

**MANUAL TÉCNICO**

# Guía para la consolidación, el refuerzo estructural y la seguridad sísmica con nuevas tecnologías green.

Prescripciones, especificaciones técnicas y detalles constructivos

**kerakoll**



# Manual para la consolidación

En España y en el resto del mundo, numerosas patologías afectan al patrimonio edificatorio, en todas sus formas: desde construcciones tradicionales de mampostería de distinta naturaleza hasta las construcciones más recientes de hormigón armado. El estudio de estas patologías ha evidenciado problemáticas ligadas a la presencia de muros poco cohesionados y en pésimas condiciones de conservación, elementos de bajísima resistencia mecánica, o elementos de hormigón armado realizados con hormigones pobres o en evidente estado de degradación.

En base al estudio detallado de la mecánica de los sistemas de refuerzo y de la interacción con los distintos materiales de construcción, nuestros investigadores han diseñado modernos sistemas de refuerzo, compuestos por innovadoras matrices minerales combinadas con los nuevos tejidos unidireccionales de fibra de acero galvanizado de altísima resistencia, tejidos de fibra natural de basalto y acero inoxidable, fibras cortas de acero de alta resistencia y barras helicoidales de acero inoxidable.

La vanguardia de nuestra metodología de investigación, unida a la excelencia de los principales institutos de investigación con los que colaboramos, se basa en el desarrollo de sistemas de refuerzo para que se adapten perfectamente a la resistencia y rigidez de las distintas tipologías de soporte.

La combinación de las matrices Kerakoll con los tejidos de fibra de acero y de fibra de basalto constituyen los innovadores sistemas de refuerzo estructural en bajo espesor, que ofrecen múltiples ventajas como: simplicidad aplicativa y comportamiento resistente, modulo elástico y tenacidad superiores a los más comunes sistemas de refuerzo.

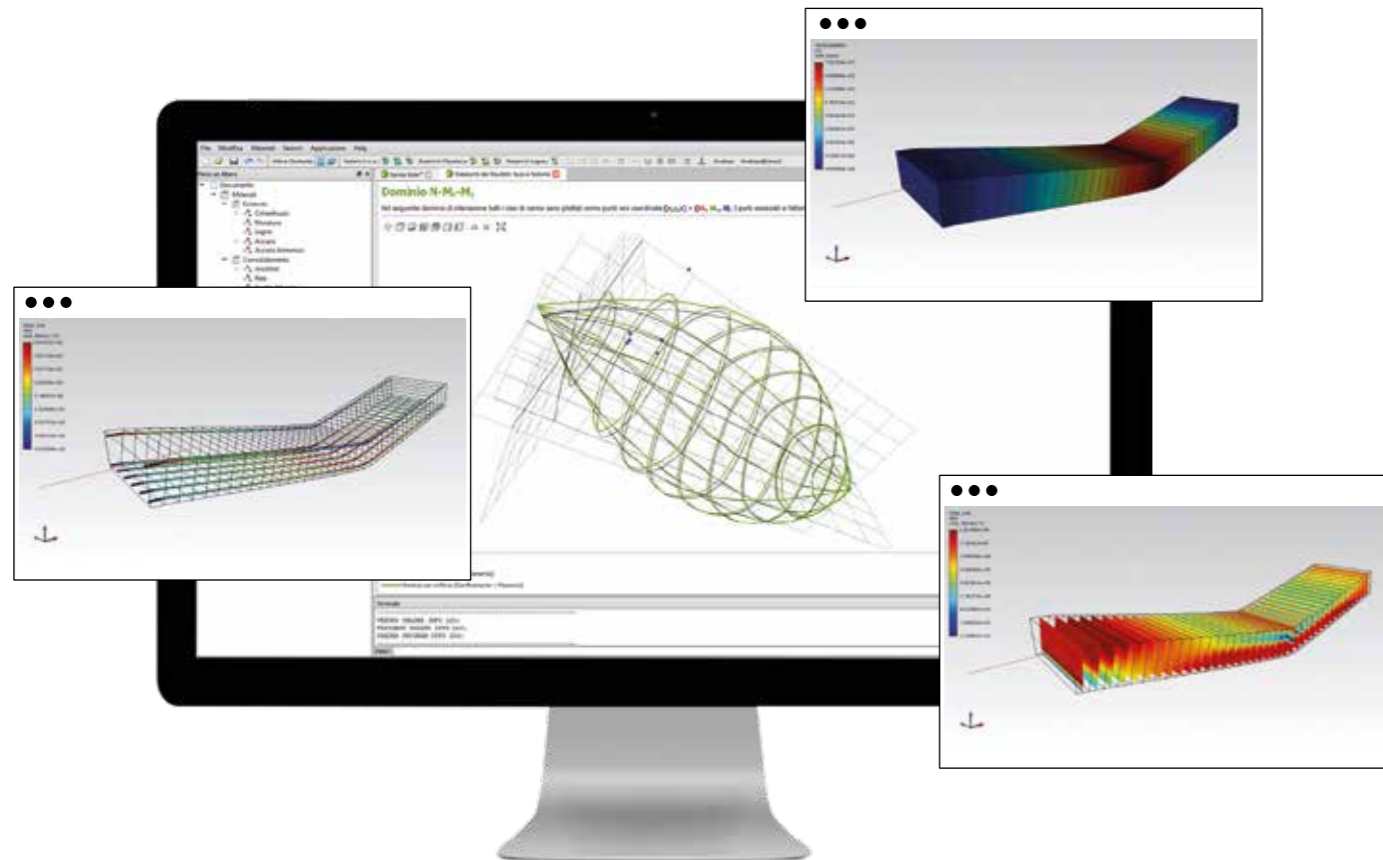
Este Manual Técnico es una útil guía práctica para el Proyectista y la Dirección de Obra, para planificar y dirigir la obra de manera simple y eficaz.





## GEORFORCE ONE, EL SOFTWARE PARA PROYECTAR CON NUEVAS TECNOLOGÍAS GREEN LA CONSOLIDACIÓN Y EL REFUERZO ESTRUCTURAL

Geoforce one  
Software



El innovador software GeoForce One, desarrollado y concebido por Asdea para Kerakoll, permite proyectar y verificar secciones de forma estándar o genérica en hormigón armado, pretensado, madera y mampostería. Con solo tres simples pasos es posible diseñar y verificar el sistema de refuerzo en el elemento estructural.

GeoFore One permite la modelación y el análisis de elementos estructurales tales como vigas y pilares de hormigón armado, machones, dinteles, arcos y bóvedas en mampostería y nudos viga-pilar.

### 1. DEFINICIÓN DE LA SECCIÓN

- Generación de la geometría de secciones comunes (rectangulares o circulares) mediante los correspondientes editores
- Generación de la geometría de secciones complejas en el entorno CAD integrado
- Definición de armado longitudinal y transversal
- Definición de los materiales para el refuerzo a flexión, cortante, confinamiento y torsión
- Definición de aumentos de sección
- Definición de más casos de carga

### 2. ANÁLISIS DE LA SECCIÓN

- Verificación a flexo-compresión:
  - verificación del estado inicial debido a las cargas presentes en el momento de la aplicación del refuerzo
  - verificación en ELS
  - verificación en ELU
- Verificación a confinamiento, cortante y torsión: para secciones de hormigón armado el modelo constitutivo del hormigón tiene en cuenta el efecto del confinamiento
- Verificación para más casos de carga

### 3. VISUALIZACIÓN Y EXPORTACIÓN DE RESULTADOS

- Generación, visualización y exportación de informes detallados
- Resumen de los materiales usados
- Resultados de las verificaciones en el estado inicial y ELS
- Resultados de las verificaciones en ELU pre y post intervención con sistemas de refuerzo Kerakoll
- Visualización de dominios de interacción 2D y 3D
- Visualización del gráfico momento-curvatura

### DEFINICIÓN DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL

- Generación de elementos estructurales con un editor ad hoc
- Elementos construidos a partir de un número variable de secciones, y su situación a lo largo del eje del elemento
- Posibilidad de insertar recrecidos (con o sin refuerzo) en arcos y bóvedas

### ANÁLISIS MEF ESTÁTICO NO LINEAL

- Definición de cargas y condiciones de contorno
- Lanzamiento del análisis estático no lineal en dos pasos:
  - estado inicial antes de la aplicación del refuerzo
  - estado final con elemento reforzado
- Modelo de vigas con integración de la respuesta seccional mediante modelo a fibras
- Modelos constitutivos no lineales basados en la teoría de la plasticidad y del daño continuo

### VISUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS

- Visualización gráfica de los resultados por cada paso del análisis no lineal
- Visualización de los Contour Plots para resultados nodales y de elemento
- Visualización de los Contour Plots para resultados seccionales
  - estado de tensión-deformación en cada punto de la sección de las fibras
  - estado de los materiales
  - factores de aprovechamiento
- Gráfico de la curva tensión-deformación



ASDEA es un estudio de ingeniería compuesto por profesionales que en el transcurso de decenas de años han consolidado su experiencia de investigación a nivel internacional.

La sociedad nace con el objetivo de ofrecer soluciones innovadoras y altamente tecnológicas en el campo de la ingeniería estructural, opera activamente en distintos países, cuenta con más de 300 profesionales y suministra, en todo el mundo, servicios de ingeniería y arquitectura altamente especializados.






















# Índice General

<b>SOLUCIONES PARA LA CONSOLIDACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO, HORMIGÓN PRETENSADO Y PREFABRICADOS</b>	9
• RECONSTRUCCIÓN, REPARACIÓN Y AUMENTO DE SECCIÓN	10
• PILARES Y NUDOS	18
• VIGAS Y LOSAS	32
<b>SOLUCIONES PARA LA CONSOLIDACIÓN, EL REFUERZO Y LA REPARACIÓN DE MUROS DE CERRAMIENTO EN ESTRUCTURAS APORTICADAS DE HORMIGÓN ARMADO</b>	53
• REPARACIÓN DE LESIONES LOCALES	54
• REFUERZO Y MEJORA GENERALIZADA	58
<b>SOLUCIONES PARA LA CONSOLIDACIÓN DE ESTRUCTURAS DE MUROS PORTANTES DE LADRILLO, TUFO VOLCÁNICO, PIEDRA NATURAL, ADOBE Y TAPIAL</b>	68
• MUROS Y PILARES	70
• ARCOS	108
• BÓVEDAS	116
• CÚPULAS	140
<b>APÉNDICES</b>	149





## SOLUCIONES PARA LA CONSOLIDACIÓN DE ESTRUCTURAS DE MUROS PORTANTES DE LADRILLO, TUFO VOLCÁNICO, PIEDRA NATURAL, ADOBE Y TAPIAL

### MUROS Y PILARES

<b>21A</b>		Reparación de lesiones en muros de mampostería mediante la técnica cosido-descosido con mortero a base de cal hidráulica natural	70
<b>21B</b>		Reparación de lesiones en muros de mampostería mediante la técnica cosido-descosido con mortero a base de cal hidráulica natural e inserción difusa de conexiones transversales	72
<b>22</b>		Reparación del llagueado en muros de mampostería con mortero a base de cal hidráulica natural	74
<b>23A</b>		Perfilado armado de la llaga caravista mediante mortero a base de cal hidráulica natural y barras helicoidales de acero inoxidable	76
<b>23B</b>		Perfilado armado de la llaga de fábricas caravista y conexiones transversales mediante mortero, a base de cal hidráulica natural, conectores y barras helicoidales de acero inoxidable	78
<b>24</b>		Consolidación de machones mediante inyecciones de mortero hiperfluido a base de cal hidráulica natural	80
<b>25A</b>		Consolidación y refuerzo de machón mediante introducción difusa de diátonos de fibra de acero galvanizado inyectados con geomortero hiperfluido a base de cal hidráulica natural	82
<b>25B</b>		Consolidación y refuerzo de machón mediante retícula difusa de diátonos de fibra de acero galvanizado inyectados con geomortero hiperfluido a base de cal hidráulica natural	84
<b>25C</b>		Conexión transversal y vinculación de machones mediante cosido en seco con barras helicoidales de acero inoxidable	86
<b>26</b>		Refuerzo para acciones en el plano y fuera del plano de machones mediante encamisado con bandas de fibra de acero galvanizado y geomortero a base de cal hidráulica natural	88
<b>27A</b>		Refuerzo para acciones en el plano y fuera del plano de machones de mampostería mediante encamisado extendido con tejido de fibra natural de basalto y acero inoxidable y geomortero a base de cal hidráulica natural	90
<b>27B</b>		Refuerzo para acciones en el plano y fuera del plano de machones de fábrica mediante encamisado extendido con tejido de fibra natural de basalto y acero inoxidable y geomortero a base de cal hidráulica natural	92
<b>27C</b>		Refuerzo para acciones en el plano y fuera del plano de muros de tapial/adobe mediante encamisado extendido con malla de fibra natural de basalto y geomortero a base de cal hidráulica natural	94

<b>28</b>		Consolidación y refuerzo de partes de cerramiento mediante realización de bandas a la altura de forjado mediante encamisado con bandas de tejido de fibra de acero galvanizado y geomortero a base de cal hidráulica natural	96
<b>29</b>		Consolidación y refuerzo de partes de cerramiento mediante la realización de zunchos de fábrica armada mediante interposición en las llagas de bandas de tejido de fibra de acero galvanizado y geomortero a base de cal hidráulica natural	98
<b>30</b>		Realización de encadenamientos de fachada mediante instalación de bandas de tejido de fibra de acero galvanizado y geomortero a base de cal hidráulica natural	100
<b>31</b>		Refuerzo de pilares de mampostería mediante confinamiento con bandas de tejido de fibra de acero galvanizado y geomortero a base de cal hidráulica natural	102
<b>32</b>		Refuerzo de pilares de fábrica caravista mediante confinamiento puntual con barras helicoidales de acero inoxidable insertadas en seco	104
<b>33</b>		Refuerzo de pilares de fábrica caravista mediante confinamiento puntual con conectores de fibra de acero galvanizado inyectados con geomortero hiperfluido a base de cal hidráulica natural	106

### ARCOS




<b>34</b>		Refuerzo y consolidación de arcos mediante encamisado por trasdós con bandas de tejido de fibra de acero galvanizado y geomortero a base de cal hidráulica natural	108
<b>35</b>		Refuerzo y consolidación de arcos mediante encamisado por intradós con bandas de tejido de fibra de acero galvanizado y geomortero a base de cal hidráulica natural	110
<b>36</b>		Refuerzo y consolidación de arcos mediante cosido en seco del intradós con barras helicoidales de acero inoxidable	112
<b>37</b>		Refuerzo y consolidación de arcos mediante cosido por intradós con conectores de fibra de acero galvanizado inyectados con geomortero hiperfluido a base de cal hidráulica natural	114







## SOLUCIONES PARA LA CONSOLIDACIÓN DE ESTRUCTURAS DE MUROS PORTANTES DE LADRILLO, TUFO VOLCÁNICO, PIEDRA NATURAL, ADOBE Y TAPIAL

### BÓVEDAS

<b>38</b>		Refuerzo y consolidación de bóvedas de cañón mediante encamisado por trasdós con bandas de fibra de acero galvanizado y geomortero a base de cal hidráulica natural	116
<b>39</b>		Refuerzo y consolidación de bóvedas de cañón mediante encamisado por intradós con bandas de acero galvanizado y geomortero a base de cal hidráulica natural	118
<b>40</b>		Refuerzo y consolidación de bóvedas de cañón mediante encamisado extendido por trasdós con tejido de fibra natural de basalto y acero inoxidable y geomortero a base de cal hidráulica natural	120
<b>41</b>		Refuerzo y consolidación de bóvedas de cañón mediante encamisado extendido por intradós con tejido de fibra natural de basalto y acero inoxidable y geomortero a base de cal hidráulica natural	122
<b>42</b>		Refuerzo y consolidación de bóvedas de arista mediante encamisado por trasdós con bandas de fibra de acero galvanizado y geomortero a base de cal hidráulica natural	124
<b>43</b>		Refuerzo y consolidación de bóvedas de arista mediante encamisado por intradós con bandas de fibra de acero galvanizado y geomortero a base de cal hidráulica natural	126
<b>44</b>		Refuerzo y consolidación de bóvedas de arista mediante encamisado extendido por trasdós con tejido de fibra natural de basalto y acero inoxidable y geomortero a base de cal hidráulica natural	128
<b>45</b>		Refuerzo y consolidación de bóvedas de arista mediante encamisado extendido por intradós con tejido de fibra natural de basalto y acero inoxidable y geomortero a base de cal hidráulica natural	130
<b>46</b>		Refuerzo y consolidación de bóvedas esquifadas mediante encamisado por trasdós con bandas de fibra de acero galvanizado y geomortero a base de cal hidráulica natural	132

<b>47</b>		Refuerzo y consolidación de bóvedas esquifadas mediante encamisado por intradós con bandas de fibra de acero galvanizado y geomortero a base de cal hidráulica natural	134
<b>48</b>		Refuerzo y consolidación de bóvedas esquifadas mediante encamisado extendido por trasdós con tejido de fibra natural de basalto y acero inoxidable y geomortero a base de cal hidráulica natural	136
<b>49</b>		Refuerzo y consolidación de bóvedas esquifadas mediante encamisado extendido por intradós con tejido de fibra natural de basalto y acero inoxidable y geomortero a base de cal hidráulica natural	138

### CÚPULAS

<b>50</b>		Refuerzo y consolidación de cúpulas mediante encamisado por trasdós con bandas de fibra de acero galvanizado y geomortero a base de cal hidráulica natural	140
<b>51</b>		Refuerzo y consolidación de cúpulas mediante encamisado por intradós con bandas de fibra de acero galvanizado y geomortero a base de cal hidráulica natural	142
<b>52</b>		Refuerzo y consolidación de cúpulas mediante encamisado extendido por trasdós con tejido de fibra natural de basalto y acero inoxidable y geomortero a base de cal hidráulica natural	144
<b>53</b>		Refuerzo y consolidación de cúpulas mediante encamisado extendido por intradós con tejido de fibra natural de basalto y acero inoxidable y geomortero a base de cal hidráulica natural	146

## 50

## Refuerzo y consolidación de cúpulas mediante encamisado por trasdós con bandas de fibra de acero galvanizado y geomortero a base de cal hidráulica natural



### PRESCRIPCIÓN

- Preparación de los soportes. Prever el posible vaciado y aligerado de las capas superiores, limpiar la superficie del trasdós hasta descubrir los elementos estructurales y realizar el sellado y reparación de las posibles lesiones presentes tanto en el intradós como en el trasdós con trozos de material idóneo y el uso del geomortero GEOCALCE F ANTISISMICO compatible con el mortero existente, a modo de reparar la continuidad estructural y estética. Realizar un soplado final del muro mediante aire a presión y sucesiva aspiración de los residuos y humectación de las superficies. En caso de intradós decorado, aplicar fijador cortical tipo BIOCALCE SILICATO CONSOLIDANTE o RASOBUILD ECO CONSOLIDANTE, en el caso de soportes de yeso aislar preventivamente con RASOBUILD ECO CONSOLIDANTE.
- Aplicación del sistema de refuerzo. Realizar el sistema de refuerzo estructural con fibra de acero Steel Reinforced Grout (combinación de tejido de acero y mortero mineral a base de cal hidráulica natural NHL 3.5 y Geoligante), teniendo la precaución de colocar el tejido uniformemente sobre la superficie, según lo indicado por el técnico competente y siguiendo los detalles gráficos reportados en la tabla anexa. El ancho de las bandas y el paso corren a cargo del técnico competente. Para instalar las bandas, extender una primera mano de GEOCALCE F ANTISISMICO, garantizando sobre el soporte la cantidad de material suficiente (espesor medio 3 - 5 mm) para regularizarlo y para adaptar y embeber el tejido de refuerzo. Posteriormente aplicar sobre la matriz aún fresca el tejido de fibra de acero galvanizado GEOSTEEL G600, garantizando el perfecto embebido de la banda en la capa de matriz, ejerciendo presión enérgica con la llana y teniendo la precaución de que el propio mortero fluya a través de los cables para así garantizar una adhesión óptima entre la primera y segunda capa de matriz. Concluir la aplicación con el alisado final protector (espesor medio de 2 - 5 mm) siempre realizado con GEOCALCE F ANTISISMICO, con el objetivo de embeber totalmente el refuerzo y tapar posibles huecos subyacentes. En caso de capas sucesivas a la primera, proceder con la colocación de la segunda capa del tejido sobre la capa de matriz todavía fresca. Para garantizar una mayor eficacia del sistema de refuerzo, proceder siempre al anclaje de los extremos del tejido de fibra de acero en las zonas de apoyo, generalmente situadas justo por encima del plano de imposta de la cúpula, teniendo la precaución de "desfibrar" el extremo de la banda de fibra de acero GEOSTEEL G600, realizando diversas agrupaciones en forma de cordones en continuidad de la banda y garantizando así un anclaje en continuo, tratando de permanecer tangente a la directriz de la cúpula lo máximo posible. Previa realización del agujero, se confeccionan los cordones mencionados, con un ancho máximo de banda de 10 cm. Finalmente proceder al vertido del geomortero hiperfluido GEOCALCE FL ANTISISMICO, previa humectación del agujero, con el objetivo de crear la perfecta colaboración entre el tejido de refuerzo y el soporte de mampostería. Es posible prolongar la longitud de anclaje para todo el espesor del apoyo y muros perimetrales, y conectar el refuerzo de la bóveda con las posibles bandas de arranque - Es posible prolongar la longitud de anclaje para todo el espesor del apoyo y muros perimetrales, y conectar el refuerzo del arco con las posibles bandas de arranque - Es posible prolongar la longitud de anclaje para todo el espesor del apoyo y muros perimetrales, y conectar el refuerzo de la cúpula a las posibles bandas de arranque (según el sistema).

### ADVERTENCIAS

En presencia de pilastras, ojivas y arcos de rigidización, para evitar acumulación tensional, se debe anclar la banda a la cúpula, con la realización de cordones iguales a las descritas para el encolado a los muros de apoyo y perimetrales.

Cuando por exigencias técnicas el tejido GEOSTEEL G600 no resultara suficientemente satisfactorio a las comprobaciones, es posible sustituirlo con GEOSTEEL G1200.

Actuación compatible con los sistemas deshumidificantes de Kerakoll.

### ESPECIFICACIÓN DE PROYECTO

Refuerzo de cúpulas con encamisado por el trasdós con bandas de fibra de acero galvanizado, mediante el uso del sistema compuesto con matriz inorgánica, SRG (Steel Reinforced Grout), provisto de Marcado CE a través de Evaluación Técnica Europea (ETA) según el art. 26 del Reglamento UE n. 305/2011 o de certificación internacional de validez comprobada, realizado con tejido unidireccional de fibra de acero galvanizado de altísima resistencia, formado por micro-cordones de acero producidos según norma ISO 16120-1/4 2017 fijados sobre una micro-malla de fibra de vidrio, de peso neto de fibra de aproximadamente 670 g/m<sup>2</sup> – tipo GEOSTEEL G600 de Kerakoll – características técnicas certificadas: resistencia a tracción valor característico > 3000 MPa; módulo elástico > 190 GPa; deformación última a rotura > 2%; área efectiva de un cable 3x2 (5 hilos) = 0,538 mm<sup>2</sup>; n° cables por cm = 1,57 con envoltorio de hilos de elevado ángulo de torsión conforme a la norma ISO/DIS 17832; espesor equivalente de la banda = 0,084 mm, impregnado con geomortero de altísima higroscopicidad y transpirabilidad a base cal hidráulica natural NHL 3.5 y Geoligante mineral, áridos de arena silícea y calizas dolomíticas de curva granulométrica 0 – 1,4 mm, GreenBuilding Rating 5 –tipo GEOCALCE F ANTISISMICO de Kerakoll – alta eficacia en la reducción de los contaminantes en el interior, no permite el desarrollo de bacterias (Clase B+) ni de hongos (Clase F+) medida con método CSTB, certificado con bajísimas emisiones COVs con conformidad EC 1 Plus GEV-Emicode, emisiones CO<sub>2</sub> ≤ 250 g/kg, contenido de minerales reciclados ≥ 30%. El geomortero natural provisto con marcado CE, clase del mortero M15 (EN 998/2), clase de resistencia R1 PCC (EN 1504-3), reacción al fuego A1 (EN 13501-1), permeabilidad al vapor de agua de 15 a 35 (EN 1745), resistencia a compresión a los 28 días ≥ 15 N/mm<sup>2</sup> (EN 1015-11), módulo elástico 9 GPa (EN 13412), adhesión al soporte a los 28 días > 1,0 N/mm<sup>2</sup> – FB: B (EN 1015-12).

La actuación se desarrollará en las siguientes fases: vaciado de las capas superiores de la cúpula, sellado y reparación de posibles lesiones en el trasdós y el intradós con trozos de material idóneo asentados con el geomortero; descubierto de los elementos estructurales, limpieza y humectación de la superficie o aplicación de fijador consolidante cortical; extensión de una primera mano de geomortero, de espesor de aproximadamente 3 - 5 mm; con el mortero aún fresco, colocación del tejido, garantizando una completa impregnación del tejido y evitar la formación de posibles huecos o burbujas de aire que puedan comprometer la adhesión del tejido a la matriz o al soporte; ejecución de la segunda capa de geomortero, en un espesor de aproximadamente 2 - 5 mm con el objetivo de embeber totalmente el tejido de refuerzo y tapar todos los huecos subyacentes; posible repetición de las fases de aplicación del tejido y geomortero para todas las capas sucesivas de refuerzo previstas por el proyecto; anclaje de las extremidades del tejido de fibra de acero en el interior del soporte, procediendo con el agujereado previo de los soportes, enrollado del tejido de acero con el objetivo de insertar los cordones realizados en el interior del agujero anteriormente realizados con vertido final de geomortero de altísima higroscopicidad y transpirabilidad, hiperfluido, de elevada retención de agua a base de cal hidráulica natural NHL 3,5 y Geoligante mineral, de intervalo granulométrico 0-100 µm, GreenBuilding Rating 5, provisto de marcado CE – tipo GEOCALCE FL ANTISISMICO de Kerakoll – características técnicas certificadas: alta eficacia en la reducción de los contaminantes en el interior, no permite el desarrollo de bacterias (Clase B+) ni de hongos (Clase F+) medida con método CSTB, certificado con bajísimas emisiones COVs con conformidad EC 1 Plus GEV-Emicode, emisiones CO<sub>2</sub> ≤ 250 g/kg, contenido de minerales reciclados ≥ 30%. El geomortero natural está provisto de marcado CE, clase del mortero M15 (EN 998/2), reacción al fuego A1 (EN 13501-1), permeabilidad al vapor de agua de 15 a 35 (EN 1745), resistencia a compresión a los 28 días ≥ 15 N/mm<sup>2</sup> (EN 1015-11), módulo elástico 9,5 GPa (EN 13412), resistencia al arrancamiento de las barras de acero ≥ 3,5 MPa (RILEM-CEB-FIPRC6-78).

Están incluidos el suministro y puesta en obra de todos los materiales arriba descritos y todo lo necesario para dar por acabado el trabajo. Se excluyen: el posible vaciado de las capas superiores de la cúpula, la limpieza de las zonas degradadas y reparación del soporte; los anclajes en extremidad del tejido; las pruebas de aceptación del material; las investigaciones previas y posteriores a la intervención; los medios auxiliares necesarios para la ejecución de los trabajos.

El precio es por unidad de superficie de refuerzo efectivamente puesto en obra incluidos los solapes.

- Preparación, limpieza y humectación de las superficies.
- Fijación de los anclajes con GEOCALCE FL ANTISISMICO.
- Aplicación de la primera mano de GEOCALCE F ANTISISMICO.



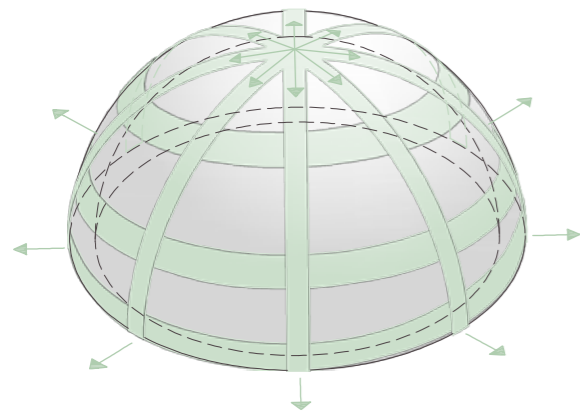
- Instalación del tejido de fibra de acero GEOSTEEL.
- Aplicación de la segunda mano de GEOCALCE F ANTISISMICO.



# 50

REFUERZO Y CONSOLIDACIÓN DE CÚPULAS MEDIANTE ENCAMISADO POR TRASDÓS CON BANDAS DE FIBRA DE ACERO GALVANIZADO Y GEOMORTERO A BASE DE CAL HIDRÁULICA NATURAL

Geoforceone  
Software

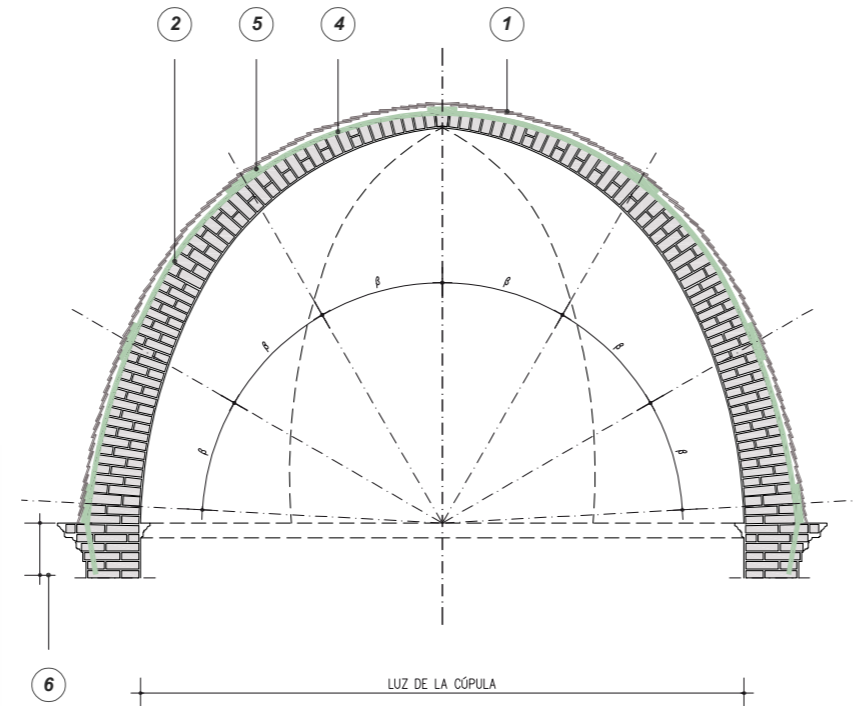


VISTA AXONOMÉTRICA  
REFUERZO POR TRASDÓS DE CÚPULA

NOTA

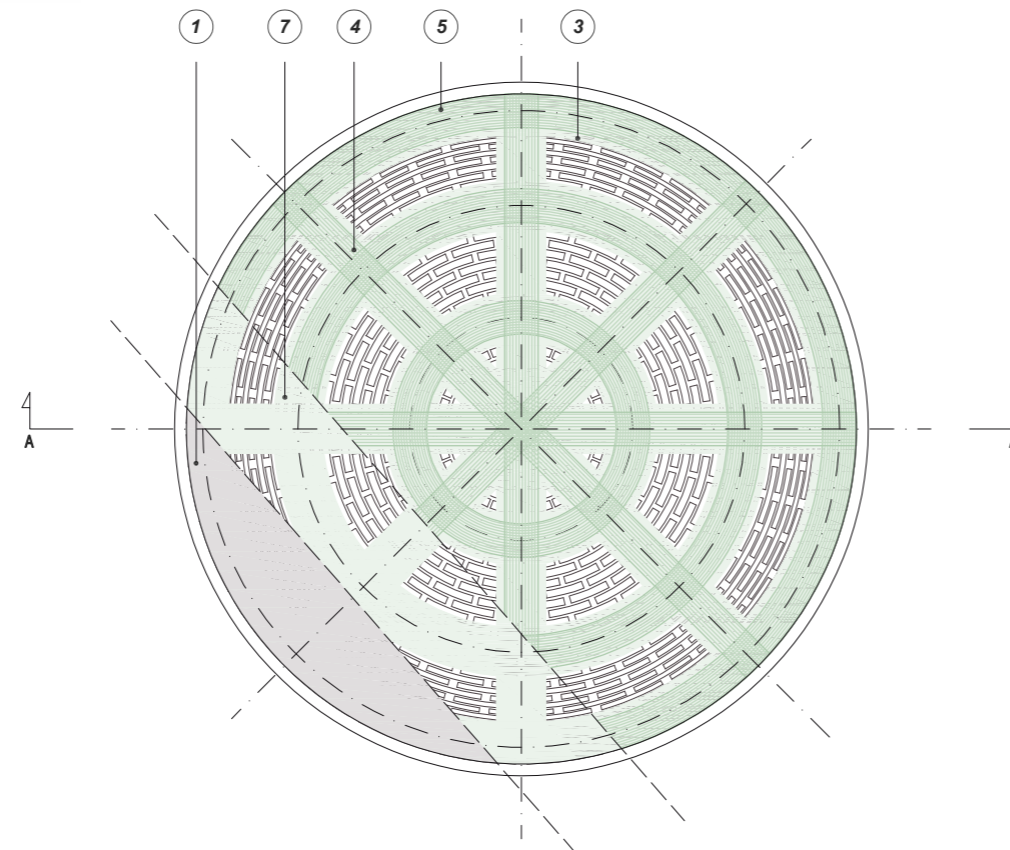
Los diseños representan, a modo de ejemplo, un aparejo de piedra con cúpula de ladrillo cerámico, aunque el esquema es idéntico si se encuentra en presencia de cúpulas de piedra, ladrillo o toba. En presencia de mampostería caótica es siempre recomendable efectuar una actuación combinada con inyecciones de mortero (TABLA 24).

POWERED BY **kerakoll** ENGINEERED BY **ASDEA**



SECCIÓN A-A'  
SISTEMAS DE REFUERZO POR TRASDÓS CON BANDAS DE GEOSTEEL G600/G1200

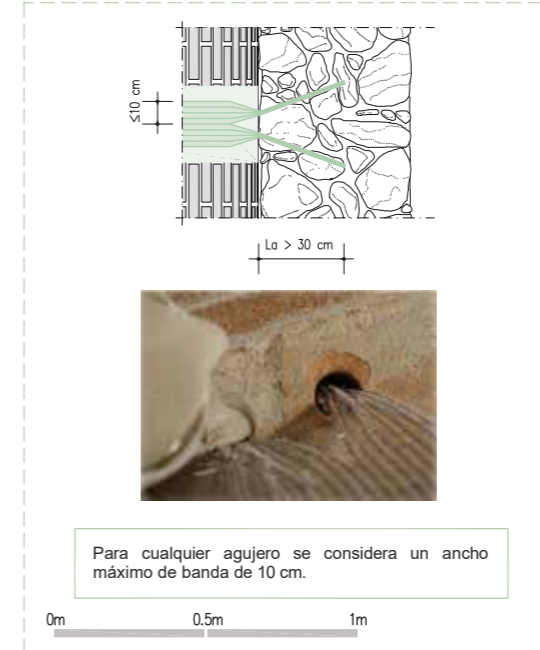
0m 0.5m 1m 2m



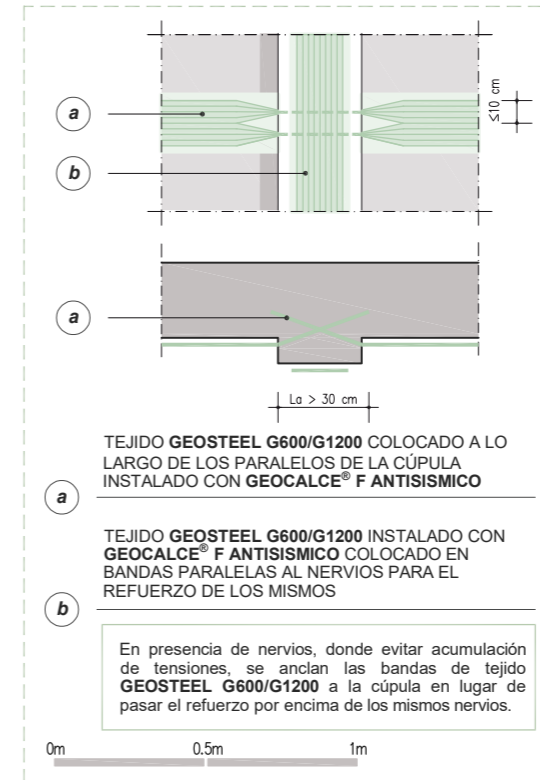
PLANTA  
SISTEMAS DE REFUERZO POR TRASDÓS CON BANDAS DE GEOSTEEL G600/G1200

0m 0.5m 1m 2m

TIPOLOGÍA DE CONEXIÓN RECOMENDADA



TIPOLOGÍA DE CONEXIÓN EN PRESENCIA DE NERVIOS



CUADRO NORMATIVO

**Contención de empujes y consolidación de arcos y bóvedas.**  
La absorción de los empujes de estructuras abovedadas, particularmente importante en caso de evento sísmico, puede ejecutarse con **tirantes y vendajes**. La posición óptima de los tirantes es justo encima de las impostas de los arcos, aunque a menudo estas soluciones no pueden ejecutarse, por lo que podría ser necesario colocar los tirantes en el trasdós, siempre que se demuestre la eficacia y la flexión resultante sea adecuadamente controlada. Las vinculaciones en el trasdós pueden realizarse con elementos dotados también, de rigidez flexional (elementos de limitada sección) y añadiendo tirantes inclinados a estas conexiones y ancladas a la altura de las impostas (cadenas eslingas).  
La realización de **contrafuertes** (o **recrecidos de muro**) es útil para contrarrestar las solicitaciones estáticas, no dinámicas, pero su efecto en caso de acciones sísmicas debe ser evaluado, a causa de los potenciales efectos locales vinculados a su significativa rigidez.  
Para la consolidación de arcos y bóvedas, también es posible recurrir a las técnicas de refuerzo por el trasdós basadas en el uso de compuestos fibrorreforzados.  
(Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018, §8.7.4 - 5)

**Refuerzo de bóvedas y arcos**  
Bóvedas y arcos pueden reforzarse aplicando sistemas FRCM ya sea sobre el trasdós o sobre el intradós. En ambos casos, el objetivo es suplir la falta de resistencia a tracción del aparejo del muro contrarrestando la creación de rótulas plásticas. El refuerzo puede colocarse en continuo o a bandas, y puede vincularse a la mampostería y a la bóveda además de por adhesión, con conectores especiales. [...] La posibilidad de conferir un comportamiento dúctil al sistema a nivel estructural se traduce en un aumento de la capacidad resistente y en una mejora cualitativa total, teniendo presente la necesidad de un modelo de verificación de la integridad del refuerzo y de la conexión refuerzo-estructura.  
(CNR - DT 215/2018 §2.1.2.2 - §4.5)

- 1 POSIBLE COBERTURA A ELIMINAR Y RECOLOCAR DESPUÉS DE LA INTERVENCIÓN DE REFUERZO
- 2 LIMPIEZA DEL TRASDÓS DE LA CÚPULA. POSIBLE APLICACIÓN DE CONSOLIDANTE CORTICAL TIPO **BIOCALCE® SILICATO CONSOLIDANTE** O **RASOBUILD® ECO CONSOLIDANTE**. POSIBLE RECONSTRUCCIÓN VOLUMÉTRICA, GENERANDO CONTINUIDAD EN LOS MATERIALES Y REGULARIZACIÓN DE LA SUPERFICIE CON **GEOCALCE® F ANTISISMICO**
- 3 EXTENDER SOBRE EL SOPORTE UN ESPESOR MEDIO DE 3-5 mm DE **GEOCALCE® F ANTISISMICO** PARA INSTALAR Y EMBEBER EL TEJIDO DE REFUERZO
- 4 INSTALACIÓN DEL TEJIDO **GEOSTEEL G600/G1200** COLOCADO A BANDAS PARALELAS A LOS MERIDIANOS DE LA CÚPULA
- 5 INSTALACIÓN DEL TEJIDO **GEOSTEEL G600/G1200** COLOCADO A BANDAS PARALELAS A LOS PARALELOS DE LA CÚPULA
- 6 APLICACIÓN DEL TEJIDO CON UNA LONGITUD DE ANCLAJE PARA GARANTIZAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL REFUERZO
- 7 ACABADO FINAL PROTECTOR CON **GEOCALCE® F ANTISISMICO** (ESPESOR 2-5 mm). PARA CUBRIR EL REFUERZO Y RELLENAR LOS POSIBLES HUECOS. ES NECESARIO GARANTIZAR, TANTO LA MADURACIÓN DE LA CAPA INICIAL COMO DE LA FINAL, LA CUAL SE APLICA CUANDO LA ANTERIOR SE ENCUENTRA AÚN FRESCA

# 51

## Refuerzo y consolidación de cúpulas mediante encamisado por intradós con bandas de fibra de acero galvanizado y geomortero a base de cal hidráulica natural



### PRESCRIPCIÓN

1. Preparación de los soportes. Proceder con el posible vaciado y aligerado de las capas superiores. Sobre la superficie del intradós de la bóveda, eliminar completamente los residuos de trabajos anteriores que puedan perjudicar la adhesión, limpiar la superficie hasta la poner al descubierto los elementos estructurales y realizar el sellado y reparación de posibles lesiones presentes tanto en el trasdós como en el intradós con trozos de material adecuado y el uso del geomortero GEOCALCE F ANTISISMICO compatible con el mortero existente, a modo de reparar la continuidad estructural y estética. Preparar, limpiar y humectar las superficies. Realizar posible aplicación de consolidante fijador cortical tipo BIOCALCE SILICATO CONSOLIDANTE o RASOBUILD ECO CONSOLIDANTE, en el caso de soportes de yeso aislar preventivamente con RASOBUILD ECO CONSOLIDANTE.
2. Aplicación del sistema de refuerzo. Realizar el sistema de refuerzo estructural con fibra de acero Steel Reinforced Grout (combinación de tejido de acero y mortero mineral a base de cal hidráulica natural NHL 3.5 y Geoligante), teniendo la precaución de colocar el tejido uniformemente sobre la superficie, según lo indicado por el técnico competente y siguiendo los detalles gráficos reportados en la tabla anexa. El ancho de las bandas y el paso corren a cargo del técnico competente. Para instalar las bandas, extender una primera mano de GEOCALCE F ANTISISMICO, garantizando sobre el soporte la cantidad de material suficiente (espesor medio 3 - 5 mm) para regularizarlo y para adaptar y embeber el tejido de refuerzo. Posteriormente aplicar sobre la matriz aún fresca el tejido de fibra de acero galvanizado GEOSTEEL G600, garantizando el perfecto embebido de la banda en la capa de matriz, ejerciendo presión enérgica con la llana y teniendo la precaución de que el propio mortero fluya a través de los cables para así garantizar una adhesión óptima entre la primera y segunda capa de matriz. Colocar el tejido en bandas a lo largo de la dirección de los paralelos y de los meridianos de la cúpula. Concluir la aplicación con el alisado final protector (espesor medio de 2 - 5 mm) siempre realizado con GEOCALCE F ANTISISMICO, con el objetivo de embeber totalmente el refuerzo y tapar posibles huecos subyacentes. En caso de capas sucesivas a la primera, proceder con la colocación de la segunda capa del tejido sobre la capa de matriz todavía fresca. Para garantizar una mayor eficacia del sistema de refuerzo, realizar los sistemas de conexión usando el tejido GEOSTEEL G600 o G1200, precortado con el objetivo de obtener una longitud de anclaje igual a la prevista y verificada por el proyectista. Es responsabilidad del proyectista dimensionar las eventuales distancias entre un conector y el inmediatamente adyacente.

### ADVERTENCIAS

Consultar el APÉNDICE B para conocer la modalidad de instalación y las prestaciones mecánicas de sistema de conexión a chicote, realizado con la gama de tejidos GEOSTEEL en combinación con el taco de polipropileno armado con fibra de vidrio INIETTORE&CONNETTORE GEOSTEEL.

Cuando por exigencias técnicas el tejido GEOSTEEL G600 no resultara suficientemente satisfactorio a las comprobaciones, es posible sustituirlo con GEOSTEEL G1200.

Actuación compatible con los sistemas deshumidificantes de Kerakoll.

### ESPECIFICACIÓN DE PROYECTO

Refuerzo de cúpulas con encamisado por el intradós con bandas de fibra de acero galvanizado, mediante el uso del sistema compuesto con matriz inorgánica, SRG (Steel Reinforced Grout), provisto de Marcado CE a través de Evaluación Técnica Europea (ETA) según el art. 26 del Reglamento UE n. 305/2011 o de certificación internacional de validez comprobada, realizado con tejido unidireccional de fibra de acero galvanizado de altísima resistencia, formado por micro-cordones de acero producidos según norma ISO 16120-1/4 2017 fijados sobre una micro-malla de fibra de vidrio, de peso neto de fibra de aproximadamente 670 g/m<sup>2</sup> – tipo GEOSTEEL G600 de Kerakoll – características técnicas certificadas: resistencia a tracción valor característico > 3000 MPa; módulo elástico > 190 GPa; deformación última a rotura > 2%; área efectiva de un cable 3x2 (5 hilos) = 0,538 mm<sup>2</sup>; n° cables por cm = 1,57 con envoltorio de hilos de elevado ángulo de torsión conforme a la norma ISO/DIS 17832; espesor equivalente de la banda = 0,084 mm, impregnado con geomortero de altísima higroscopicidad y transpirabilidad a base cal hidráulica natural NHL 3.5 y Geoligante mineral, áridos de arena silícea y calizas dolomíticas de curva granulométrica 0 – 1,4 mm, GreenBuilding Rating 5 –tipo GEOCALCE F ANTISISMICO de Kerakoll – alta eficacia en la reducción de los contaminantes en el interior, no permite el desarrollo de bacterias (Clase B+) ni de hongos (Clase F+) medida con método CSTB, certificado con bajísimas emisiones COVs con conformidad EC 1 Plus GEV-Emicode, emisiones CO<sub>2</sub> ≤ 250 g/kg, contenido de minerales reciclados ≥ 30%. El geomortero natural provisto con marcado CE, clase del mortero M15 (EN 998/2), clase de resistencia R1 PCC (EN 1504-3), reacción al fuego A1 (EN 13501-1), permeabilidad al vapor de agua de 15 a 35 (EN 1745), resistencia a compresión a los 28 días ≥ 15 N/mm<sup>2</sup> (EN 1015-11), módulo elástico 9 GPa (EN 13412), adhesión al soporte a los 28 días > 1,0 N/mm<sup>2</sup> – FB: B (EN 1015-12).

La actuación se desarrollará en las siguientes fases: preparación de las superficies a reforzar, mediante eliminación del enfoscado existente, reparación de lesiones mediante cosido; limpieza y humectación de la superficie o aplicación de fijador consolidante cortical; extensión de una primera mano de geomortero, de espesor aprox. de 3 - 5 mm; con el mortero aún fresco, proceder a la colocación del tejido de fibra de acero garantizando una completa impregnación del tejido y evitar la formación de posibles huecos o burbujas de aire que puedan comprometer su adhesión; ejecución de la segunda capa de geomortero, en un espesor aprox. de 2 - 5 mm con el objetivo de embeber totalmente el tejido de refuerzo y tapar todos los huecos subyacentes; repetición de las fases de aplicación del tejido y geomortero para todas las capas sucesivas de refuerzo previstas por el proyecto; inserción de conectores realizados con tejido unidireccional de fibra de acero galvanizado de altísima resistencia, a instalarse cada 30 - 40 cm a lo largo del desarrollo de la banda, previa realización del agujero de ingreso, de las dimensiones adecuadas, confeccionar el conector metálico mediante corte, "desfibrado" y enrollado final del tejido de fibra de acero, inserción del conector preformado en el interior del agujero con inyección a baja presión de geomortero de altísima higroscopicidad y transpirabilidad, hiperfluido, de elevada retención de agua a base de cal hidráulica natural NHL 3,5 y Geoligante mineral, de intervalo granulométrico 0-100 µm, GreenBuilding Rating 5, provisto de marcado CE – tipo GEOCALCE FL ANTISISMICO de Kerakoll – características técnicas certificadas: alta eficacia en la reducción de los contaminantes en el interior, no permite el desarrollo de bacterias (Clase B+) ni de hongos (Clase F+) medida con método CSTB, certificado con bajísimas emisiones COVs con conformidad EC 1 Plus GEV-Emicode, emisiones CO<sub>2</sub> ≤ 250 g/kg, contenido de minerales reciclados ≥ 30%. El geomortero natural está provisto de marcado CE, clase del mortero M15 (EN 998/2), reacción al fuego A1 (EN 13501-1), permeabilidad al vapor de agua de 15 a 35 (EN 1745), resistencia a compresión a los 28 días ≥ 15 N/mm<sup>2</sup> (EN 1015-11), módulo elástico 9,5 GPa (EN 13412), resistencia al arrancamiento de las barras de acero ≥ 3,5 MPa (RILEM-CEB-FIPRC6-78). Están incluidos el suministro y puesta en obra de todos los materiales arriba descritos y todo lo necesario para dar por acabado el trabajo. Se excluyen: eliminación del enfoscado existente y la limpieza de las zonas degradadas y reparadas del soporte; los anclajes en extremidad del tejido; los conectores y la inyección de los mismos y todos los costes necesarios para su realización, las pruebas de aceptación del material; las investigaciones previas y posteriores a la intervención; todos los medios auxiliares necesarios para la ejecución de los trabajos. El precio es por unidad de superficie de refuerzo efectivamente puesto en obra incluidos los solapes.



1 Ejecución de los agujeros guía.



2 Mojado del soporte.



3 Aplicación de la primera mano de GEOCALCE F ANTISISMICO.



4 Instalación del tejido de fibra de acero GEOSTEEL.



5 Instalación del conector realizado con tejido de fibra de acero GEOSTEEL con INIETTORE&CONNETTORE GEOSTEEL.

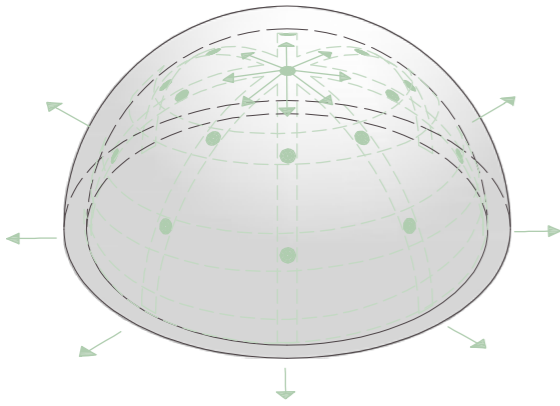


6 Fijación de los anclajes y de los conectores con GEOCALCE FL ANTISISMICO y cerrado del agujero con la tapa suministrada.



# 51

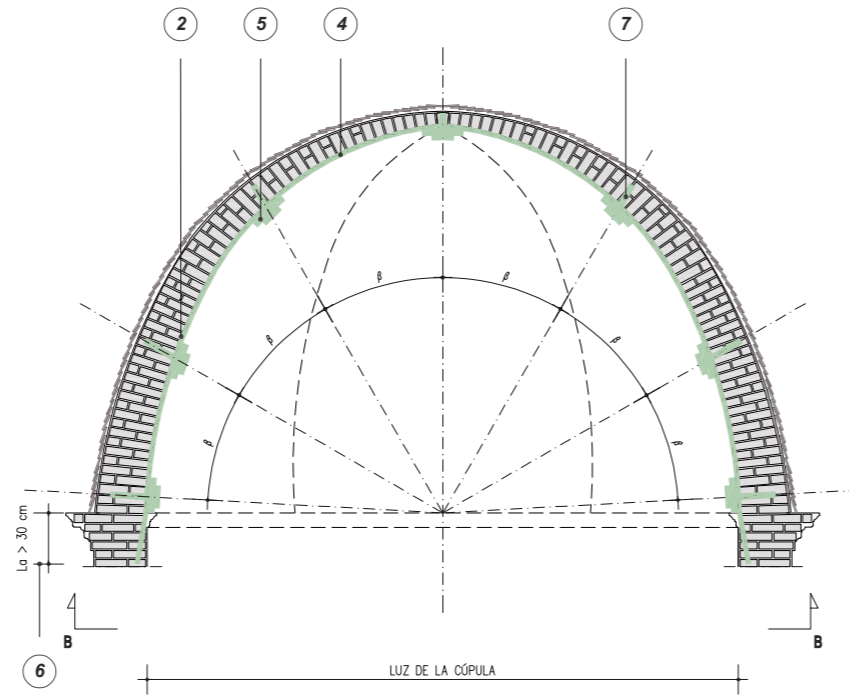
REFUERZO Y CONSOLIDACIÓN DE CÚPULAS MEDIANTE ENCAMISADO POR INTRADÓS CON BANDAS DE FIBRA DE ACERO GALVANIZADO Y GEOMORTERO A BASE DE CAL HIDRÁULICA NATURAL



VISTA AXONOMÉTRICA  
REFUERZO POR INTRADÓS DE CÚPULA

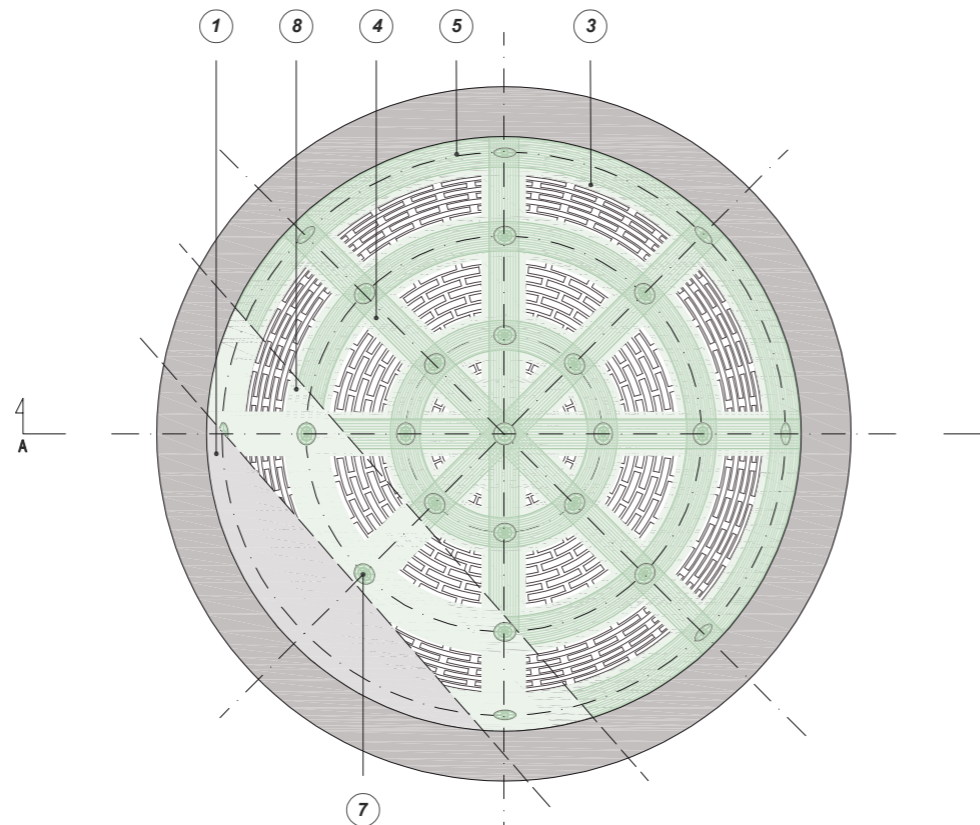
NOTA

Los diseños representan, a modo de ejemplo, un aparejo de piedra con cúpula de ladrillo cerámico, aunque el esquema es idéntico si se encuentra en presencia de cúpulas de piedra, ladrillo o toba. En presencia de mampostería caótica es siempre recomendable efectuar una actuación combinada con inyecciones de mortero (TABLA 24).



SECCIÓN A-A'  
SISTEMAS DE REFUERZO POR INTRADÓS  
CON BANDAS DE GEOSTEEL G600/G1200

0m 0.5m 1m 2m



PLANTA B-B'  
SISTEMAS DE REFUERZO POR INTRADÓS  
CON BANDAS DE GEOSTEEL G600/G1200

0m 0.5m 1m 2m

TIPOLOGÍA DE CONEXIÓN RECOMENDADA



Para cualquier agujero se considera un ancho máxima de banda de 10 cm.

0m 0.5m 1m

POSIBLE ELIMINACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DEL ENFOSCADO DESPUÉS DE LA ACTUACIÓN DE REFUERZO

- 1 LIMPIEZA DEL TRASDÓS E INTRADÓS DE LA CÚPULA. POSIBLE APLICACIÓN DE CONSOLIDANTE CORTICAL TIPO **BIOCALCE® SILICATO CONSOLIDANTE** O **RASOBUILD® ECO CONSOLIDANTE**. POSIBLE RECONSTRUCCIÓN VOLUMÉTRICA, GENERANDO CONTINUIDAD EN LOS MATERIALES Y REGULARIZACIÓN DE LA SUPERFICIE CON **GEOCALCE® F ANTISISMICO**
  - 2 EXTENDER SOBRE EL SOPORTE UN ESPESOR MEDIO DE 3-5 mm DE **GEOCALCE® F ANTISISMICO** PARA INSTALAR Y EMBEBER EL TEJIDO DE REFUERZO
  - 3 INSTALACIÓN DEL TEJIDO **GEOSTEEL G600/G1200** COLOCADO A BANDAS PARALELAS A LOS MERIDIANOS DE LA CÚPULA
  - 4 INSTALACIÓN DEL TEJIDO **GEOSTEEL G600/G1200** COLOCADO A BANDAS PARALELAS A LOS PARALELOS DE LA CÚPULA
  - 5 APLICACIÓN DEL TEJIDO CON UNA LONGITUD DE ANCLAJE La PARA GARANTIZAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL REFUERZO
  - 6 Para garantizar el correcto funcionamiento del refuerzo en la imposta de la cúpula, este último debe extenderse y anclarse adecuadamente a la estructura subyacente, utilizando dispositivos mecánicos.
  - 7 Se considera un Longitud de anclaje de al menos 30 cm. Para más información, consultar el APÉNDICE A.
  - 8 CONECTORES MECÁNICOS A CHICOTE **GEOSTEEL G600** O **GEOSTEEL G1200**
- Para los sistemas de refuerzo colocados en el intradós, se recomienda la instalación de conectores mecánicos a chicote **GEOSTEEL G600/G1200** para evitar fenómenos de peeling. Se aconseja un paso entre conectores de 40 cm y, además, colocados en correspondencia con los cruces de las bandas de refuerzo.
- Consultar el APÉNDICE A para obtener mayor información acerca del montaje de los conectores.

ACABADO FINAL PROTECTOR CON **GEOCALCE® F ANTISISMICO** (ESPESOR 2.5 mm), PARA CUBRIR EL REFUERZO Y RELLENAR LOS POSIBLES HUECOS. ES NECESARIO GARANTIZAR, TANTO LA MADURACIÓN DE LA CAPA INICIAL COMO DE LA FINAL, LA CUAL SE APLICA CUANDO LA ANTERIOR SE ENCUENTRA AÚN FRESCA

CUADRO NORMATIVO

**Contención de empujes y consolidación de arcos y bóvedas.**  
La absorción de los empujes de estructuras abovedadas, particularmente importante en caso de evento sísmico, puede ejecutarse con **tirantes y vendajes**. La posición óptima de los tirantes es justo encima de las impostas de los arcos, aunque a menudo estas soluciones no pueden ejecutarse, por lo que podría ser necesario colocar los tirantes en el trasdós, siempre que se demuestre la eficacia y la flexión resultante sea adecuadamente controlada. Las vinculaciones (en el trasdós) pueden realizarse con elementos dotados también, de rigidez flexional (elementos de limitada sección) y añadiendo tirantes inclinados a estas conexiones y ancladas a la altura de las impostas (cadenas eslingas). La realización de **contrafuertes** (o **recrecidos de muro**) es útil para contrarrestar las solicitaciones estáticas, no dinámicas, pero su efecto en caso de acciones sísmicas debe ser evaluado, a causa de los potenciales efectos locales vinculados a su significativa rigidez. Para la consolidación de arcos y bóvedas, también es posible recurrir a las técnicas de refuerzo por el trasdós basadas en el uso de compuestos fibrorreforzados. (Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018, §C8.7.4 - 5)

**Refuerzo de bóvedas y arcos**  
Bóvedas y arcos pueden reforzarse aplicando sistemas FRCM ya sea sobre el trasdós o sobre el intradós. En ambos casos, el objetivo es suplir la falta de resistencia a tracción del aparejo del muro contrarrestando la creación de rótulas plásticas. El refuerzo puede colocarse en continuo o a bandas, y puede vincularse a la mampostería y a la bóveda además de por adhesión, con conectores especiales. [...] La posibilidad de conferir un comportamiento dúctil al sistema a nivel estructural se traduce en un aumento de la capacidad resistente y en una mejora cualitativa total, teniendo presente la necesidad de un modelo de verificación de la integridad del refuerzo y de la conexión refuerzo-estructura. (CNR - DT 215/2018 §2.1.2.2 - §4.5)

# 52

## Refuerzo y consolidación de cúpulas mediante encamisado extendido por trasdós con tejido de fibra natural de basalto y acero inoxidable y geomortero a base de cal hidráulica natural



### PRESCRIPCIÓN

- Preparación de los soportes. Prever el posible vaciado y aligerado de las capas superiores, limpiar la superficie del trasdós hasta descubrir los elementos estructurales y realizar el sellado y reparación de las posibles lesiones presentes tanto en el intradós como en el trasdós con trozos de material idóneo y el uso del geomortero GEOCALCE F ANTISISMICO compatible con el mortero existente, a modo de reparar la continuidad estructural y estética. Realizar un soplado final del muro mediante aire a presión y sucesiva aspiración de los residuos y humectación de las superficies. En caso de intradós decorado, aplicar fijador cortical tipo BIOCALCE SILICATO CONSOLIDANTE o RASOBUILD ECO CONSOLIDANTE, en el caso de soportes de yeso aislar preventivamente con RASOBUILD ECO CONSOLIDANTE.
- Aplicación del sistema de refuerzo. Realizar el sistema de refuerzo extendido sobre todo el casquete por el trasdós con tejido de fibra de basalto y acero inoxidable AISI 304, con tratamiento especial alcalino resistente con resina al agua exenta de disolventes, Fabric Reinforced Cementitious Matrix (combinación de tejido de fibra de basalto y mortero mineral a base de cal hidráulica natural NHL 3.5 y Geoligante), teniendo la precaución de colocar el tejido uniformemente sobre la superficie, según lo indicado por el técnico competente. Para garantizar uniformidad en la superficie, evitar la superposición longitudinal y realizar solapes laterales mayores de 30 cm. Para instalar las bandas, extender una primera mano de GEOCALCE F ANTISISMICO, garantizando sobre el soporte la cantidad de material suficiente (espesor medio 3 - 5 mm) para regularizarlo y para adaptar y embeber el tejido de refuerzo. Posteriormente aplicar sobre la matriz aún fresca el tejido bidireccional de fibra de basalto y acero inoxidable AISI 304, con tratamiento especial protector alcalino resistente con resina al agua exenta de disolventes, GEOSTEEL GRID 200, garantizando el perfecto embebido del tejido en la capa de matriz, ejerciendo presión enérgica con la llana y teniendo la precaución de que el propio mortero fluya a través de la trama para así garantizar una adhesión óptima entre la primera y segunda capa de matriz. Concluir la aplicación con el alisado final protector (espesor medio de 2 - 5 mm) siempre realizado con GEOCALCE F ANTISISMICO, con el objetivo de embeber totalmente el refuerzo y tapar posibles huecos subyacentes. En caso de capas sucesivas a la primera, proceder con la colocación de la segunda capa del tejido sobre la capa de matriz todavía fresca. Si es posible, realizar sistemas de anclaje sobre los apoyos de la cúpula, uniéndolo el refuerzo con las posibles bandas de arranque. Para garantizar una mayor eficacia del sistema de refuerzo y una correcta conexión en los extremos, realizar los sistemas de conexión usando tejido GEOSTEEL G600 o G1200, precortado con el objetivo de obtener una longitud de anclaje igual a la prevista y verificada por el proyectista. Es responsabilidad del proyectista dimensionar las eventuales distancias entre un conector y el inmediatamente adyacente.

### ADVERTENCIAS

El proyectista puede elegir, en base a exigencias de proyecto, como alternativa al tejido biaxial de fibra de basalto y acero inoxidable GEOSTEEL GRID 200, el tejido biaxial de fibra de basalto y acero inoxidable GEOSTEEL GRID 400 o el tejido biaxial de fibra de vidrio alcalino resistente y aramida RINFORZO ARV 100.

Consultar el APÉNDICE B para conocer la modalidad de instalación y las prestaciones mecánicas de sistema de conexión a chicote, realizado con la gama de tejidos GEOSTEEL en combinación con el taco de polipropileno armado con fibra de vidrio INIETTORE&CONNETTORE GEOSTEEL.

Actuación compatible con los sistemas deshumidificantes de Kerakoll.

### ESPECIFICACIÓN DE PROYECTO

Refuerzo extendido por el trasdós de cúpula mediante el uso del sistema compuesto con matriz inorgánica, FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix), provisto de Marcado CE a través de Evaluación Técnica Europea (ETA) según el art. 26 del Reglamento UE n. 305/2011 o de certificación internacional de validez comprobada, realizado con tejido compensado de fibra de basalto y acero inoxidable AISI 304, - tipo GEOSTEEL GRID 200 de Kerakoll - características técnicas certificadas: acero inoxidable AISI 304, con tratamiento especial protector alcalino resistente con resina al agua exenta de disolventes, resistencia a tracción del hilo > 750 MPa, módulo elástico E > 200 GPa; fibra de basalto: resistencia a tracción  $\geq$  3000 MPa, módulo elástico E  $\geq$  87 GPa; dimensión de la luz 17x17 mm, espesor equivalente t, (0°-90°) = 0,032 mm, gramaje incluyendo la termosoldadura y el revestimiento protector  $\approx$  200 g/m<sup>2</sup>, impregnado con geomortero de altísima higroscopicidad y transpirabilidad a base cal hidráulica natural NHL 3.5 y Geoligante mineral, áridos de arena silícea y calizas dolomíticas de curva granulométrica 0 - 1,4 mm, GreenBuilding Rating 5 -tipo GEOCALCE F ANTISISMICO de Kerakoll - alta eficacia en la reducción de los contaminantes en el interior, no permite el desarrollo de bacterias (Clase B+) ni de hongos (Clase F+) medida con método CSTB, certificado con bajísimas emisiones COVs con conformidad EC 1 Plus GEV-Emicode, emisiones CO<sub>2</sub>  $\leq$  250 g/kg, contenido de minerales reciclados  $\geq$  30%. El geomortero natural provisto con marcado CE, clase del mortero M15 (EN 998/2), clase de resistencia R1 PCC (EN 1504-3), reacción al fuego A1 (EN 13501-1), permeabilidad al vapor de agua de 15 a 35 (EN 1745), resistencia a compresión a los 28 días  $\geq$  15 N/mm<sup>2</sup> (EN 1015-11), módulo elástico 9 GPa (EN 13412), adhesión al soporte a los 28 días > 1,0 N/mm<sup>2</sup> - FB: B (EN 1015-12). La actuación se desarrollará en las siguientes fases: vaciado de las capas superiores de la cúpula, sellado y reparación de lesiones en el trasdós y el intradós con trozos de material idóneo asentados con el geomortero; descubierto de los elementos estructurales, limpieza y humectación de la superficie o aplicación de fijador consolidante cortical; extensión de una primera mano de geomortero, de espesor aprox. de 3 - 5 mm; con el mortero aún fresco, colocación del tejido, garantizando una completa impregnación del tejido y evitar la formación de posibles huecos que puedan comprometer su adhesión; ejecución de la segunda capa de geomortero, en un espesor aprox. de 2 - 5 mm con el objetivo de embeber totalmente el tejido de refuerzo y tapar todos los huecos subyacentes; repetición de las fases de aplicación del tejido y geomortero para todas las capas sucesivas de refuerzo previstas por el proyecto; anclado de la extremidades del tejido con la inserción de conectores realizados con tejido unidireccional de fibra de acero galvanizado de altísima resistencia, formado por micro-cables de acero producidos según norma ISO 16120-1/4 2017 - tipo GEOSTEEL de Kerakoll - características técnicas certificadas: resistencia a tracción valor característico > 3000 MPa; módulo elástico > 190 GPa; deformación última a rotura > 1,5%; área efectiva de un cable 3x2 (5 hilos) = 0,538 mm<sup>2</sup>; con envolvente de hilos de elevado ángulo de torsión conforme a la norma ISO/DIS 17832; previa realización del agujero de ingreso, de las dimensiones adecuadas, confeccionar el conector metálico mediante corte, "desfibrado" y enrollado final del tejido de fibra de acero, inserción del conector preformado en el interior del agujero con inyección a baja presión de geomortero de altísima higroscopicidad y transpirabilidad, hiperfluido, de elevada retención de agua a base de cal hidráulica natural NHL 3,5 y Geoligante mineral, de intervalo granulométrico 0-100  $\mu$ m, GreenBuilding Rating 5, provisto de marcado CE - tipo GEOCALCE FL ANTISISMICO de Kerakoll - características técnicas certificadas: alta eficacia en la reducción de los contaminantes en el interior, no permite el desarrollo de bacterias (Clase B+) ni de hongos (Clase F+) medida con método CSTB, certificado con bajísimas emisiones COVs con conformidad EC 1 Plus GEV-Emicode, emisiones CO<sub>2</sub>  $\leq$  250 g/kg, contenido de minerales reciclados  $\geq$  30%. El geomortero está provisto de marcado CE, clase del mortero M15 (EN 998/2), reacción al fuego A1 (EN 13501-1), permeabilidad al vapor de agua de 15 a 35 (EN 1745), resistencia a compresión a los 28 días  $\geq$  15 N/mm<sup>2</sup> (EN 1015-11), módulo elástico 9,5 GPa (EN 13412), resistencia al arrancamiento de las barras de acero  $\geq$  3,5 MPa (RILEM-CEB-FIPRC6-78). Están incluidos el suministro y puesta en obra de todos los materiales arriba descritos y todo lo necesario para dar por acabado el trabajo. Se excluyen: el vaciado de las capas superiores de la cúpula, la limpieza de las zonas degradadas y reparación del soporte; los anclajes en extremidad del tejido; las pruebas de aceptación del material; las investigaciones previas y posteriores a la intervención; los medios auxiliares necesarios para la ejecución de los trabajos. El precio es por unidad de superficie de refuerzo efectivamente puesto en obra incluidos los solapes.



1 Ejecución de los agujeros guía.



2 Preparación, limpieza y humectación de las superficies.



3 Aplicación de la primera mano de GEOCALCE F ANTISISMICO.



4 Instalación del tejido biaxial de fibra de basalto GEOSTEEL GRID.



5 Instalación de diáfono GEOSTEEL e INIETTORE&CONNETTORE GEOSTEEL para la conexión entre el refuerzo y las bandas.

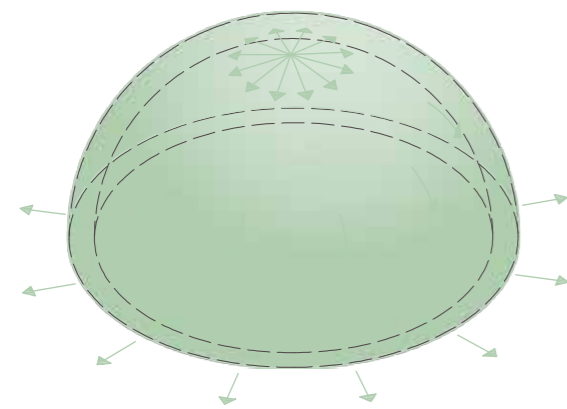


6 Fijación de los anclajes con GEOCALCE FL ANTISISMICO y cerrado del agujero con la tapa suministrada.



# 52

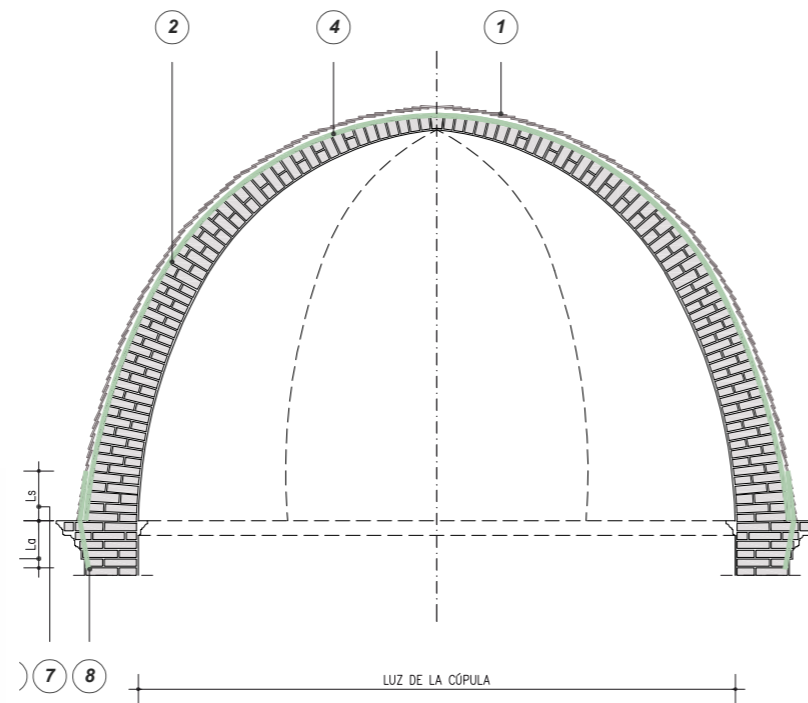
REFUERZO Y CONSOLIDACIÓN DE CÚPULAS MEDIANTE ENCAMISADO EXTENDIDO POR TRASDÓS CON TEJIDO DE FIBRA NATURAL DE BASALTO Y ACERO INOXIDABLE Y GEOMORTERO A BASE DE CAL HIDRÁULICA NATURAL



VISTA AXONOMÉTRICA  
REFUERZO POR TRASDÓS DE CÚPULA

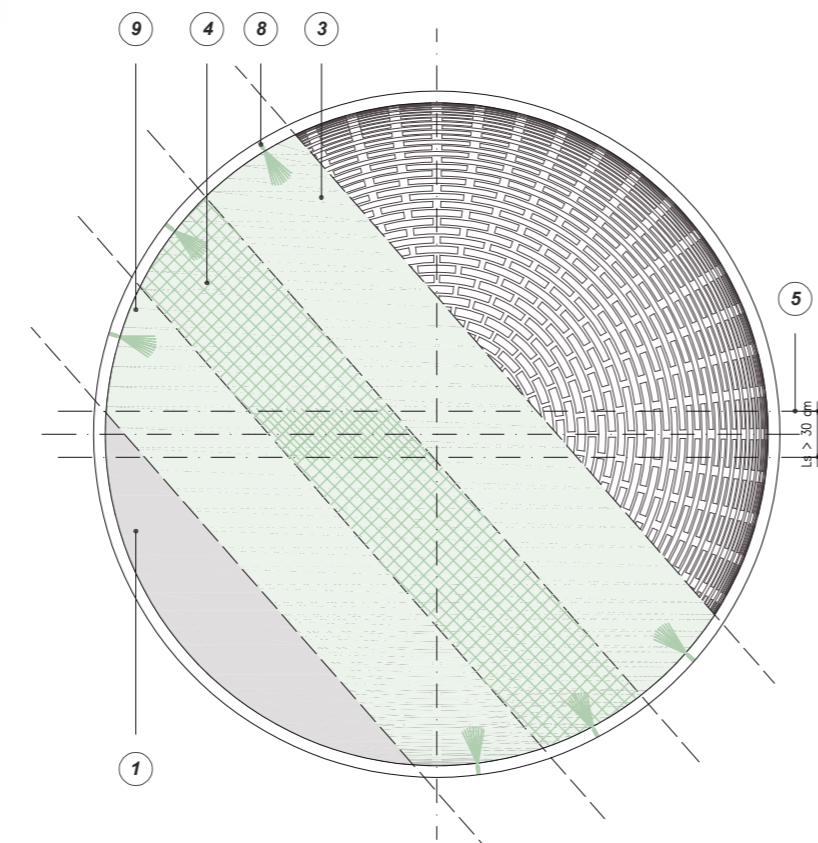
NOTA

Los diseños representan, a modo de ejemplo, un aparejo de piedra con cúpula de ladrillo cerámico, aunque el esquema es idéntico si se encuentra en presencia de cúpulas de piedra, ladrillo o toba. En presencia de mampostería caótica es siempre recomendable efectuar una actuación combinada con inyecciones de mortero (TABLA 24).



SECCIÓN A-A'  
SISTEMAS DE REFUERZO EXTENDIDO POR TRASDÓS CON  
TEJIDO GEOSTEEL GRID 200/400 O RINFORZO ARV 100

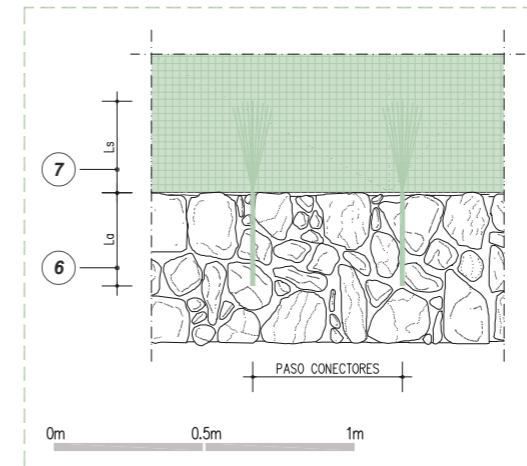
0m 0.5m 1m 2m



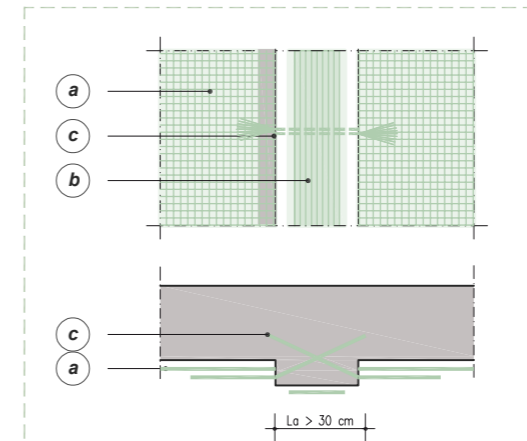
PLANTA  
SISTEMAS DE REFUERZO EXTENDIDO POR TRASDÓS CON  
TEJIDO GEOSTEEL GRID 200/400 O RINFORZO ARV 100

0m 0.5m 1m 2m

TIPOLOGÍA DE CONEXIÓN RECOMENDADA



TIPOLOGÍA DE CONEXIÓN EN PRESENCIA DE NERVIOS



TEJIDO GEOSTEEL GRID 200/400 INSTALADO CON  
GEOCALCE® F ANTISISMICO

a

TEJIDO GEOSTEEL G600/G1200 INSTALADO CON  
GEOCALCE® F ANTISISMICO COLOCADO EN BANDAS  
PARALELAS A LOS NERVIOS PARA EL REFUERZO DE LOS  
MISMOS

b

CONECTORES MECÁNICOS A CHICOTE GEOSTEEL  
G600/G1200 INYECTADOS EN EL INTERIOR DEL  
NERVIO CON GEOCALCE® FL ANTISISMICO

c

En presencia de nervios, donde evitar acumulación de tensiones, se anclan los tejidos GEOSTEEL GRID 200/400 a la cúpula con conectores GEOSTEEL G600/G1200 en lugar de pasar el refuerzo por encima de los mismos nervios.

0m 0.5m 1m

CUADRO NORMATIVO

Contención de empujes y consolidación de arcos y bóvedas.

La absorción de los empujes de estructuras abovedadas, particularmente importante en caso de evento sísmico, puede ejecutarse con tirantes y vendajes. La posición óptima de los tirantes es justo encima de las impostas de los arcos, aunque a menudo estas soluciones no pueden ejecutarse, por lo que podría ser necesario colocar los tirantes en el trasdós, siempre que se demuestre la eficacia y la flexión resultante sea adecuadamente controlada. Las vinculaciones en el trasdós pueden realizarse con elementos dotados también, de rigidez flexional (elementos de limitada sección) y añadiendo tirantes inclinados a estas conexiones y ancladas a la altura de las impostas (cadenas eslingas). La realización de **contrafuertes (o recrecidos de muro)** es útil para contrarrestar las solicitaciones estáticas, no dinámicas, pero su efecto en caso de acciones sísmicas debe ser evaluado, a causa de los potenciales efectos locales vinculados a su significativa rigidez. Para la consolidación de arcos y bóvedas, también es posible recurrir a las técnicas de refuerzo por el trasdós basadas en el uso de compuestos fibrorreforzados. (Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018, §C8.7.4 - 5)

Refuerzo de bóvedas y arcos

Bóvedas y arcos pueden reforzarse aplicando sistemas FRM ya sea sobre el trasdós o sobre el intradós. En ambos casos, el objetivo es suplir la falta de resistencia a tracción del aparejo del muro contrarrestando la creación de rótulas plásticas. El refuerzo puede colocarse en continuo o a bandas, y puede vincularse a la mampostería y a la bóveda además de por adhesión, con conectores especiales. [...] La posibilidad de conferir un comportamiento dúctil al sistema a nivel estructural se traduce en un aumento de la capacidad resistente y en una mejora cualitativa total, teniendo presente la necesidad de un modelo de verificación de la integridad del refuerzo y de la conexión refuerzo-estructura. (CNR - DT 215/2018 §2.1.2.2 - §4.5)

1 POSIBLE COBERTURA A ELIMINAR Y RECOLOCAR DESPUÉS DE LA INTERVENCIÓN DE REFUERZO

2 LIMPIEZA DEL TRASDÓS DE LA CÚPULA, POSIBLE APLICACIÓN DE CONSOLIDANTE CORTICAL TIPO BIOCALCE® SILICATO CONSOLIDANTE O RASOBUILD® ECO CONSOLIDANTE, POSIBLE RECONSTRUCCIÓN VOLUMÉTRICA GENERANDO CONTINUIDAD EN LOS MATERIALES Y REGULARIZACIÓN DE LA SUPERFICIE CON GEOCALCE® F ANTISISMICO

3 EXTENDER SOBRE EL SOPORTE UN ESPESOR MEDIO DE 3-5 mm DE GEOCALCE® F ANTISISMICO PARA INSTALAR Y EMBEBER EL TEJIDO DE REFUERZO

4 INSTALCIÓN DE TEJIDO DE FIBRA NATURAL DE BASALTO Y ACERO INOXIDABLE GEOSTEEL GRID 200/400 O EL TEJIDO DE FIBRA DE VIDRIO Y ARAMIDA, ALCALINO RESISTENTE, RINFORZO ARV 100 APLICADOS SOBRE EL TRASDÓS DE LA CÚPULA

5 APLICACIÓN DEL TEJIDO CON UNA LONGITUD DE SOLAPE Ls PARA GARANTIZAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL REFUERZO

El tejido de fibra natural de basalto y acero inoxidable GEOSTEEL GRID 200/400 está disponible en rollos de 1 m de alto. Para la instalación se aconseja una longitud de solape de al menos 30 cm.

6 APLICACIÓN DEL TEJIDO CON UNA LONGITUD DE ANCLAJE La PARA GARANTIZAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL REFUERZO

Para garantizar el correcto funcionamiento del refuerzo en la imposta de la cúpula, este último debe extenderse y anclarse adecuadamente a la estructura subyacente, utilizando dispositivos mecánicos.

Se recomiendan longitudes de anclaje de al menos 30 cm. Para más información consultar el APÉNDICE A.

7 APLICACIÓN DEL ANCLAJE CON UNA LONGITUD DE SOLAPE Ls PARA GARANTIZAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL REFUERZO

8 CONECTORES MECÁNICOS A CHICOTE GEOSTEEL G600 O GEOSTEEL G1200

Consulte el APÉNDICE B para obtener más información.

9 AL TERMINO DE LA COLOCACIÓN DEL TEJIDO SE PROCEDERÁ INMEDIATAMENTE, FRESCO SOBRE FRESCO, A LA REALIZACIÓN DE LA SEGUNDA CAPA DE GEOCALCE® F ANTISISMICO EN UN ESPESOR MEDIO DE APROXIMADAMENTE 2-5 mm HASTA LA COMPLETA COBERTURA DEL TEJIDO DE REFUERZO

# 53

## Refuerzo y consolidación de cúpulas mediante encamisado extendido por intradós con tejido de fibra natural de basalto y acero inoxidable y geomortero a base de cal hidráulica natural



### PRESCRIPCIÓN

- Preparación del soporte. Proceder con el posible vaciado y aligerado de las capas superiores. Sobre la superficie del intradós de la bóveda, eliminar completamente los residuos de trabajos anteriores que puedan perjudicar la adhesión, limpiar la superficie hasta la poner al descubierto los elementos estructurales y realizar el sellado y reparación de posibles lesiones presentes tanto en el trasdós como en el intradós con trozos de material adecuado y el uso del geomortero GEOCALCE F ANTISISMICO compatible con el mortero existente, a modo de reparar la continuidad estructural y estética. Realizar el último soplado de la cúpula mediante aire a presión con posterior aspiración de residuos y humectación de las superficies. Realizar posible aplicación de consolidante fijador cortical tipo BIOCALCE SILICATO CONSOLIDANTE o RASOBUILD ECO CONSOLIDANTE, en el caso de soportes de yeso aislar preventivamente con RASOBUILD ECO CONSOLIDANTE.
- Aplicación del sistema de refuerzo. Realizar el sistema de refuerzo extendido sobre todo el casquete por el intradós con tejido de fibra de basalto y acero inoxidable AISI 304, con tratamiento especial alcalino resistente con resina al agua exenta de disolventes, Fabric Reinforced Cementitious Matrix (combinación de tejido de fibra de basalto y mortero mineral a base de cal hidráulica natural NHL 3.5 y Geoligante), teniendo la precaución de colocar el tejido uniformemente sobre la superficie, según lo indicado por el técnico competente y siguiendo los detalles gráficos reportados en la tabla anexa. Para garantizar uniformidad en la superficie, evitar la superposición longitudinal y tener la precaución de realizar solapes laterales mayores de 30 cm. Para instalar las bandas, extender una primera mano de GEOCALCE F ANTISISMICO, garantizando sobre el soporte la cantidad de material suficiente (espesor medio 3 - 5 mm) para regularizarlo y para adaptar y embeber el tejido de refuerzo. Posteriormente aplicar sobre la matriz aún fresca el tejido bidireccional de fibra de basalto y acero inoxidable AISI 304, con tratamiento especial protector alcalino resistente con resina al agua exenta de disolventes, GEOSTEEL GRID 200, garantizando el perfecto embebido del tejido en la capa de matriz, ejerciendo presión enérgica con la llana y teniendo la precaución de que el propio mortero fluya a través de la trama para así garantizar una adhesión óptima entre la primera y segunda capa de matriz. Concluir la aplicación con el alisado final protector (espesor medio de 2 - 5 mm) siempre realizado con GEOCALCE F ANTISISMICO, con el objetivo de embeber totalmente el refuerzo y tapar posibles huecos subyacentes. En caso de capas sucesivas a la primera, proceder con la colocación de la segunda capa del tejido sobre la capa de matriz todavía fresca. Para garantizar una mayor eficacia del sistema de refuerzo, realizar los sistemas de conexión usando el tejido GEOSTEEL G600 o G1200, precortado con el objetivo de obtener una longitud de anclaje igual a la prevista y verificada por el proyectista. Es responsabilidad del proyectista dimensionar las eventuales distancias entre un conector y el inmediatamente adyacente.

### ADVERTENCIAS

El proyectista puede elegir, en base a exigencias de proyecto, como alternativa al tejido biaxial de fibra de basalto y acero inoxidable GEOSTEEL GRID 200, el tejido biaxial de fibra de basalto y acero inoxidable GEOSTEEL GRID 400 o el tejido biaxial de fibra de vidrio alcalino resistente y aramida RINFORZO ARV 100.

Consultar el APÉNDICE B para conocer la modalidad de instalación y las prestaciones mecánicas de sistema de conexión a chicote, realizado con la gama de tejidos GEOSTEEL en combinación con el taco de polipropileno armado con fibra de vidrio INIETTORE&CONNETTORE GEOSTEEL.

Actuación compatible con los sistemas deshumidificantes de Kerakoll.

### ESPECIFICACIÓN DE PROYECTO

Refuerzo extendido por el intradós de cúpula mediante el uso del sistema compuesto con matriz inorgánica, FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix), provisto de Marcado CE a través de Evaluación Técnica Europea (ETA) según el art. 26 del Reglamento UE n. 305/2011 o de certificación internacional de validez comprobada, realizado con tejido compensado de fibra de basalto y acero inoxidable AISI 304, - tipo GEOSTEEL GRID 200 de Kerakoll - características técnicas certificadas: acero inoxidable AISI 304, con tratamiento especial protector alcalino resistente con resina al agua exenta de disolventes, resistencia a tracción del hilo > 750 MPa, módulo elástico E > 200 GPa; fibra de basalto: resistencia a tracción  $\geq 3000$  MPa, módulo elástico E  $\geq 87$  GPa; dimensión de la luz 17x17 mm, espesor equivalente  $t_r$  (0°-90°) = 0,032 mm, gramaje incluyendo la termosoldadura y el revestimiento protector  $\approx 200$  g/m<sup>2</sup>, impregnado con geomortero de altísima higroscopicidad y transpirabilidad a base cal hidráulica natural NHL 3.5 y Geoligante mineral, áridos de arena sílicea y calizas dolomíticas de curva granulométrica 0 - 1,4 mm, GreenBuilding Rating 5 -tipo GEOCALCE F ANTISISMICO de Kerakoll - alta eficacia en la reducción de los contaminantes en el interior, no permite el desarrollo de bacterias (Clase B+) ni de hongos (Clase F+) medida con método CSTB, certificado con bajísimas emisiones COVs con conformidad EC 1 Plus GEV-Emicode, emisiones CO<sub>2</sub>  $\leq 250$  g/kg, contenido de minerales reciclados  $\geq 30\%$ . El geomortero está provisto de marcado CE, clase del mortero M15 (EN 998/2), clase de resistencia R1 PCC (EN 1504-3), reacción al fuego clase A1 (EN 13501 - 1), permeabilidad al vapor de agua de 15 a 35 (EN 1745), resistencia a compresión a los 28 días  $\geq 15$  N/mm<sup>2</sup> (EN 1015-11), modulo elástico 9 GPa (EN 13412), adhesión al soporte a los 28 días > 1,0 N/mm<sup>2</sup> - FP: B (EN 1015-12). La actuación se desarrollará en las siguientes fases: preparación de las superficies a reforzar, mediante eliminación del enfoscado existente, reparación de lesiones mediante cosido; limpieza y humectación de la superficie o aplicación de fijador consolidante cortical; extensión de una primera mano de geomortero, de espesor aprox. de 3 - 5 mm; con el mortero aún fresco, proceder a la colocación del tejido, garantizando una completa impregnación del tejido y evitar la formación de posibles huecos que puedan comprometer su adhesión; ejecución de la segunda capa de geomortero, en un espesor aprox. de 2 - 5 mm con el objetivo de embeber totalmente el tejido de refuerzo y tapar todos los huecos subyacentes; repetición de las fases de aplicación del tejido y geomortero para todas las capas sucesivas de refuerzo previstas por el proyecto; conexión con la inserción de conectores realizados con tejido unidireccional de fibra de acero galvanizado de altísima resistencia, formado por micro-cables de acero producidos según norma ISO 16120-1/4 2017 - tipo GEOSTEEL de Kerakoll - características técnicas certificadas: resistencia a tracción valor característico > 3000 MPa; módulo elástico > 190 GPa; deformación última a rotura > 1,5%; área efectiva de un cable 3x2 (5 hilos) = 0,538 mm<sup>2</sup>; con envolvente de hilos de elevado ángulo de torsión conforme a la norma ISO/DIS 17832; previa realización del agujero de ingreso de las dimensiones, confeccionar el conector metálico mediante corte, "desfibrado", y enrollado final del tejido de fibra de acero, manteniendo la forma mediante brida de plástico; inserción del conector preformado en el interior del agujero con inyección a baja presión de geomortero de altísima higroscopicidad y transpirabilidad, hiperfluido, de elevada retención de agua a base de cal hidráulica natural NHL 3,5 y Geoligante mineral, de intervalo granulométrico 0-100  $\mu$ m, GreenBuilding Rating 5, provisto de marcado CE - tipo GEOCALCE FL ANTISISMICO de Kerakoll - características técnicas certificadas: alta eficacia en la reducción de los contaminantes en el interior, no permite el desarrollo de bacterias (Clase B+) ni de hongos (Clase F+) medida con método CSTB, certificado con bajísimas emisiones COVs con conformidad EC 1 Plus GEV-Emicode, emisiones CO<sub>2</sub>  $\leq 250$  g/kg, contenido de minerales reciclados  $\geq 30\%$ . El geomortero está provisto de marcado CE, clase del mortero M15 (EN 998/2), reacción al fuego A1 (EN 13501-1), permeabilidad al vapor de agua de 15 a 35 (EN 1745), resistencia a compresión a los 28 días  $\geq 15$  N/mm<sup>2</sup> (EN 1015-11), módulo elástico 9,5 GPa (EN 13412), resistencia al arrancamiento de las barras de acero  $\geq 3,5$  MPa (RILEM-CEB-FIPRC6-78). Están incluidos el suministro y puesta en obra de todos los materiales arriba descritos y todo lo necesario para dar por acabado el trabajo. Están excluidos: la eliminación del enfoscado existente, la limpieza de las zonas degradadas y la reparación del soporte; los conectores y la inyección de los mismos, así como todos los costes necesarios para su realización; las pruebas de aceptación del material; las verificaciones pre- y post- intervención; los medios auxiliares necesarios para la ejecución de los trabajos. El precio es por unidad de superficie de refuerzo efectivamente puesto en obra incluidos los solapes.



1 Realización de los agujeros guía.

2 Aplicación de la primera mano de GEOCALCE F ANTISISMICO.

3 Instalación del tejido biaxial de fibra de basalto GEOSTEEL GRID.

4 Corte del tejido bidireccional de fibra de basalto GEOSTEEL GRID en la zona de los agujeros a inyectar.

5 Instalación del conector realizado con tejido de fibra de acero GEOSTEEL con INIETTORE&CONNETTORE GEOSTEEL.

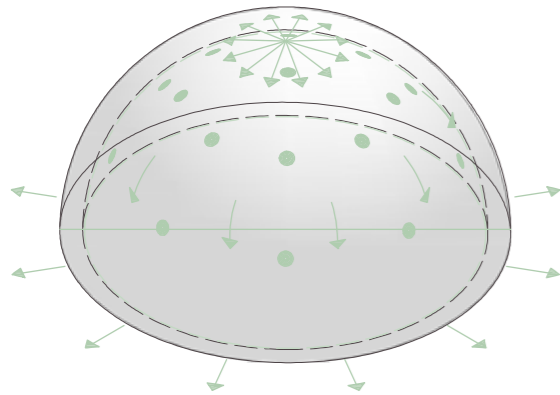
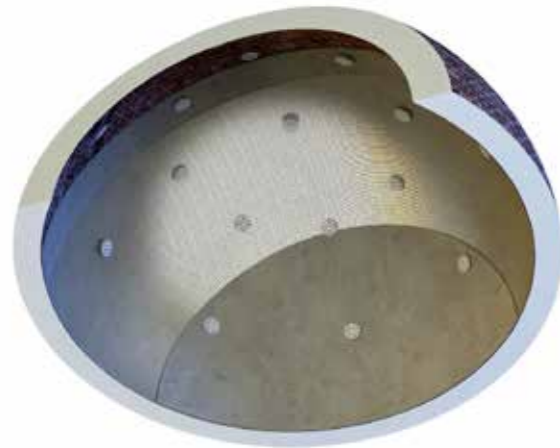
6 Anclaje de los sistemas de conexión con GEOCALCE FL ANTISISMICO.





# 53

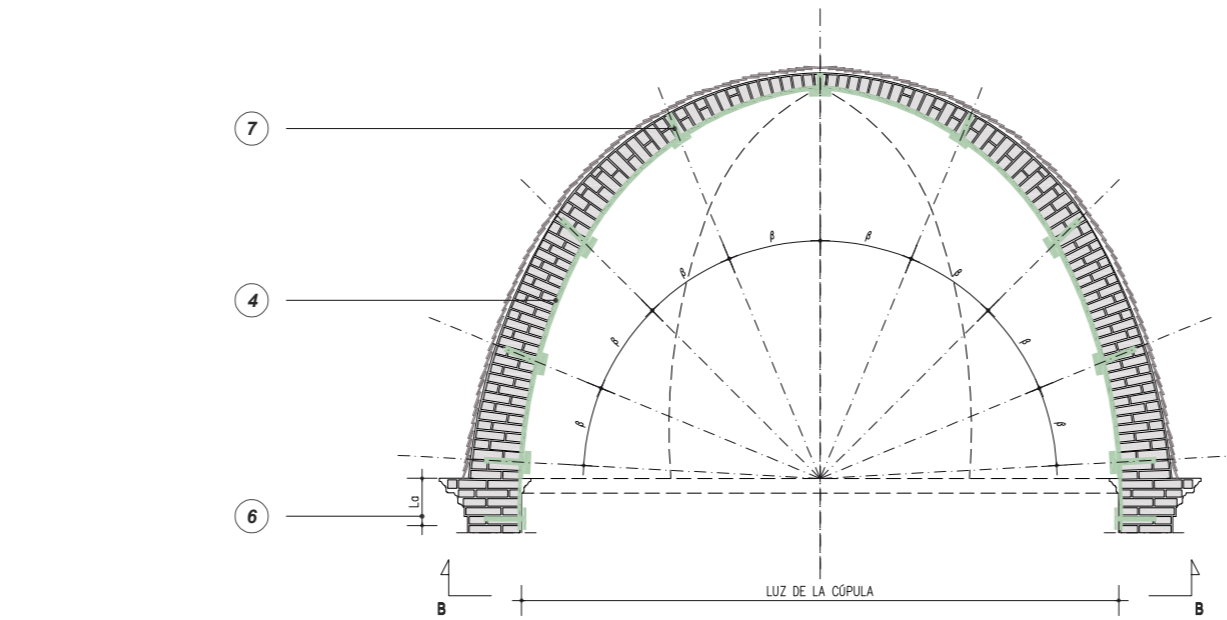
REFUERZO Y CONSOLIDACIÓN DE CÚPULAS MEDIANTE ENCAMISADO EXTENDIDO POR INTRADÓS CON TEJIDO DE FIBRA NATURAL DE BASALTO Y ACERO INOXIDABLE Y GEOMORTERO A BASE DE CAL HIDRÁULICA NATURAL



VISTA AXONOMÉTRICA  
REFUERZO POR INTRADÓS DE CÚPULA

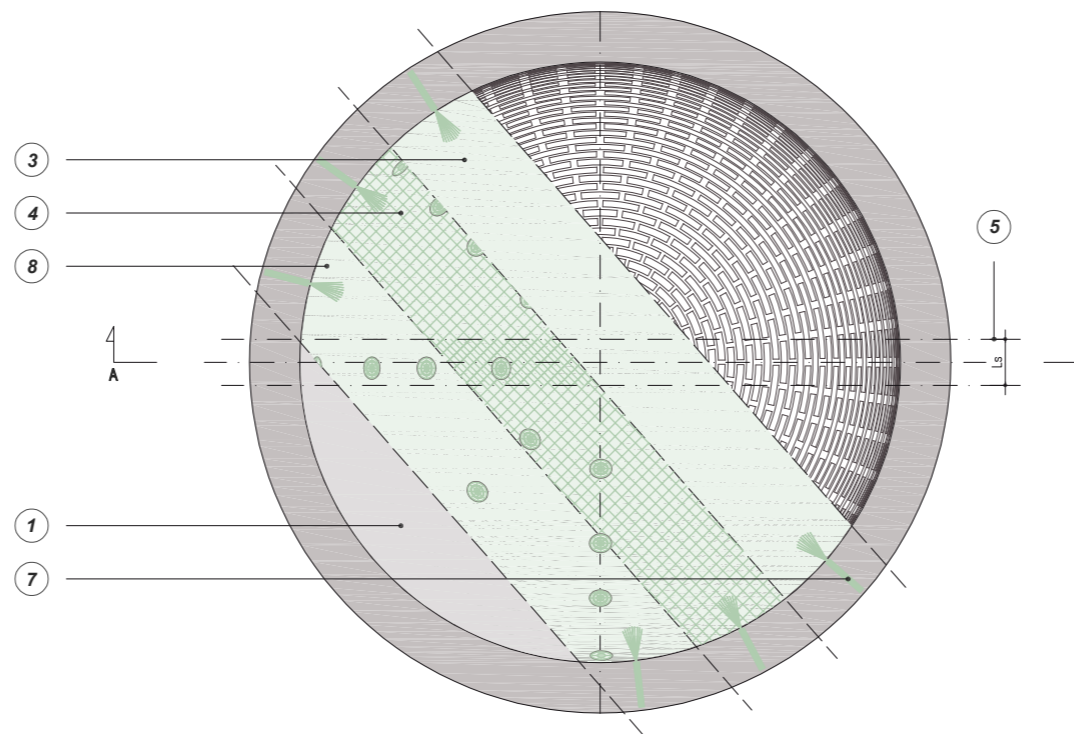
**NOTA**

Los diseños representan, a modo de ejemplo, un aparejo de piedra con cúpula de ladrillo cerámico, aunque el esquema es idéntico si se encuentra en presencia de cúpulas de piedra, ladrillo o toba. En presencia de mampostería caótica es siempre recomendable efectuar una actuación combinada con inyecciones de mortero (TABLA 24).



SECCIÓN A-A'  
SISTEMA DE REFUERZO EXTENDIDO POR INTRADÓS CON TEJIDO  
GEOSTEEL GRID 200/400 O RINFORZO ARV 100

0m 0.5m 1m 2m



PLANTA B-B'  
SISTEMAS DE REFUERZO EXTENDIDO POR  
INTRADÓS CON TEJIDO GEOSTEEL GRID  
200/400 O RINFORZO ARV 100

**CUADRO NORMATIVO**

**Contención de empujes y consolidación de arcos y bóvedas.**

La absorción de los empujes de estructuras abovedadas, particularmente importante en caso de evento sísmico, puede ejecutarse con **tirantes y vendajes**. La posición óptima de los tirantes es justo encima de las impostas de los arcos, aunque a menudo estas soluciones no pueden ejecutarse, por lo que podría ser necesario colocar los tirantes en el trasdós, siempre que se demuestre la eficacia y la flexión resultante sea adecuadamente controlada. Las vinculaciones en el trasdós pueden realizarse con elementos dotados también, de rigidez flexional (elementos de limitada sección) y añadiendo tirantes inclinados a estas conexiones y ancladas a la altura de las impostas (cadenas eslingas).

La realización de **contrafuertes** (o **recercados de muro**) es útil para contrarrestar las solicitaciones estáticas, no dinámicas, pero su efecto en caso de acciones sísmicas debe ser evaluado, a causa de los potenciales efectos locales vinculados a su significativa rigidez.

Para la consolidación de arcos y bóvedas, también es posible recurrir a las técnicas de refuerzo por el trasdós basadas en el uso de compuestos fibroreforzados. (Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018, §C8.7.4 - 5)

**Refuerzo de bóvedas y arcos**

Bóvedas y arcos pueden reforzarse aplicando sistemas FRCM ya sea sobre el trasdós o sobre el intradós. En ambos casos, el objetivo es suplir la falta de resistencia a tracción del aparejo del muro contrarrestando la creación de rótulas plásticas. El refuerzo puede colocarse en continuo o a bandas, y puede vincularse a la mampostería y a la bóveda además de por adhesión, con conectores especiales. [...] La posibilidad de conferir un comportamiento dúctil al sistema a nivel estructural se traduce en un aumento de la capacidad resistente y en una mejora cualitativa total, teniendo presente la necesidad de un modelo de verificación de la integridad del refuerzo y de la conexión refuerzo-estructura. (CNR - DT 215/2018 §2.1.2.2 - §4.5)

1 POSIBLE ELIMINACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DEL ENFOSCADO DESPUÉS DE LA ACTUACIÓN DE REFUERZO

2 LIMPIEZA DEL TRASDÓS E INTRADÓS DE LA CÚPULA, POSIBLE APLICACIÓN DE CONSOLIDANTE CORTICAL TIPO **BIOCALCE® SILICATO CONSOLIDANTE** O **RASOBUILD® ECO CONSOLIDANTE**, POSIBLE RECONSTRUCCIÓN VOLUMÉTRICA GENERANDO CONTINUIDAD EN LOS MATERIALES Y REGULARIZACIÓN DE LA SUPERFICIE CON **GEOCALCE® F ANTISISMICO**

3 EXTENDER SOBRE EL SOPORTE UN ESPESOR MEDIO DE 3-5 mm DE **GEOCALCE® F ANTISISMICO** PARA INSTALAR Y EMBEBER EL TEJIDO DE REFUERZO

4 INSTALACIÓN DE TEJIDO DE FIBRA NATURAL DE BASALTO Y ACERO INOXIDABLE **GEOSTEEL GRID 200/400** O EL TEJIDO DE FIBRA DE VIDRIO Y ARAMIDA, ALCALINO RESISTENTE, **RINFORZO ARV 100** APLICADOS SOBRE EL INTRADÓS DE LA CÚPULA

5 APLICACIÓN DEL TEJIDO CON UNA LONGITUD DE SOLAPE  $L_s$  PARA GARANTIZAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL REFUERZO

El tejido de fibra natural de basalto y acero inoxidable **GEOSTEEL GRID 200/400** está disponible en rollos de 1 m de alto. Para la instalación se aconseja una longitud de solape de al menos 30 cm.

6 APLICACIÓN DEL TEJIDO CON UNA LONGITUD DE ANCLAJE  $L_a$  PARA GARANTIZAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL REFUERZO

Para garantizar el correcto funcionamiento del refuerzo en la imposta de la cúpula, este último debe extenderse y anclarse adecuadamente a la estructura subyacente, utilizando dispositivos mecánicos. (CNR - DT 200 R1/2013 §5.8.1.3)\*

Se recomiendan longitudes de anclaje de al menos 30 cm.

7 CONECTORES MECÁNICOS A CHICOTE **GEOSTEEL G600** O **GEOSTEEL G1200**

Se recomienda distribuir los conectores mecánicos a chicote de fibra de acero de altísima resistencia **GEOSTEEL G600/G1200** con un intereje de 40 cm.

Consultar el APÉNDICE B para obtener mayor información acerca del montaje de los conectores.

8 AL TERMINO DE LA COLOCACIÓN DEL TEJIDO SE PROCEDERÁ INMEDIATAMENTE A LA REALIZACIÓN DE LA SEGUNDA CAPA DE **GEOCALCE® F ANTISISMICO** EN UN ESPESOR MEDIO DE APROXIMADAMENTE 2-5 mm HASTA LA COMPLETA COBERTURA DEL TEJIDO DE REFUERZO

