Sea cual sea el origen de la patología, suele traducirse en descompresiones de la mampostería, que en ocasiones alcanzan a provocar tracciones y/o esfuerzos cortantes excesivos.

Freyssinet asesora a sus clientes desde la fase de diseño del proyecto de refuerzo y estudia soluciones a medida en coordinación con el arquitecto encargado de la rehabilitación, aportando:

- Medidas de conservación.
- Asistencia en el diagnóstico.
- Asesoramiento durante los estudios de ingeniería de la estructura del edificio antiguo.
- Asistencia para la definición de la estrategia de consolidación.
- Ejecución de las obras de refuerzo.



*Reparación local del techo, Panteón (Francia)*

## Índice

|  |     |
|--|-----|
| Soluciones Foreva® para reforzar los edificios | p.3 |
| Refuerzos pasivos internos                     | p.4 |
| Refuerzos pasivos externos                     | p.6 |
| Refuerzos activos                              | p.7 |

# SOLUCIONES FOREVA® PARA REFORZAR LOS EDIFICIOS

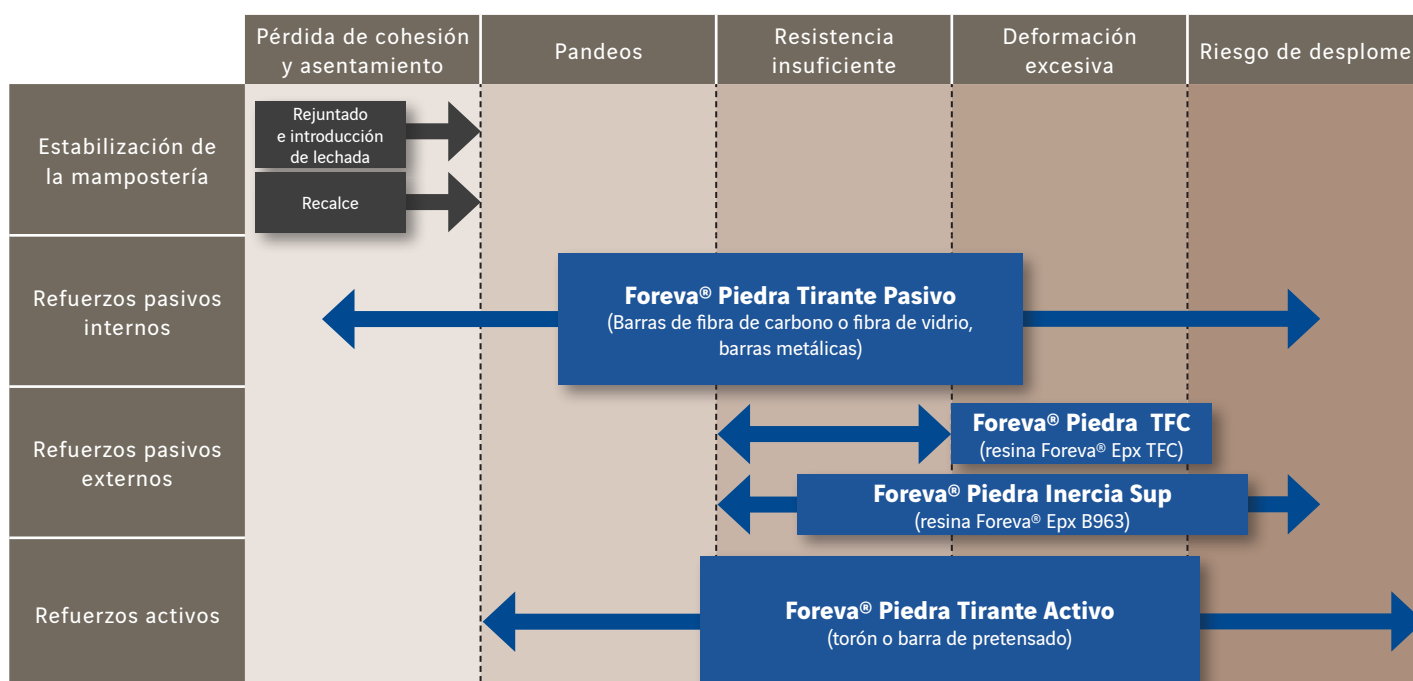
Las soluciones Foreva® Piedra permiten reparar y reforzar las estructuras de piedra sea cual sea la gravedad de los daños que presentan:

- pérdida de cohesión y asentamiento;
- pandeos;
- resistencia insuficiente;
- deformaciones excesivas; y
- fuertes empujes laterales.

El diseño de las soluciones Foreva® Piedra permite reforzar la mampostería por medio de:

- refuerzos pasivos internos;
- refuerzos pasivos externos; y
- refuerzos activos pretensados.

Como complemento, Freyssinet también se encarga de la consolidación de juntas y cimentación.

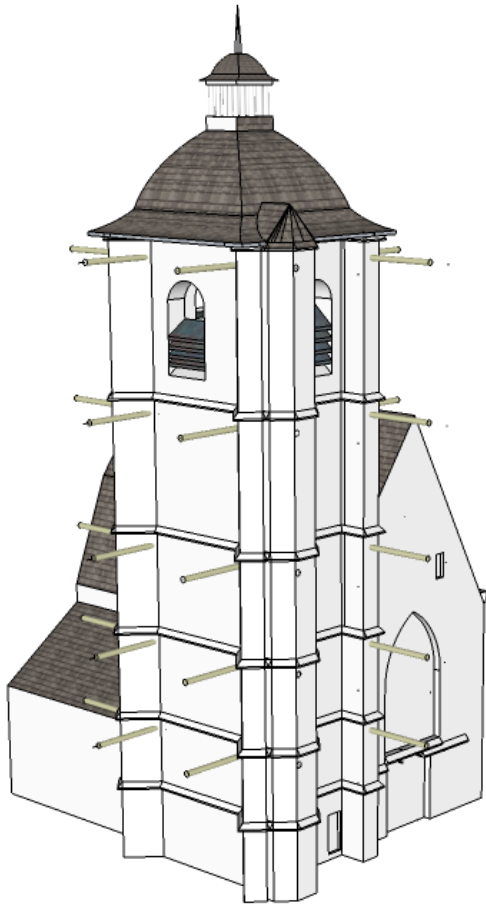


Las soluciones Foreva® Piedra suelen utilizarse conjuntamente para reforzar las distintas zonas de una misma estructura. Así pues, es necesario realizar un examen y un diagnóstico precisos para delimitar las zonas que deben tratarse y definir los niveles de tensión de los diferentes elementos estructurales y su nivel de seguridad.

Freyssinet ofrece su colaboración para elaborar un programa de investigación, diagnóstico y recomendación, siempre que se le solicite.

# REFUERZOS PASIVOS

## Armaduras internas



1

### Foreva® Piedra Tirante Pasivo

Con la solución **Foreva® Piedra Tirante Pasivo**, Freyssinet mejora el comportamiento mecánico de la mampostería, que pasa a funcionar como un elemento armado con resistencia a tracción o como vigas mixtas, con capacidad a flexión (una sección resistente formada por una parte superior comprimida de piedra y una armadura traccionada en la parte inferior).

### Diseño

Las armaduras internas se disponen de tal modo que sigan, en la medida de lo posible, las curvas de tensiones de tracción. Se anclan en sus alojamientos por medio de una resina o de una lechada de inyección, que tras polimerización o fraguado garantiza la transferencia de los esfuerzos entre la mampostería y la armadura en toda su longitud. Los tirantes reciben a continuación la carga por deformación de la estructura.

La justificación de la resistencia de las secciones mixtas de «piedra armada» se rige por las prescripciones recogidas en el **pliego de condiciones técnicas de Freyssinet**.

### Productos

- Las armaduras compuestas de fibra de carbono **Foreva® RFC** o de fibra de vidrio **Foreva® RFG** normalmente se emplean por su gran resistencia mecánica, su resistencia a la corrosión, su longevidad y su compatibilidad con los materiales instalados.
- Como alternativa pueden utilizarse armaduras metálicas de alta adherencia, de acero galvanizado o acero inoxidable.
- La inyección del taladro por gravedad se realiza bien con resina epoxídica **Foreva® Epx L971** o con una lechada de cemento, en función de las disposiciones de construcción y de su compatibilidad con la piedra instalada. En caso de que se trate de orificios de poca longitud e/o inclinados, es preferible el empleo de la resina tixotrópica **Foreva® Epx SC980**.

### Instalación

- La perforación se realiza normalmente con corona de diamante refrigerada por aire comprimido para evitar las vibraciones que puedan afectar a la mampostería. La perforación de precisión con orientación láser permite alcanzar luces de varias decenas de metros.
- Antes de la inyección es posible realizar un control endoscópico del conducto con grabación en vídeo. En caso necesario, le sigue el rejuntado y la inyección de lechada en la mampostería de la zona de perforación.
- Los extremos de los tirantes se protegen y sellan con una pieza procedente de la piedra original para que el refuerzo no se vea.



2

1&2 - Realización de atados en la mampostería mediante tirantes pasivos  
Iglesia de san Lorenzo (Nogent le Rotrou, Francia)





La solución **Foreva® Piedra Tirante Pasivo** se aplica mediante:

### Cosido

El cosido consiste en enlazar elementos mediante armaduras cortas que atraviesan el plano de la junta. Permite volver a anclar piedras en la fachada y unir arcos descomprimidos.

### Grapado

El grapado consiste en volver a conectar una sección fisurada mediante una armadura de continuidad.

### Atado

El atado consiste en realizar una banda que rodee la estructura por medio de armaduras para garantizar la estabilidad.

### Pinza de refuerzo del arco

La pinza de refuerzo consiste en equilibrar los empujes del arco induciendo tracciones en las mamposterías por medio de armaduras tangentes al perfil del arco.

### Refuerzo en flexión

El refuerzo en flexión consiste en aumentar la resistencia de las vigas mediante la adición de armadura en la zona de tracción.



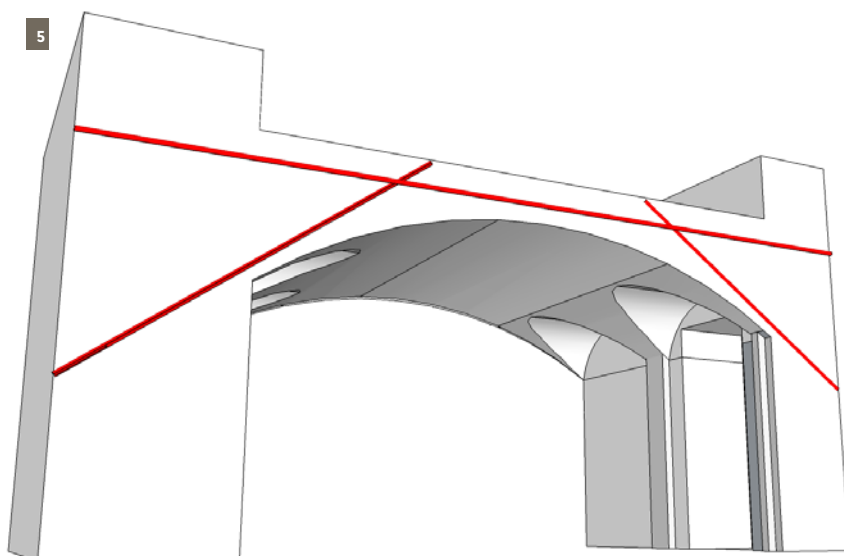
1 - Colocación del material de perforación

2 - Introducción de una armadura de atado

3 - Sellado de la piedra en los extremos de una armadura interna de atado

4 - Cosido de arcos de piedra en Bayona, Francia

5 - Esquema básico de una pinza de refuerzo del arco



# REFUERZOS PASIVOS

## Refuerzos externos



### Foreva® Piedra TFC

El refuerzo de los elementos estructurales de piedra puede realizarse mediante la adhesión de un refuerzo compuesto de fibras de carbono en la zona de tracción.

La solución **Foreva® Piedra TFC** emplea bandas de fibra de carbono adheridas a la mampostería mediante una resina epoxídica **Foreva® Epx TFC**, que asegure una buena unión entre ambos elementos, y permite un funcionamiento del elemento reforzado como conjunto.

La justificación de la resistencia de las secciones de piedra reforzadas con esta técnica se rige por las prescripciones del **pliego de condiciones técnicas de Freyssinet**.

Esta técnica de refuerzo resulta ideal para los elementos que poseen una superficie deformada y están sometidos a esfuerzos de tracción o flexión.

### Foreva® Piedra Inercia Sup

La realización de capas de compresión con resina permiten incrementar la sección resistente de las vigas y aumentar la rigidez.

La solución **Foreva® Piedra Inercia Sup** consiste en la materialización de una capa de compresión con la resina **Foreva® Epx B963**, unida y conectada a la sección de piedra mediante barras de fibra de vidrio.

La justificación de la resistencia de las secciones de piedra reforzadas mediante una capa de compresión se rige por las prescripciones recogidas en el **pliego de condiciones técnicas de Freyssinet**.

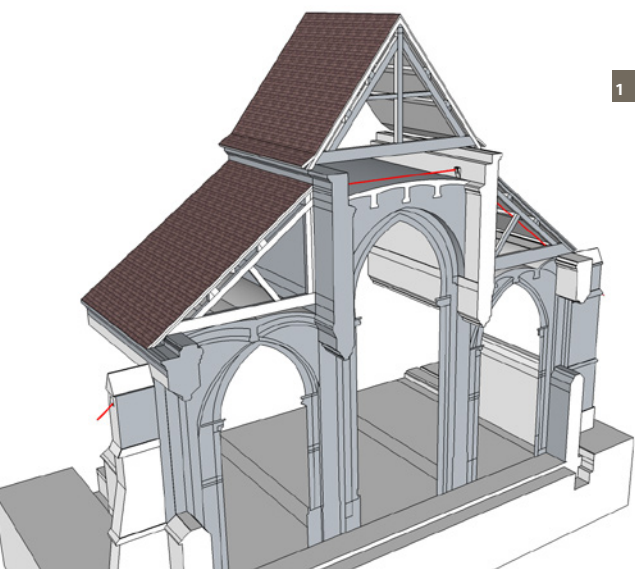


1 - Vista del intradós de la cúpula, Iglesia de san Florentino de Amboise, Francia

2 - Refuerzo mediante extradado de la cúpula con vigas materializadas con resina y compuestas armadas con fibra de carbono, Iglesia de san Florentino de Amboise, Francia



# REFUERZOS ACTIVOS


**1**

## Foreva® Piedra Tirante Activo

Los tirantes pretensados permiten comprimir la mampostería. Debido a los pequeños esfuerzos que hay que introducir en la estructura, normalmente están formados por una sola armadura. Pueden ser internos o externos a los elementos que refuerzan.

La solución **Foreva® Piedra Tirante Activo** utiliza normalmente un cordón de pretensado de muy baja relajación protegido y envainado en fábrica para garantizar la máxima protección frente a la corrosión.

- Cordón: T15.7 TBR 1860 según la norma NFA 35 045, envainado, engrasado y con un diámetro externo nominal de 19 mm
- Esfuerzo máximo de tensado del cable:  $0,8 \times 279 \text{ kN} = 223 \text{ kN}$
- El anclaje monocordón Freyssinet se monta sobre una placa de difusión diseñada en función de la capacidad de la mampostería para transmitir la carga localizada. Si el anclaje no es activo y está alojado en la estructura, puede realizarse un anclaje químico con resina.
- La instalación debe correr a cargo de personal cualificado y equipado con material calibrado para poder controlar el nivel de esfuerzo introducido en la mampostería. Cuando se pretensa la estructura con varios tirantes, puede realizarse esta operación simultáneamente para equilibrar los esfuerzos de la mampostería.
- Finalmente y dependiendo de la naturaleza de la mampostería, se inyecta lechada de cal o de cemento en los taladros realizados para la introducción de las armaduras.


**2**

Como alternativa se pueden considerar otros tipos de aceros de pretensado. En concreto, en el caso de trazados rectos, el sistema de pretensado mediante barra roscada Freyssibar® puede presentar muchas ventajas.

La solución **Foreva® Piedra Tirante Activo** es ideal para:

## La recompresión de las bóvedas en arco

Los tirantes activos permiten volver a comprimir localmente la bóveda y rectificar la curva de tensiones, corrigiendo los defectos de estabilidad.

## La estabilización de las fuerzas de empuje de un arco

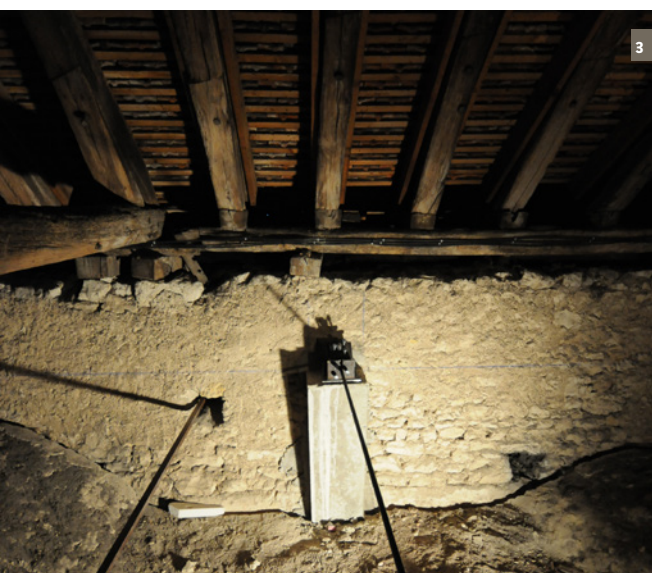
Los tirantes activos se anclan a nivel de los apoyos del arco contrarrestando las reacciones horizontales del arco.

## La descarga de los arbotantes

La instalación de tirantes activos permite equilibrar parte o la totalidad de los empujes de la bóveda y descargar o liberar los arbotantes.

## El ajuste de las pilas de mampostería

Los tirantes activos circulares permiten zunchar la pila y comprimir la mampostería.


**3**

1 - Compresión de un arco de bóveda mediante tirantes activos

2 - Consolidación de la iglesia de san Miguel (El Cairo, Egipto) mediante torones envainados engrasados

3 - Esquema básico de un refuerzo mediante pretensado adicional, iglesia de Batilly-en-Gâtinais, Francia



## Américas

Argentina  
Brasil  
Canadá  
Chile  
Colombia  
El Salvador  
Estados Unidos  
Guayana francés  
México  
Panamá  
Perú  
Venezuela

## Europa

Bélgica  
Bulgaria  
Chipre  
Dinamarca  
Eslovenia  
España  
Estonia  
Francia  
Hungría  
Irlanda  
Islandia  
Italia  
Letonia  
Lituania  
Luxemburgo  
Macedonia  
Noruega  
Países Bajos  
Polonia  
Portugal  
Reino Unido  
República Checa  
Rumanía  
Rusia  
Serbia  
Suecia  
Suiza  
Turquía

## África y Oriente Medio

Arabia Saudita  
Argelia  
Egipto  
Emiratos Árabes Unidos  
Jordania  
Kuwait  
Marruecos  
Omán  
Qatar  
Sudáfrica  
Túnez

## Asia

Corea del Sur  
Filipinas  
Hong Kong  
India  
Indonesia  
Japón  
Macao  
Malasia  
Pakistán  
Singapur  
Tailandia  
Taiwán  
Vietnam

## Oceanía

Australia  
Nueva Zelanda

[www.freyssinet.com](http://www.freyssinet.com)

