REV JOURNAL BOL CIENC # 40.qxp_Layout 1 30/8/17 9:55 a.m. Página 54

Journal
Boliviano de Ciencias

• VOLUMEN 13 • NÚMERO 40 • ISSN 2075 - 8936

Artículo Científico

Análisis y diseño para el reforzamiento de columnas de hormigón armados con material FRP y perfiles metálicos

Analysis and design for the reinforcement of columns of concrete with FRP material and metallic profiles

1. Andrew Louis Revollo Oporto
2. Marcelo Delgadillo Zurita

RESUMEN

El presente artículo corresponde al extracto de un trabajo de investigación científica en el que realizó un análisis comparativo a nivel técnico y económico de dos métodos para el reforzamiento de columnas de hormigón armado que sufren de un problema patológico como es el cambio de uso de la estructura que debilita y reduce la capacidad resistente de los elementos estructurales. Para poder incrementar esta capacidad de carga se deberá aplicar un refuerzo para que pueda soportar con la nueva función que tendrá la estructura. Los métodos que se proponen para el refuerzo de columnas de hormigón armado en el proyecto proponen el material compuesto Fiber Reinforced Polymers (FRP) y el material de perfiles metálicos (Empresillado Metálico) que son métodos prácticos, de inmediata aplicación y que no alteran las condiciones arquitectónicas del lugar.

Esta investigación fue realizada entre agosto del año 2016 y mayo del año 2017.

Palabras claves: Reforzamiento. Columnas. Hormigón armado. FRP. Perfoles Metálicos.

ABSTRACT

This article is an excerpt of a scientific research, carried out from August 2016 to May 2017. A comparative analysis was carried out at a technical and economic level of two methods for the reinforcement of columns of Concrete that suffers from the change of use of the structure as a pathological problem, which weakens and reduces the resilient capacity of the structural elements. To increase this load capacity a reinforcement must be applied so that it can withstand the new function of the structure. The proposed methods for the reinforcement of reinforced concrete columns in the project are the FRP (Fiber Reinforced Polymers) and Metallic Edge, which are practical materials, they allow an immediate application and do not alter the architectural conditions of the space.

Keywords: Reinforcement. Columns. Concrete. FRP. Metallic Edge.

1. Licenciado en Ingeniería Civil.
a_revollo@hotmail.com
2. Docente de la carrera de Ingeniería Civil Univalle La Paz
mdelgadilloz@univalle.edu, mdz12001@hotmail.com

Fecha de recepción: 08/08/17
Fecha de aprobación: 17/08/17

REV JOURNAL BOL CIENC # 40.qxp_Layout 1 30/8/17 9:55 a.m. Página 55

INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente proyecto es dar a conocer como se debe realizar el análisis para el reforzamiento de columnas de hormigón armado con materiales compuestos FRP y con material de Perfiles Metálicos e incrementar la capacidad de carga de las columnas y de esa manera solucionar el problema patológico (Cambio de Uso) que presenta la estructura. Una estructura de hormigón armado se analiza y diseña para que complete su vida útil dentro las condiciones aceptables de servicio y resistencia; sin embargo, en una obra civil pueden existir problemas patológicos estructurales que afectan negativamente la capacidad resistente del elemento estructural. De acuerdo con esto, muchas veces es necesario realizar un refuerzo en las estructuras para aumentar la capacidad resistente del elemento estructural y así recuperar su funcionalidad.

Los refuerzos con material compuesto FRP y material de Perfiles Metálicos son los métodos más utilizados para el reforzamiento de columnas de HªAª para poder incrementar la capacidad de carga y así también incrementar la ductilidad y rigidez de las columnas.

La patología estructural es muy importante de analizar para poder determinar el problema o fallo que pueda presentar una estructura y así poder determinar la terapéutica más adecuada a emplear y solucionar el problema que presente la estructura. Es por ello que se debe realizar un diagnóstico de la estructura afectada que consiste en obtener la Historia (recopilación de información de la estructura), Idealización de la estructura (en el estado limite último ”ELU”) y para finalizar se deberá realizar Laboratorios (Pacometría, esclerometría, etc.).

Las columnas son elementos estructurales muy importante para una edificación y que sostienen principalmente cargas de compresión y al haber un problema patológico como es el cambio de uso, la carga incrementara y estas tenderán a expandirse lateralmente y es por esto que se deberá aplicar un refuerzo que mejore el confinamiento de la columna y controle la deformación transversal, es por ello que los métodos de refuerzo que se aplica para subsanar este problema son el refuerzo con material compuesto FRP y el refuerzo con material de Perfiles Metálicos [1].

El refuerzo con material compuesto FRP se subdivide en tres materiales que son el de la fibra de aramida “AFRP”, fibra de vidrio “GFRP” y las fibras de carbono “CFRP”. Las primeras dos tipos de fibras las de aramida y vidrio fallaron al ser aplicados en elementos estructurales y no son utilizadas para el reforzamiento debido a que la deformación que tienen al estar sometidos a tensiones de tracción es muy baja; en cambio el material de fibra de carbono es un material elástico y tiene una deformación grande al estar sometido a tensiones de tracción y es el método que se utiliza actualmente para poder reforzar elementos estructurales.

El material de fibra de carbono “CFRP” es un material compuesto no metálico de tipo polimérico, integrado por una matriz de resina epóxica en combinación con fibras de carbono. El elemento fibroso aporta rigidez y resistencia, mientras que la resina es flexible y poco resistente, que sirve para transmitir los esfuerzos de unas fibras a otras y entre ellas y la superficie adyacente, además de proteger a las fibras de posibles daños mecánicos y ambientales.

El refuerzo con perfiles metálicos es un método de refuerzo pionero, ya que se utilizó desde hace muchos años atrás, convirtiendo el elemento estructural en una estructura mixta y así mejorando la resistencia a compresión de la columna. En términos de resistencia al fuego, este sistema presenta un comportamiento que podría calificarse como “intermedio”. De una parte, puede ser necesaria la protección ignífuga (medida de protección contra el fuego), de los perfiles de acero, como si de una estructura metálica se tratase. De otra parte, al utilizarse frecuentemente anclajes mecánicos, éstos no son tan vulnerables como los adhesivos [1].

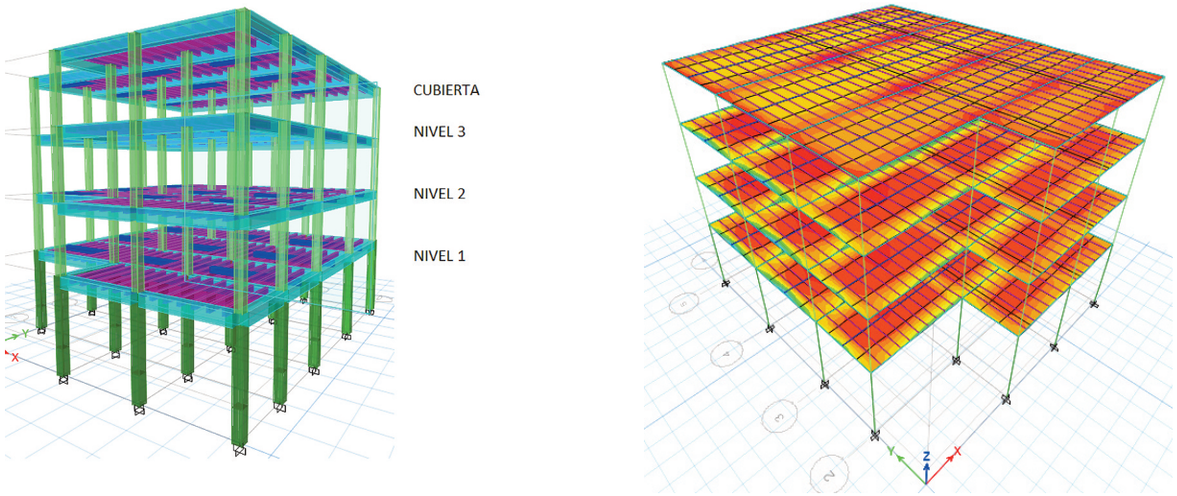
METODOLOGÍA

Para poder determinar qué elementos estructurales se ven afectados con el problema patológico del “cambio de uso”, se deberá realizar la idealización de la estructura con las combinaciones de carga que la normativa indique para poder realizar un análisis estático de la estructura en un estado limite último “ELU”. La idealización y el análisis de la edificación se lo realizo en el software de análisis estructural ETABS (Extended Three Dimensional Analysis of Building) como se ve en la Figura Nº 1.

REV JOURNAL BOL CIENC # 40.qxp_Layout 1 30/8/17 9:55 a.m. Página 56

Journal
Boliviano de Ciencias
• VOLUMEN 13 • NÚMERO 40 • ISSN 2075 - 8936

Figura N°1. Idealización de la Estructura en ETABS



Fuente. Elaboración propia, 2017

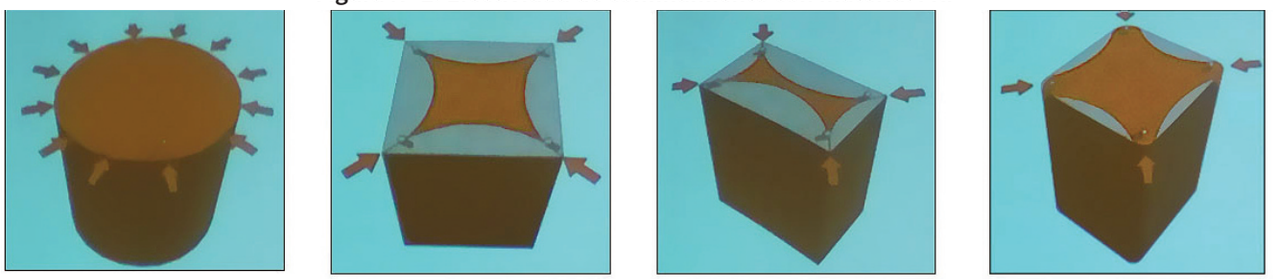
Después de realizar el análisis estructural de la edificación, se deberá determinar qué elementos estructurales se ven afectadas con el problema patológico del "cambio de uso" de la edificación y el procedimiento a seguir para el reforzamiento de las columnas con el material compuesto FRP y el material de perfiles metálicos será mostrado a continuación.

Reforzamiento con material compuesto FRP

Para realizar el diseño del refuerzo con el material de fibras de carbono CFRP se deberán aplicar las recomendaciones de la normativa ACI 440-2R [2].

Al aplicar este método de refuerzo se mejora el comportamiento de las columnas, ya que el confinamiento incrementa por la tensión de confinamiento que produce la chaqueta en la columna como se ve en la figura N°2.

Figura N° 2. Efectividad de confinamiento con material FRP



Fuente. Elaboración propia, 2017

En columnas circulares la presión de confinamiento afecta a la totalidad de la sección, en cambio, en las columnas cuadradas la presión de confinamiento se transmite por las esquinas y la zona de confinamiento es más reducida, pero se puede mejorar la efectividad de confinamiento redondeando las esquinas de las columnas cuadradas para una mejor transmisión de la presión de confinamiento [2].

Es por esta situación que se debe determinar los factores de forma con la siguiente expresión:

$$ka = \frac{A_e}{A_c}\left(\frac{b}{h}\right)^2$$

$$kb = \frac{A_e}{A_c}\left(\frac{h}{b}\right)^{0.5}$$

REV JOURNAL BOL CIENC # 40.qxp_Layout 1 30/8/17 9:55 a.m. Página 57

Se debe calcular los esfuerzos y tensiones últimas que tendrá la fibra de carbono CFRP al ser aplicado a las columnas de Hormigón Armado y son multiplicadas por un factor de reducción debido a la condición de exposición [2].

$$\varepsilon fu = CE.\varepsilon fu^*$$

$$ffu = CE.ffu^*$$

Y también determinar la deformación efectiva que es controlado por un coeficiente de reducción Ke obtenido por pruebas experimentales que la normativa ACI 440-2R [2]recomienda tener un valor de 0.55.

$$\varepsilon fe = Ke.\varepsilon fu$$

Para posteriormente calcular la presión máxima de confinamiento que produce la chaqueta de CFRP en la columna produciendo un estado Triaxial en la columna.

$$f\,l = \frac{2\,Ef.n.tf.\varepsilon fe}{D}$$

Ya que la chaqueta produce un estado Triaxial, este efecto mejora la resistencia a compresión del hormigón y así tendremos una nueva resistencia a compresión del hormigón confinado.

$$f'cc = f'c + \psi f.3.3ka.f\,l$$

Para finalizar se debe determinar la nueva capacidad resistente de la columna de hormigón armado con la nueva resistencia a compresión del hormigón confinado f'cc [2].

• Columnas con refuerzo tipo estribo

$$P = 0.80\phi\,(0.85f'cc\,(Ag - As) + fy.As)$$

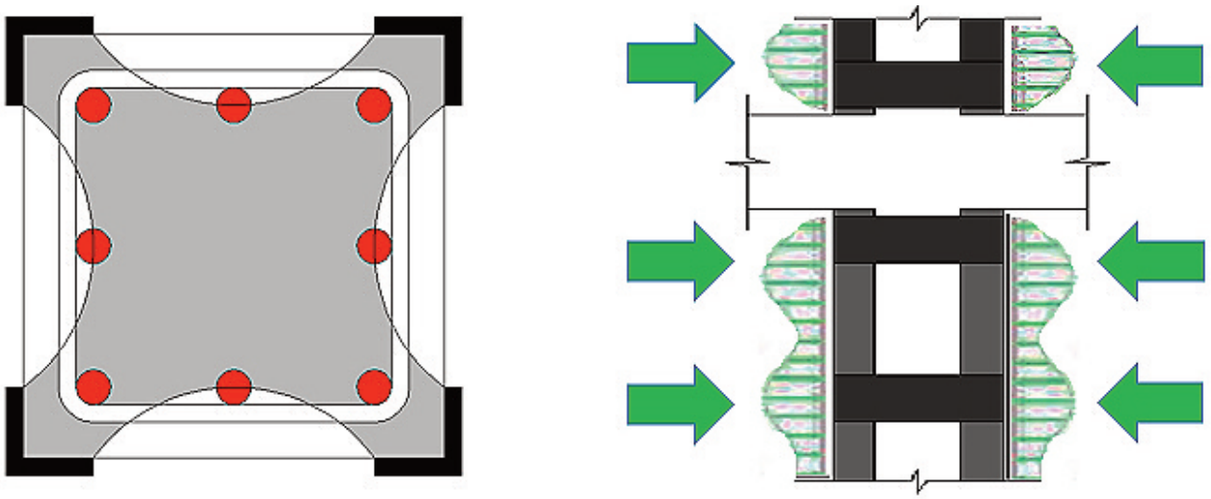
• Columnas con refuerzo tipo espiral

$$P = 0.85\phi\,(0.85f'cc\,(Ag - As) + fy.As)$$

Reforzamiento con material de Perfiles Metálicos

Para realizar el diseño del refuerzo con el material con perfiles metálicos se debe aplicar las recomendaciones de la normativa del Eurocódigo Nº4 [3]. Al aplicar este método de refuerzo se mejora el comportamiento de las columnas, ya que el confinamiento se incrementa por los angulares metálicos y por la tensión de confinamiento que producen las presillas metálicas en la columna como se ve en la figura N°3.

Figura N°3. Confinamiento de columnas con material de Perfiles Metálicos



Fuente. Elaboración propia, 2017

REV JOURNAL BOL CIENC # 40.qxp_Layout 1 30/8/17 9:55 a.m. Página 58

En el año 1999 F. Regalado [4] en su libro "Los pilares: criterios para su proyecto, cálculo y reparación" propone calcular el axil último capaz de soportar el pilar reforzado como si de una estructura mixta [3] sometida a esfuerzos de compresión simple con la siguiente expresión:

$$N_f = 0.85\ a\ b\ \frac{f_c}{\gamma_c} + A_{s1}\ \frac{f_{yk}}{\gamma_{s1}} + A_{s2}\ \frac{f_s}{\gamma_{s2}}$$

Una vez analizados el resultado de los ensayos Cirtek [5] enuncia las condiciones que deben cumplirse para incrementar la resistencia de las columnas de hormigón armado reforzados con esta técnica. Por una parte, las condiciones que deben presentar las columnas el soporte de hormigón, así como las condiciones de carga del mismo son:

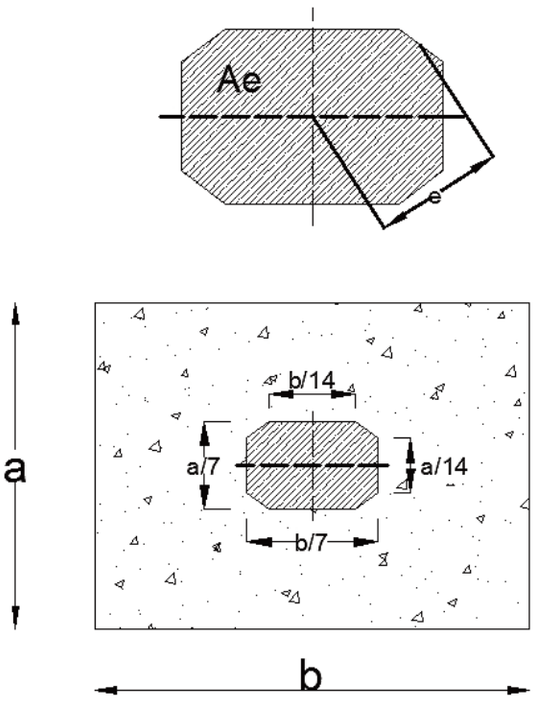
• El hormigón no debe presentar ninguna señal de fallo a compresión.

• La excentricidad total de la aplicación de la carga a compresión debe ser menor que la excentricidad límite según la figura N°4.

$$e = \frac{M_U}{P_U}$$

• Para alcanzar la mayor eficacia posible con este tipo de refuerzo, las estructuras deben ser descargadas durante la operación del refuerzo con perfiles metálicos.

Figura N°4. Excentricidad Limite según Cirtek (5)



Fuente: CIRTEK, L. RC, 2001

La resistencia característica de los angulares de acero será de 210 MPa y de las presillas 210 ó 240 MPa en función de la resistencia del hormigón. Las características de las presillas dependerán de las dimensiones del soporte de hormigón a reforzar con la utilización del coeficiente:

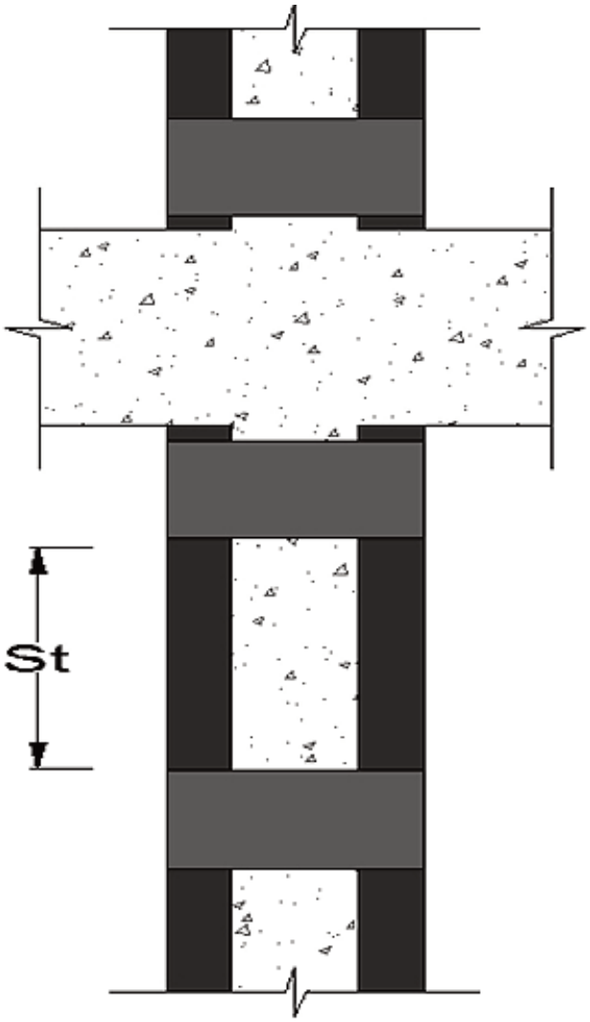
$$\beta = 0.5\ (a + b)$$

REV JOURNAL BOL CIENC # 40.qxp_Layout 1 30/8/17 9:55 a.m. Página 59

Y la separación entre presillas "St", se deberá calcular con la siguiente expresión:

$$0.4\,\beta \leq st \leq 0.75\beta$$

Figura N° 5. Separación entre presillas



Fuente: Gimenez, 2007

Para finalizar, se deberá determinar cuánto es la tensión lateral de confinamiento ejercida por las presillas metálicas en la columna de hormigón armado que se reforzará y se la determina con la siguiente ecuación:

$$\sigma_{Lat} = \frac{2\,fy\,Astr}{b\,st}$$

RESULTADOS

Al existir el problema patológico, como es el "cambio de uso" en la edificación, se obtuvo columnas de hormigón armado que se vieron afectadas y se aplicara el refuerzo con material compuesto FRP según la normativa ACI 440-2R [2] y el refuerzo con material de Perfiles Metálicos según el Eurocódigo Nº4 [3].

Aplicando el reforzamiento con material compuesto FRP a las columnas afectadas en la edificación, con el método mencionado anteriormente y aplicando la normativa ACI 440-2R [2], se obtienen los resultados del incremento de la capacidad de carga de las columnas y estos resultados se muestran en la tabla Nº 1.

REV JOURNAL BOL CIENC # 40.qxp_Layout 1 30/8/17 9:55 a.m. Página 60

Journal
Boliviano de Ciencias
• VOLUMEN 13 • NÚMERO 40 • ISSN 2075 - 8936

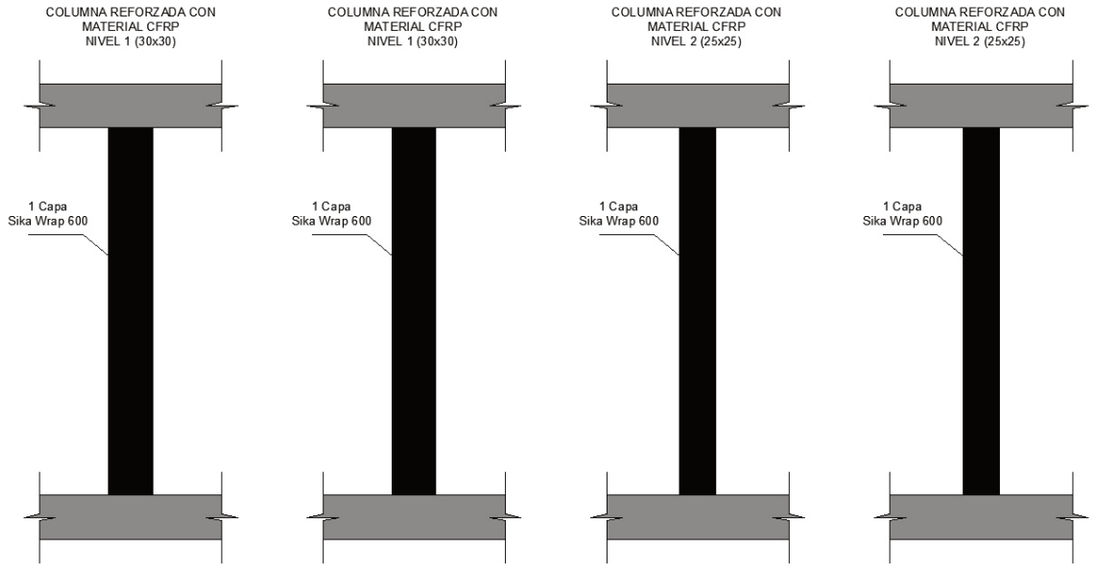
Tabla Nº 1. Incremento de capacidad de carga de las columnas debido al refuerzo con material FRP

	SECCION	Pu (KN) RESISTENTE	Pu (KN) CAMBIO DE USO	tf (cm)	n Nº de capas	*fl* (MPa)	*f'cc* (MPa)	Pu (KN) REFUERZO
COLUMNA 1	30X30	1000	1191	0.1	1	5.91	33	1507
COLUMNA 2	30X30	1000	1046	0.1	1	5.91	33	1507
COLUMNA 3	25X25	729	889	0.1	1	7.09	35	1150
COLUMNA 4	25X25	729	780	0.1	1	7.09	35	1150

Fuente. Elaboración Propia 2017

La aplicación del refuerzo con material compuesto FRP en las columnas se las debe realizar de la siguiente manera como se muestra en la figura Nº 6.

Figura N°6 Reforzamiento de columnas con material compuesto "FRP"



Fuente. Elaboración propia, 2017

El análisis económico para el reforzamiento de las columnas con el material compuesto FRP se muestra en la tabla Nº2

Tabla 2. Costo económico del refuerzo con material compuesto FRP

	CANTIDAD		PRECIO UNITARIO		PRESUPUESTO	
MATERIAL SIKA WRAP 600	11.1	m2	7000	Bs/m2	77616	Bs
APLICACION SIKADUR 300	3	Kg	434	Bs	1302	Bs
PICADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES	4	m2	18.43	Bs	69	Bs
LIMPIEZA DE COLUMNA	11.1	m2	48.45	Bs	537	Bs
				TOTAL	79524	Bs

Fuente. Elaboración propia, 2017

Aplicando el reforzamiento con material de perfiles metálicos a las columnas afectadas en la edificación, con el método mencionado anteriormente con la normativa del Eurocódigo Nº4 (3), se obtienen los siguientes resultados del incremento de la capacidad de carga de las columnas y estos resultados se muestran en la Tabla Nº 3.

Tabla Nº 3. Incremento de capacidad de carga de las columnas debido al refuerzo con material FRP

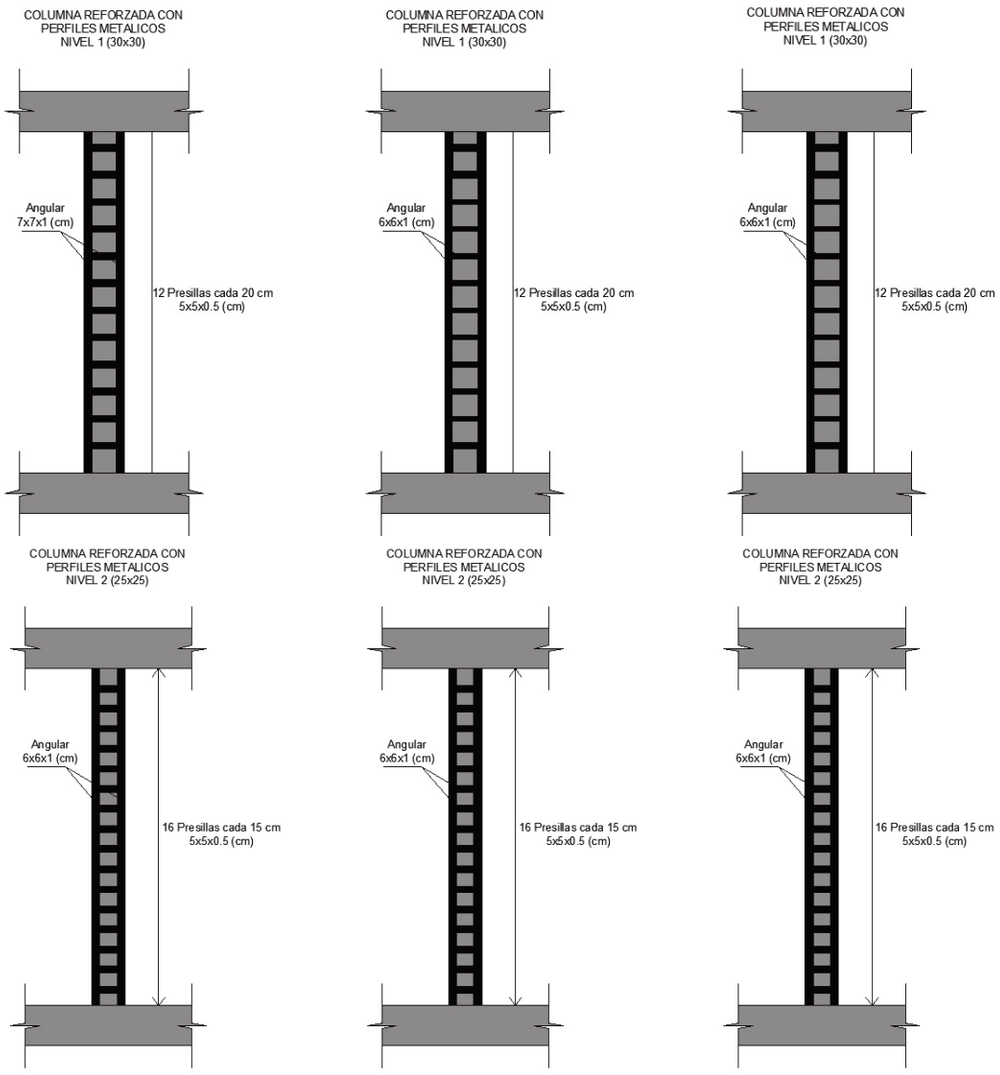
	SECCION	Pu (KN) RESISTENTE	Pu (KN) CAMBIO DE USO	e (cm)	Seccion Angular	Seccion Presilla	Area de Angular	Pu (KN) REFUERZO
COLUMNA 1	30X30	977	1216	0.6	7x7x1	30x5x0.5	13.1	1224
COLUMNA 2	30X30	977	1069	0.6	6x6x1	30x5x0.5	11.1	1138
COLUMNA 3	30X30	977	978	0.6	6x6x1	30x5x0.5	11.1	1138
COLUMNA 4	25X25	720	906	0.6	6x6x1	30x5x0.5	11.1	967
COLUMNA 5	25X25	720	796	0.6	6x6x1	30x5x0.5	11.1	967
COLUMNA 6	25X25	720	743	0.6	6x6x1	30x5x0.5	11.1	967

Fuente. Elaboración propia, 2017

REV JOURNAL BOL CIENC # 40.qxp_Layout 1 30/8/17 9:55 a.m. Página 61

La aplicación del refuerzo con material de Perfiles Metalicos en las columnas se las debe realizar de la siguiente manera como se muestra en la figura Nº 7.

Figura Nº 7 Reforzamiento de columnas con material compuesto "FRP"



Fuente. Elaboración propia, 2017

El análisis económico para el reforzamiento de las columnas con el material compuesto FRP se muestra en la tabla Nº4.

Tabla Nº 4. Costo económico del refuerzo con material de Perfiles Metálicos

MATERIAL PERFIL METALICO (cm)			CANTIDAD		PRECIO UNITARIO		PRESUPUESTO	
7	7	1	2	BARRA (6m)	400	Bs/BARRA	800	Bs
6	6	1	10	BARRA (6m)	350	Bs/BARRA	3500	Bs
5	5	0.5	6	BARRA (6m)	200	Bs/BARRA	1200	Bs
APLICACION MATERIAL EPOXI			11	Kg	769	Bs	8604	Bs
PICADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES			4	m2	18.43	Bs	69	Bs
LIMPIEZA DE COLUMNA			11.1	m2	48.45	Bs	537	Bs
						TOTAL	14710	Bs

Fuente. Elaboración Propia 2017

DISCUSIÓN

Al tener un problema patológico, como es el cambio de uso de la edificación, debemos aplicar un método de refuerzo que sea práctico y de inmediata aplicación para incrementar la capacidad de carga del elemento estructural y así poder subsanar el problema patológico que se tiene debido al “cambio de uso” [1].

REV JOURNAL BOL CIENC # 40.qxp_Layout 1 30/8/17 9:55 a.m. Página 62

Los métodos que se desarrollaron como el refuerzo con material compuesto FRP y el refuerzo con perfiles metálicos son muy prácticos y de aplicación inmediata, ya que no tienen muchas complicaciones al momento de aplicar estos tipos de refuerzos. Los métodos propuestos para el reforzamiento de columnas son aplicados siempre y cuando la excentricidad de la carga axial respecto al centro de la columna no sea muy grande (e=Momento Flector / Solicitación Axial).

El refuerzo con material compuesto FRP (Fibras de carbono "CFRP") es un material que tiene un estudio mucho más avanzado y tiene un gran comportamiento al estar sometido a tensiones de tracción y es resistente al estar expuesto a agentes ambientales agresivos en comparación al refuerzo con perfiles metálicos que es un método que se utiliza desde hace muchos años atrás y las ecuaciones propuestas fueron obtenidas de programas experimentales de probetas reforzadas con perfiles metálicos.
Un factor importante que determinara el tipo de refuerzo a aplicar es el factor económico, dependerá mucho de este factor el tomar la decisión de la terapéutica a emplear para solucionar los problemas patológicos que pueda presentar una estructura.

Las ventajas que se tiene al aplicar el método de refuerzo con el material compuesto "FRP" son las siguientes:

• Método de rápida aplicación.
• Aumenta la resistencia a compresión del Hormigón (f'c) debido al confinamiento proporcionado por la capa de SikaWrap.
• Mejora el confinamiento en las columnas y controla la deformación transversal.
• Es resistente a condiciones ambientales agresivas.
• Tiene una respuesta excelente a la fatiga.

En comparación al refuerzo con material de FRP, las ventajas que tiene se tiene al aplicar el método de refuerzo con el material de perfiles metálicos son las siguientes:

• Aumenta la resistencia a compresión de las columnas ya que al aplicar este refuerzo se considera al elemento estructural como una estructura mixta.
• Controla la deformación transversal de la columna.
• Mejora el confinamiento en la columna, debido a la presión que ejercen las presillas sobre la columna.
• No altera las condiciones de espacios en la vivienda (Condiciones Arquitectónicas).
• El costo económico es menor comparado con otros métodos de refuerzo.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que al aplicar el refuerzo se deberá tener un estricto control y supervisión del elemento estructural a reforzar, tanto para el refuerzo con material compuesto FRP, como para el refuerzo con perfiles metálicos; se deberá controlar la aplicación y ejecución de los materiales de refuerzo sobre el elemento estructural "columnas ", ya que una mala ejecución puede causar que el método de refuerzo no pueda cumplir con su función con la cual se diseñó.

Debido al cambio de uso en una estructura, se deberá realizar el análisis de todos los elementos estructurales y determinar qué elementos requieren de un refuerzo y buscar el método más adecuado para reforzar todos los elementos estructurales que se encuentren afectados como columnas, vigas, losas y fundaciones. Para el refuerzo en vigas, losas y fundaciones se deberán utilizar otros criterios de diseño, ya que estos elementos estructurales tienen un comportamiento muy diferente al de las columnas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] FERNANDEZ, C.M. Patologia y terapuetica del Hormigon Armado. Ed. Universidad Politécnica de Madrid. 1994.
[2] American Concrete Institute (ACI). Guide for design and constructionof externally bonded FRP system for strengthening concrete structures ACI 440 – 2R. 2002
[3] ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN, Comité Europeo de Normalización. Eurocódigo 4: proyecto de estructuras mixtas de hormigón y acero. UNE-ENV 1994-1-1: reglas generales y reglas para edificación, Parte 1. AENOR. 1995.
[4] REGALADO, F. Los pilares para su proyecto calculo y reparacion. Madrid. 1994.
[5] CIRTEK, L. RC Columns strengthened with bandage – experimental programme and design recommendations. Construction and Building Materials. 2001; 15(8): 341 – 349.
[6] GIMENEZ. Estudio experimental y numérico de soportes de hormigon armado reforzados a esfuerzos de compresion simple. Universidad Politécnica de Valencia.2007