

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.

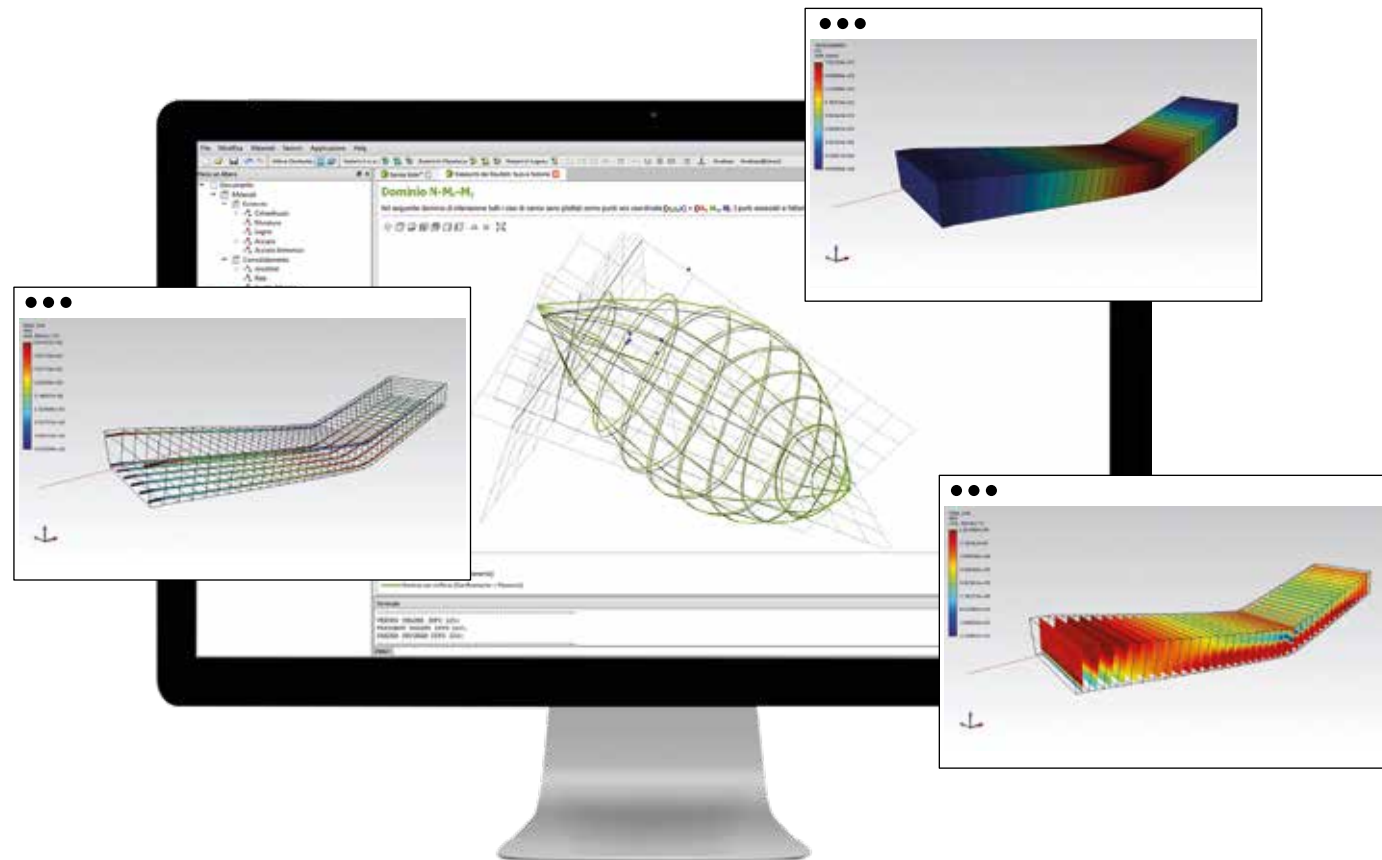
La combinación de las matrices Kerakoll con los tejidos de fibra de acero y de fibra de basalto constituyen los innovadores sistemas de refuerzo estructural en bajo espesor, que ofrecen múltiples ventajas como: simplicidad aplicativa y comportamiento resistente, modulo elástico y tenacidad superiores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

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





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

MUROS Y PILARES

21A		Reparación de lesiones en muros de mampostería mediante la técnica cosido-descosido con mortero a base de cal hidráulica natural	70
21B		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
22		Reparación del llagueado en muros de mampostería con mortero a base de cal hidráulica natural	74
23A		Perfilado armado de la llaga caravista mediante mortero a base de cal hidráulica natural y barras helicoidales de acero inoxidable	76
23B		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
24		Consolidación de machones mediante inyecciones de mortero hiperfluido a base de cal hidráulica natural	80
25A		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
25B		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
25C		Conexión transversal y vinculación de machones mediante cosido en seco con barras helicoidales de acero inoxidable	86
26		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
27A		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
27B		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
27C		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

28		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
29		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
30		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
31		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
32		Refuerzo de pilares de fábrica caravista mediante confinamiento puntual con barras helicoidales de acero inoxidable insertadas en seco	104
33		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

34		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
35		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
36		Refuerzo y consolidación de arcos mediante cosido en seco del intradós con barras helicoidales de acero inoxidable	112
37		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

38		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
39		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
40		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
41		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
42		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
43		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
44		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
45		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
46		Refuerzo y consolidación de bóvedas esquivadas mediante encamisado por trasdós con bandas de fibra de acero galvanizado y geomortero a base de cal hidráulica natural	132

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

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	140
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	142
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	144
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	146

38

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



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 bóveda, 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 bóveda lo máximo posible. Previa realización del agujero, se confeccionan los cordones mencionados, con una 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 en todo el espesor del apoyo y muros perimetrales, y conectar el refuerzo del arco a las posibles bandas de arranque.

ADVERTENCIAS

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 bóveda de cañón 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 la Evaluación Técnica Europea (ETA) según el art. 26 del Reglamento de la UE n. 305/2011 o según certificación internacional validada, realizado con tejido unidireccional de fibra de acero galvanizado Hardwire™ de altísima resistencia, formado por micro-cables de acero producidos según norma ISO 16120-1/4 2017, fijados sobre una micro-malla de fibra de vidrio, peso neto de fibra aprox. a 670 g/m² -tipo GEOSTEEL G600 de Kerakoll Spa- 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 mm²; 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 Spa- características técnicas certificadas: alta eficacia en la reducción de los contaminantes de interior, no permite el desarrollo bacteriano (Clase B+) ni fungoso (Clase F+) medida con método CSTB, certificado con bajísimas emisiones COVs con conformidad EC 1 Plus GEV-Emicode, emisiones CO₂ ≤ 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/mm² (EN 1015-11), módulo elástico 9 GPa (EN 13412), adhesión al soporte a los 28 días > 1,0 N/mm² - FB: B (EN 1015-12).

La actuación se desarrollará en las siguientes fases: vaciado de las capas superiores de la bóveda, 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 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; posible repetición de las fases de aplicación del tejido y geomortero para todas las capas sucesivas de refuerzo previstas por el proyecto; anclaje de la extremidades del tejido de fibra de acero en el interior del soporte, procediendo con su agujereado, 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 CO₂ ≤ 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/mm² (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 vaciado de las capas superiores de la bóveda, 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; 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 _____ 2 _____ 3 _____

4 _____ 5 _____

Preparación, limpieza y humectación de las superficies.

Fijación de los anclajes con GEOCALCE FL ANTISISMICO.

Aplicación de la primera mano de GEOCALCE F ANTISISMICO.

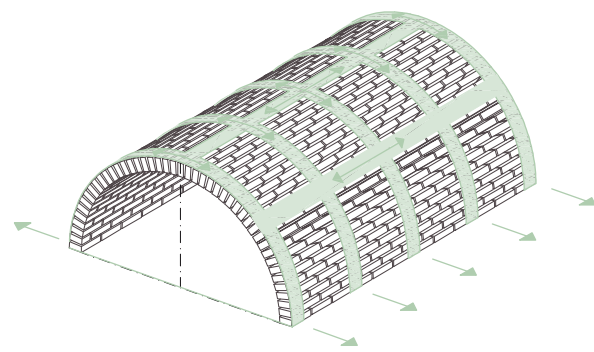
Instalación del tejido de fibra de acero GEOSTEEL.

Aplicación de la segunda mano de GEOCALCE F ANTISISMICO.



38

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

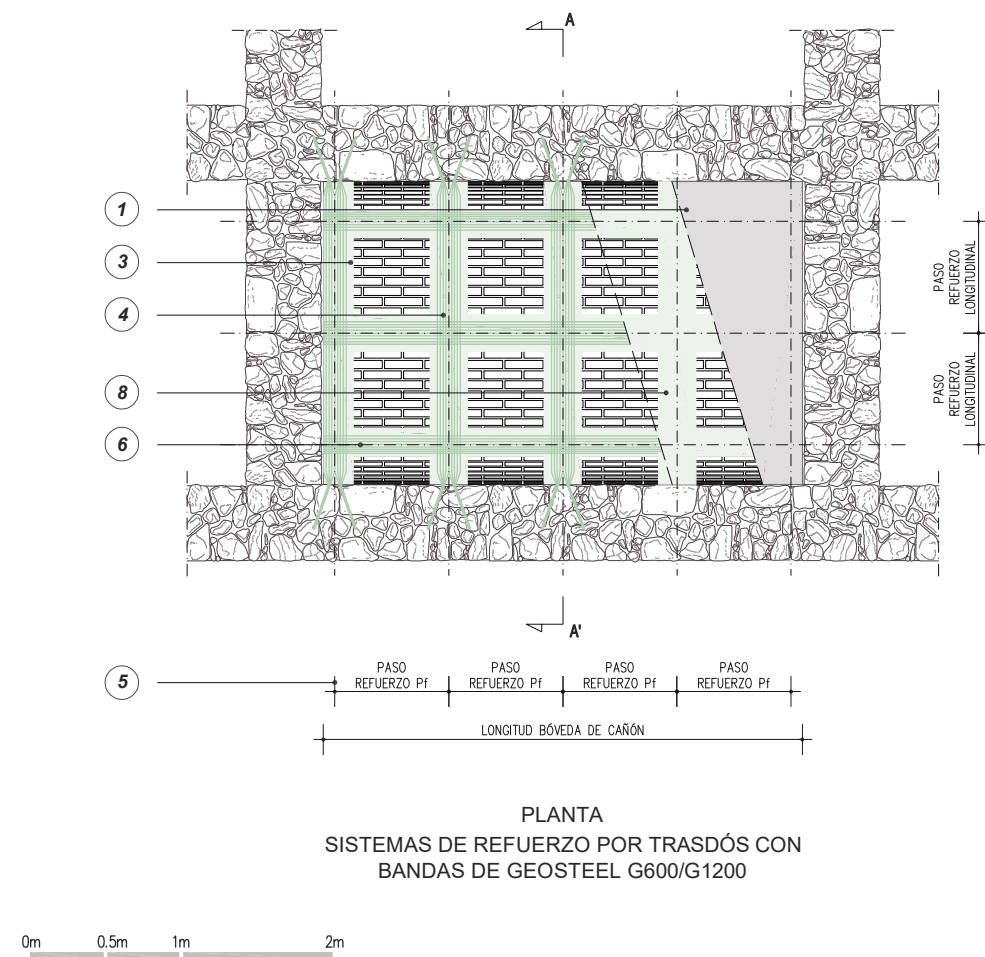
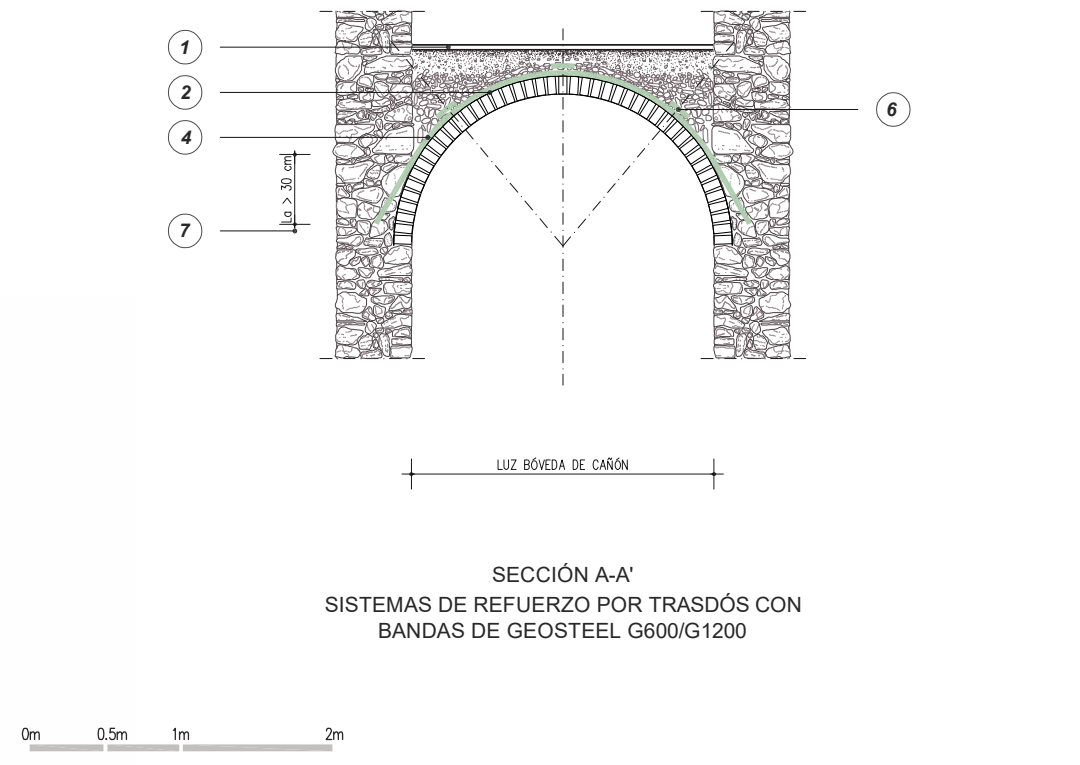


VISTA AXONOMÉTRICA
REFUERZO POR TRASDÓS DE BÓVEDA DE CAÑÓN

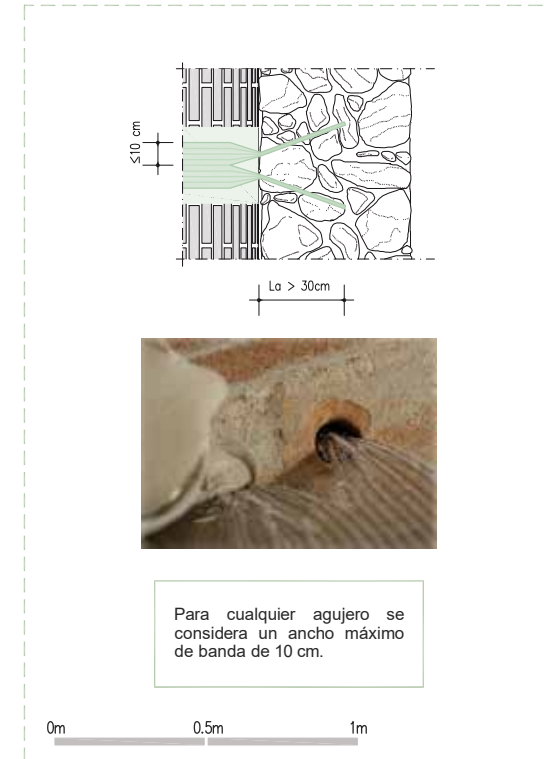
NOTA

Los diseños representan, a modo de ejemplo, un aparejo de piedra con bóveda de ladrillo cerámico, aunque el esquema es idéntico si se encuentra en presencia de bóvedas de piedra 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**



TIPOLOGÍA DE CONEXIÓN RECOMENDADA



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 sollicitaciones 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 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)

* Normativa de comprobada validez

1 PAVIMENTO Y SOLERA A ELIMINAR Y RECONSTRUIR DESPUÉS DE LA ACTUACIÓN DE REFUERZO Y BÓVEDA QUE DEBE SER VACIADA Y RELLENADA CON MATERIAL ALIGERADO

2 LIMPIEZA DEL TRASDÓS DE LA BÓVEDA. 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 **GEOSTEEL G600/G1200** COLOCADO EN BANDAS PARALELAS A LA DIRECTRIZ DE LA BÓVEDA

5 PASO DE REFUERZO PF

6 INSTALACIÓN TEJIDO **GEOSTEEL G600/G1200** COLOCADO A BANDAS PERPENDICULARES A LA GENERATRIZ DE LA BÓVEDA

Con el fin de garantizar la compatibilidad del sistema estructural, es conveniente proporcionar refuerzos longitudinales a lo largo de la generatriz de la bóveda. La densidad del refuerzo debe ser adecuada para asegurar la difusión del efecto de refuerzo sobre toda la mampostería que constituye la bóveda, y por tanto es conveniente que la distancia entre los refuerzos responda a la siguiente relación:
 $p_r \leq 3t+b_r$ donde:
- t es el espesor de la bóveda.
- b_r es la longitud del refuerzo adoptado.
(CNR - DT 215/2018 §4.5.2)

No obstante, no es estrictamente necesario, aunque es recomendable, prever el uso de bandas de refuerzo longitudinales, colocadas a la altura de los ríñones de la bóveda. En el caso de tener bóvedas de mucha luz, es preferible evitar que el intereje entre bandas supere 1 m. En los puntos de unión, se superponen los dos tejidos de fibra, al menos 30 cm.

Consultar el APÉNDICE C para las conexiones del refuerzo con las bandas de superficie o las bandas pasantes.

7 APLICACIÓN DEL TEJIDO CON UNA LONGITUD DE ANCLAJE. PARA GARANTIZAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL REFUERZO

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

8 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

39

Refuerzo y consolidación de bóvedas de cañón mediante encamisado por intradós con bandas de acero galvanizado y geomortero a base de cal hidráulica natural



PRESCRIPCIÓN

- 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.
- 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, 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 bóveda de cañón 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 de la UE n. 305/2011 o según certificación internacional validada, realizado con tejido unidireccional de fibra de acero galvanizado de altísima resistencia (preformado en función de la geometría del elemento estructural mediante el uso de la plegadora específica certificada), formado por micro-cables de acero producidos según norma ISO 16120-1/4 2017, fijados sobre una micro-malla de fibra de vidrio, peso neto de fibra aprox. a 670 g/m² - tipo GEOSTEEL G600 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 mm²; 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 de cal hidráulica natural NHL 3.5 y Geoligante mineral, áridos de arena silicea y calizas dolomíticas de curva granulométrica 0 - 1,4 mm, GreenBuilding Rating 5 - tipo GEOCALCE F ANTISISMICO de Kerakoll - características técnicas certificadas: alta eficacia en la reducción de los contaminantes de interior, no permite el desarrollo de bacterias (Clase B+) ni de hongos (Clase F+) medido con método CSTB, certificado con bajísimas emisiones COVs con conformidad EC 1 Plus GEV-Emicode, emisiones CO₂ ≤ 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/mm² (EN 1015-11), módulo elástico 9 GPa (EN 13412), adhesión al soporte a los 28 días > 1,0 N/mm² - 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, 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; 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 CO₂ ≤ 250 g/kg, contenido de minerales reciclados ≥ 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 ≥ 15 N/mm² (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
- 2
- 3

Realización 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.



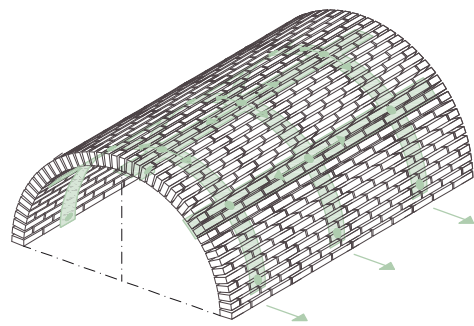
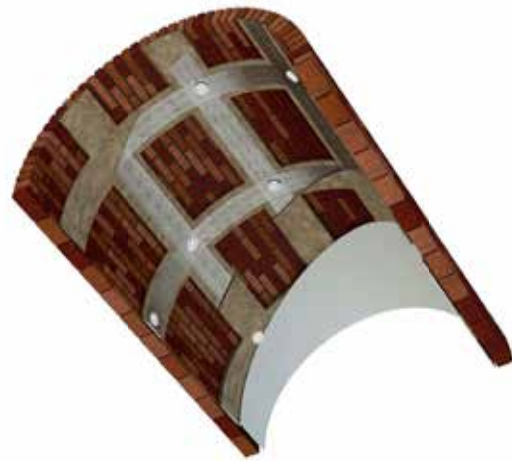
- 6

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



39

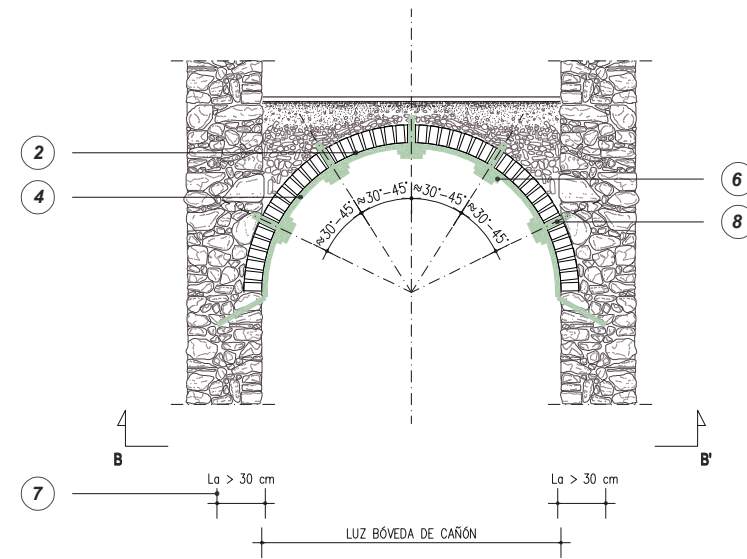
REFUERZO Y CONSOLIDACIÓN DE BÓVEDAS DE CAÑÓN MEDIANTE ENCAMISADO POR INTRADÓS CON BANDAS DE ACERO GALVANIZADO Y GEOMORTERO A BASE DE CAL HIDRÁULICA NATURAL



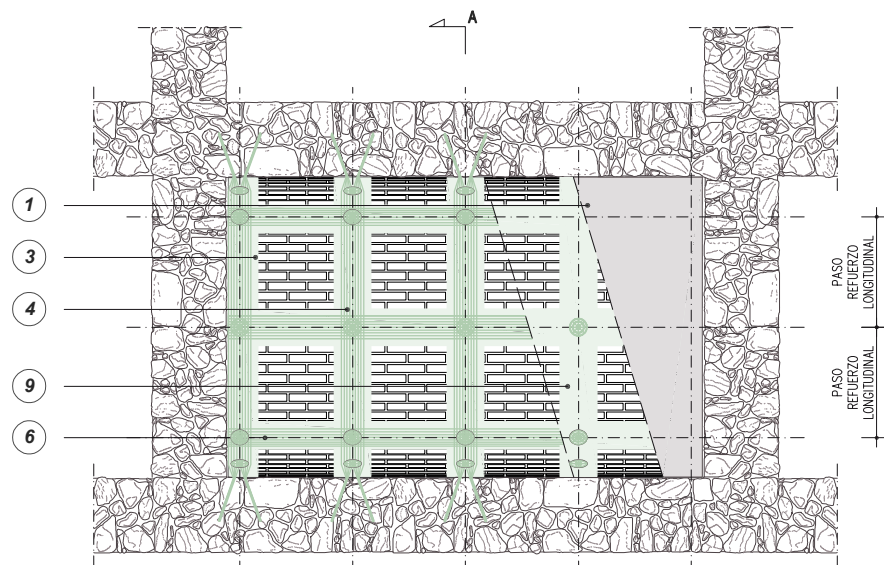
VISTA AXONOMÉTRICA
REFUERZO POR INTRADÓS DE LA BÓVEDA DE CAÑÓN

NOTA
Los diseños representan, a modo de ejemplo, un aparejo de piedra con bóveda de ladrillo cerámico, aunque el esquema es idéntico si se encuentra en presencia de bóvedas de piedra 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**

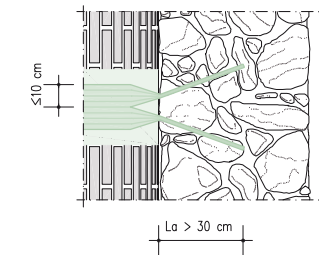


SECCIÓN A-A'
SISTEMAS DE REFUERZO POR INTRADÓS CON BANDAS DE GEOSTEEL G600/G1200



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

TIPOLOGÍA DE CONEXIÓN RECOMENDADA



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

0m 0.5m 1m

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

2 LIMPIEZA DEL TRASDÓS E INTRADÓS DE LA BÓVEDA. 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 UNA PRIMERA CAPA DE **GEOCALCE® F ANTISISMICO** CON UN ESPESOR MEDIO DE 3-5 mm EN EL QUE EMBEBER EL TEJIDO DE REFUERZO

4 INSTALACIÓN DE TEJIDO **GEOSTEEL G600/G1200** COLOCADO A BANDAS PARALELAS A LA DIRECTRIZ DE LA BÓVEDA

5 PASO DEL REFUERZO Pf

6 TEJIDO **GEOSTEEL G600/G1200** COLOCADO A BANDAS PERPENDICULARES A LA GENERATRIZ DE LA BÓVEDA

Con el fin de garantizar la compatibilidad del sistema estructural, es conveniente proporcionar refuerzos longitudinales a lo largo de la generatriz de la bóveda. La densidad del refuerzo debe ser adecuada para asegurar la difusión del efecto de refuerzo sobre toda la mampostería que constituye la bóveda, y por tanto es conveniente que la distancia entre los refuerzos responda a la siguiente relación:
 $p_r \leq 3t + b_r$ donde:
- t es el espesor de la bóveda.
- b_r es la longitud del refuerzo adoptado.
(CNR - DT 215/2018 §4.5.2)

No obstante, no es estrictamente necesario, aunque es recomendable, prever el uso de bandas de refuerzo longitudinales, colocadas a la altura de los riñones de la bóveda. En el caso de tener bóvedas de mucha luz, es preferible evitar que el interje entre bandas supere 1 m. En los puntos de unión, se superponen los dos tejidos de fibra, al menos 30 cm.

Consultar el APÉNDICE C para las conexiones del refuerzo con las bandas de superficie o las bandas pasantes.

7 APLICACIÓN DEL TEJIDO CON UNA LONGITUD DE ANLAJE PARA GARANTIZAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL REFUERZO

Se recomiendan longitudes 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. Consultar la TABLA 37 para obtener mayor información acerca del montaje de los conectores.

9 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)

* Normativa de comprobada validez

40

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



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 trasdós de la bóveda compuesto por fibra de basalto y acero inoxidable AISI 304, con tratamiento especial alcalino resistente (resina al agua exenta de disolventes) y mortero mineral a base de cal hidráulica natural NHL 3.5 y Geoligante (Fabric Reinforced Cementitious Matrix), 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. Si es posible, realizar sistemas de anclaje sobre los apoyos de la bóveda, conectando 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 bóveda de cañón mediante el uso del sistema compuesto con matriz inorgánica, FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix), provisto de Mercado 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/m², impregnado con geomortero de altísima higroscopicidad y transpirabilidad a base cal hidráulica natural NHL 3.5 y Geoligante mineral, áridos de arena silíceo 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 CO₂ \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/mm² (EN 1015-11), módulo elástico 9 GPa (EN 13412), adhesión al soporte a los 28 días > 1,0 N/mm² - FP: B (EN 1015-12). La actuación se desarrollará en las siguientes fases: vaciado de las capas superiores de la bóveda, 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 mm²; con envoltorio 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 μ 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 CO₂ \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/mm² (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 bóveda, 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; 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
- 2
- 3

Realización 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 del conector realizado con tejido de fibra de acero GEOSTEEL para anclar el refuerzo de la bóveda con las bandas.



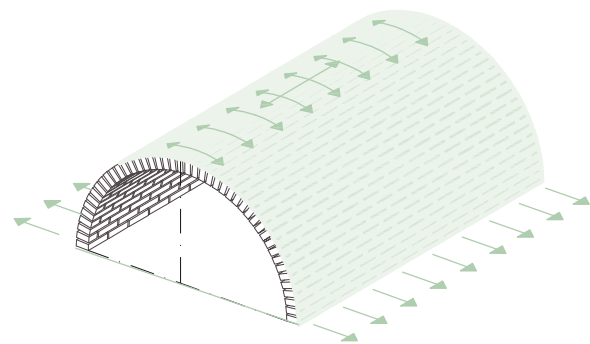
- 6

Instalación de INIETTORE&CONNETTORE GEOSTEEL.



40

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

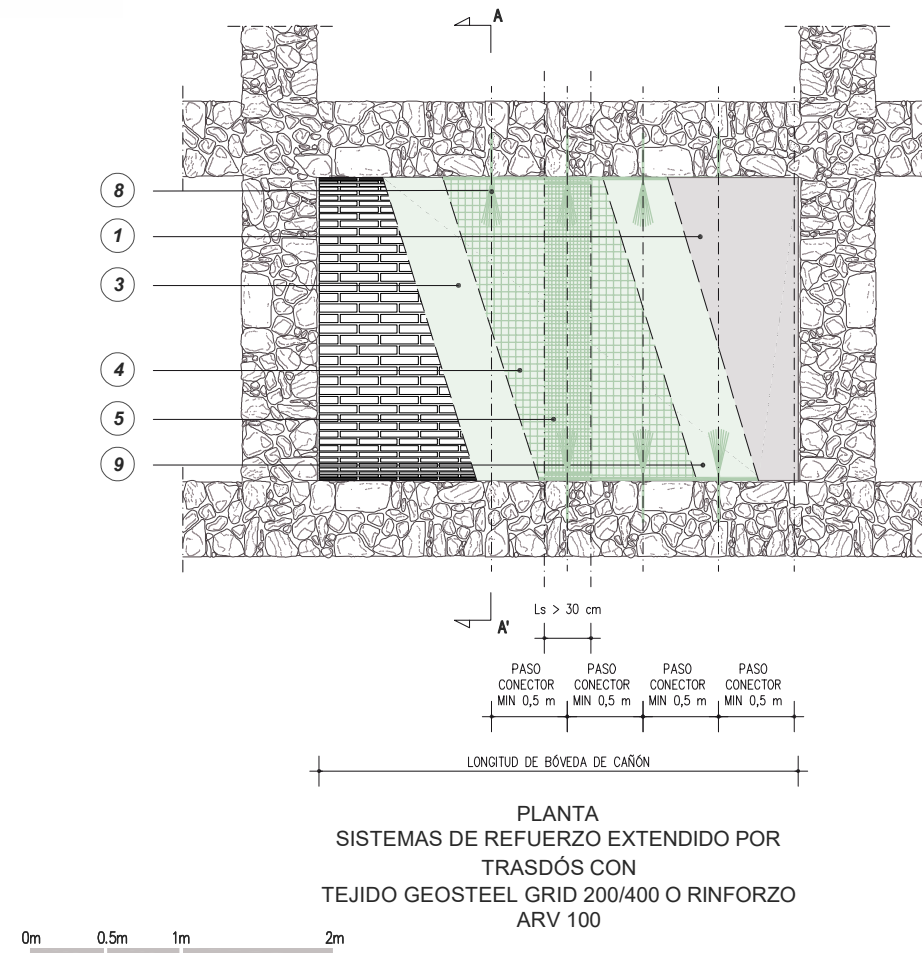
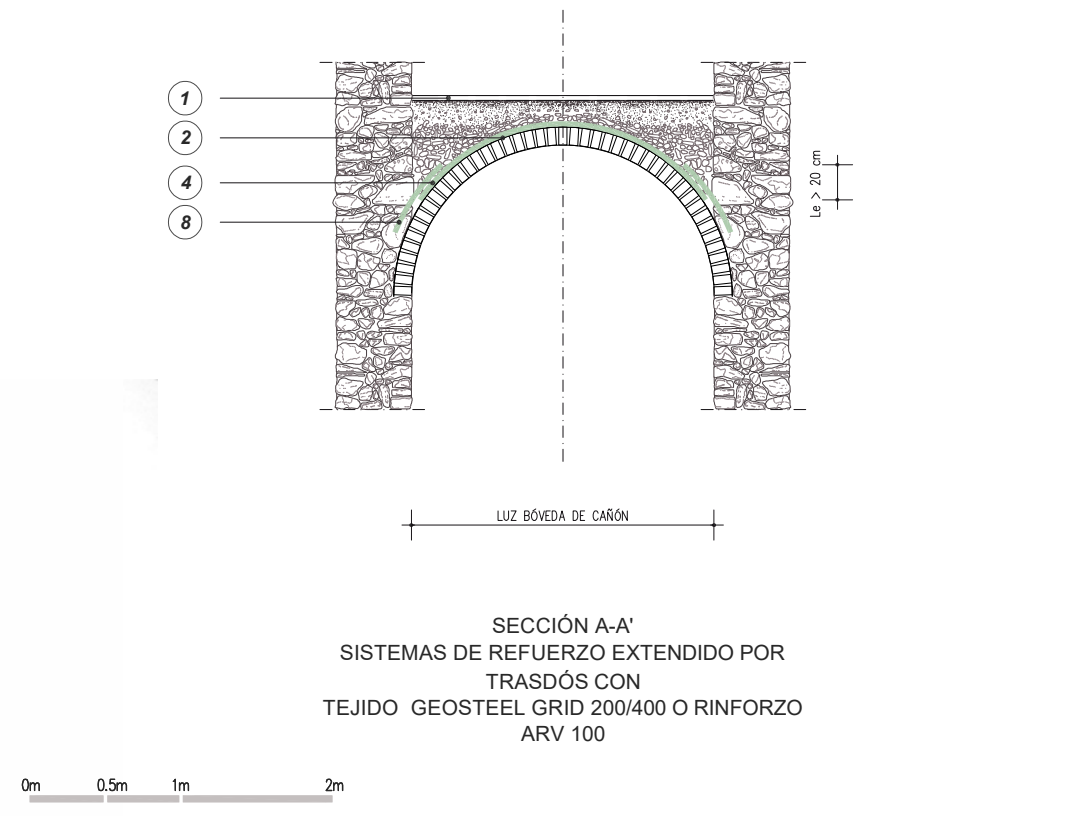


VISTA AXONOMÉTRICA
REFUERZO POR TRASDÓS DE BÓVEDA DE CAÑÓN

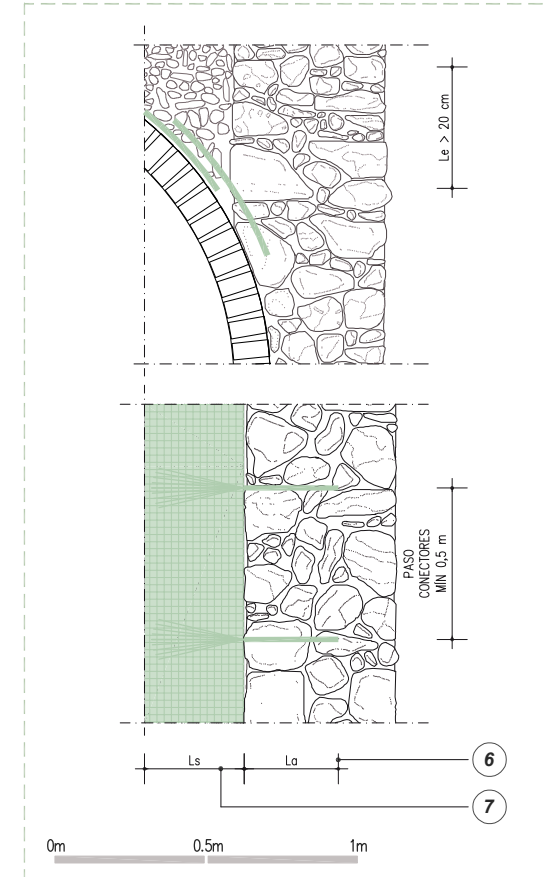
NOTA

Los diseños representan, a modo de ejemplo, un aparejo de piedra con bóveda de ladrillo cerámico, aunque el esquema es idéntico si se encuentra en presencia de bóvedas de piedra 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**



TIPOLOGÍA DE CONEXIÓN RECOMENDADA



- 1 PAVIMENTO Y SOLERA A ELIMINAR Y RECONSTRUIR DESPUÉS DE LA ACTUACIÓN DE REFUERZO Y BÓVEDA QUE DEBE SER VACIADA Y RELLENADA CON MATERIAL ALIGERADO
- 2 LIMPIEZA DEL TRASDÓS DE LA BÓVEDA. 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** APLICADA SOBRE EL TRASDÓS DE LA BÓVEDA
- 5 APLICACIÓN DEL TEJIDO CON UNA LONGITUD DE SUPERPOSICIÓN 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

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

Consultar el APÉNDICE C para las conexiones del refuerzo con las bandas de superficie o las bandas pasantes.
- 7 APLICACIÓN DEL ANCLAJE CON UNA LONGITUD DE SOLAPE L_s PARA GARANTIZAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL REFUERZO
- 8 CONECTORES MECÁNICOS A CHICOTE **GEOSTEEL G600** O **GEOSTEEL G1200**

Consulte el APÉNDICE B para más información sobre los diátonos.
- 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

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 sollicitaciones 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)

* Para la limpieza del soporte se ha hecho referencia a normativa de comprobada validez

41

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



PRESCRIPCIÓN

- Preparación de los soportes. Proceder al posible vaciado y aligerado de las capas superiores en la bóveda. 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 un soplado final del muro mediante aire a presión y sucesiva aspiración de los 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 intradós de la bóveda 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 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 bóveda de cañón 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 ≥ 3000 MPa, módulo elástico E ≥ 87 GPa; dimensión de la luz 17x17 mm, espesor equivalente t_f (0°-90°) = 0,032 mm, gramaje incluyendo la termosoldadura y el revestimiento protector ≈ 200 g/m², 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 CO₂ ≤ 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 ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), módulo elástico 9 GPa (EN 13412), adhesión al soporte a los 28 días > 1,0 N/mm² - 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 mm²; n° cables por cm = 1,57 con envoltorio 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, 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 μ 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 CO₂ ≤ 250 g/kg, contenido de minerales reciclados $\geq 30\%$. 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/mm² (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 posible 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.

- Realización de los agujeros guía.
- Aplicación de la primera mano de GEOCALCE F ANTISISMICO.
- Instalación del tejido biaxial de fibra de basalto GEOSTEEL GRID.

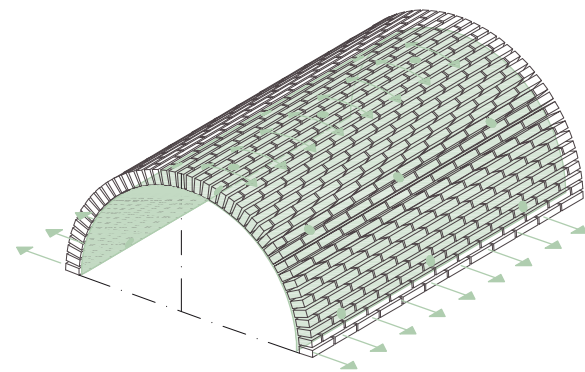


- Corte del tejido GEOSTEEL GRID en la zona de los agujeros a inyectar.
- Instalación del conector realizado con tejido de fibra de acero GEOSTEEL con INIETTORE&CONNETTORE GEOSTEEL.
- Anclaje de los sistemas de conexión con GEOCALCE FL ANTISISMICO.



41

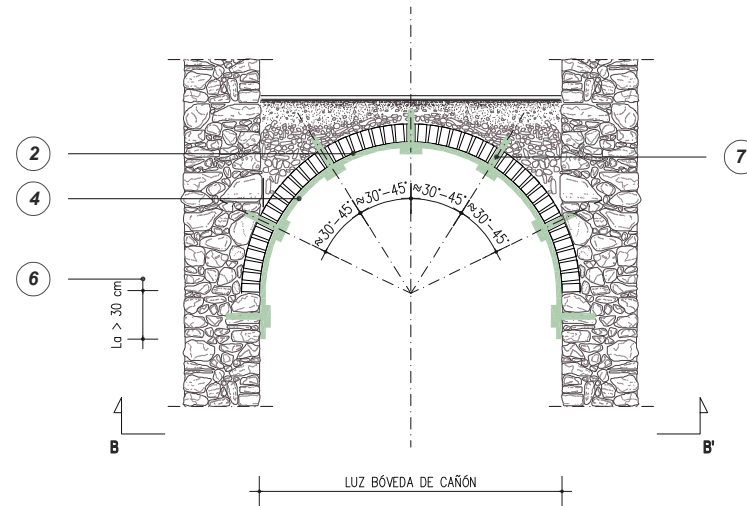
REFUERZO Y CONSOLIDACIÓN DE BÓVEDAS DE CAÑÓN MEDIANTE ENCAMISADO EXTENDIDO POR INTRADÓS CON TEJIDO DE FIBRA NATURAL DE BASALTO Y ACERO INOXIDABLE Y GEOMORTERO A BASE DE CAL HIDRÁULICA NATURAL



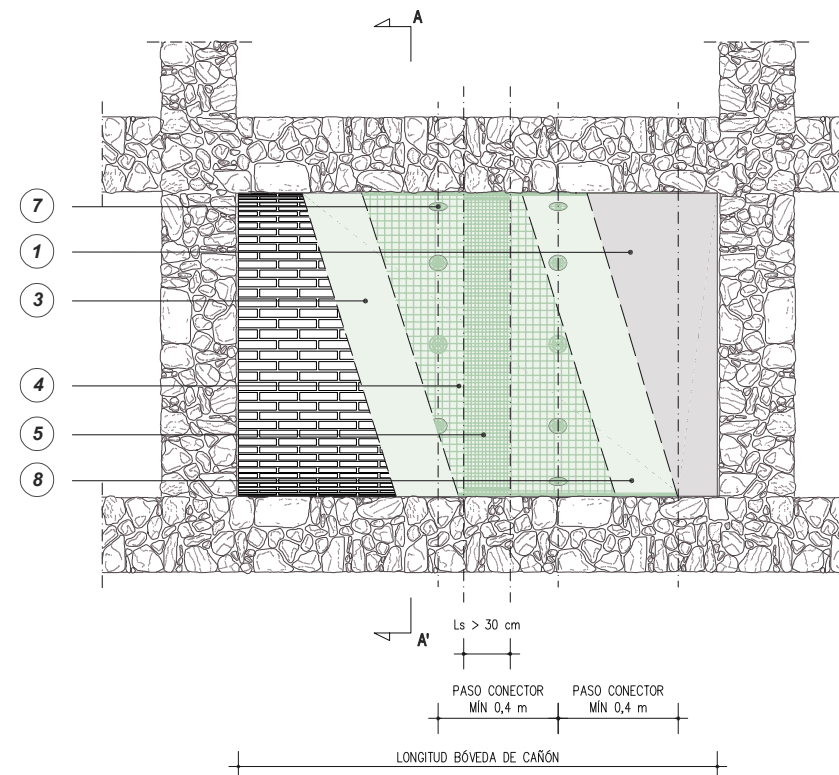
VISTA AXONOMÉTRICA
REFUERZO POR INTRADÓS DE BÓVEDA DE CAÑÓN

NOTA

Los diseños representan, a modo de ejemplo, un aparejo de piedra con bóveda de ladrillo cerámico, aunque el esquema es idéntico si se encuentra en presencia de bóvedas de piedra 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 INTRADÓS CON
TEJIDO GEOSTEEL GRID 200/400 O RINFORZO ARV 100



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

0m 0.5m 1m 2m

0m 0.5m 1m 2m

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)

* Para la limpieza del soporte se ha hecho referencia a normativa de comprobada validez

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

2 LIMPIEZA DEL TRASDÓS E INTRADÓS DE LA BÓVEDA, 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 UNA PRIMERA CAPA DE GEOCALCE® F ANTISISMICO CON UN ESPESOR MEDIO DE 3-5 mm EN EL QUE 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 APLICADA SOBRE EL INTRADÓS DE LA BÓVEDA

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

6 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.

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

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

9 Consulte el APÉNDICE C para más información sobre los diátonos.

10 CONECTORES MECÁNICOS A CHICOTE GEOSTEEL G600 O GEOSTEEL G1200

11 Se recomienda distribuir los conectores mecánicos a chicote de fibra de acero de altísima resistencia GEOSTEEL G600/G1200 con un paso de 40 cm. Consultar el APÉNDICE B para obtener mayor información acerca del montaje de los conectores.

12 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

42

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



PRESCRIPCIÓN

- Preparación de los soportes. Prever el posible vaciado y aligerado de las capas superiores de la bóveda, 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 bóveda, 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 bóveda 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 en todo el espesor del apoyo y muros perimetrales, y conectar el refuerzo del arco a las posibles bandas de arranque.

ADVERTENCIAS

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 bóvedas de arista con realización de encamisado por 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/m² - 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 mm²; 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 CO₂ ≤ 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/mm² (EN 1015-11), módulo elástico 9 GPa (EN 13412), adhesión al soporte a los 28 días > 1,0 N/mm² - FB: B (EN 1015-12).

La actuación se desarrollará en las siguientes fases: vaciado de las capas superiores de la bóveda, 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, proceder a la colocación del tejido de fibra de acero galvanizado de altísima resistencia, teniendo la precaución de garantizar 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; 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 su agujereado, 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 CO₂ ≤ 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/mm² (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 vaciado de las capas superiores de la bóveda, 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; 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 _____ 2 _____ 3 _____

4 _____ 5 _____

Preparación, limpieza y humectación de las superficies.

Fijación de los anclajes con GEOCALCE FL ANTISISMICO.

Aplicación de la primera mano de GEOCALCE F ANTISISMICO.

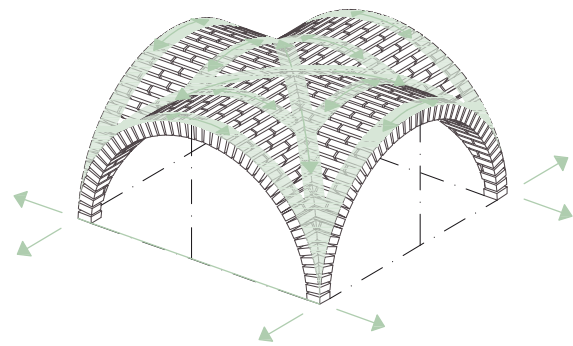
Instalación del tejido de fibra de acero GEOSTEEL.

Aplicación de la segunda mano de GEOCALCE F ANTISISMICO.



42

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

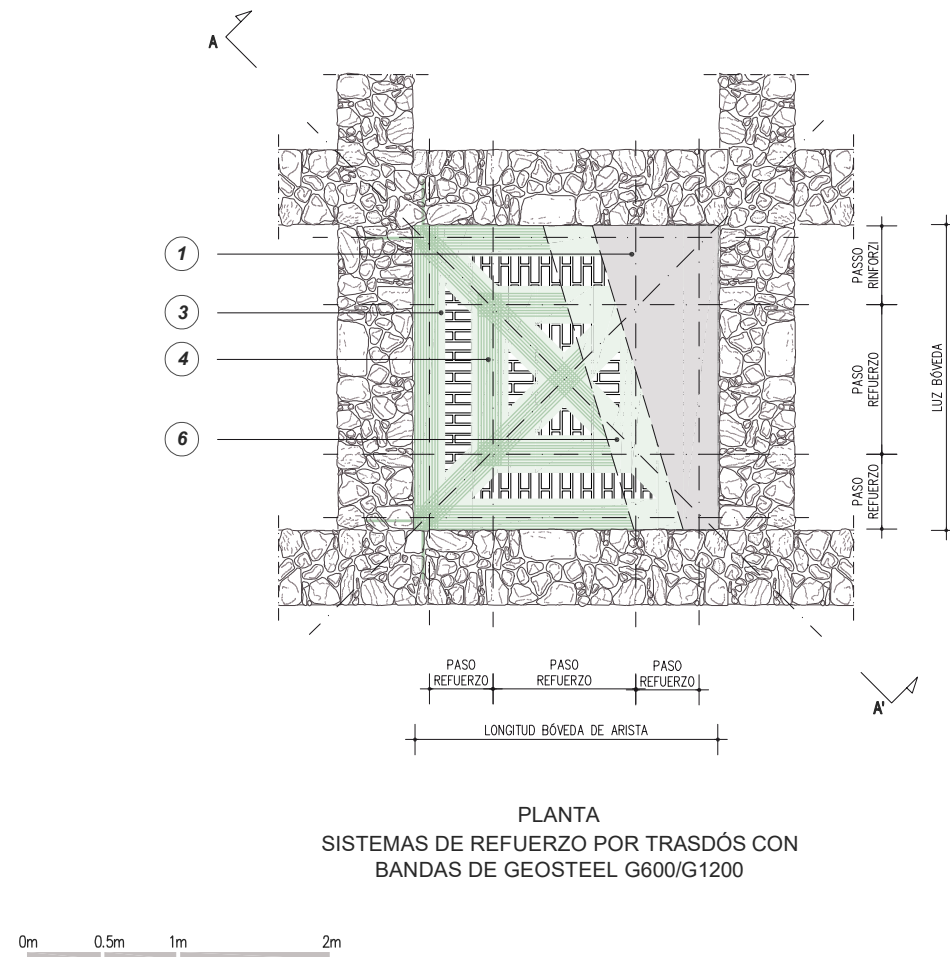
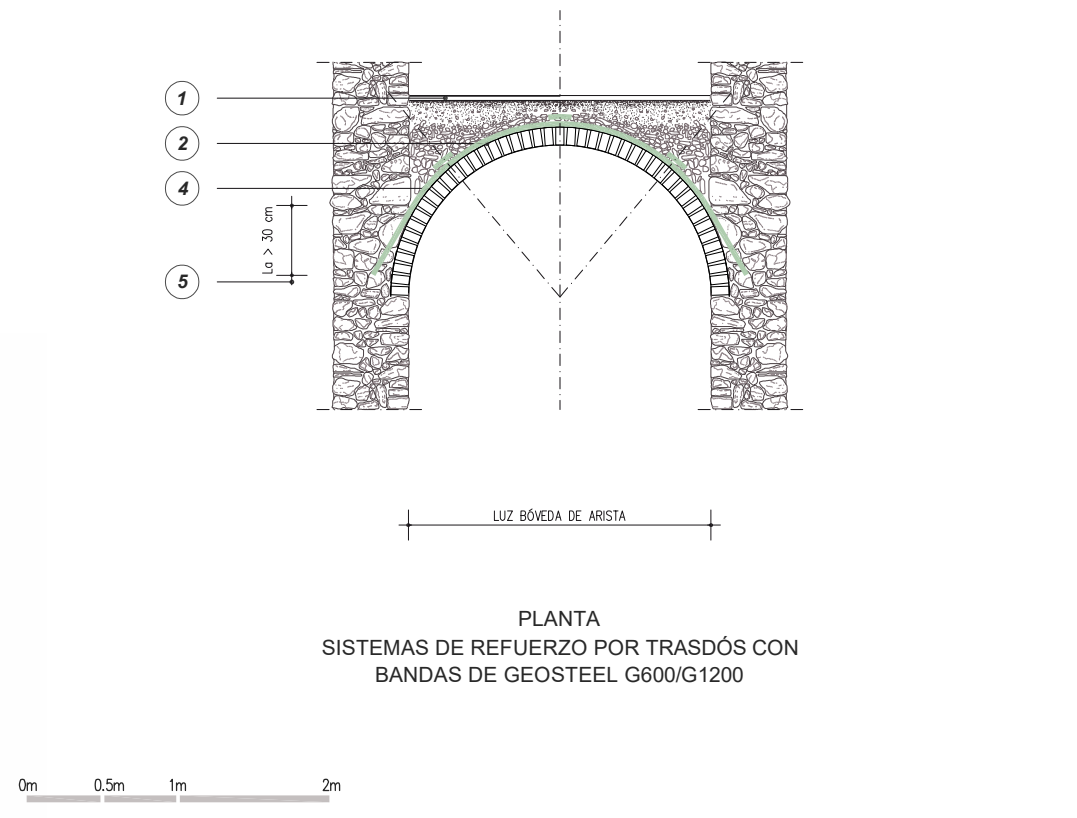


VISTA AXONOMÉTRICA
REFUERZO POR TRASDÓS DE BÓVEDA DE ARISTA

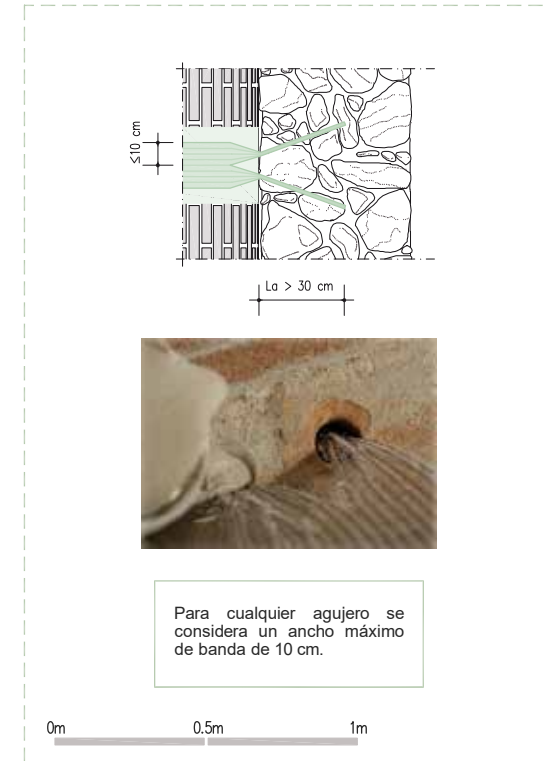
NOTA

Los diseños representan, a modo de ejemplo, un aparejo de piedra con bóveda de ladrillo cerámico, aunque el esquema es idéntico si se encuentra en presencia de bóvedas de piedra 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**



TIPOLOGÍA DE CONEXIÓN RECOMENDADA



1 PAVIMENTO Y SOLERA A ELIMINAR Y RECONSTRUIR DESPUÉS DE LA ACTUACIÓN DE REFUERZO Y BÓVEDA QUE DEBE SER VACIADA Y RELLENADA CON MATERIAL ALIGERADO

2 LIMPIEZA DEL TRASDÓS DE LA BÓVEDA. 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 **GEOSTEEL G600/G1200** COLOCADO EN BANDAS PARALELAS A LOS ARCOS FORMERO Y TORAL Y A LO LARGO DE LOS NERVIOS

Consultar el APÉNDICE C para las conexiones del refuerzo con las bandas de superficie o las bandas pasantes.

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

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

6 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 sollicitaciones 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)

* Normativa de comprobada validez

43

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



PRESCRIPCIÓN

- 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.
- 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, 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 la TABLA 25A para conocer la modalidad de instalación y las prestaciones mecánicas del sistema de conexión a chicote, realizado con la gama de tejidos GEOSTEEL en combinación con el taco de polipropileno armado en 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 bóvedas de arista con realización de encamisado por intradós con bandas de fibra de acero galvanizado, mediante el uso del sistema compuesto con matriz inorgánica, SRG (Steel Reinforced Grout), provisto de la Evaluación Técnica Europea (ETA) según el art. 26 del Reglamento de la UE n. 305/2011 o según certificación internacional validada, realizado con tejido unidireccional en fibra de acero galvanizado Hardwire™ de altísima resistencia, formado por micro-cables de acero producidos según norma ISO 16120-1/4 2017, fijados sobre una micro-malla de fibra de vidrio, peso neto de fibra aprox. a 670 g/m² – tipo GEOSTEEL G600 de Kerakoll Spa – 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 mm²; 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 Spa– características técnicas certificadas: alta eficacia en la reducción de los contaminantes de interior, no permite el desarrollo bacteriano (Clase B+) ni fungoso (Clase F+) medida con método CSTB, certificado con bajísimas emisiones COVs con conformidad EC 1 Plus GEV-Emicode, emisiones CO₂ ≤ 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/mm² (EN 1015-11), módulo elástico 9 GPa (EN 13412), adhesión al soporte a los 28 días > 1,0 N/mm² – FB: B (EN 1015-12).

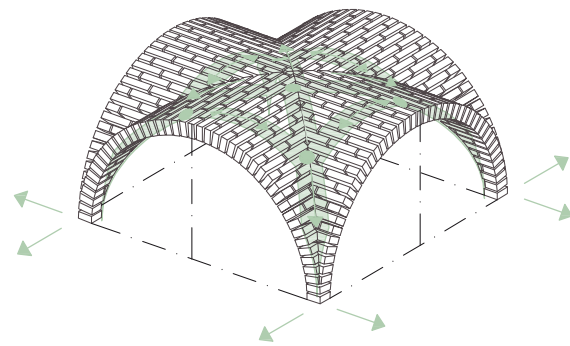
La actuación se desarrollará en las siguientes fases: preparación de las superficies a reforzar, mediante eliminación del enfoscado existente, reparación de lesiones mediante cosido; limpieza y humectación de la superficie o aplicación de fijador consolidante cortical; extensión de una primera mano de 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 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 CO₂ ≤ 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/mm² (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.

<p>1</p> <p>Ejecución de los agujeros guía.</p> 	<p>2</p> <p>Mojado del soporte.</p> 	<p>3</p> <p>Aplicación de la primera mano de GEOCALCE F ANTISISMICO.</p> 	<p>4</p> <p>Instalación del tejido de fibra de acero GEOSTEEL.</p> 	<p>5</p> <p>Instalación del conector realizado con tejido de fibra de acero GEOSTEEL.</p> 	<p>6</p> <p>Fijación de los anclajes y de los conectores con GEOCALCE FL ANTISISMICO y cerrado del agujero con la tapa suministrada.</p> 
---	--	--	--	---	--

43

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

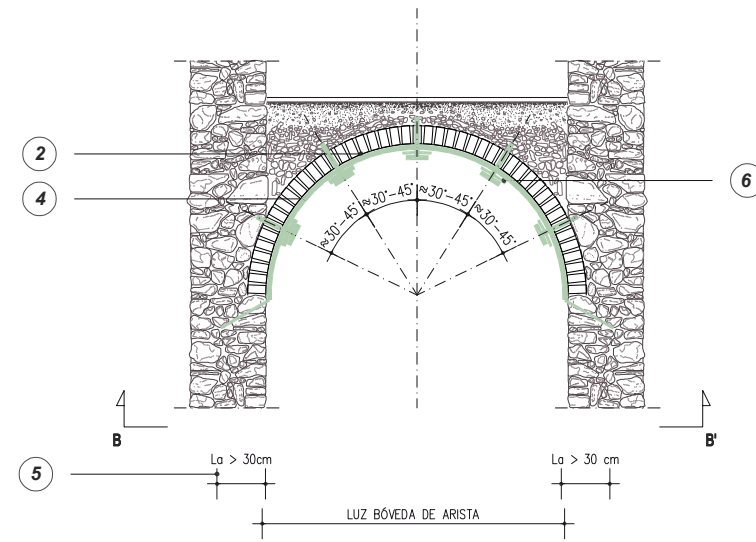


VISTA AXONOMÉTRICA
REFUERZO POR INTRADÓS DE BÓVEDA DE ARISTA

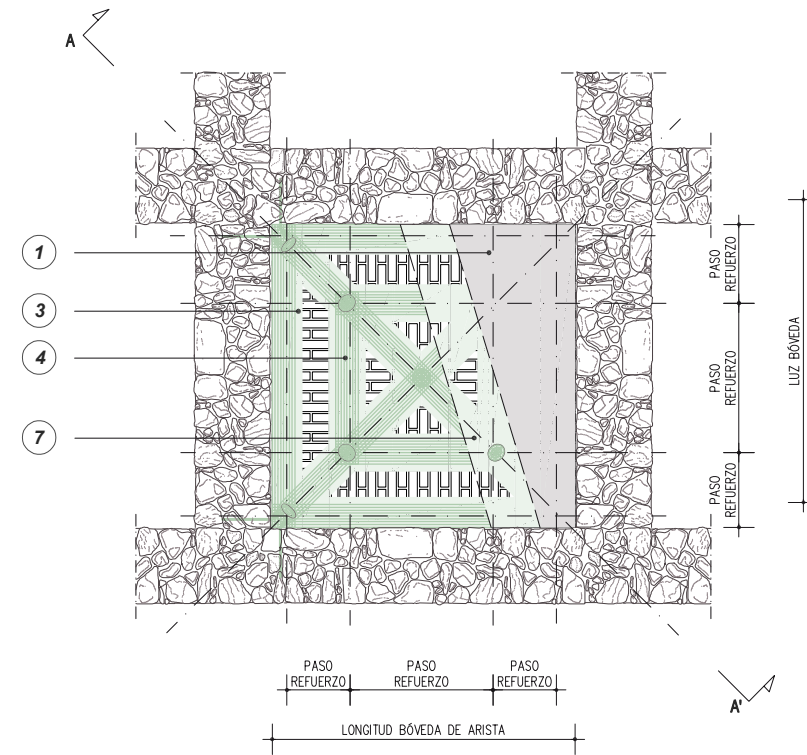
NOTA

Los diseños representan, a modo de ejemplo, un aparejo de piedra con bóveda de ladrillo cerámico, aunque el esquema es idéntico si se encuentra en presencia de bóvedas de piedra 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**



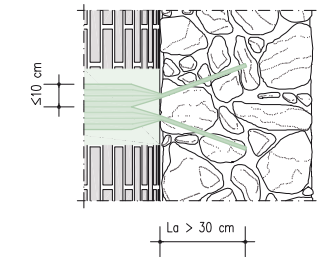
SECCIÓN A-A'
SISTEMAS DE REFUERZO POR INTRADÓS
CON BANDAS DE GEOSTEEL G600/G1200



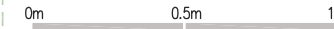
PLANTA B-B'
SISTEMAS DE REFUERZO POR INTRADÓS
CON BANDAS DE GEOSTEEL G600/G1200



TIPOLOGÍA DE CONEXIÓN RECOMENDADA



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



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

2 LIMPIEZA DEL TRASDÓS E INTRADÓS DE LA BÓVEDA, 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 **GEOSTEEL G600/G1200** COLOCADO EN BANDAS PARALELAS A LOS ARCOS FORMERO Y TORAL Y A LO LARGO DE LOS NERVIOS

Consultar el APÉNDICE C para los conexionados del refuerzo con las bandas de superficie.

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

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

6 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.

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

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

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)

* Para la limpieza del soporte se hace referencia a normativa de comprobada validez

44

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



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 intradós de la bóveda 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. Si es posible, realizar sistemas de anclaje sobre los apoyos de la bóveda, conectando 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 la TABLA 25A para conocer la modalidad de instalación y las prestaciones mecánicas del sistema de conexión a chicote, realizado con la gama de tejidos GEOSTEEL en combinación con el taco de polipropileno armado en fibra de vidrio INIETTORE&CONNETTORE GEOSTEEL.

Actuación compatible con los sistemas deshumidificantes de Kerakoll.

ESPECIFICACIÓN DE PROYECTO

Refuerzo extendido por el trasdós de bóveda de arista 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/m², impregnado con geomortero de altísima higroscopicidad y transpirabilidad a base cal hidráulica natural NHL 3.5 y Geoligante mineral, áridos de arena silíceo 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 CO₂ \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/mm² (EN 1015-11), módulo elástico 9 GPa (EN 13412), adhesión al soporte a los 28 días > 1,0 N/mm² - FP: B (EN 1015-12). La actuación se desarrollará en las siguientes fases: vaciado de las capas superiores de la bóveda, 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 mm²; con envoltorio 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 μ 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 CO₂ \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/mm² (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 bóveda, 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; 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
- 2
- 3

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

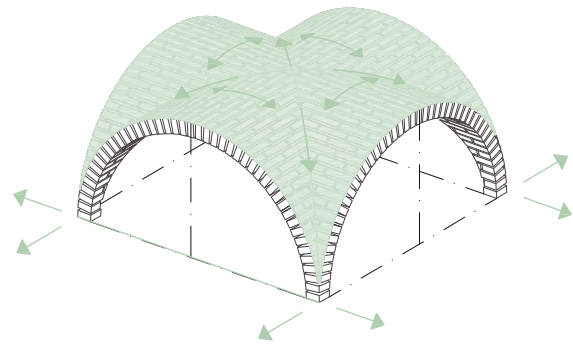


- 6

Fijación de los anclajes con GEOCALCE FL ANTISISMICO.



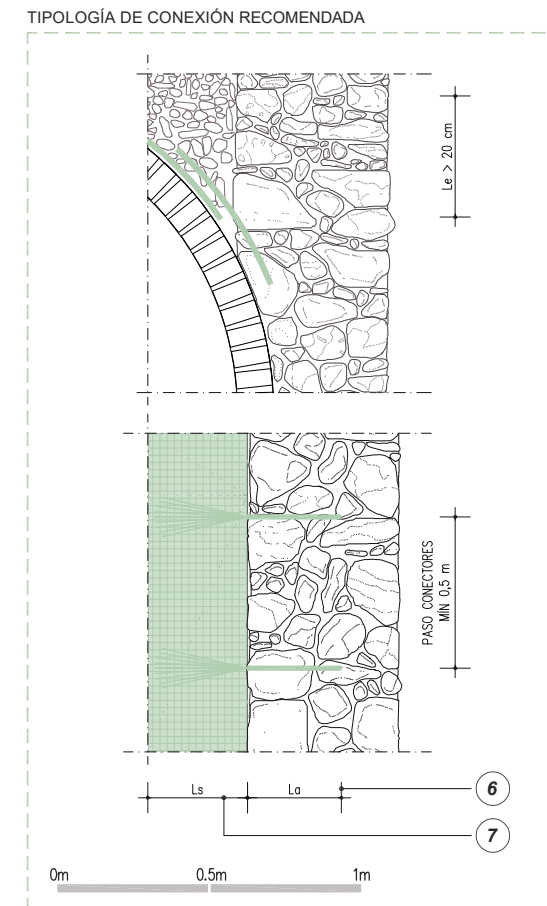
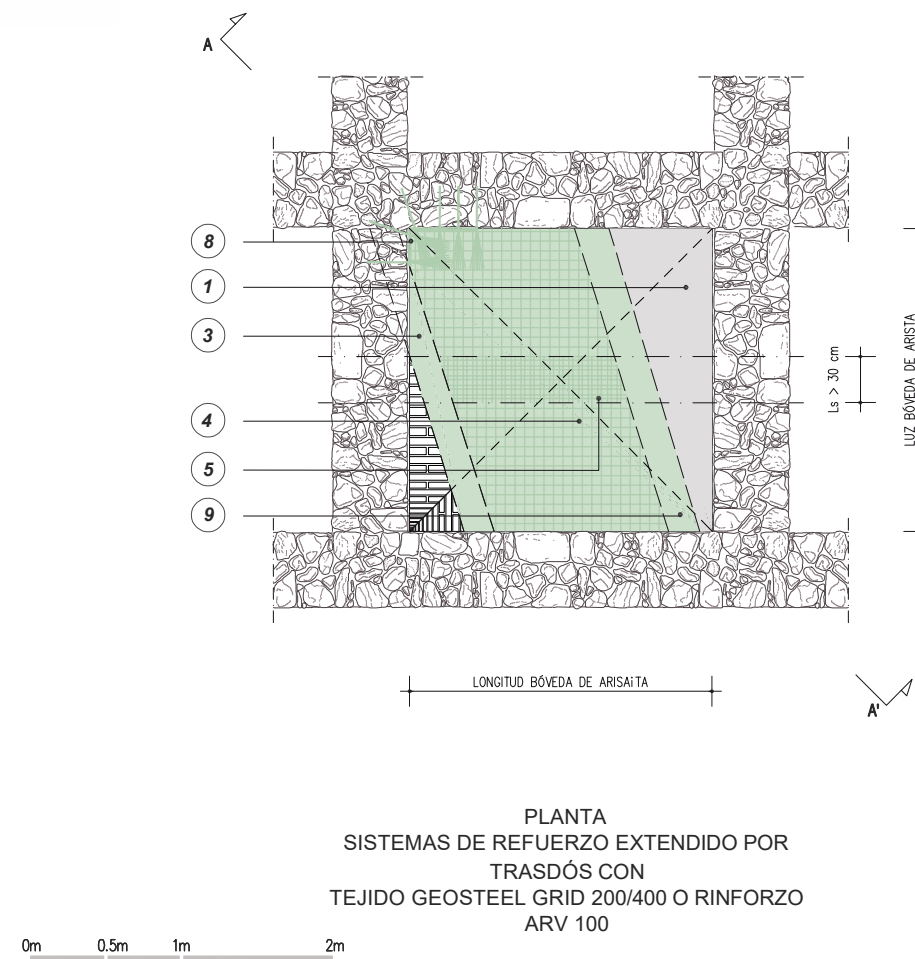
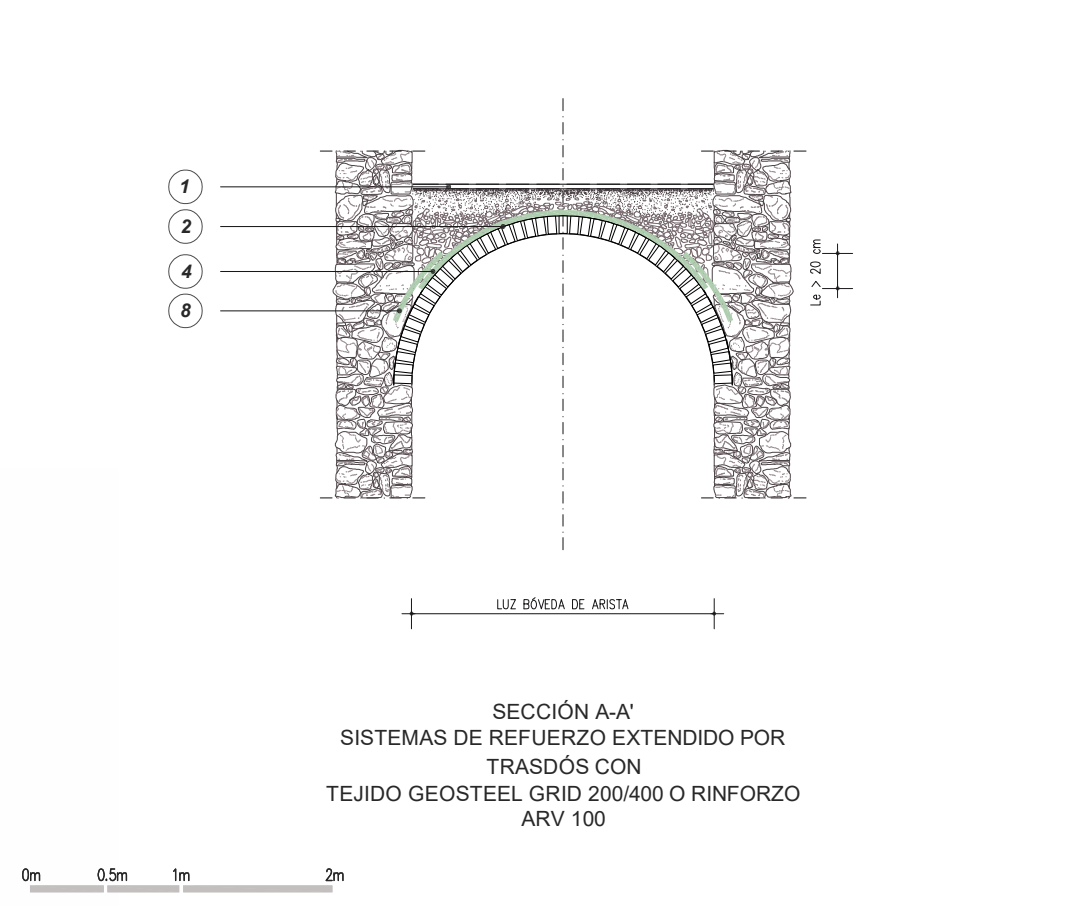
REFUERZO Y CONSOLIDACIÓN DE BÓVEDAS DE ARISTA MEDIANTE ENCAMISADO EXTENDIDO POR TRASDÓS CON TEJIDO DE FIBRA NATURAL DE BASALTO Y ACERO INOXIDABLE Y GEOMORTERO A BASE DE CAL HIDRÁULICA NATURAL



VISTA AXONOMÉTRICA
REFUERZO POR TRASDÓS DE BÓVEDA DE ARISTA

NOTA

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



- 1 PAVIMENTO Y SOLERA A ELIMINAR Y RECONSTRUIR DESPUÉS DE LA ACTUACIÓN DE REFUERZO Y BÓVEDA QUE DEBE SER VACIADA Y RELLENADA CON MATERIAL ALIGERADO
 - 2 LIMPIEZA DEL TRASDÓS DE LA BÓVEDA, 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** APLICADA SOBRE EL TRASDÓS DE LA BÓVEDA
 - 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
Se recomiendan longitudes de anclaje de al menos 30 cm. Para más información consultar el APÉNDICE A
 - 7 Consultar el APÉNDICE C para las conexiones del refuerzo con las bandas de superficie o las bandas pasantes.
 - 8 APLICACIÓN DEL ANCLAJE CON UNA LONGITUD DE SOLAPE L_s PARA GARANTIZAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL REFUERZO
 - 9 CONECTORES MECÁNICOS A CHICOTE **GEOSTEEL G600 O GEOSTEEL G1200**
Consulte el APÉNDICE B para más información sobre los diátomos.
- 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

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 tñen 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)

* Para la limpieza del soporte se ha hecho referencia a normativa de comprobada validez

45

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



PRESCRIPCIÓN

- 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. Realizar un soplado final del muro mediante aire a presión y sucesiva aspiración de los 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 intradós de la bóveda 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 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 energética 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 de 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

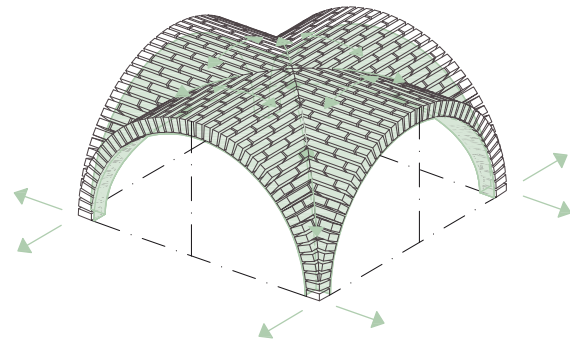
Refuerzo extendido por el trasdós de bóveda de arista mediante el uso del sistema compuesto con matriz inorgánica, FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix), provisto de Marcado CE a través de Evaluación Técnica Europea (ETA) según el art. 26 del Reglamento UE n. 305/2011 o de certificación internacional 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/m², 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 CO₂ \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/mm² (EN 1015-11), módulo elástico 9 GPa (EN 13412), adhesión al soporte a los 28 días > 1,0 N/mm² - 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 posibles 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 mm²; n° cables por cm = 1,57 con envoltorio 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, 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 μ 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 CO₂ \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/mm² (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.

- Realización de los agujeros guía.
- Aplicación de la primera mano de GEOCALCE F ANTISISMICO.
- Instalación del tejido biaxial de fibra de basalto GEOSTEEL GRID.
- Corte del tejido bidireccional de fibra de basalto GEOSTEEL GRID en la zona de los agujeros a inyectar.
- Instalación del conector realizado con tejido de fibra de acero GEOSTEEL con INIETTORE&CONNETTORE GEOSTEEL.
- Anclaje de los sistemas de conexión con GEOCALCE FL ANTISISMICO.



45

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

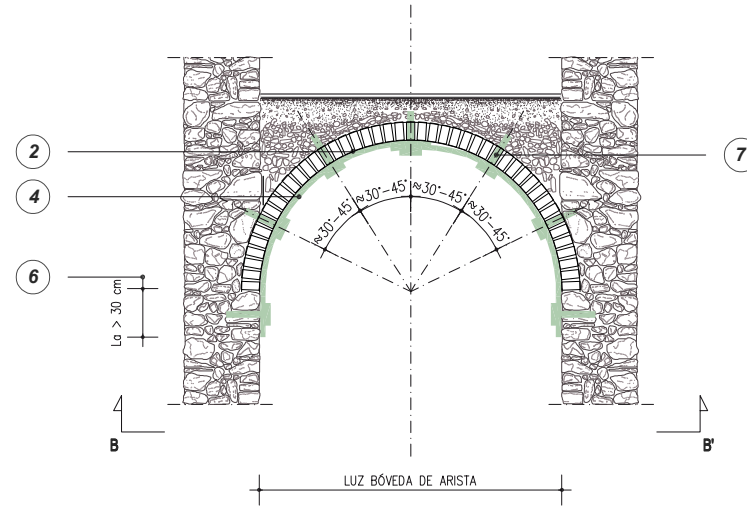


VISTA AXONOMÉTRICA
REFUERZO POR INTRADÓS DE BÓVEDA DE ARISTA

NOTA

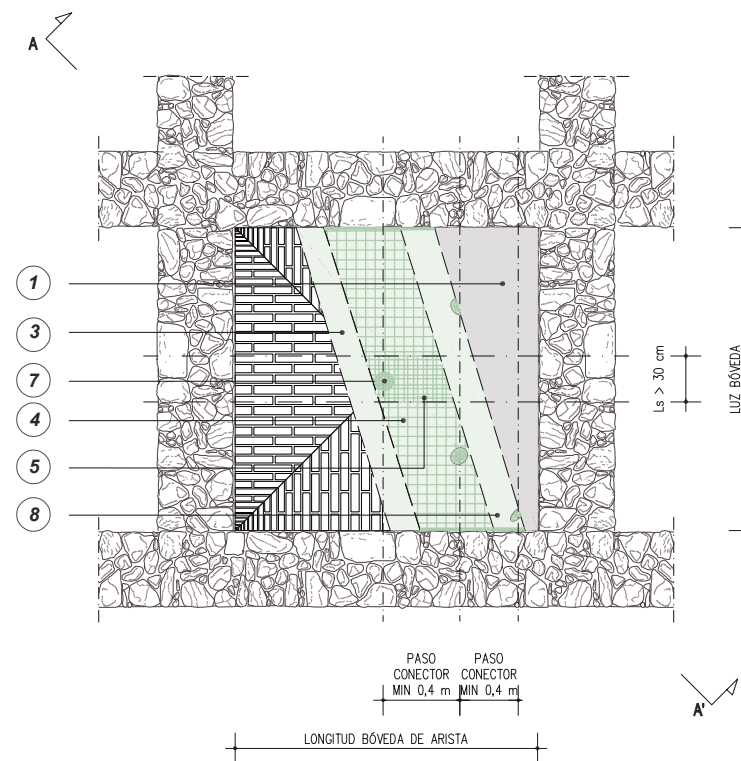
Los diseños representan, a modo de ejemplo, un aparejo de piedra con bóveda de ladrillo cerámico, aunque el esquema es idéntico si se encuentra en presencia de bóvedas de piedra o toba. En presencia de mampostería caótica es siempre recomendable efectuar una actuación combinada con inyecciones de mortero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

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



SECCIÓN A-A'
SISTEMAS DE REFUERZO 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 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)

* Para la limpieza del soporte se ha hecho referencia a normativa de comprobada validez

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

2 LIMPIEZA DEL TRASDÓS E INTRADÓS DE LA BÓVEDA, POSIBLE APLICACIÓN DE CONSOLIDANTE CORTICAL TIPO **BIOCALCE® SILICATO CONSOLIDANTE** O **RASOBUILD® ECO CONSOLIDANTE**, POSIBLE RECONSTRUCCIÓN VOLUMÉTRICA GENERANDO CONTINUIDAD EN LOS MATERIALES Y REGULIZACIÓN 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** APLICADA SOBRE EL INTRADÓS DE LA BÓVEDA

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 PARA GARANTIZAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL REFUERZO

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

Consultar el APÉNDICE C para los conexionados del refuerzo con las bandas de superficie.

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 paso de 40 cm.

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

8 AL TÉRMINO 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

46

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



PRESCRIPCIÓN

- Preparación de los soportes. Prever el posible vaciado y aligerado de las capas superiores de la bóveda, 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 bóveda, 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 del arco 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 en todo el espesor del apoyo y muros perimetrales, y conectar el refuerzo del arco a las posibles bandas de arranque.

ADVERTENCIAS

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 bóvedas esquifadas con realización de encamisado por 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/m² - 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 mm²; 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 CO₂ ≤ 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/mm² (EN 1015-11), módulo elástico 9 GPa (EN 13412), adhesión al soporte a los 28 días > 1,0 N/mm² - FB: B (EN 1015-12).

La actuación se desarrollará en las siguientes fases: vaciado de las capas superiores de la bóveda, 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, proceder a la colocación del tejido de fibra de acero galvanizado de altísima resistencia, teniendo la precaución de garantizar 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; 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 CO₂ ≤ 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/mm² (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 vaciado de las capas superiores de la bóveda, 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; 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 _____ 2 _____ 3 _____ 4 _____ 5 _____

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.

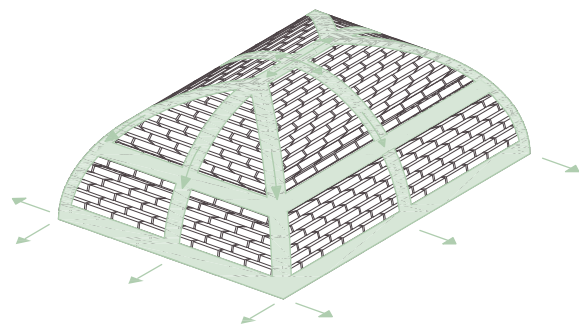


Aplicación de la segunda mano de GEOCALCE F ANTISISMICO.



46

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

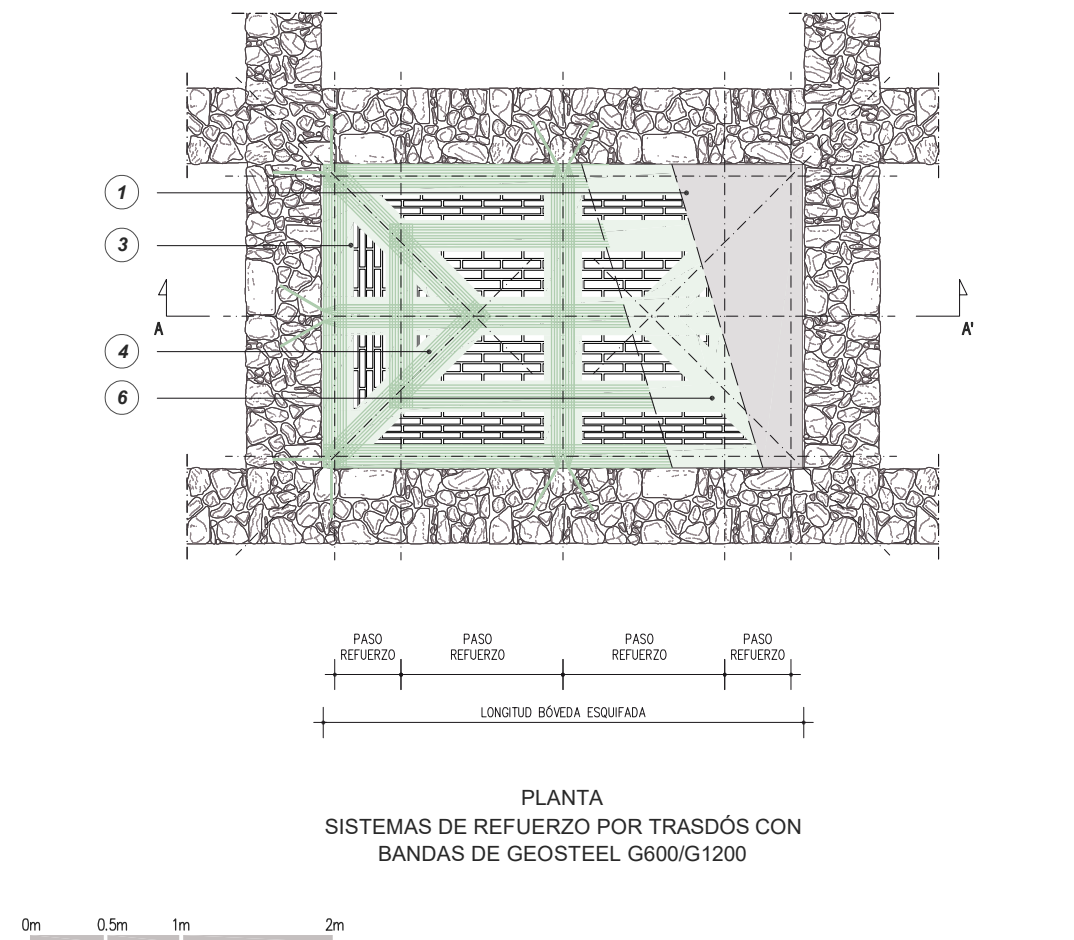
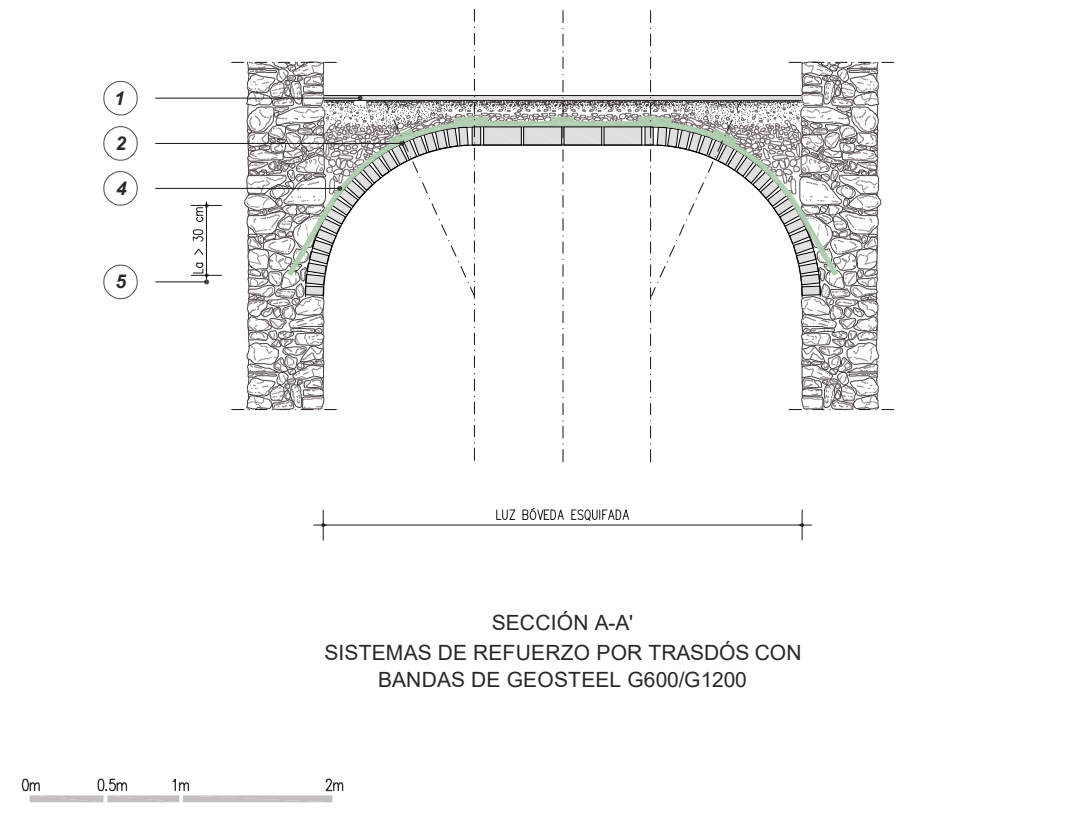


VISTA AXONOMÉTRICA
REFUERZO POR TRASDÓS DE BÓVEDA ESQUIFADA

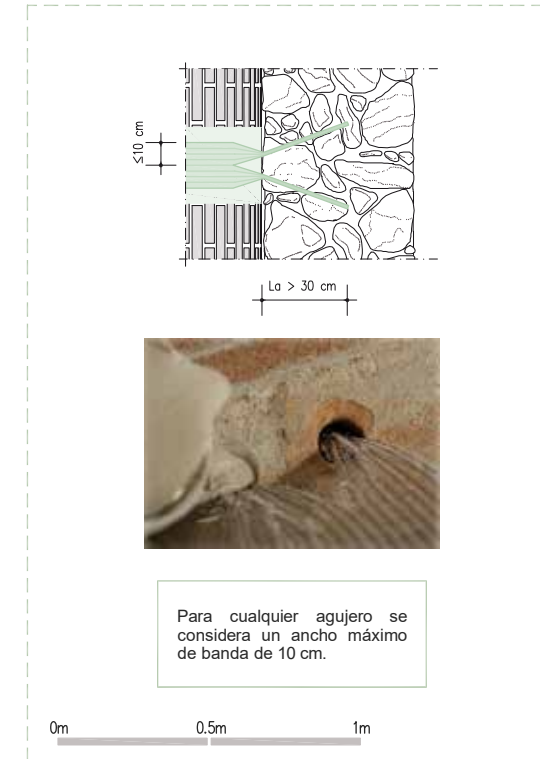
NOTA

Los diseños representan, a modo de ejemplo, un aparejo de piedra con bóveda de ladrillo cerámico, aunque el esquema es idéntico si se encuentra en presencia de bóvedas de piedra 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**



TIPOLOGÍA DE CONEXIÓN RECOMENDADA



1 PAVIMENTO Y SOLERA A ELIMINAR Y RECONSTRUIR DESPUÉS DE LA ACTUACIÓN DE REFUERZO Y BÓVEDA QUE DEBE SER VACIADA Y RELLENADA CON MATERIAL ALIGERADO

2 LIMPIEZA DEL TRASDÓS DE LA BÓVEDA. 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 **GEOSTEEL G600/G1200** COLOCADO EN BANDAS PARALELAS A LOS PAÑOS TRIANGULARES DE LA BÓVEDA Y A LO LARGO DE LOS NERVIOS

Consultar el APÉNDICE C para las conexiones del refuerzo con las bandas de superficie o las bandas pasantes.

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

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

6 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 sollicitaciones 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)

* Normativa de comprobada validez

47

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



PRESCRIPCIÓN

- 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.
- 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, 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 bóvedas esquifadas con realización de encamisado por 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/m² - 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 mm²; 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 CO₂ ≤ 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/mm² (EN 1015-11), módulo elástico 9 GPa (EN 13412), adhesión al soporte a los 28 días > 1,0 N/mm² - 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 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 CO₂ ≤ 250 g/kg, contenido de minerales reciclados ≥ 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 ≥ 15 N/mm² (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.



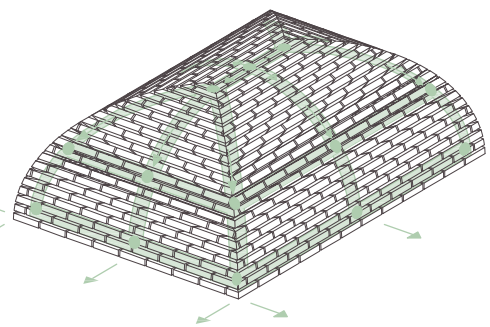
6 _____

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



47

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

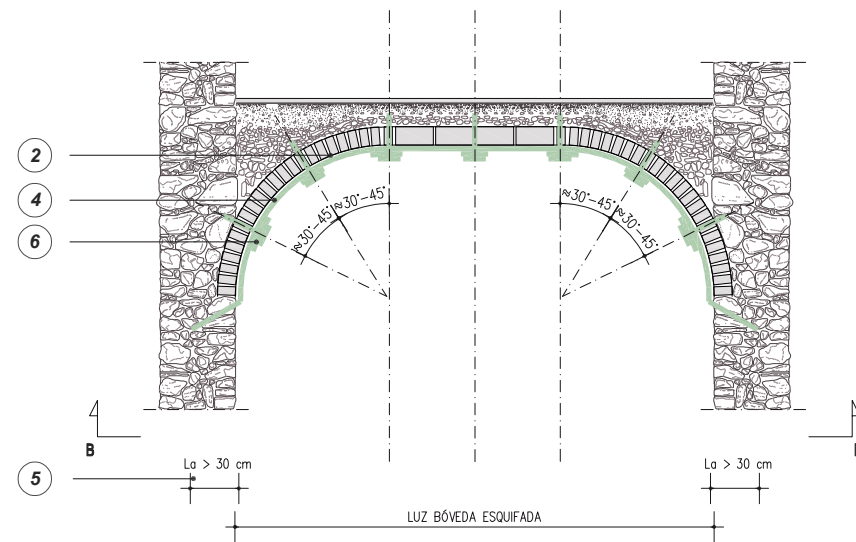


VISTA AXONOMÉTRICA
REFUERZO POR INTRADÓS DE BÓVEDA ESQUIFADA

NOTA

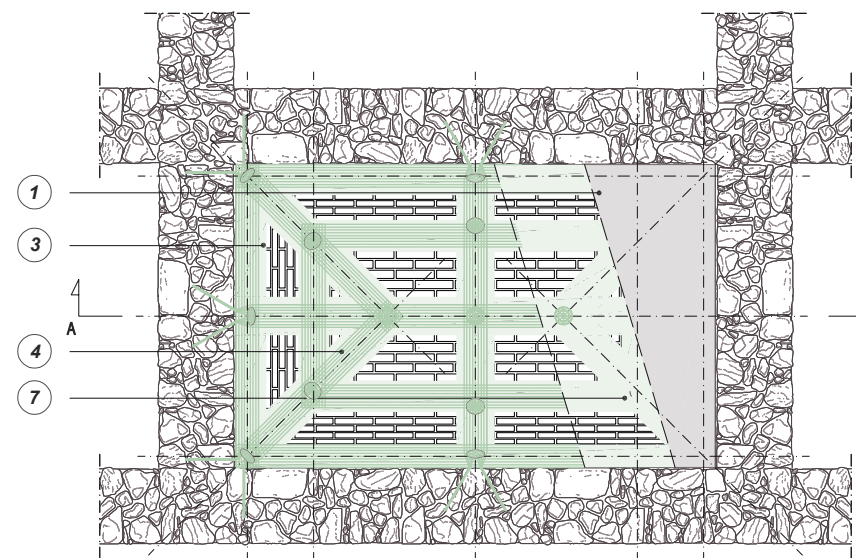
Los diseños representan, a modo de ejemplo, un aparejo de piedra con bóveda de ladrillo cerámico, aunque el esquema es idéntico si se encuentra en presencia de bóvedas de piedra o toba. En presencia de mampostería caótica es siempre recomendable efectuar una actuación combinada con inyecciones de mortero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

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



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

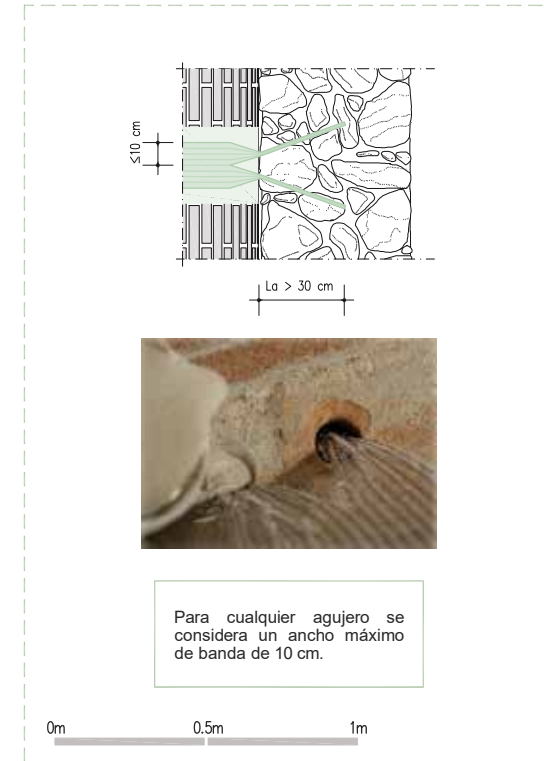
0m 0.5m 1m 2m



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 máximo de banda de 10 cm.

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

2 LIMPIEZA DEL TRASDÓS E INTRADÓS DE LA BÓVEDA, 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 **GEOSTEEL G600/G1200** COLOCADO EN BANDAS PARALELAS A LOS PAÑOS TRIANGULARES DE LA BÓVEDA Y A LO LARGO DE LOS NERVIOS

Consultar el APÉNDICE C para las conexiones del refuerzo con las bandas de superficie.

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

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

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

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

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 sollicitaciones 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)

* Para la limpieza del soporte se hace referencia a normativa de comprobada validez

48

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



PRESCRIPCIÓN

- Preparación de los soportes. Prever el posible vaciado y aligerado de las capas superiores de la bóveda, 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 trasdós de la bóveda 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. Si es posible, realizar sistemas de anclaje sobre los apoyos de la bóveda, conectando 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 bóveda esquifada 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 ≥ 3000 MPa, módulo elástico E ≥ 87 GPa; dimensión de la luz 17x17 mm, espesor equivalente t_f (0°-90°) = 0,032 mm, gramaje incluyendo la termosoldadura y el revestimiento protector ≈ 200 g/m², impregnado con geomortero de altísima higroscopicidad y transpirabilidad a base cal hidráulica natural NHL 3.5 y Geoligante mineral, áridos de arena silíceo 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 CO₂ ≤ 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 ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), módulo elástico 9 GPa (EN 13412), adhesión al soporte a los 28 días > 1,0 N/mm² - FP: B (EN 1015-12). La actuación se desarrollará en las siguientes fases: vaciado de las capas superiores de la bóveda, 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 mm²; con envoltorio 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 μ 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 CO₂ ≤ 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 ≥ 15 N/mm² (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 bóveda, 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; 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
- 2
- 3

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.



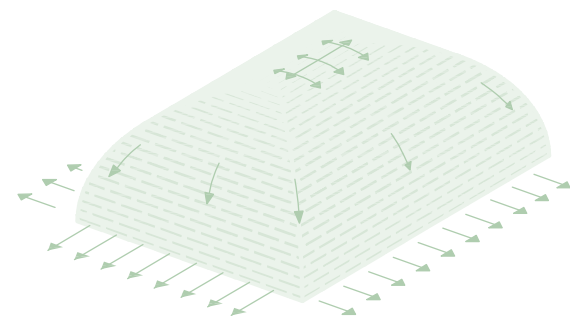
- 6

Fijación de los anclajes con GEOCALCE FL ANTISISMICO.



48

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

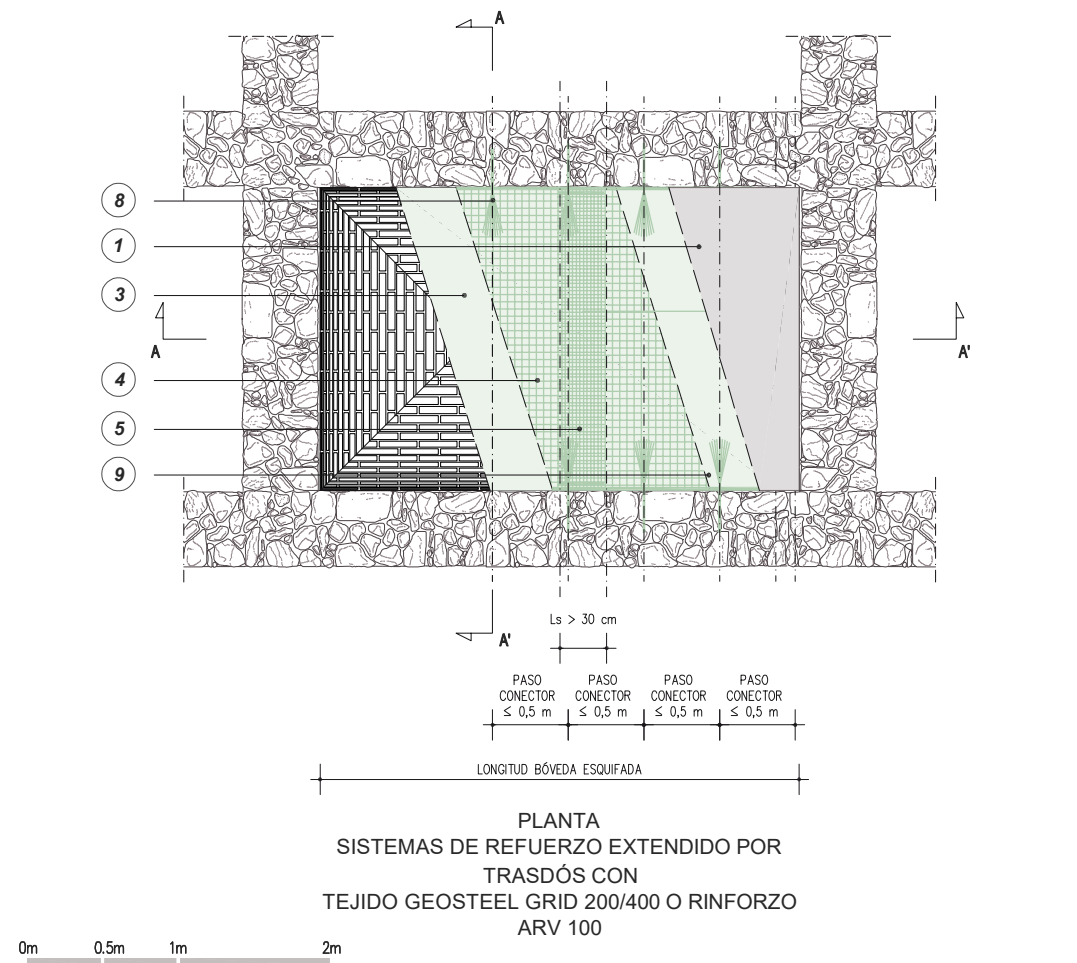
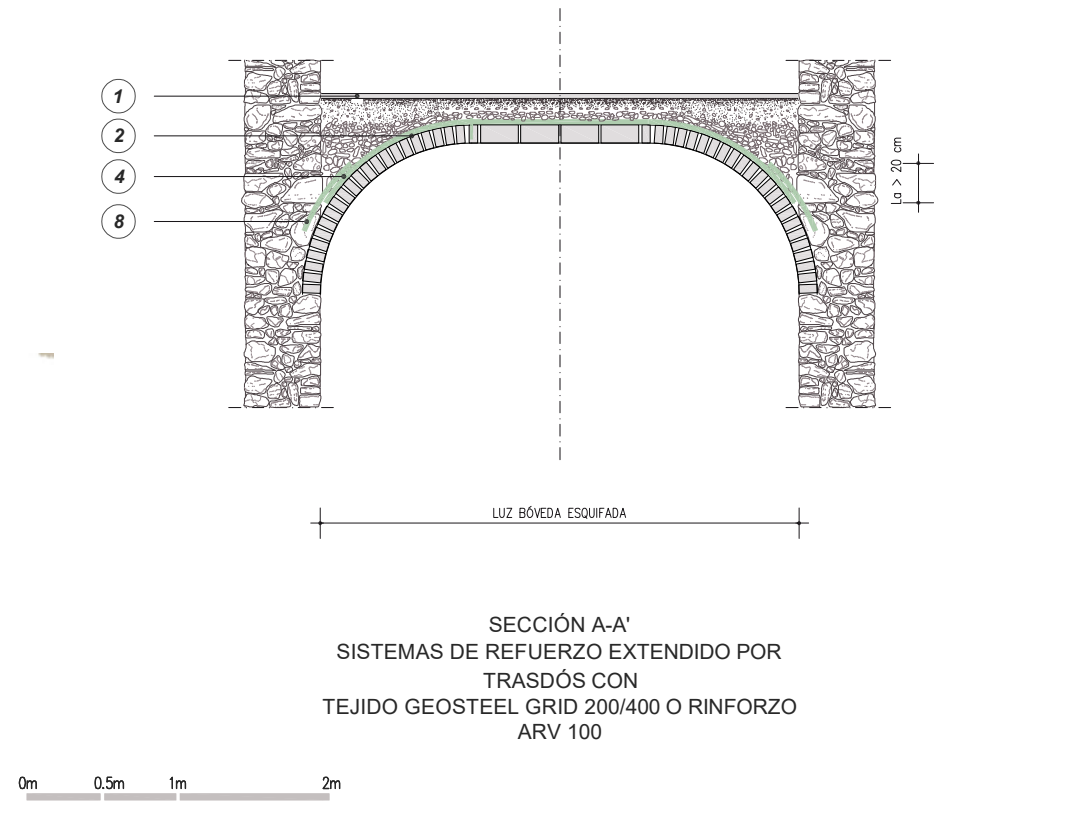


VISTA AXONOMÉTRICA
REFUERZO POR TRASDÓS DE BÓVEDA ESQUIFADA

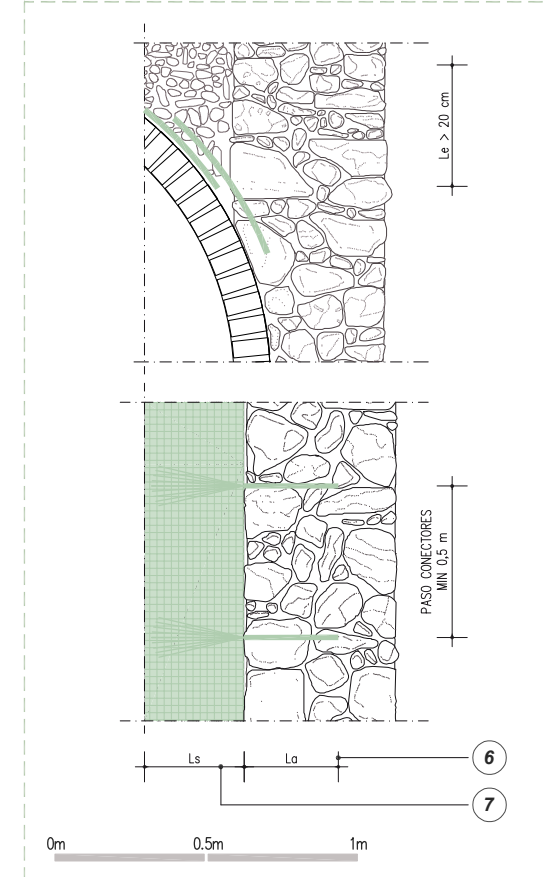
NOTA

Los diseños representan, a modo de ejemplo, un aparejo de piedra con bóveda de ladrillo cerámico, aunque el esquema es idéntico si se encuentra en presencia de bóvedas de piedra 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**



TIPOLOGÍA DE CONEXIÓN RECOMENDADA



- 1 PAVIMENTO Y SOLERA A ELIMINAR Y RECONSTRUIR DESPUÉS DE LA ACTUACIÓN DE REFUERZO Y BÓVEDA QUE DEBE SER VACIADA Y RELLENADA CON MATERIAL ALIGERADO
- 2 LIMPIEZA DEL TRASDÓS DE LA BÓVEDA, 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** APLICADA SOBRE EL TRASDÓS DE LA BÓVEDA
- 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

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

Consultar el APÉNDICE C para las conexiones del refuerzo con las bandas de superficie o las bandas pasantes.
- 7 APLICACIÓN DEL ANCLAJE CON UNA LONGITUD DE SOLAPE L_s PARA GARANTIZAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL REFUERZO
- 8 CONECTORES MECÁNICOS A CHICOTE **GEOSTEEL G600** O **GEOSTEEL G1200**

Consulte el APÉNDICE B para más información sobre los diátonos.
- 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

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)

* Para la limpieza de del soporte se ha hecho referencia a normativa de comprobada validez

49

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



PRESCRIPCIÓN

- Preparación de los soportes. Proceder al posible vaciado y aligerado de las capas superiores en la bóveda. 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 un soplado final del muro mediante aire a presión y sucesiva aspiración de los 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 intradós de la bóveda con tejido de fibra de basalto y acero inoxidable AISI 304, con tratamiento especial protector alcalino resistente con resina al agua exenta de disolventes, Fabric Reinforced Cementitious Matrix (en combinación con el 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 bóveda esquifada 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 ≥ 3000 MPa, módulo elástico E ≥ 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 ≈ 200 g/m², 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 CO₂ ≤ 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 ≥ 15 N/mm² (EN 1015-11), módulo elástico 9 GPa (EN 13412), adhesión al soporte a los 28 días > 1,0 N/mm² - FP: B (EN 1015-12). La actuación se desarrollará en las siguientes fases: preparación de las superficies a reforzar, 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 mm²; n° cables por cm = 1,57 con envoltorio 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 μ 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 CO₂ ≤ 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 ≥ 15 N/mm² (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.

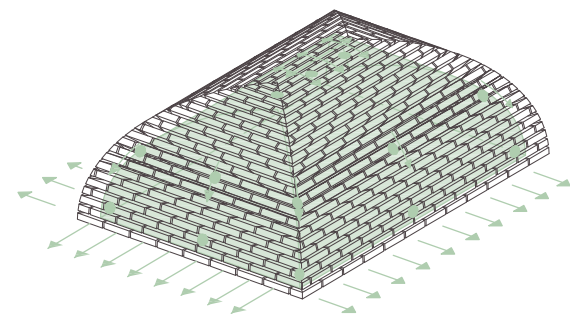


6 Anclaje de los sistemas de conexión con GEOCALCE FL ANTISISMICO.



49

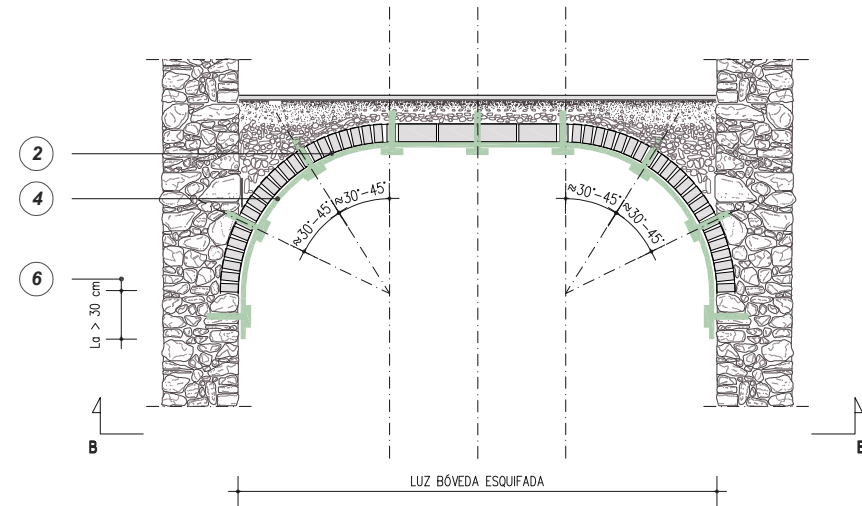
REFUERZO Y CONSOLIDACIÓN DE BÓVEDAS ESQUIFADAS MEDIANTE ENCAMISADO EXTENDIDO POR INTRADÓS CON TEJIDO DE FIBRA NATURAL DE BASALTO Y ACERO INOXIDABLE Y GEOMORTERO A BASE DE CAL HIDRÁULICA NATURAL



VISTA AXONOMÉTRICA
REFUERZO POR INTRADÓS DE BÓVEDA ESQUIFADA

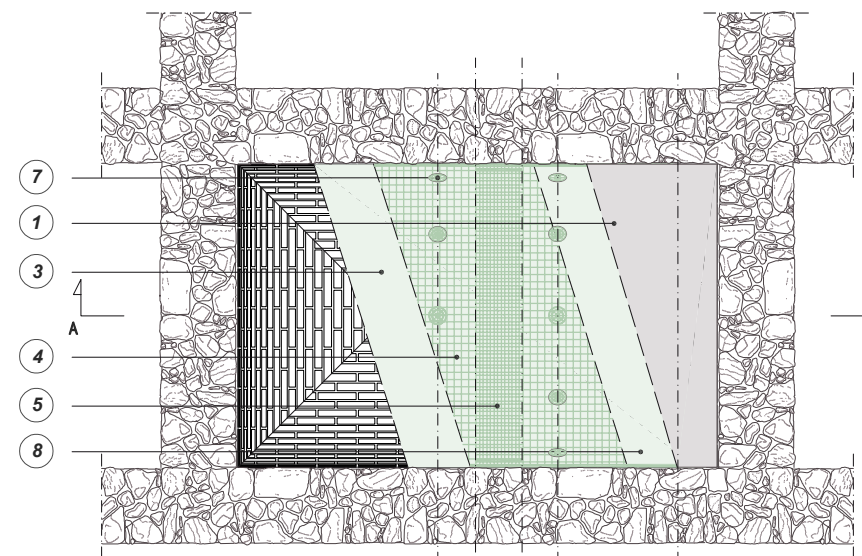
NOTA

Los diseños representan, a modo de ejemplo, un aparejo de piedra con bóveda de ladrillo cerámico, aunque el esquema es idéntico si se encuentra en presencia de bóvedas de piedra 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 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

0m 0.5m 1m 2m

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 **recredos de muro**) es útil para contrarrestar las sollicitaciones 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 fibrerreforzados.

(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)

* Para la limpieza del soporte se ha hecho referencia a normativa de comprobada validez

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

2 LIMPIEZA DEL TRASDÓS E INTRADÓS DE LA BÓVEDA, 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** APLICADO SOBRE EL INTRADÓS DE LA BÓVEDA

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

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

Consultar el APÉNDICE C para los conexionados del refuerzo con las bandas de superficie.

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 paso de 40 cm.

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

8 AL TÉRMINO 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

