

Refuerzo estructural con sistemas SRP en la “Clínica Ambulatoria Virgen de los Pobres”, El Salvador.

Structural reinforcement with SRP systems in “Clínica Ambulatoria Virgen de los Pobres”, El Salvador

José Dobón Tamarit^a, Jose Luís Sánchez Martínez^b

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Kerakoll Ibérica S.A.

Especialista de producto. Morteros de reparación estructural y Área de refuerzo estructural

jose.dobon@kerakoll.es

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Kerakoll Ibérica S.A.

Responsable técnico

jose.sanchez@kerakoll.es

RESUMEN

En el presente documento se muestra el procedimiento seguido, desde la identificación de la necesidad de refuerzo estructural de la “Clínica Ambulatoria Virgen de los Pobres” en El Salvador, hasta la aplicación del refuerzo, pasando por el dimensionamiento de las soluciones con sistemas SRP (Steel Reinforced Polymer). El proyecto es obra del arquitecto Marco Carollo, en colaboración con el departamento técnico de Kerakoll Ibérica S.A., fabricante de los materiales utilizados para el refuerzo estructural.

ABSTRACT

This document shows the procedure followed, from identification of the need of structural reinforcement of “Clínica Ambulatoria Virgen de los Pobres” in El Salvador, to structural reinforcement application, going through designing the solutions with systems SRP (Steel Reinforced Polymer). The project is made by the architect Marco Carollo, in collaboration with the technical department of Kerakoll Ibérica S.A., manufacturer of the materials used for structural reinforcement

PALABRAS CLAVE: refuerzo estructural, pilar, viga, SRP, Geolite Magma, GeoSteel, Kerakoll.

KEYWORDS: structural reinforcement, pillar, beam, SRP, Geolite Magma, GeoSteel, Kerakoll.

1. Introducción y motivación del estudio

El proyecto se redacta para la "Clínica Ambulatoria, Virgen de los Pobres", situada en Concepción Quezaltepeque, en el departamento de Chalatenango. Se trata de una estructura que en la planta ocupa una superficie de unos 800 m², en la planta baja se ubican las salas del hospital, baños y almacenamiento de equipos. En la primera planta se encuentran las residencias de los médicos, operadores y hermanas con sus respectivos baños, pequeña cocina y refectorio. Almacenes de tamaño modesto y una sala de administración también están presentes en el primer nivel, así como una terraza al aire libre que ocupa aproximadamente 160 m² en el sur. Una pequeña capilla se extiende en altura hasta el lugar de dos pisos en el sur-este del edificio. Se ve como una estructura de dos niveles por encima del suelo y cubierta a dos aguas, compacto, de forma rectangular y con un patio, también rectangular, situado en el centro de la zona para conseguir un espacio verde exclusivo de la estructura.

El proyecto de refuerzo estructural se divide en dos fases del proyecto. La primera es una fase de estudio y de investigación de los hechos, donde se identifican y caracterizan toda la información sobre el estado de la estructura. La segunda es el diseño en detalle del refuerzo, realizado en los elementos estructurales que, sobre la base de los datos proporcionados por la primera etapa, no han resultado verificados.

Las comprobaciones realizadas no cumplen para 39 pilastras. Sobre la base de la información adicional proporcionada por el ingeniero Leonidas G. Delgado Segovia se consideró necesario diseñar refuerzos estructurales en todos los pilares.

Posteriormente se aclarará el tipo de intervención y su función.

La normativa utilizada para la definición estructural es la italiana, Estados Límite Últimos de las Normas Técnicas para la Construcción de 2008. Para las acciones horizontales debidas al terremoto, se basó en espectros similares a las previstas por la legislación del Estado de El Salvador. En particular, el espectro se calcula con referencia al sitio donde el hospital se encuentra por la "Norma Técnica para diseño por sismo – Reglamento para la seguridad estructural de las construcciones".

Para facilitar el cálculo, se optó por un espectro de una ciudad italiana (Udine), de mayor dureza, estando del lado de la seguridad.

2. Caracterización características mecánicas de los materiales

Los materiales y sus características se obtienen a partir de ensayos no destructivos y destructivos.

2.1 Hormigón

La resistencia a la compresión característica del hormigón se define para los dos modos de prueba de compresión: con una muestra cilíndrica ($f_{ck} = 8$ MPa) y cúbica ($R_{ck} = 10$ MPa). El factor de seguridad de 1,5 se introduce para tener en cuenta las incertidumbres sobre las características del material y el método de instalación.

2.1 Acero

La resistencia característica a tracción es de $f_{yk,acero} = 430$ MPa. Se divide por el factor de seguridad de 1.15.

3. Análisis de cargas

Las cargas calculadas para la estructura se dividen en cargas permanentes, peso del suelo o el techo, y accidentales, divididos en ambiente interior y viento.

Tabla 1. Cargas permanentes y accidentales por planta.

Planta	Permanentes (kN/m ²)	Accidentales (kN/m ²)	Viento (kN/m ²)
1	2.40	2.00	-
2	0.10	0.10	0.72

Para el cálculo de las solicitaciones, estas cargas se combinan con los datos de Declaración de coeficientes.

3.1 Acciones sísmicas

La acción sísmica se calcula como se describe en la Sección 3.2 de la NTC 2018 Italiana. Para ello se tiene en consideración distintos parámetros, son los siguientes: tipo de construcción, vida nominal, clase de uso, coeficiente de uso, período de referencia, lugar, clase de flexibilidad, planta regular, altura regular, tipo de inmueble, categoría del suelo, categoría topográfica y tipo de prueba.

El espectro utilizado en la ubicación de la clínica se calculó a partir de la “Norma Técnica para diseño por sismo - Reglamento Para La Seguridad De Las construcciones Estructural.” Para facilitar el cálculo se eligió el espectro de la ciudad italiana de Udine, Italia (Terremoto de 1976 – magnitud 6.5 Richter – Figura 1), de mayor dureza, estando del lado de la seguridad.

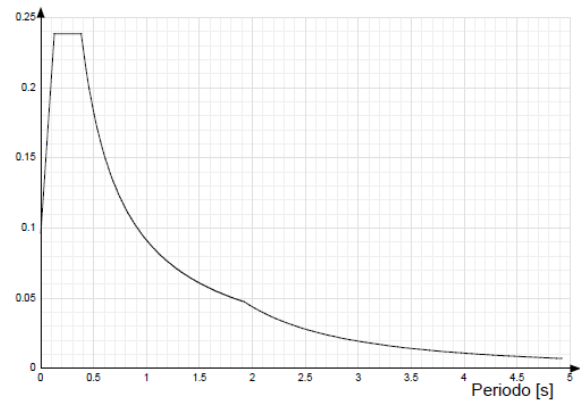


Figura 1. Espectro de respuesta elástica por la legislación italiana en Udine.

4. Cálculo aproximado de diferentes elementos estructurales

Se va a realizar el desarrollo de cálculo para la verificación de los Estados Límite Últimos de uno de los pilares y una de las vigas. Este valor es extrapolable al resto de la estructura debido a su geometría

4.1 Cálculo de pilar

El pilar, desde los cimientos hasta el techo, tiene una base cuadrada de 30x30 cm. Está armado con cuatro barras Ø12 en las esquinas y 2 estribos de Ø10/20 cm.

4.1.1. Armadura a flexión

$$A_s = 4\text{Ø}12 = 4,52 \text{ cm}^2$$

La armadura no está anclada con una longitud suficiente en la parte superior.

4.1.2. Armadura a cortante

1 estribo de Ø10/200 mm.

4.1.3. Características de los materiales

- Hormigón: $f_{ck} = 8$ MPa

- Acero: $f_{yk} = 430$ MPa

4.1.4 Solicitaciones

Para el cálculo de los pilares se obtiene la peor sollicitación de tensión normal y momento flector.

Desde el programa de cálculo se derivan las siguientes sollicitaciones de proyecto:

$$M_{ed} = -64 \text{ KNm}$$
$$V_{ed} = 67 \text{ KN}$$

Siendo las siguientes su capacidad resistente:

$$|M_u| = 20 \text{ KNm}$$
$$V_u = 175.3 \text{ KN}$$
$$N_u = 832.8 \text{ KN}$$

Por lo que será necesario realizar un refuerzo estructural del mismo para solventar los esfuerzos a flexión.

4.2 Cálculo de viga

La viga se encuentra apoyada en 3 puntos, situada fuera del espesor de la losa y tiene un longitud total de 5.04 m. La armadura a flexión se encuentra tanto en la zona superior como inferior con dos barras Ø12, sin diferenciar secciones de los apoyos o centro de vano. La armadura a cortante se compone de 1 estribo Ø10/20 cm.

4.2.1. Armadura a flexión

$$A_s = 2\text{Ø}12 = 2,26 \text{ cm}^2$$

4.2.2. Armadura a cortante

1 estribo de Ø10/200 mm.

4.2.3. Características de los materiales

- Hormigón: $f_{ck} = 8 \text{ MPa}$
- Acero: $f_{yk} = 430 \text{ MPa}$

4.1.4 Solicitaciones

Para el cálculo de las vigas se obtiene la peor sollicitación de momento flector y esfuerzo cortante.

Desde el programa de cálculo se derivan las siguientes sollicitaciones de proyecto:

$$M_{ed, \text{centro de vano}} = 47 \text{ KNm}$$
$$V_{ed, \text{apoyo}} = 67 \text{ KNm}$$

Siendo las capacidades resistentes de las distintas secciones estudiadas las siguientes:

$$M_{u, \text{centro de vano}} = 18 \text{ KNm}$$
$$V_{u, \text{apoyo}} = 55.17 \text{ KNm}$$

Por lo que será necesario realizar un refuerzo estructural en las vigas, tanto para esfuerzos a flexión como para cortante.

5. Refuerzo estructural

El refuerzo estructural elegido es el fabricado por Kerakoll. Se trata de dos sistemas de refuerzo estructural, dependiendo del elemento estructural a reforzar. En el caso de los pilares, se opta por realizar un refuerzo estructural aumentando la sección de los mismos. En este caso se va a utilizar un mortero de reparación estructural fluido, Geolite Magma. Dicho mortero presenta las siguientes características:

Tabla 2. Características técnicas Geolite Magma.

Mortero	Resistencia a compresión (MPa)	Resistencia a flexión (MPa)	Clase de Mortero
Geolite Magma	80	12	R4

Para el refuerzo en las vigas, el sistema propuesto es el SRP, Steel Reinforced Polymer. Recibe este nombre por utilizar como tejido un material innovador de fibras de acero galvanizado en caliente y como matriz del

sistema una matriz polimérica, Geolite Gel. Se trata de un refuerzo en bajo espesor.

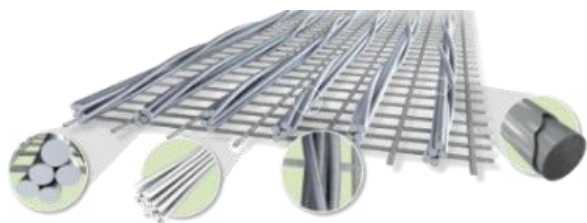


Figura 2. Tejido de fibra de acero galvanizado

5.1 Tejido de fibra de acero galvanizado, GeoSteel

El tejido de fibra de acero galvanizado está fabricado con micro – cables de acero galvanizado de altísima resistencia, entrelazados para formar cordones y acoplados por termosoldadura a una malla de fibra de vidrio especial, consiguiendo una elevada estabilidad dimensional. Esta composición permite que el tejido formado sea similar a los tejidos unidireccionales de otros tipos de fibras (carbono, aramida o vidrio, además de facilitar su instalación en obra.

Tabla 3. Características técnicas de los micro – cables que componen el GeoSteel.

Material	Resist. tracción (MPa)	Mód. Elás. (MPa)	Área (mm ²)	ε
Micro - cable	2900	87000	0.1076	-
Cordón 3x2	750	200000	0.538	>1,5%

Los tejidos de fibra de acero están disponibles en cuatro densidades diferentes, basadas en la distancia entre cordones. Los de menor densidad, que tienen 1,57 y 3,19 cordones por centímetro de tejido, son adecuados para la instalación con matrices minerales, mientras que los de mayores densidades, 4,72 y 7,09 cordones por centímetro, deben instalarse con la matriz epoxídica, Geolite Gel.

5.2 Definición de los sistemas de refuerzo estructural

Los sistemas de refuerzo estructural ejecutados se han calculado mediante el software GeoForce One, programa informático que suministra Kerakoll. El software trabaja mediante modelado de elementos finitos (FEM), pudiendo realizarse estudios seccionales o tridimensionales.

5.2.1. Aumento de sección del pilar

El desarrollo realizado para obtener las dimensiones definitivas del refuerzo estructural se presenta a continuación.

El paso inicial es introducir en el software los materiales del pilar a reforzar, con sus características. A continuación, se dibuja la sección del pilar, ver Figura 3.

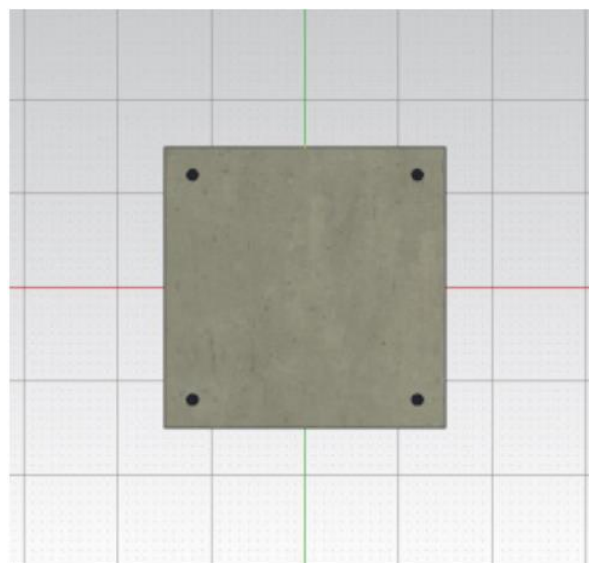


Figura 3. Sección del pilar a reforzar.

Una vez definida la sección, en el caso que nos atañe, es necesario introducir el material con el que se va a realizar el aumento de sección y definir el armado. Se trata de un procedimiento iterativo. En la Figura 4, se muestra la sección del pilar con el aumento de sección generado.

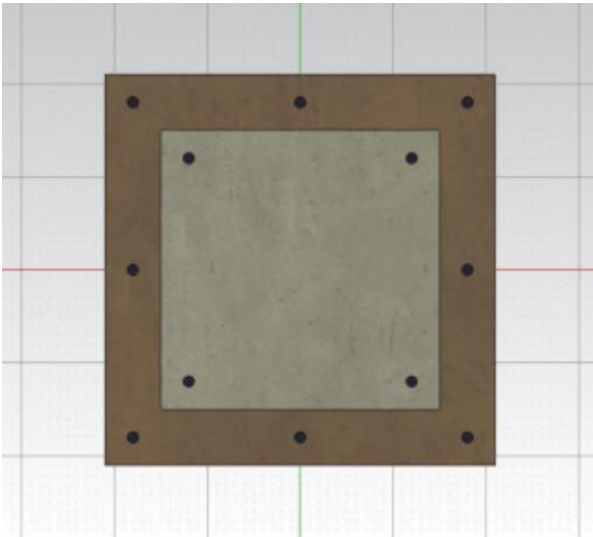


Figura 4. Sección del pilar reforzado

El aumento de sección diseñado está compuesto por un aumento de 6 cm. de espesor realizado con Geolite Magma, con una armadura longitudinal de $8\text{Ø}12$ y una transversal de $\text{Ø}8/300$ mm, toda la armadura se realiza con acero B450C. En la nomenclatura española, hablamos de un acero de tipo B500S.

El resultado del aumento de sección del pilar se muestra renderizado en la Figura 5.



Figura 5: Renderizado del aumento de sección diseñado

Esta tipología de refuerzo se debe proyectar para todos los pilares, ya que si la intervención fuera puntual, introduciría cambios localizados en la rigidez global de la estructura, con sus consecuentes problemas en caso de terremotos.

5.2.2. Refuerzo a flexión y a cortante viga

El procedimiento seguido para diseñar el refuerzo estructural de las vigas es similar al seguido con los pilares. Es imprescindible insertar en el GeoForce One tanto las características de los materiales que componen la estructura original como la sección original (Figura 6) y reforzada de la estructura (Figura 7).

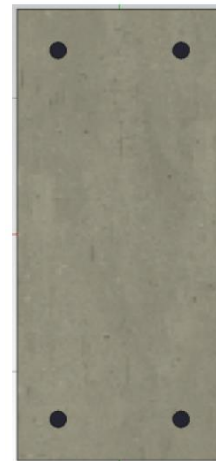


Figura 6: Sección de la viga a reforzar.



Figura 7: Sección de la viga reforzada.

En la figura anterior se muestra en amarillo el refuerzo a flexión y en verde el refuerzo diseñado a cortante. El refuerzo a flexión está compuesto por 3 estratos de GeoSteel G2000. El refuerzo a cortante se realiza con 1 banda de GeoSteel G2000, en continuo. Cada una de los tejidos utilizados debe ir embebido en la matriz epoxídica, Geolite Gel.

En la Figura 8, se puede ver cómo quedaría realizado el refuerzo a cortante en los apoyos.

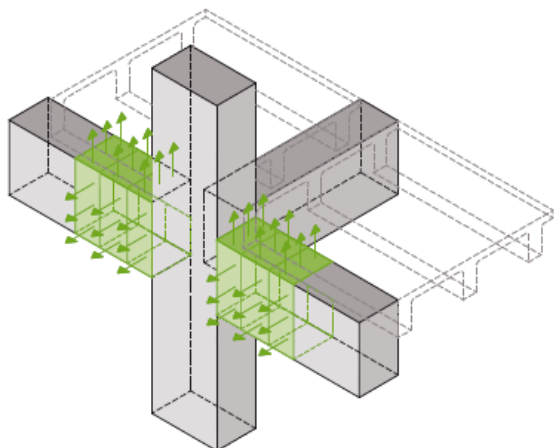


Figura 8: Refuerzo a cortante de en los apoyos de las vigas.

La aplicación de refuerzo a cortante se muestra en la Figura 9:



Figura 9: Refuerzo a cortante de las vigas durante su aplicación

6. Resultados obtenidos con el refuerzo planteado

El refuerzo realizado ha obtenido los siguientes esfuerzos últimos:

Tabla 4. Resultados obtenidos con el refuerzo propuesto

Elemento	$N_{ref,u}$ (KN)	$V_{ref,u}$ (KN)	$M_{ref,u}$ (KNm)
Pilar	997.0	-	80.89
Viga	-	102.5	47.1

En los refuerzos planteados, se satisfacen los esfuerzos de diseño, por lo que se considera que el resultado es óptimo.

7. Conclusiones

Desde 2004, cuando el uso de bandas de fibra de acero de alta resistencia se empezó a usar en ingeniería civil, diversos estudios se han llevado a cabo para estudiar sus propiedades mecánicas y su efectividad como elementos externos de refuerzo en aplicaciones civiles. La ventaja de instalar tejidos de fibras de acero con matrices epoxídicas, permite a los SRP convertirse en una alternativa a la tecnología de refuerzo estructural realizada con fibras de carbono, FRP. Los sistemas de refuerzo FRP, son de un elevado coste, tanto por la mano de obra que debe ser especializada como por el coste de la fibra de carbono. Además, el comportamiento a cortante de la fibra de carbono no presenta la misma fiabilidad que el comportamiento del acero. El planteamiento de un refuerzo a cortante con sistemas SRP nos va a aportar un mayor seguridad y menor coste de intervención, consiguiendo un resultado óptimo.

Los estudios realizados, así como las aplicaciones de los sistemas que se han llevado a cabo, han demostrado, sin ningún tipo de duda, que esta nueva familia de materiales compuestos debe ser incluido entre la variedad de materiales compuestos destinados al refuerzo estructural.

Agradecimientos

Agradecer la colaboración y cesión de la información del proyecto original al arquitecto Marco Carolo y a la Associazione Solidarietà e Sanità Onlus por destinar los fondos necesarios para llevar a cabo el proyecto comentado.

Referencias

[1] Casadei P and Agneloni E Advance composites applications on historical structures

in Italy: Case studies and future developments
6th International Conference on Structural
Analysis of Historical Construction – Preserving
Safety and Significance, Bath, United Kingdom,
July 2-4, 2008, ISBN Vol.2:978-0-415-48107-6.

[2] Casadei P and Agneloni E Case Studies on
Advanced Composite Materials for Civil
Engineering and Architectural Applications
Structural Engineering International, vol.21, 3/
2011, 271-278.

[3] Casadei P, Nanni A, Alkhrdaji T, Thomas J.
Performance of Double-T prestressed concrete
beams strengthened with Steel Reinforced
Polymer. *Adv Struct Eng* 2005;8(4):427-442.

[4] Casadei P, Nanni A, Alkhrdaji T. Steel-
Reinforced Polymer: an innovative and
promising material for strengthening the
infrastructures. *Concr Eng Int* 2005;9(1):54-56.

[5] De Santis S, de Felice G, Napoli A, Realfonzo
R Strengthening of Structures with Steel
Reinforced Polymers: A state-of-the-art review.
Compos Part B: Eng, 2016; 104:87-110

[6] De Santis S., Casadei P., De Canio G., de
Felice G., Malena M., Mongelli M., Roselli I.
Seismic performance of masonry walls
retrofitted with steel reinforced grout.
*Earthquake Engineering and Structural
Dynamics*, 2016;45(2):229-251. DOI:
10.1002/eqe.2625.

[7] De Santis S., Casadei P., de Felice G. Tests
on the bond performance of mortar based
strengthening systems on masonry substrates.
*Proc. Int. Conf. IMC'14 - 9th International
Masonry Conference* (Guimarães, Portugal, 7-9
July 2014). ISBN: 978-972-8692-85-8.

[8] Faella C, Napoli A, Realfonzo R. Seismic
behaviour of RC beam-column joints
strengthened with steel fiber composite
materials. In: *Proceedings of XVI Convegno
ANIDIS, L'Aquila*, 2015 (in Italian).

[9] Napoli A, Realfonzo R, Casadei P. Rinforzo
a flessione di solette in c.a. con sistemi in

SFRP/SFRCM. In: *Proceedings of XX
Congresso CTE, Milano, Italy*, 2014 (in Italian).

[10] Napoli A, Realfonzo R, Petracca M,
Candeloro F, Camata G, Casadei P. Flexural
strengthening of RC slabs with SRP/SRG: an
experimental-numerical comparison. In:
*Proceedings of ACE 2015, Vietri sul Mare,
Salerno, Italy*, 2015.

[11] Napoli A, Realfonzo R. Compressive
behavior of concrete confined by SRP wraps.
Construction and Building Materials 2016 (in
press).

[12] Napoli A, Perri F, Realfonzo R, Ruiz Pinilla,
JG. Seismic performance of RC columns
strengthened with SFRP systems: experimental
study. In: *Proceedings of FRPRCS-11,
Guimarães, Portugal*, 2013.