



**UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES
ESPÍRITU SANTO**

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**REFORZAMIENTO Y REPARACIÓN
ESTRUCTURAL DE PILARES EN
EDIFICACIONES DE HORMIGÓN ARMADO**

Autor: YANKO I. PAVISIC C.

Tutor: ING. ALEX VILLACRÉS SÁNCHEZ. M.SC.

Samborondón, Diciembre 2017

CERTIFICACIÓN FINAL DE APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del estudiante **Yanko Isus Pavisic Cabrera**, que cursa estudios en la escuela de Ingeniería Civil, dictado en la Facultad de Arquitectura de la UEES.

CERTIFICO:

Que he revisado el trabajo de tesis con el título: **REFORZAMIENTO Y REPARACIÓN ESTRUCTURAL DE PILARES EN EDIFICACIONES DE HORMIGÓN ARMADO**, presentado por el estudiante **Yanko Isus Pavisic Cabrera** con cédula de ciudadanía N°. 0922446802, como requisito previo para optar por el Grado Académico de Ingeniero Civil, y considero que dicho trabajo investigativo ha incorporado y corregido las sugerencias y observaciones solicitadas por los miembros del tribunal, por lo tanto reúne los requisitos y méritos suficientes necesarios de carácter académico y científico, para presentarse a la Sustentación Final.

Tutor: ING. ALEX VILLACRÉS SÁNCHEZ. M.SC.

Samborondón, Diciembre 2017

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Yanko (+) y Tany, por su ejemplo de excelencia en la vida diaria y profesional, así como su apoyo durante cada paso de mi vida estudiantil.

A mi decano el ingeniero Urbano Caicedo por su guía durante toda mi carrera universitaria.

A mi tutor el ingeniero Alex Villacrés por compartir sus conocimientos tanto en la cátedra en distintas asignaturas y su dirección en esta investigación.

A mis hermanas, Marcela e Ivana, por siempre alentarme en la consecución de todas mis metas.

ÍNDICE

1. Introducción	Página
1.1. Antecedentes.....	6
1.2. Justificación.....	8
1.3. Alcance.....	9
1.4. Objetivos (general/específicos).....	9
2. Marco teórico	
2.1. Hormigón.....	10
2.2. Hormigón Armado.....	10
2.3. Estructuras de Hormigón Armado.....	12
2.4. Daños en estructuras de Hormigón Armado.....	13
2.5. Refuerzo vs Reparación.....	19
2.6. Técnica de refuerzo más utilizadas.....	21
2.6.1. Refuerzo con angulares y presillas metálicas.....	24
2.6.2. Refuerzo con fibras de carbono.....	34
2.6.3. Refuerzo con recrecido de hormigón armado.....	39
3. Marco metodológico	
3.1. Recrecido con Hormigón Armado: ventajas y desventajas.....	43
3.2. Refuerzo con angulares metálicos: ventajas y desventajas.....	45
3.3. Refuerzo con tejido de fibras de carbono: ventajas y desventajas...	46
3.4. Análisis de reforzamiento y costos en columna tipo.....	48
3.4.1. Análisis de refuerzo con perfiles metálicos en columna tipo.....	49

3.4.2. Análisis de refuerzo con fibra de carbono en columna tipo.....	52
3.4.3. Análisis de costo con perfiles metálicos en columna tipo.....	55
3.4.4. Análisis de costo con fibra de carbono en columna tipo.....	55
4. Análisis de resultados.....	56
5. Conclusiones y Recomendaciones.....	57
6. Aplicaciones en obras en Ecuador: Guayaquil, Quito, Cuenca, Portoviejo, Esmeraldas y Manta.....	59
7. Glosario.....	71
8. Bibliografía.....	73

REFORZAMIENTO Y RESTAURACIÓN ESTRUCTURAL DE PILARES EN EDIFICACIONES DE HORMIGÓN ARMADO

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Todas las estructuras se proyectan para una determinada vida útil, es decir tienen una duración finita o un periodo de tiempo en que darán servicio. Factores del medio ambiente o de su utilización pueden apresurar la degradación de la estructura con la consiguiente reducción significativa de su vida útil (Gil, 2014)

Cada vez son más comunes las ocasiones en que se necesita intervenir en estructuras construidas con anterioridad, para mantener, restituir o aumentar la capacidad de resistencia. Según la naturaleza y el alcance de la situación, la intervención que se realice en las estructuras, puede tener una o varias de las siguientes acciones: diagnóstico, mantenimiento, reparación, refuerzo y sustitución (Río Bueno, 2008).

Entre las causas que cita (Río Bueno, 2008) para que una estructura ya construida sea intervenida, están: problemas patológicos, errores de cálculo y diseño, errores de ejecución, mala calidad de materiales, degradación de materiales por el medio ambiente, mal uso o mantenimiento, remodelaciones o reutilizaciones y causas fortuitas, como terremotos, huracanes, fuego, explosiones, etc.

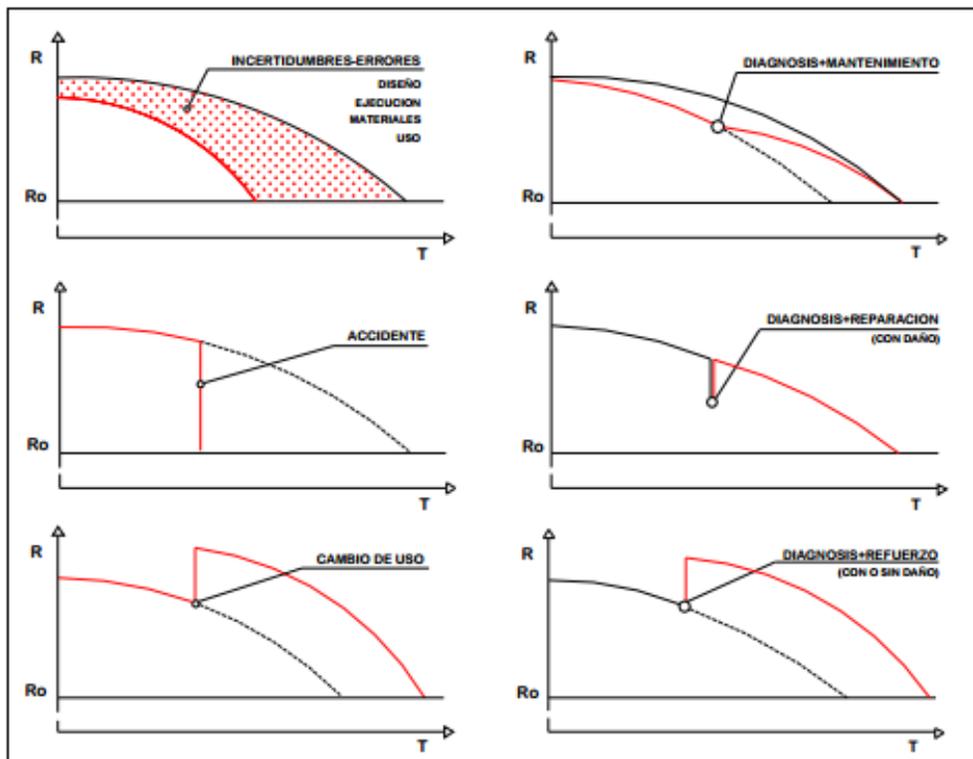


Figura 1: Causas de intervención

Figura 2: Tipos de intervención posibles

Gráfico (Río Bueno, 2008)

En Ecuador el terremoto del 16 de abril 2016, en el cual colapsaron edificaciones de hormigón armado, evidenció la necesidad de buscar las mejores alternativas para reforzar las estructuras de hormigón armado que no han sido construidas adecuadamente y prevenir su colapso en un futuro movimiento telúrico.

El terremoto de abril, con epicentro en la provincia de Manabí, concretamente en Cojimíes y Pedernales, registró una intensidad de 7.8 según el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). (BBC, 2016)

Como consecuencia del terremoto, además de las más de 700 personas fallecidas, el Instituto Geográfico Militar (IGM) contabilizó 3.273 edificaciones destruidas y 13.507 afectadas en Manabí y Esmeraldas. Por su parte la Secretaría de Riesgos reportó 5.174 construcciones destruidas y 5.749 severamente afectadas a demolerse. (EL UNIVERSO, 2016).



La Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC), implementada a raíz de los terremotos de Haití y Chile, no se cumple a cabalidad, dependiendo en mucho caso de los municipios, además de la informalidad del sector, ya que algunas veces se construye con maestros de obra, sin la presencia de arquitectos o ingenieros. (BBC, 2016)

1.2. Justificación:

Estudiar los distintos materiales y técnicas para reforzar o restaurar las estructuras de hormigón armado, es imprescindible, no solo ante la posibilidad de

movimientos telúricos, como el ocurrido en abril 2016 en Ecuador, sino **por la degradación de los materiales que ocurre con el paso del tiempo**, considerando que la vida de servicio de las estructuras se estima aproximadamente entre 70 o 100 años. (Giménez Carbó, 2007)

En este trabajo, se realizará una extensa revisión bibliográfica sobre los distintos mecanismos existentes para reforzar y restaurar las estructuras de hormigón armado, para finalmente recomendar el sistema de refuerzo que se consideraría más adecuado para su implementación en las construcciones en riesgo del país.

1.3. Alcance

Siendo el tema del reforzamiento estructural de hormigón armado muy extenso, se centrará el estudio en los refuerzos de columnas, soportes o pilares.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General:

El objetivo del presente trabajo es presentar el sistema más idóneo para el reforzamiento o restauración de pilares en estructuras de hormigón armado vulnerables del país.

1.4.2. Objetivos Específicos:

Como objetivos específicos están:

- Investigación bibliográfica sobre el tema.
- Descripción y análisis de los métodos más utilizados para reforzar columnas, centrándose en los más destacados.
- Evaluación de los métodos de refuerzo de pilares/columnas según la realidad del país.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. HORMIGÓN:

El hormigón es un material poroso, que está compuesto por pasta de cemento, áridos, poros de aire y la faja interfacial pasta-áridos. A su vez el cemento en su composición contiene sílice, calcio, alúmina y óxido de hierro. (D'Andrea, 2010)

Se emplea mayormente en construcción por su elevada resistencia a compresión, siendo no lineal su relación tensión-deformación (Giménez Carbó, 2007)

2.2. HORMIGÓN ARMADO (HA):

El hormigón armado, es el material de construcción más utilizado en todo el orbe (Giménez Carbó, 2007)

El hormigón armado HA, está integrado por el hormigón en masa y el acero de refuerzo, en forma de varilla o armadura. El hormigón armado, posibilita desarrollar estructuras de todo tipo, es un recurso insustituible de construcción, con un sinnúmero de aplicaciones que rebasan a las de cualquier material. La

resistencia a la tracción del hormigón en masa, es reducida, por esto la combinación de hormigón en masa y acero de refuerzo, reemplaza de manera óptima, la deficiencia que tiene el hormigón a la tracción (Urbán, 2015).

Además, el corrugado del acero de refuerzo, permite una mayor adherencia al hormigón, y a su vez el recubrimiento de hormigón protege de la oxidación al acero, unido a la ductilidad de estos materiales que permite una deformación ante una concentración de tensiones y no una rotura imprevista como con otros materiales frágiles. (Urbán, 2015)

Adicionalmente, el hormigón provee elasticidad, resistencia al fuego y a la corrosión, por su parte el acero, otorga ductilidad y tenacidad, por lo que el hormigón y el acero se complementan. (Parrilla Calle, 2011)

Resumiendo las ventajas del hormigón armado, tiene:

- Un nivel de ductilidad que no posee el hormigón en masa.
- Un grado de deformación mayor, antes de presentarse la rotura, que no posee el hormigón simple.

La combinación hormigón-acero, el hormigón absorbe los esfuerzos de compresión y el acero absorbe los esfuerzos de tracción (Urbán, 2015)

Sin embargo, el hormigón armado también “envejece”, degenerándose y estropeándose su capacidad estructural, por varias causas como: deficiencias en el proyecto o en materiales o por no cumplir con los requisitos proyectados originalmente (Parrilla Calle, 2011)

2.3. ESTRUCTURAS DE H.A.: COLUMNAS-PILARES

Según (Parrilla Calle, 2011), dentro de los elementos estructurales de una construcción, las columnas y las vigas se podrían considerar las piernas y los brazos de la edificación.

Las columnas también denominadas soportes, pilares, pilastras, son piezas estructurales de forma vertical, que transfieren los esfuerzos verticalmente, como la fuerza de gravedad, en cambio las vigas tienen su directriz lineal y horizontal, apoyando sus extremos en pilares o columnas. En algunos casos las vigas pueden estar apoyadas solo en un extremo, trabajando en voladizo (Parrilla Calle, 2011)

La capacidad de resistencia de vigas y pilares de una estructura de hormigón armado garantizan su buen funcionamiento y seguridad, ya que cualquier falla alterará el reparto de las tensiones entre los demás elementos, pudiendo tener consecuencias desastrosas. Así, al detectar cualquier anomalía en la capacidad de carga se debe intervenir de inmediato. (Giménez Carbó, 2007)

Las elevadas temperaturas también inciden en una menor vida útil de las estructuras de hormigón armado, que podrían darse tanto por un incendio o por las altas temperaturas registradas en una industria. (Ercolani & Ortega, 2007)

Cuando el hormigón cuando está expuesto a gran temperatura, sufre variaciones físicas y químicas, al igual que sucede con otros materiales, dependiendo de la duración de la exposición al calor, del nivel de la temperatura, de la constitución

del hormigón, la forma de enfriamiento, entre otros factores. (Ercolani & Ortega, 2007)

2.4. DAÑOS EN ESTRUCTURAS DE H.A

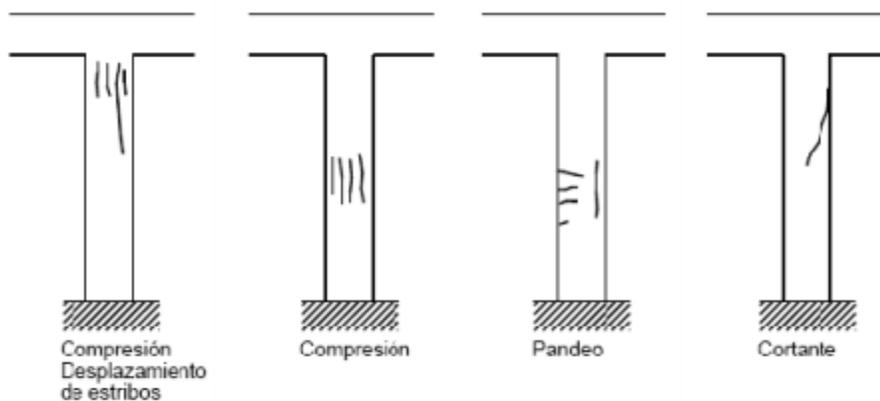
Existen daños en las estructuras de hormigón armado que pueden afectar la durabilidad o el aspecto externo de la edificación, pero que hay fallos importantes en la estructura que ponen gravemente en riesgo la seguridad (Parrilla Calle, 2011)

Según un estudio español, las principales causa de patologías en estructuras de hormigón armado son errores de proyecto con el 51,5 %, seguido por fallos de ejecución con el 38,5%, la baja calidad de los materiales en el 16,2 %, las ocasionadas por la mala utilización o mantenimiento el 13,4 %, siendo los motivos excepcionales solo el 4% (Río Bueno, 2008)

PAÍS	NÚMERO DE CASOS	CAUSA PRINCIPAL DE PATOLOGÍA (%)					MANIFESTACIÓN PREDOMINANTE (%)			
		PROYECTO	EJECUCIÓN	MATERIALES	USO/MANT.	NATURALES	FISURACIÓN	HUMEDADES	DESPRENDIMIENTO	OTRAS
BRASIL	527	18	52	7	13	—	—	—	—	—
ALEMANIA	1570	40	29	15	9	7	—	—	—	—
BÉLGICA	3000	49	24	12	8	7	13	30	16	—
DINAMARCA	601	37	22	25	9	7	—	—	—	—
FRANCIA	10000	37	51	5	7	—	59	18	12	11
R. UNIDO	510	49	29	11	10	1	17	53	14	16
RUMANIA	832	38	20	23	11	8	—	—	—	—
ESPAÑA	586	41	31	13	11	3	59	8	11	22
MEDIA EUROPEA	—	42	28	14	10	6	—	—	—	—

Estadística de causas y manifestación de patologías (Río Bueno, 2008)

La aparición de fisuras en los pilares, es un síntoma de peligro, pues indica que la columna está al límite del agotamiento, pudiendo colapsar (Parrilla Calle, 2011)



Posibles fisuras en pilares de hormigón armado.

Fuente gráfico (Parrilla Calle, 2011)

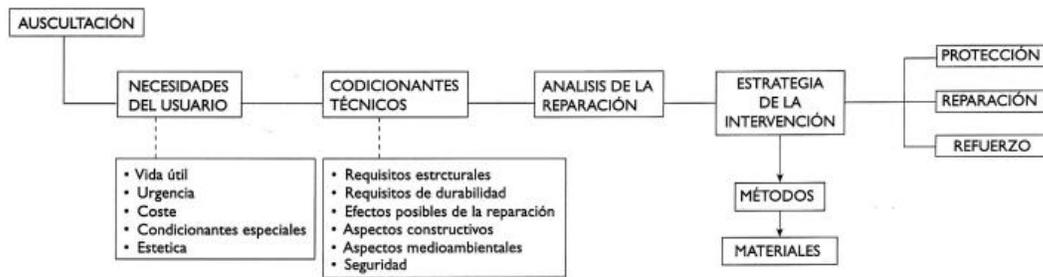
La permanencia de las estructuras de hormigón armado, se asocia a los procesos degenerativos del hormigón y del acero de refuerzo, siendo la causa más común del desgaste del hormigón armado: la corrosión del acero (Pérez, 2010)

El deterioro en estructuras de hormigón armado, también pueden ser ocasionadas para cargas accidentales, que exceden a su diseño original, o sencillamente porque la estructura ha rebasado su vida útil, con el consecuente cambio de sus propiedades físicas y mecánicas, por el deterioro ocasionado por el tiempo y el ataque de factores medio ambientales. (Ortega & Ripani, 2007)

Un listado de causas de deterioro de las estructuras de hormigón armado según (Río Bueno, 2008) serían:

1. Fallas de Ejecución
2. Retracción en fase de endurecimiento
3. Repercusión térmica
4. Permeabilidad de agua por el hormigón
5. Corrosión de acero de refuerzo: por efecto electrolítico o por embate químico.
6. Cambios químicos
7. Actividad de agentes atmosféricos
8. Causas excepcionales como: terremotos, fuego, choque, etc.
9. Abrasión
10. Mal concepto de detalles constructivos
11. Deficiencias de proyecto

Para acometer un refuerzo y/o reparación de estructuras, debe seguirse un orden: debe estudiarse y analizarse detenidamente por un técnico, que evalúe el problema y sus condiciones, proponga una estrategia efectiva de reparación y desarrolle el proyecto. Cualquier trabajo de refuerzo estructural, debe partir de una fase de revisión, análisis y diagnóstico de las causas que originan el problema, de otra manera, solo sería una reparación cosmética (Rodríguez, 1998)



I. Esquema general para seleccionar la estrategia de intervención

Esquema para seleccionar estrategia de intervención (Rodríguez, 1998)

Sin embargo, como dice (Río Bueno, 2008), las estructuras a reforzar constituyen muchas veces, una verdadera “caja negra”, ya que muchas veces no se cuenta con planos de la estructura original ejecutada y debe en sitio comprobarse geometría, calidad de materiales, etc.

La bibliografía que existe sobre refuerzos de pilares de hormigón armado es menor a la que existe sobre vigas, debido a que los elementos a flexión presentan generalmente más fallos. Sin embargo, los soportes, columnas o pilares son los elementos críticos en la estabilidad de una estructura y a su fallo se atribuyen la mayor cantidad de las caídas generalizadas de las estructuras de hormigón armado (Giménez Carbó, 2007)

2.4.1. Corrosión de acero de refuerzo:

Entre los daños que puede sufrir una estructura de hormigón armado, se encuentra la corrosión del acero de refuerzo, que ocurre cuando varía la protección que otorga el hormigón a la armadura (Pérez, 2010).



Oxidación en pilar (Abella, 2012)

El hormigón confiere un entorno protector al acero, debido a su gran alcalinidad, permitiendo que este, se encuentre “pasivo”, con un nivel insignificante de corrosión, sin embargo, hay agentes agresivos en el exterior de las armaduras, como cloruros, dióxido de carbono o sulfatos, que pueden iniciar la corrosión del acero. (Vico, Morris, & Vazquez, 2003)

Principalmente pueden ocasionar la corrosión del acero: la **carbonatación** y los **iones de cloruros** del acero. (Vico, Morris, & Vazquez, 2003)

a) La **carbonatación**, es la reacción química del dióxido de carbono del ambiente con los productos de hidratación presentes en el mortero.

En la carbonatación, la alcalinidad normal del hormigón se reduce a valores inferiores que alcanzan la armadura, comenzando la disolución de la lámina

pasiva que guarda al acero de refuerzo de su corrosión. (Vico, Morris, & Vazquez, 2003)

En el avance de la carbonatación influye, además de la calidad del hormigón, las circunstancias de humedecimiento, resultando útiles como protección anti-carbonatación los recubrimientos acrílicos o de poliuretano. (Yoris, y otros, 2010)

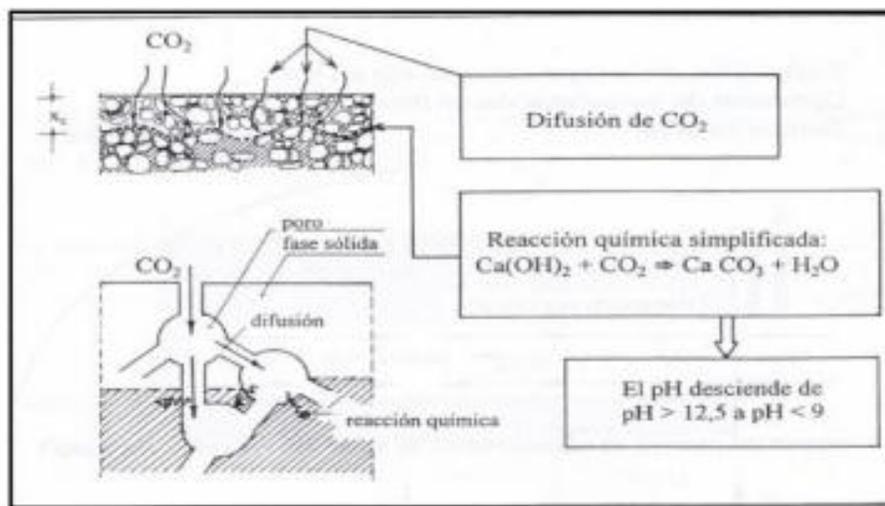


Figura 2.1.5. Proceso de Carbonatación del Hormigón ⁽²⁾

Figura (Pérez, 2010)

b) La **corrosión** causada por los iones de cloruros presentes en el acero, mayor a la concentración crítica.

Es una de las principales causas de oxidación de estructuras en ambientes marinos, introduciéndose al acero a través de los poros del hormigón. También en estructuras que tengan materiales contaminados, como pueden ser al agua, los agregados, aditivos, etc. (Vico, Morris, & Vazquez, 2003)

Aunque también otros factores pueden incidir en la corrosión del acero, como el espesor de recubrimiento de hormigón, que en ambiente marinos debe ser mayor y el diseño de su mezcla. (Vico, Morris, & Vazquez, 2003)

En los hormigones sumergidos, la rapidez de la difusión de los cloruros sería mayor, pero se compensa por la falta de oxígeno bajo el agua, que haría necesario mayor cantidad de cloruros para iniciar la corrosión. (Bermúdez & Alaejos, 2007)

En la corrosión por cloruros, la película pasiva se parte solo en pequeñas superficies, ocasionándose la “corrosión por picaduras” (Pérez, 2010)

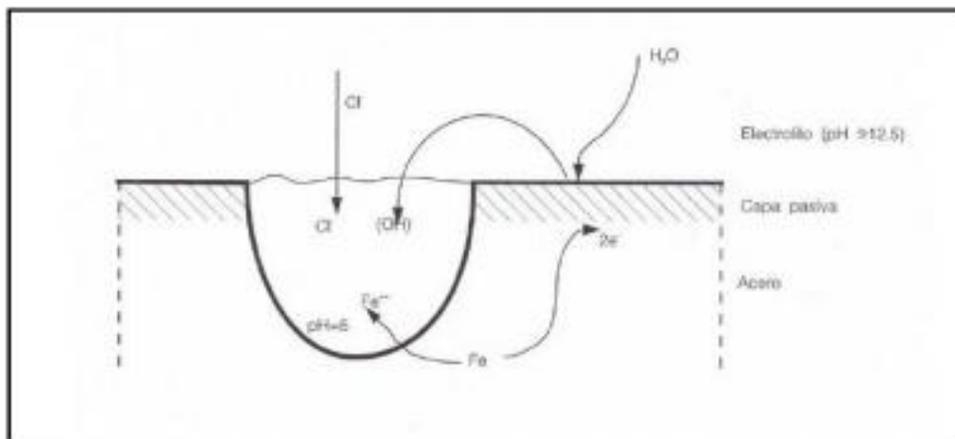


Figura 2.1.2 Corrosión por Picaduras ⁽²⁾

(Pérez, 2010) Figura

2.5. Refuerzo vs Reparación

Un refuerzo en una estructura de hormigón armado se realiza para incrementar su capacidad estructural, debido a la necesidad de soportar cargas para las que no

fueron diseñadas, en cambio en una reparación se restablece su capacidad estructural original, para extender la vida útil de la pieza o para subsanar errores. En otras palabras reforzar sería reutilizar la sección actual para proveerle de mayor capacidad, mientras que la reparación es restaurar la capacidad diseñada originalmente sin contar con la sección intervenida (Parrilla Calle, 2011)

Según (Molins & Serrá, 2004) la diferencia entre refuerzo y rehabilitación, está en la finalidad que persiguen. De esta forma, cuando se pretende incrementar la resistencia, rigidez o ambas de una estructura construida, se necesita un refuerzo. Pero si se trata de otorgar un nuevo ciclo de vida útil a una edificación, se trata de rehabilitación.

Así, un proyecto de rehabilitación puede incluir una reparación o un refuerzo, o ambos, por el contrario un trabajo de refuerzo estructural puede ser parte o no, de un plan de rehabilitación (Molins & Serrá, 2004)

La necesidad de rehabilitar ocurre cuando se observan lesiones en las estructuras, vibraciones en la construcción, cambiar el uso original de la edificación, mejorar sus condiciones de utilización o reformarla (Molins & Serrá, 2004)

Entre las causas que pueden motivar una intervención de refuerzo están: el incremento de cargas a la que será sometida la estructura, la reducción de la resistencia de la estructura ya sea por degradación de materiales o por pérdida de sección de una pieza, cambios en la geometría de una construcción y por accidentes como fuego, sismos, explosiones, etc. (Molins & Serrá, 2004)

Las intervenciones de refuerzo son las que conllevan mayor complejidad, no solo a nivel de diseño, sino también de cálculo y ejecución, principalmente por incrementar la capacidad de resistencia original para la cual fue construida una estructura (Río Bueno, 2008)

Concluyendo, reparar conlleva regresar al estado inicial de resistencia una estructura y reforzar, lograr el incremento de la capacidad portante de una estructura que puede o no tener daños. En este trabajo se estudiará los mecanismos para aumentar la capacidad de resistencia de pilares, ya sea para restituir su capacidad original o para aumentarla, por lo que al referirse a refuerzo, se referirá también a reparar (Garzón Roca, 2009).

2.6. Técnicas de refuerzo más utilizadas:

Como indica (Molins & Serrá, 2004), el refuerzo de estructuras de hormigón armado, es una de las tareas más difíciles y exigentes para los especialistas, ya que se interviene en estructuras existentes.

El profesional responsable, deberá analizar todas las posibles soluciones de refuerzo, escogiendo las que aplican mejor según principios de viabilidad técnica y económica, así como de reversibilidad cuando se aplica a construcciones históricas o patrimoniales (Molins & Serrá, 2004)

El refuerzo de estructuras de hormigón se puede lograr con el recubrimiento o adición de algún elemento o material que ayude al soporte de las cargas que actúan sobre dichas estructuras. (Parrilla Calle, 2011)

Entre los métodos o técnicas más comunes que se han utilizado para refuerzos de estructuras, sean estas vigas o pilares, están: el recrecido con hormigón proyectado o la colocación de angulares de acero, que tienen inconvenientes como la corrosión, el peso y el aumento de espesor. (Parrilla Calle, 2011)

El refuerzo de pilares de hormigón armado, se ejecuta generalmente, envolviendo la columna original dentro de una nueva sección adicional, pudiendo esta ser de acero, de materiales compuestos, de hormigón armado, etc. (Río Bueno, 2008)

En el estudio desarrollado sobre refuerzo de edificaciones en zonas sísmicas, (Mariotti, 2013), propone dos diferentes sistemas de refuerzo, para los pilares de un edificio: ampliamento con hormigón armado y refuerzo con acero.

Para (Giménez Carbó, 2007), los sistemas de refuerzo de columnas se clasifican según el resultado o efecto que ocasiona la mejora o en función del material que se utilice como refuerzo:

SEGÚN EL EFECTO QUE PRODUCE LA MEJORA	SEGÚN EL MATERIAL UTILIZADO
Refuerzos por zunchado (confinamiento de sección de columna)	<ul style="list-style-type: none"> • Zunchado con recrecido de hormigón • Zunchado con angulares metálicos empresillados • Zunchado con encamisado metálico • Zunchado con materiales compuestos
Refuerzos longitudinales (aumento de sección de columna)	<ul style="list-style-type: none"> • Refuerzo con recrecidos con hormigón • Refuerzo con angulares metálicos empresillados

Fuente (Giménez Carbó, 2007),

Sin embargo habrá ocasiones en que debido a defectos estructurales generalizados, sea más conveniente y económica derribar la edificación o construir otra estructura (Molins & Serrá, 2004)

El **diseño de la unión** entre la pieza estructural original y el elemento de refuerzo, es tan importante como el diseño de este elemento, ya que la unión debe asegurar la transmisión de esfuerzos para que el refuerzo sea válido (Molins & Serrá, 2004)

Dentro del sistema de refuerzo con acero, también se incluye el sistema de encamisado metálico o de chapa continua, que se logra envolviendo el pilar con chapas de acero, soldando esquinas. Si se trata de columnas cuadradas se puede usar dos perfiles en U. Y el sistema de chapas de acero pegadas a las cuatro caras del pilar con resinas o pernos, confinando el soporte (Garzón Roca, 2009).



Refuerzo de soporte con encamisado continuo (STRUCTURALIA, 2017)

Sin embargo, el análisis de este trabajo se centrará en los tres sistemas más utilizados, según el material empleado: refuerzos con recrecido de hormigón armado, refuerzos con angulares y presillas metálicos y refuerzos con fibras de carbono.

2.6.1. Refuerzo con angulares y presillas metálicas

Entre los refuerzos con encamisados metálicos, se encuentran los encamisados de chapa continua y los refuerzos con angulares y presillas. Este último tipo de refuerzo, es más empleado que el de chapa continua, principalmente por el ahorro del elemento acero (Adam, 2007)

En España, los refuerzos con encamisados metálico son los más usados, siendo el refuerzo con angulares y presillas metálicas el más utilizado (Adam, 2007)

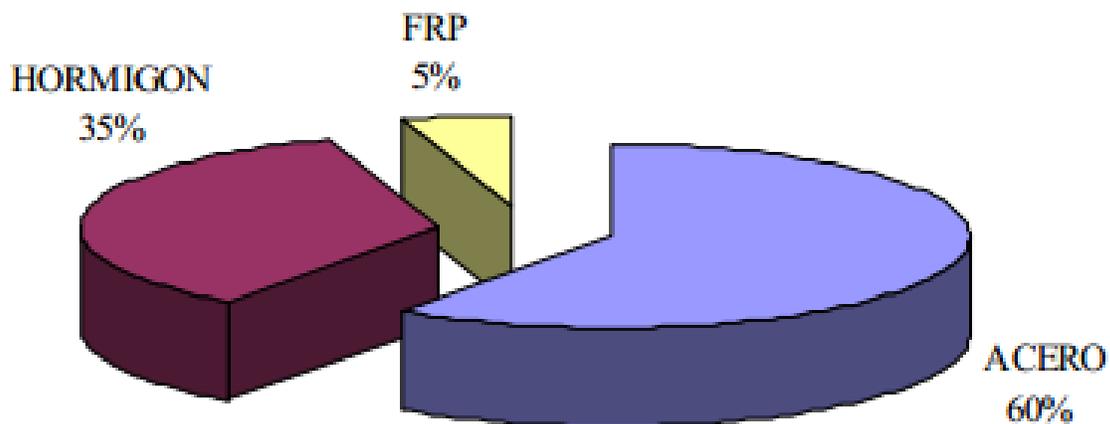
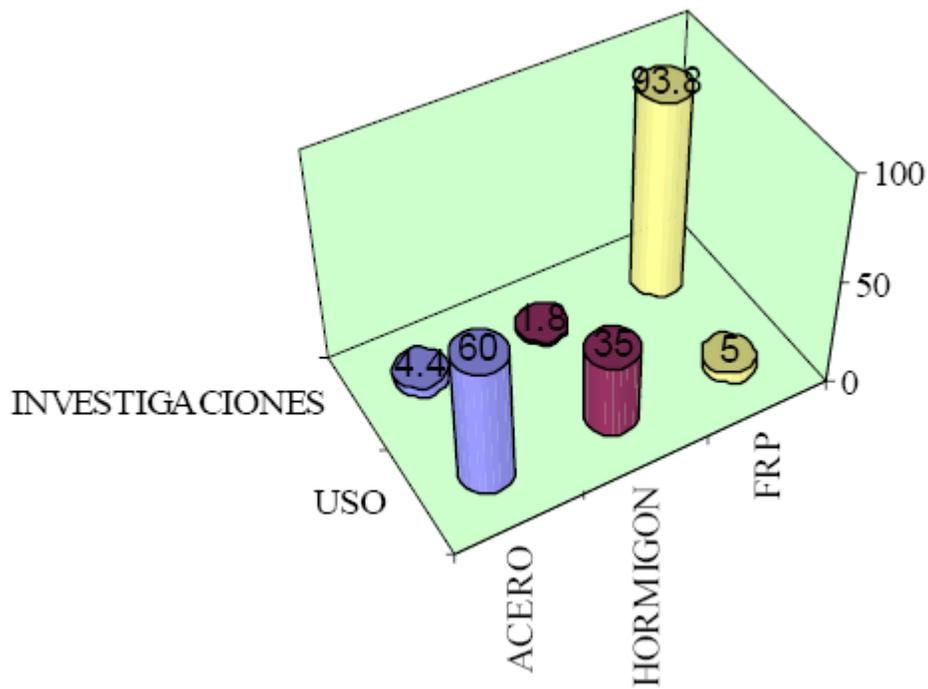


Gráfico. Uso de las técnicas de refuerzo de estructuras de HA en España (Adam, 2007)



Comparativo porcentual entre estudios y uso de los sistemas de refuerzo de pilares (Adam, 2007)

Siendo de las técnicas más utilizadas para el refuerzo de pilares, los refuerzos con angulares y presillas metálicas no tienen una metodología definida y aceptada por todos. Lo más común es la colocación de un perfil angular en las 4 esquinas de la columna, unidos por presillas metálicas soldadas. La unión pilar-viga en la práctica se resuelve realizando un capitel metálico soldado a la última presilla, que permite la transmisión de esfuerzo directo del nudo al refuerzo. (Garzón & Valente, 2014)

Un aspecto importante en este tipo de refuerzo es el mecanismo de transferencia de cargas que se da entre el hormigón y el acero: transmisión directa de esfuerzo axial mediante la cabeza, el cual se potencia mediante colocación de capiteles y;

transmisión de cargas por esfuerzo rasante entre el soporte original y el refuerzo (Giménez Carbó, 2007)

Con la colocación de capiteles, el refuerzo recibe de modo directo las cargas transferidas por la planta superior (Garzón Roca, 2009)

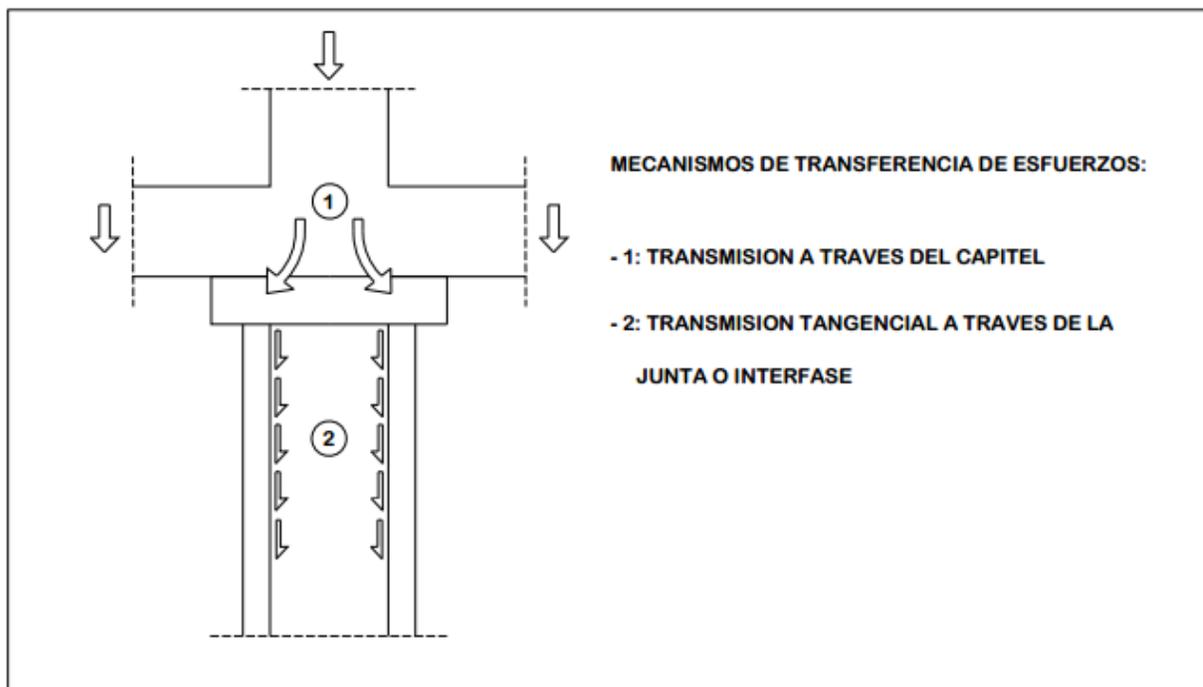


Gráfico: transferencia de esfuerzos (Río Bueno, 2008)

Cuando se utiliza capiteles en los extremos del refuerzo, se aconseja soldarlos sobre las presillas colocadas en esa zona, así se añadirá el confinamiento que producen las presillas a la transmisión de carga de los capiteles. No se aconseja soldar los capiteles a los angulares de acero del refuerzo. (Adam, 2007)



Capitel soldado a los angulares (Adam, 2007)

También puede ocurrir, cuando el procedimiento de soldado entre el capitel y el extremo del refuerzo no es el adecuado, que se separe el capitel de la base de la viga. Esto ocurre por el enfriamiento que sufre el acero, que produce una contracción del mismo ocasionando dicha separación (Adam, 2007)



Separación entre capitel y base de viga por enfriamiento del acero (Adam, 2007)

Aunque una pequeña separación no incida mayormente sobre la carga última del sistema de refuerzo, podría afectar su comportamiento, convirtiéndose en un elemento más susceptible de deformación para niveles de cargas iniciales. Por

esto se recomienda especial cuidado en la soldada de angulares, evitando se produzca dicha separación (Adam, 2007).

Durante el proceso de carga, cuando hay capiteles en los extremos del pilar, se observa un distanciamiento del ala del angular que conforma el capitel con la viga en que se apoya. Para evitarlo, se recomienda unir los capiteles de los dos tramos del soporte a través de barras insertadas en la viga o también se podría solucionar uniendo los capiteles mediante tornillos a la viga (Adam, 2007)

Adicional a los capiteles soldados al refuerzo, otra forma de solucionar el tema del nudo viga-pilar, es soldando a los angulares de acero unos perfiles tubulares, que pasen a través del nudo. Finalmente, otra opción es no añadir nada a la unión, de manera que trabaje por rozamiento y confinamiento, sin transmitir las cargas al nudo (Garzón Roca, 2009)

Esta opción de no añadir nada, se recomienda (Garzón Roca, 2009) cuando:

- La resistencia de la viga es deficiente como para soportar la carga transferida por el capitel;
- Cuando las columnas son individuales, es decir no tiene continuidad entre las losas;
- En zonas proclives a sismos

Con el refuerzo mediante angulares y presillas metálicas, el incremento de resistencia del soporte original, se da principalmente porque se está añadiendo

acero al elemento estructural, lo que ocasiona el aumento de resistencia a la compresión y además se está confinando el pilar (Giménez Carbó, 2007)

El confinamiento del hormigón aumenta considerablemente la ductilidad, lo que deriva en una mayor capacidad de aviso antes de que ocurra el agotamiento de la sección (Giménez Carbó, 2007)

Este tipo de refuerzo, adicional a recoger parte de las cargas que recibe el soporte, potencia la resistencia del hormigón debido al efecto de confinamiento, gracias a los angulares y presillas metálicas que posee (Giménez Carbó, 2007)

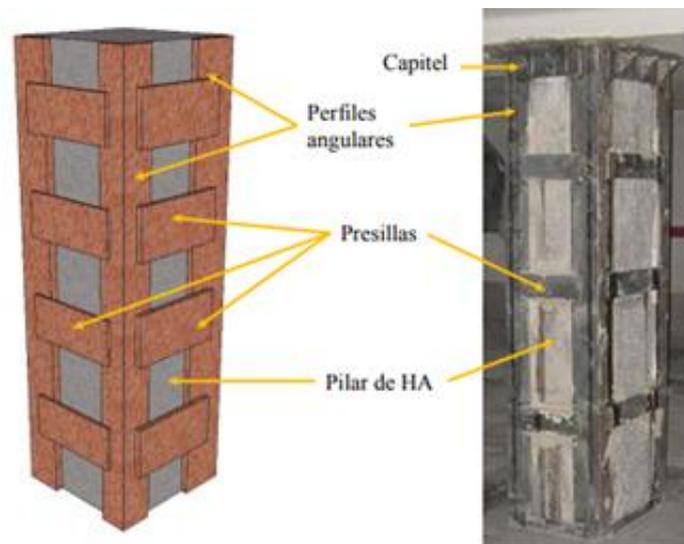
Para optimizar este sistema, se debe aprovechar el efecto de confinamiento, fundamentalmente en los extremos de la columna, ya que para la entrada en carga del refuerzo, se requiere incremento de la resistencia y ductilidad del hormigón original, aconsejándose reducir la separación de las presillas en la base y en la cabeza del soporte (Río Bueno, 2008)

El aumento de la resistencia de la columna, se da porque el acero laminado soporta grandes tensiones de compresión, colaborando en liberar parte de carga al hormigón y; el refuerzo aportará esfuerzos de confinamiento, provocando el aumento a la resistencia a compresión del mismo (Giménez Carbó, 2007)

La entrada en carga del refuerzo se ejecuta, por los nudos de encuentro con las vigas, losas o forjados y también por medio de la transmisión tangencial de esfuerzos a través de juntas o interfase (Río Bueno, 2008)



Pilar reforzado con estructura metálica (figura). Se observa sendos perfiles adosados a los cuatro lados del pilar, unidos entre sí por presillas de acero. Estas presillas previenen el pandeo de los perfiles en L y además los hace trabajar en conjunto (Abella, 2012)



Componente de refuerzo con angulares y presillas (Abella, 2012)

Por lo general, se recomienda que la longitud del refuerzo, vaya desde la planta comprometida hasta llegar a la cimentación. Incluso hay autores que sostienen que para asegurar la entrada en carga, el refuerzo debe iniciarse una planta

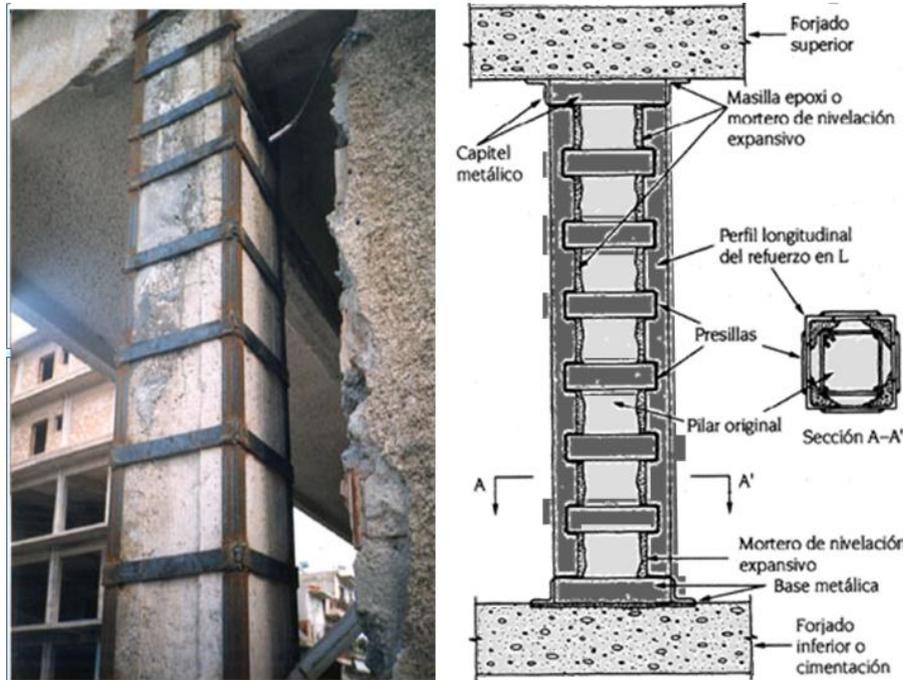
arriba de la que se encuentra afectada. Así mismo cuando se trata de varias plantas consecutivas, debe haber la mayor continuidad estructural de los refuerzos (Río Bueno, 2008)

Sin embargo, hay ocasiones en que las fallas están localizadas en solo una parte de la columna o soporte, ya sea por corrosión de acero, hormigón deficiente o de baja calidad, daños por choques, entre otros, que solo se requiera una reparación localizada, no en toda la longitud de soporte (Giménez Carbó, 2007)

Los mecanismos resistentes de este sistema de refuerzo, que aumentan la ductilidad y resistencia de la columna, serían: el confinamiento del hormigón, que aumenta la resistencia a compresión, la transferencia de tensiones rasantes entre el hormigón y acero, que se fija poniendo en la superficie de contacto o interfaz un mortero o epoxi, y la transmisión inmediata de esfuerzos desde el nudo viga-columna al refuerzo, lo que se consigue por medio de un capitel metálico soldado a la presilla superior, en comunicación con el nudo (Garzón & Valente, 2014)



Parte inferior de una columna reforzada (Abella, 2012)



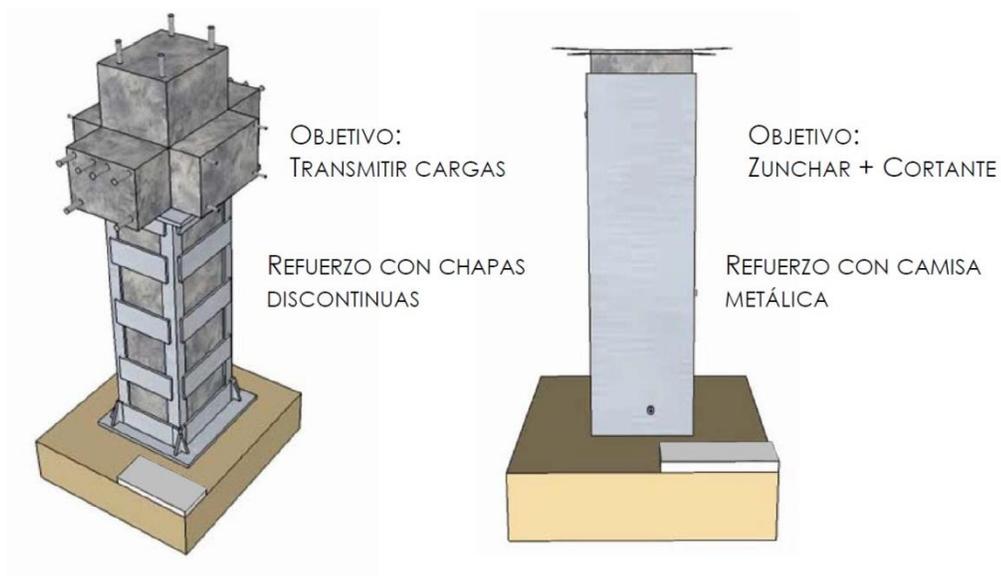
Zunchado con presillas metálicas (STRUCTURALIA, 2017)

Existen dos mecanismos de transmisión de cargas entre el acero y el hormigón, consiguiendo que el perfil laminado entre de inmediato en carga (Giménez Carbó, 2007):

1) Transmisión directa de esfuerzo axial mediante la cabeza del pilar:

El refuerzo, como se indicó anteriormente, consiste en cuatro perfiles de acero adheridos a las esquinas de la columna a reforzar, ya sea mediante mortero de cemento o resinas epoxídicas y unidos entre sí por medio de presillas metálicas. Para conseguir la transmisión directa de esfuerzo axial que soporta el pilar al refuerzo se utiliza un capitel en la parte superior e inferior. Sin este elemento, la transferencia se realizará por rasante, a lo largo de toda la longitud del pilar (Giménez Carbó, 2007)

- 2) Transmisión de cargas por rasante en área de contacto hormigón-acero:
- Muy importante para la entrada en carga del refuerzo, es la transmisión de los esfuerzos por medio de la interfaz entre el hormigón del soporte a reforzar y el acero de angulares y presillas del refuerzo. Entre el hormigón y acero se coloca, como se indicó anteriormente, mortero epoxídico o mortero de cemento. El medio de transferencia por rasante entre el hormigón y el acero del refuerzo, serán la adherencia y fricción de estos con el mortero (Giménez Carbó, 2007)



Del cuidado que se haya seguido en la colocación del mortero, dependerá el coeficiente del rozamiento entre el mortero y el acero de refuerzo (Adam, 2007)

Este tipo de refuerzo funciona, por el confinamiento producto del acero de refuerzo y por la transferencia de esfuerzos por fricción entre el hormigón primitivo y el acero (Garzón Roca, 2009)

En el tema del reforzamiento con angulares y presillas metálicas, se debe tener en cuenta el diagrama NM (axil-momento) ya que las columnas están sometidas al esfuerzo axil conjuntamente con los momentos flectores. (Garzón & Valente, 2014).

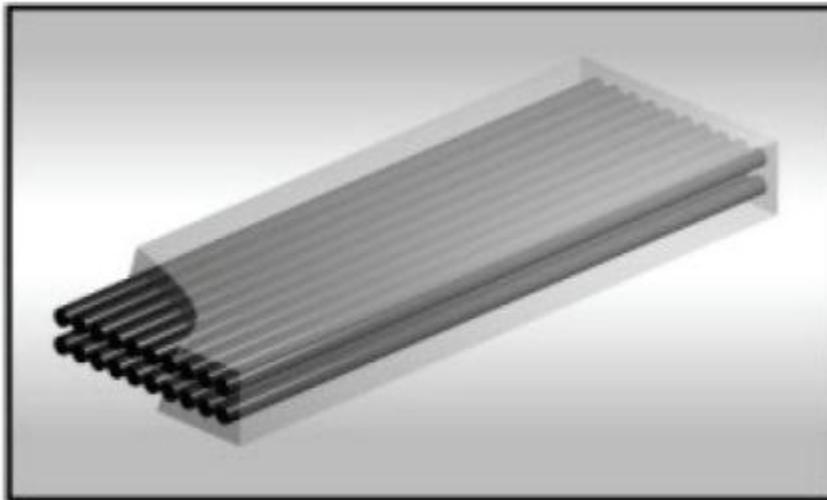
El diseño de sistema de columnas de hormigón armado reforzadas con angulares y presillas, empleando capiteles como conexión con el nudo viga/pilar, acerca el comportamiento a flexo compresión de la columna reforzada al comportamiento de una parábola determinada por flexión simple, compresión simple y por punto de transición, de esta manera la columna reforzada empieza a evidenciar una conducta igual al de una sección de hormigón y acero. Esta propuesta se adapta de la mejor manera, al diagrama N-M de las columnas reforzadas, cualquiera sea el nivel de esfuerzo axial, por lo tanto es un sistema más ventajoso y sencillo de aplicar. (Garzón & Valente, 2014)

2.6.2. Refuerzo de columnas con tejido de fibra de carbono

Este sistema consiste en envolver el pilar o columna a reforzar con la lámina de material compuesto, fibra de carbono, que se adhiere al soporte original con resinas epoxídicas (Giménez Carbó, 2007)

La fibra de carbono, también conocida por sus siglas en inglés CFRP, Carbon Fiber Reinforced Plastic, consiste en una matriz polimérica reforzada con fibras sintéticas de carbono, que es utilizada por su fácil colocación, ligereza, resistencia a químicos y rigidez. (Parrilla Calle, 2011)

Es decir consta de 2 elementos distintos: la matriz polimérica que mantiene las fibras de carbono con solidez, logrando transferir las tensiones de corte entre el concreto y la fibra, y, el elemento estructural que lo conforman las fibras de carbono que absorben las tensiones de tracción (López Achío, 2005).

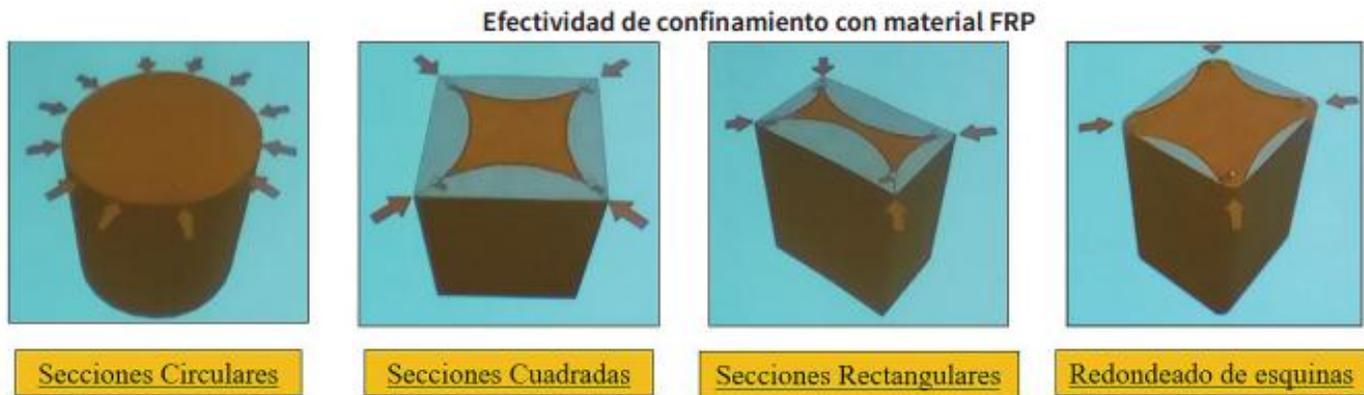


Esquema de un sistema de fibra de carbono (López Achío, 2005)

En columnas o pilares, produce una tensión por confinamiento, llegando a su máximo en los pilares elípticos y circulares, mientras que en las envolturas cuadradas o rectangulares, solo suministran fuerzas internas en las esquinas, que sin embargo contribuye a una confinamiento importante (Giménez Carbó, 2007)

Por esto algunos autores recomiendan previamente, transformar las columnas rectangulares o cuadradas en circulares mediante un pequeño recrecio de hormigón. Esto conlleva un aumento de la sección del pilar y a un cambio de forma, lo cual podría ocasionar inconvenientes arquitectónicos y funcionales (Garzón Roca, 2009)

Para contribuir al confinamiento, también se puede picar las esquinas del soporte a reforzar, redondeándolo (Adam, 2007)



Como se observa en el gráfico, en pilares cuadrados la presión de confinamiento se transmite por las esquinas del pilar, ocasionando una zona de confinamiento menor, mientras que en los pilares circulares la presión de confinamiento abarca toda la sección. Sin embargo, como se indicó anteriormente, se puede mejorar el confinamiento mediante el redondeo de las esquinas (Revollo & Delgadillo, 2017)



Aplicación de un confinamiento con tejidos de fibra de carbono para la rehabilitación de distintas columnas de edificación.

Este sistema se ha popularizado, debido a la adecuada relación capacidad-peso que tiene, sin embargo presenta limitantes como la poca resistencia al fuego, a temperaturas y humedad altas (Martínez, 2016)



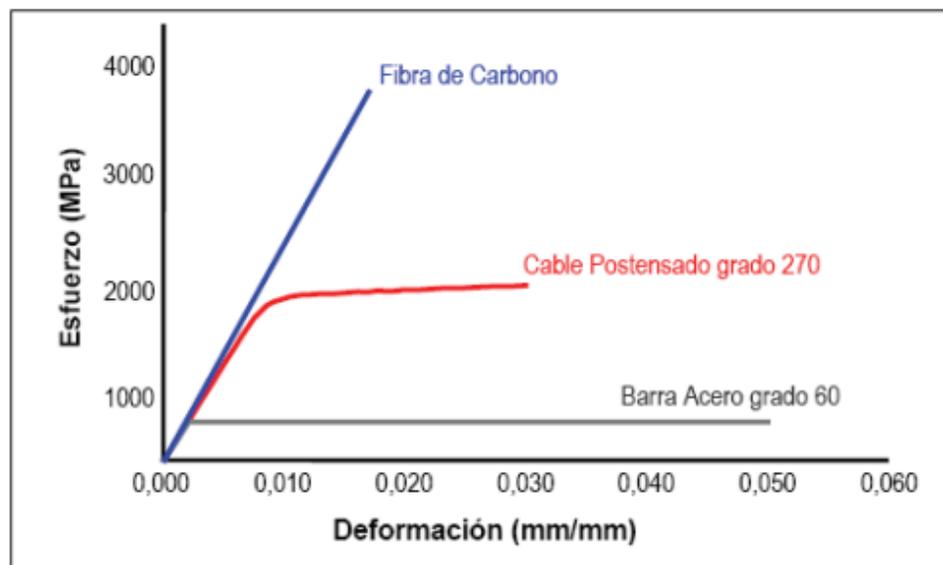
Refuerzo con fibras de acero fuente www.construnario.com

El refuerzo de este tipo, solo se aplica a estructuras de hormigón armado, no así a estructuras metálicas, debido a que el carbono fomenta la corrosión galvánica cuando está en contacto directo con metales (Gil, 2014)



(STRUCTURALIA, 2017)

Este sistema tiene una alta resistencia. Su resistencia a la tensión es diez veces mayor que la del acero, es liviano, no corrosivo y resistente a la fatiga (López Achío, 2005)



Comportamiento de la Fibra de Carbono

Gráfico (López Achío, 2005)

2.6.3. Refuerzo mediante recrecido de hormigón

Es una de las técnicas más antiguas, su proceso de construcción es similar al de una nueva pieza y no necesita mano de obra especializada (Parrilla Calle, 2011)

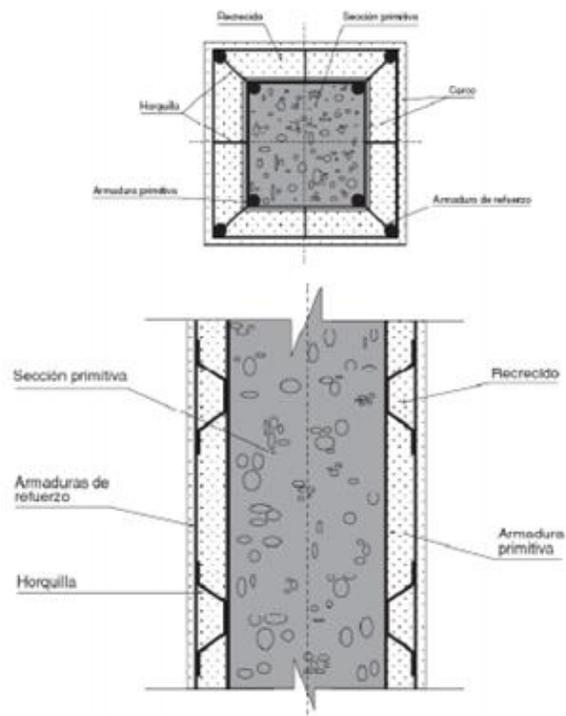
Para realizar este tipo de refuerzo primero, se debe sanear o limpiar la superficie del pilar original, luego se monta las armaduras transversales y longitudinales y finalmente se hormigonea el recrecido (Garzón Roca, 2009)

Aumentando la sección del pilar a reforzar se aumenta su resistencia a la compresión (Giménez Carbó, 2007), radica en pegar una camisa de hormigón armado sobre la columna que se quiere reforzar (Moreno, 2015) . Puede darse de 2 formas:

1. Encamisado con hormigón tradicional
2. Encamisado con hormigón proyectado (Moreno, 2015)

En el primer tipo, se utiliza hormigón común para el recrecido, con el encofrado respectivo y el vertido de hormigón, siendo el espesor del hormigón de entre 7 a 10 cm. En el encamisado con hormigón proyectado o gunitado, el espesor estaría entre 4 a 5 cm. (Moreno, 2015)

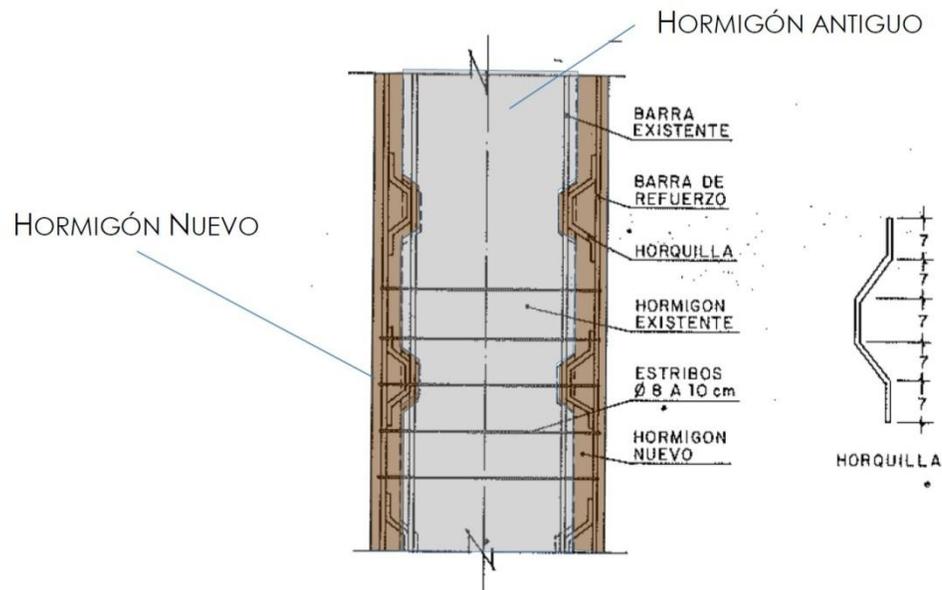
Uno de los inconvenientes del sistema de hormigón proyectado, es la gran cantidad de suciedad que ocasiona, por lo que no es recomendable cuando se realiza al interior de viviendas (Garzón Roca, 2009)



Sección transversal en planta y alzado del recrecido de columna (Parrilla Calle, 2011)

Foto derecha encamisado con hormigón tradicional, izquierda con hormigón proyectado. (Moreno, 2015)





Reforzamiento con recrido de hormigón (STRUCTURALIA, 2017)

Este sistema de recrido con hormigón, necesita armarse longitudinalmente y transversalmente, con afluencia de cercos, para poder zunchar y confinar el pilar original (Mariotti, 2013)



Aplicación de hormigón proyectado a columna (foto). Se observa el gunitado¹ del hormigón.

¹ Hormigón o mortero proyectado a gran presión a través de una manguera a una superficie. Diccionario de Arquitectura y Construcción

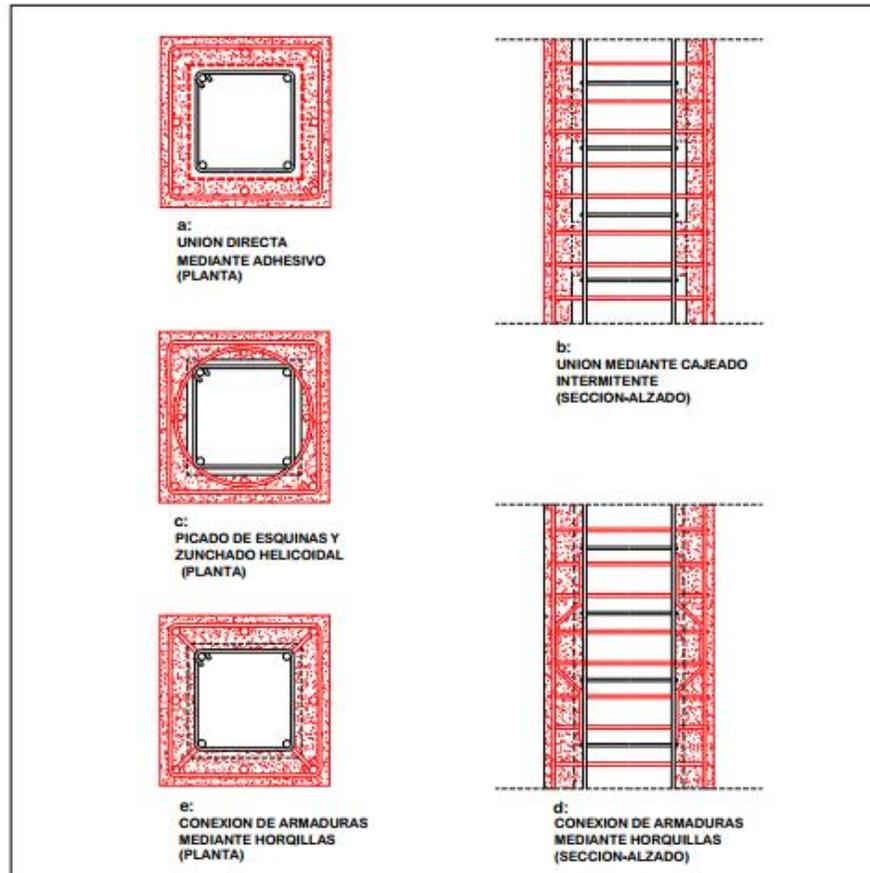


Figura: Refuerzo de soportes. Recrecido con hormigón armado (Río Bueno, 2008)

Se debe tener especial cuidado, la unión de los materiales antiguos y nuevos, garantizando la transmisión de esfuerzos, revisando los márgenes de tensión y deformación en el área de contacto (Giménez Carbó, 2007)

Cuando se realiza el recrecido con hormigón en el sitio, se obtiene un “efecto zuncho”, al efectuarse la contracción de nuevo material, mejorando la unión y transmisión de esfuerzo con el material antiguo (Giménez Carbó, 2007)

3. MARCO METODOLÓGICO

Se hará un comparativo de las ventajas y desventajas de las técnicas más utilizadas para el refuerzo de pilares de hormigón armado y un análisis de reforzamiento y costos en una columna tipo para determinar el sistema más conveniente y adecuado a la realidad del país.

3.1. Recrecido con hormigón: ventajas y desventajas

El recrecido con hormigón tiene ventajas como la compatibilidad con el material de refuerzo y el original, la superficie de contacto amplia, la posibilidad de aumentar la sección del hormigón y por ende de nuevas armaduras. Pero tiene las desventajas de aumentar considerablemente el grosor de las columnas, la dificultad constructiva y un incremento de la rigidez. (Hernández & Barraza, 2017)

La transferencia de cargas se da en este sistema de recrecido de hormigón por: compresión, rozamiento y adherencia directa entre hormigones, pasadores y transferencia armadura con armadura. (Hernández & Barraza, 2017)

Las ventajas del recrecido con hormigón, están dadas por su bajo costo, por no requerir mano de obra especializada, su resistencia al fuego, al medioambiente, a radiación solar directa, ácidos, humedad y principalmente por la experiencia satisfactoria obtenida a través del tiempo, constituyendo un método de refuerzo muy fiable (Parrilla Calle, 2011)

Otras ventajas de este sistema, es el conocimiento existente sobre sus materiales y su colocación, la buena transmisión de tensiones entre el refuerzo y la pieza

original y la no frecuencia de fallos por cortante en la unión de la columna con el forjado, debido al aumento de sección del soporte (Giménez Carbó, 2007)

El comportamiento del recrecido con hormigón es muy satisfactorio, lográndose en algunos casos aumentar la resistencia hasta un 70%, superior a lo que comúnmente se puede alcanzar con otros sistemas de refuerzo (Mariotti, 2013)

Sin embargo, se considera que su ejecución es complicada y su costo importante, debido a la preparación de la superficie, la armadura adicional y el hormigonado. Aunque considera que se obtiene incrementos de resistencia de más del 70%, superiores a los aportados por otros sistemas (Río Bueno, 2008) Para estructuras que se encuentran en servicio no es recomendable, debido a su complicada ejecución (Giménez Carbó, 2007)

Así mismo, (Giménez Carbó, 2007) considera este método eficaz para la rigidez, resistencia y ductilidad de las estructuras de HA, pero indica sus desventajas en requerimiento de mano de obra, espacios y medios necesarios. Así como, el requerir como mínimo 28 días para que el elemento de refuerzo se ponga en carga, es decir hasta que el hormigón alcance la resistencia calculada (Giménez Carbó, 2007)

Para (Parrilla Calle, 2011) las principales desventajas de este sistema son: el aumento de las dimensiones de las columnas y el tiempo de espera, aproximadamente de un mes para que resistan las cargas proyectadas.

Además debido al incremento de las dimensiones y peso, se necesita un recalcu de toda la estructura, así como, el aumento de la rigidez podría perjudicar a los esfuerzos que soportan vigas y columnas aledañas. Esto sin contar la afectación de espacio y de la estética de la edificación (Giménez Carbó, 2007)

Por el incremento de la rigidez del soporte, puede alterarse la distribución de esfuerzos de la estructura, por lo que deberá comprobarse el aumento de esfuerzo cortante ante la posibilidad de un sismo (Adam, 2007)

3.2. Refuerzo con angulares metálicos: ventajas y desventajas

Las principales ventajas de este método (Mariotti, 2013):

- Espesores adicionales reducidos, muy importantes en edificaciones en las que aumentar la sección de las columnas ocasionan problemas funcionales;
- Sistema constructivo sencillo y rápido de realizar-
- Sistema económico-

Coincidiendo con las ventajas que cita (Adam, 2007):

- Sistema de refuerzo de bajo costo.
- Rápida ejecución y puesta en carga.
- Espesor adicional reducido, comparándolo con los recrecidos de hormigón.
- No requiere personal altamente calificado.

Además, se incluyen otras ventajas (Garzón Roca, 2009):

- Puede estar en uso la estructura mientras se realiza el refuerzo,
- Se puede utilizar de inmediato (puesta en servicio)
- Se incrementa la resistencia, ductilidad, rigidez y estabilidad del soporte, sin aumentar notablemente la sección transversal (Garzón Roca, 2009)

Las desventajas de este sistema (Mariotti, 2013):

- Es menos eficiente que el recrecido con hormigón armado, ya que la transmisión de esfuerzos al refuerzo, es más complicada;
- Generalmente no se alcanza el nivel de refuerzo del sistema de recrecido con hormigón armado;
- Es menos compacto el comportamiento del conjunto;
- Menor resistencia al fuego

Sin embargo para (Garzón Roca, 2009) adicional a la necesidad de requerir protección para el fuego, las únicas desventajas de este sistema serían: problemas de corrosión sino se protege y el peso del refuerzo.

3.3. Refuerzo con tejido de fibra de carbono: ventajas y desventajas

El sistema de refuerzo con fibras de carbono tiene las siguientes ventajas (Mariotti, 2013):

- Alta resistencia
- Adecuado comportamiento a la fatiga

- Durabilidad, no sufre afectación por químicos ni corrosión y a diferencia de las bandas de acero no necesitan pintura periódica
- Permite la orientación de las fibras
- Material ligero y fácil de maniobrar
- Colocación rápida en obra, sin requerimiento de medios auxiliares
- Adaptabilidad mayor a las irregularidades de la superficie del hormigón, que las bandas de acero.
- Pueden tener cualquier longitud, lo que permite ausencia de empalme o juntas

Los atributos ventajosos de este sistema, entre otros, se deben a la sencillez que implica su puesta en obra, junto a su resistencia a la tracción y módulo elástico, propiedades mecánicas que aseguran una puesta en carga con deformaciones similares a las de la armadura de acero, a la par de una mayor durabilidad (Gil, 2014)

Para (Giménez Carbó, 2007) las ventajas de este sistema, radican en que aporta excepcionales propiedades de fatiga a la estructura, es de fácil manipulación, rápida colocación y no modifica mayormente ni altura o sección de la pieza reforzada.

Las desventajas de este sistema (Gil, 2014):

- ❖ El peligro de incendio, vandalismo o deterioro accidental, si es que el refuerzo no está protegido adecuadamente.
- ❖ No se conoce la durabilidad a largo plazo de este sistema

❖ Elevado costo del material

Como otras desventajas adicionales a la necesidad de una protección exterior para resistir impactos o fuego, se necesita que las dos superficies a unir, estén en excelentes condiciones y existe la dificultad de controlar el espesor de la resina que se utiliza como pegamento, ya que si la capa excede a 1,25mm no es tan eficaz (Giménez Carbó, 2007)

Además como se indicó anteriormente, este sistema es altamente satisfactorio en secciones circulares, reduciéndose su eficacia sustancialmente en secciones cuadradas o rectangulares, que son las más habituales en una edificación (Giménez Carbó, 2007) . Es decir la eficacia del refuerzo disminuye considerablemente cuando el soporte no es circular, además de su pérdida de efectividad si el soporte es esbelto (Garzón Roca, 2009)

3.4. ANÁLISIS DE COSTOS Y REFORZAMIENTO EN COLUMNA TIPO

Se procede a realizar un análisis de costos y un análisis estructural de los refuerzos de columnas mediante sistema de perfiles metálicos y de fibra de carbono.

El criterio usado para escoger estos dos sistemas es por la inmediatez de la solución, dado que el refuerzo de recrecido de hormigón necesita un tiempo de espera de 28 días para entrar en funcionamiento. Como indica (Revollo &

Delgadillo, 2017) al existir un problema patológico en una edificación se debe utilizar un método práctico y de aplicación inmediata.

3.4.1. Análisis de refuerzo con perfiles metálicos en columna tipo

Este método como se observa en la figura inferior, mejora el comportamiento de los pilares, incrementando el confinamiento por los angulares y por la tensión de confinamiento que ocasionan las presillas (Revollo & Delgadillo, 2017)

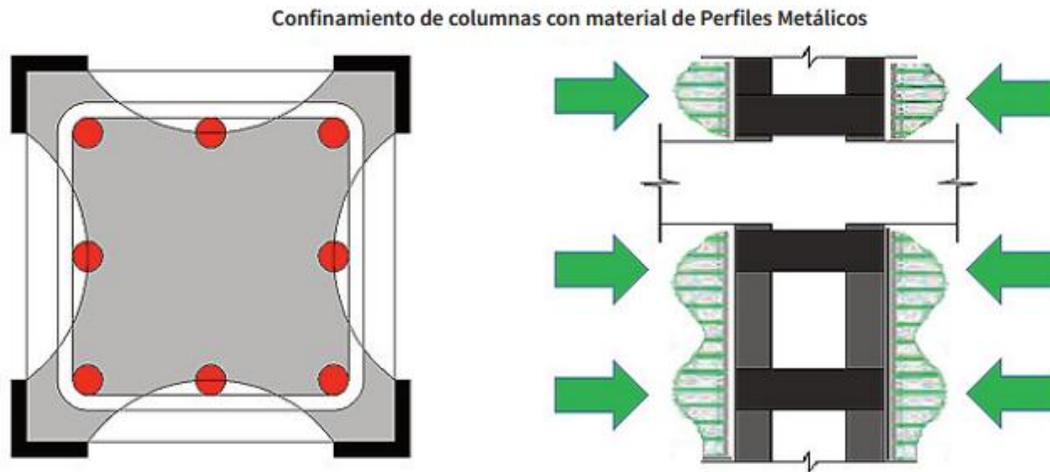


Gráfico fuente (Revollo & Delgadillo, 2017)

Se propone calcular el esfuerzo axial capaz de soportar la columna con la expresión (Revollo & Delgadillo, 2017):

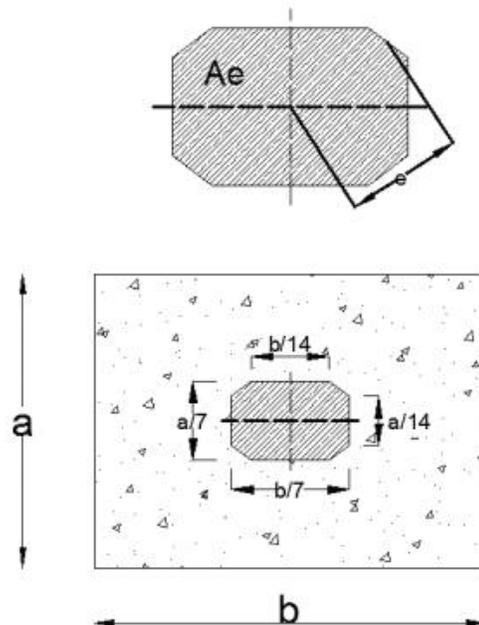
$$N_f = 0.85 a b \frac{f_c}{\gamma_c} + A_{s1} \frac{f_{yk}}{\gamma_{s1}} + A_{s2} \frac{f_s}{\gamma_{s2}}$$

Según (Cirtek, 2001) hay condiciones que deben cumplirse para el incremento de la resistencia de las columnas mediante este método: el hormigón no debe tener fallos a compresión; la excentricidad total de la carga a compresión debe ser

menor a la excentricidad límite y las estructuras deben ser liberadas durante la ejecución de refuerzo con perfiles metálicos (Revollo & Delgadillo, 2017):

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

Excentricidad Limite según Cirtek



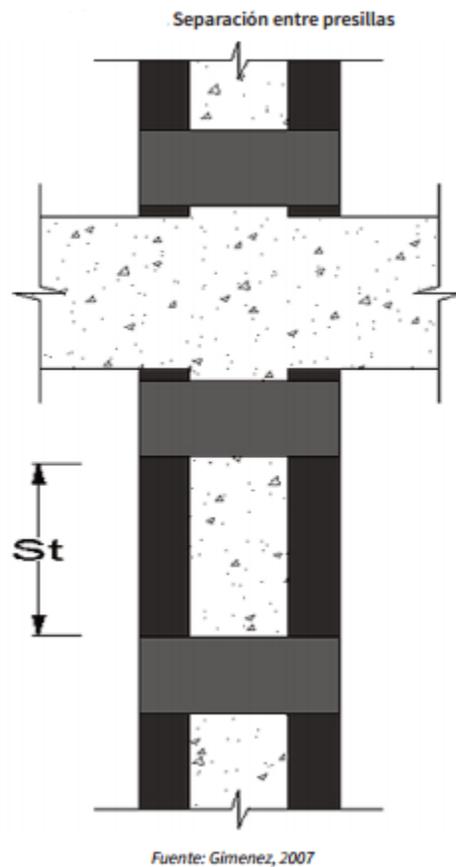
Fuente: CIRTEK, L. RC, 2001

La resistencia de los angulares de acero será de 210 MPa; presillas 210 o 240 MPa según la resistencia del hormigón. Las presillas dependerán del tamaño de la columna a reforzar usando el siguiente coeficiente (Revollo & Delgadillo, 2017):

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

La distancia entre las presillas (Revollo & Delgadillo, 2017) deberán calcularse:

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



Por último se debe calcular la tensión lateral de confinamiento ejecutada por las presillas:

$$\sigma_{Lat} = \frac{2 f_y A_{str}}{b st}$$

Así, aplicado a la columna tipo, se obtienen los siguientes valores de incremento de capacidad de carga:

	Sección	Pu (KN) Resistente	Pu (KN) Cambio de uso	e (cm)	Sección angular	Sección presilla	Área de angular	Pu (KN) refuerzo
Columna	30 x 30	977	1216	0.6	7x7x1	30x5x0.5	13.1	1224

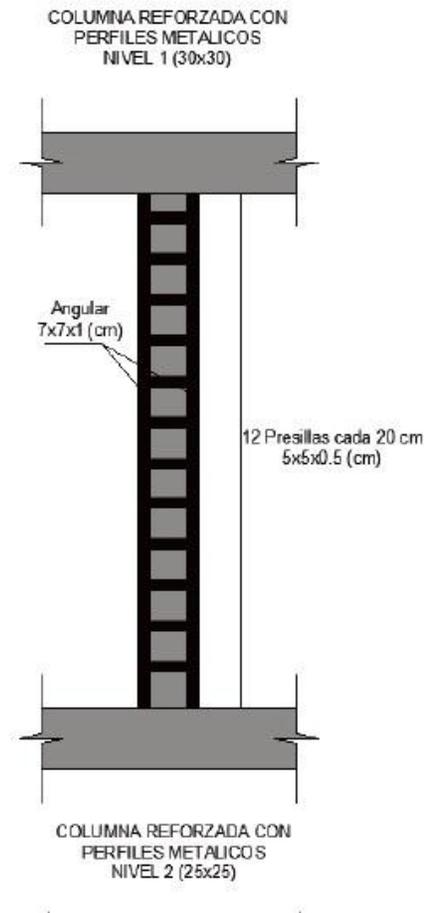


Gráfico (Revollo & Delgadillo, 2017)

3.4.2. Análisis de refuerzo con fibra de carbono en columna tipo

Se calcula según (Revollo & Delgadillo, 2017):

- Factores de forma

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

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

- Esfuerzos y tensiones últimas de FRP al aplicar al pilar de HA, multiplicadas por factor de reducción por la condición de exposición (Revollo & Delgadillo, 2017):

$$\varepsilon_{fu} = CE \cdot \varepsilon_{fu}^*$$

$$f_{fu} = CE \cdot f_{fu}^*$$

- Calcular la deformación efectiva, que es verificada por K_e (coeficiente de reducción), que la normativa ACI 440-2R recomienda el valor de 0,55 (Revollo & Delgadillo, 2017)

$$\varepsilon_{fe} = K_e \cdot \varepsilon_{fu}$$

- Presión máxima de confinamiento que origina el recubrimiento FRP en el pilar, ocasionando un estado triaxial en dicho soporte (Revollo & Delgadillo,

$$f_l = \frac{2 E_f \cdot n \cdot t_f \cdot \varepsilon_{fe}}{D}$$

- El recubrimiento (chaqueta de FRP) que ocasiona el estado triaxial, mejora la resistencia a compresión (Revollo & Delgadillo, 2017)

$$f'_{cc} = f'_c + \psi f_l \cdot 3.3 k_a \cdot f_l$$

- Se determina la nueva capacidad de resistencia del soporte reforzado (Revollo & Delgadillo, 2017):

— Con refuerzos tipo estribo

$$P = 0.80\phi (0.85f'_{cc} (A_g - A_s) + f_y A_s)$$

— Con refuerzos tipo espiral

$$P = 0.85\phi (0.85f'_{cc} (A_g - A_s) + f_y A_s)$$

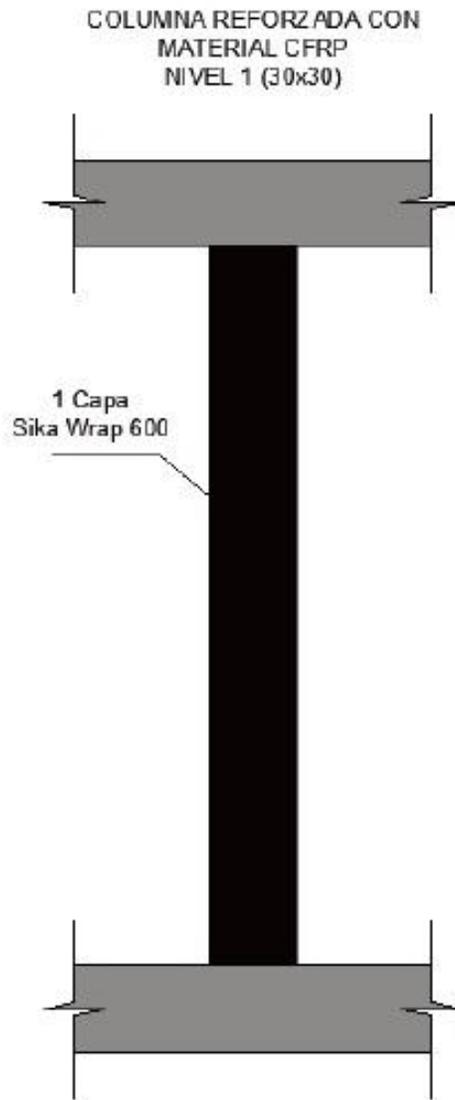


Gráfico (Revollo & Delgadillo, 2017)

	Sección	Pu (KN) Resistente	Pu (KN) Cambio de uso	tf (cm)	n Nº de capas	f_l (Mpa)	f'_{cc} (Mpa)	Pu (KN) refuerzo
Columna	30 x 30	1000	1191	0.1	1	5.91	33	1507

3.4.3. Análisis de costos con perfiles metálicos en columna tipo

	RUBRO	CANT.	PRECIO U.	TOTAL
1	ANGULO METALICO DE 6M (7X7X1)	2 BR	\$ 74,32	\$148,64
2	PLATINA DE 6M (5 X 0,5)	2,5 BR	\$ 12,72	\$31,80
3	APLICACIÓN EPOXICO SIKADUR 32	3 U	\$13,66	\$40,98
4	PICADO ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y LIMPIEZA DE COLUMNA	1 GL	\$46	\$46
5	INSTALACION DE REFUERZO	1 GL	\$86	\$86
			TOTAL	\$353,42

3.4.4. Análisis de costos con fibra de carbono en columna tipo

	RUBRO	CANT.	PRECIO U.	TOTAL
1	SIKA WRAP 600	3,6M2	\$ 93,03	\$334,91
2	APLICACIÓN SIKADUR 300	3,6M2	\$ 37,48	\$134,92
3	PICADO ELEMENTOS ESTRUCTURALES	1 GL	\$36	\$36
4	LIMPIEZA DE COLUMNA	1 GL	\$36	\$36
5	MANO DE OBRA INSTALACION	1 GL	\$95	\$95
			TOTAL	\$636,82

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los refuerzos mediante angulares y presillas metálicas, han demostrado ser excelentes al incrementar la ductilidad y resistencia de pilares, incluso estudios realizados en zonas altamente sísmicas, la recomiendan como una técnica idónea (Garzón Roca, 2009)

Además de ser uno de sistemas de refuerzo más utilizados en Europa, por ejemplo en República Checa hasta el año 2000, se registran más de 5000 refuerzos de este tipo, es empleado en Japón y Grecia, para reforzar los soportes luego de sismos y terremotos (Adam, 2007)

El sistema de refuerzo con fibras de carbono, en algunos casos no sería el adecuado por motivos económicos: alto costo y técnicos: como por ejemplo la eficacia del confinamiento en soportes cuadrados y rectangulares (Adam, 2007)

Aunque algunos técnicos prefieran el sistema de recrecido con hormigón, utilizan los refuerzos de angulares y presillas metálicas por los problemas de espacio que conlleva (Adam, 2007)

Para mejorar la resistencia al fuego, del sistema de angulares de acero y presillas metálicas, se puede utilizar recubrimientos protectores (Río Bueno, 2008)

VENTAJAS	ANGULARES Y PRESILLAS METÁLICAS	RECRECIDO CON HORMIGÓN	TEJIDO DE FIBRAS DE CARBONO
Resistencia	X	x	x
Durabilidad	X	x	
Maniobrabilidad	X		x
Rápida colocación	X		x
Resistencia al fuego		x	
Economía	X		
Resistencia al medio ambiente		x	x
Espesor	X		x

(Cuadro elaboración propia)

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Por todo lo analizado en este estudio, se concluye que el sistema de refuerzo mediante angulares y presillas de acero, es el recomendado para reforzar y/o reparar las estructuras vulnerables del país.

El refuerzo con fibra de carbono es una alternativa que ofrece un gran aumento en la resistencia, pero el incremento del costo respecto a las presillas metálicas hace que este sistema sea optado para proyectos más específicos.

Sin embargo, los tres sistemas de refuerzos en pilares expuestos, se utilizan ampliamente con éxito en el sector de la construcción según necesidades y requerimientos de cada obra civil.

Se debe puntualizar las siguientes recomendaciones para los sistemas de refuerzos con presillas metálicas y con fibra de carbono:

- Cuando se diseñe un refuerzo con capiteles en sus extremos, se deberá soldarlos sobre una presilla. Al colocar una presilla debajo de ellos se mantendrá la eficacia del refuerzo. (Adam, 2007)
- La carga última de un sistema de refuerzo mediante angulares y presillas sin capiteles, no necesita de acero de alto límite elástico. (Adam, 2007)
- Con un correcto tamaño y separación de las presillas ubicadas en los extremos del sistema de refuerzo se asegura un buen nivel de zunchado. (Adam, 2007)
- Se debe tener especial cuidado en la soldada de los angulares, para evitar la separación entre el capitel y la base de la viga. (Adam, 2007)
- En caso de que la viga sea de menor ancho que el pilar, la disposición de unos tubos de conexión a través del nudo, perfecciona el comportamiento del refuerzo. (Adam, 2007)
- El buen funcionamiento del sistema de fibras de carbono, se realiza de manera exitosa con adecuada adherencia a la cara de la columna. (Flores, 2014)

- Se debe considerar que en el sistema de FRP es clave el control de la mano de obra especializada para una correcta instalación de la fibra. (Flores, 2014)
- Finalmente, se debe estudiar y profundizar más en el funcionamiento del sistema de fibra de carbono como método de reforzamiento estructural en pilares de hormigón armado.

6. APLICACIONES EN OBRAS DE ECUADOR: QUITO, GUAYAQUIL, CUENCA, PORTOVIEJO Y MANTA.

Las técnicas de refuerzo de pilares de hormigón armado, detalladas en este trabajo, han sido recomendadas y/o aplicadas en distintas obras en el Ecuador:

Recrecido de columnas con hormigón armado del Centro Infantil y Juvenil “Honrar la Vida” ubicado en la Cooperativa Jaime Roldós, calle D N84-O, Parroquia El Condado, en el Distrito Metropolitano de Quito. (Aguilar, 2015)

Fachada de la Institución Honrar la Vida.

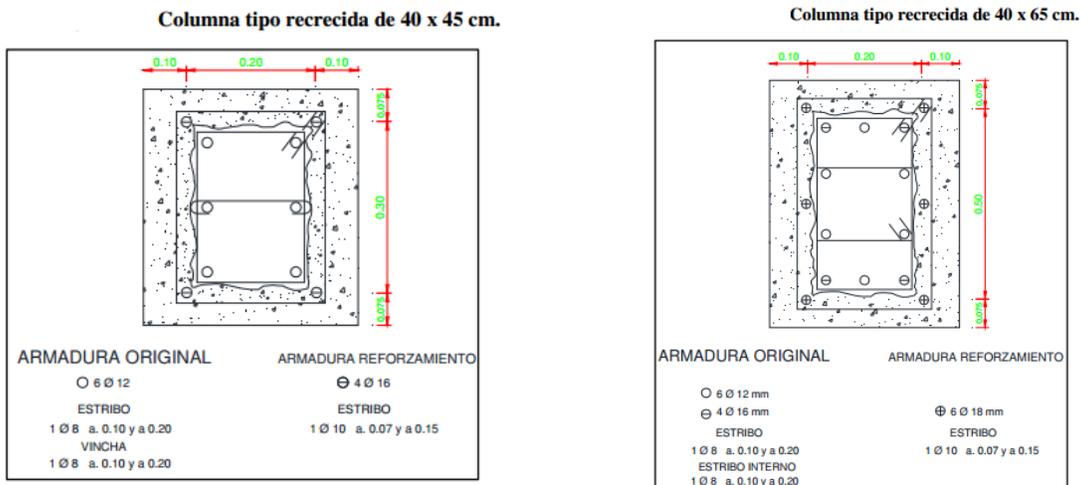
Fotos (Aguilar, 2015)

El estudio realizado en este instituto (Aguilar, 2015) señaló un alto grado de vulnerabilidad a sismos, recomendando para el reforzamiento de columnas, la técnica del recredido de hormigón, con las siguientes especificaciones: recredido en sus 4 costados con un espesor mayor a 10 cm y un acero de refuerzo superior a 16 mm de diámetro, con continuidad a través de los pisos.

Columnas Existente – Columnas Recrecidas.

Columna Existente		Columna Recrecida	
Sección (cm)	Área (cm²)	Sección (cm)	Área (cm²)
20 x 30	600	40 x 45	1800
20 x 50	1000	40 x 65	2600

Gráfico (Aguilar, 2015)



Gráficos (Aguilar, 2015)

En Cuenca, se presentó el proyecto para la rehabilitación estructural del Colegio Nacional Ingapirca, que incluía refuerzo de pilares con recrecido de hormigón armado. (Moreno & Moscoso, 2014) Se determinó mediante un estudio patológico, entre otras fallas estructurales, que sus columnas tenían un alto porcentaje de carbonatación y una resistencia de hormigón insuficiente. Se resolvió realizar encamisados de hormigón armado, para aumentar el acero de refuerzo y la sección de las columnas. (Moreno & Moscoso, 2014)





DEFICIENCIAS CONSTRUCTIVAS. ACERO SIN SU DEBIDO RECUBRIMIENTO

(Moreno & Moscoso, 2014)

En Guayaquil, el sismo de abril 2016 afectó estructuras, como la ubicada en Urdesa Central, Av. Víctor Emilio Estrada y Av. del Rotarismo. Se realizó para su rehabilitación el refuerzo de las columnas mediante recrecido de hormigón armado. (El Universo, 2016)



El Universo

Sismo afectó estructuras en Guayaquil | Viva | Noticias ...

Sismo afectó estructuras locales



Edificio Samborondón Plaza ubicado en la vía a Samborondón, sufrió severos daños en su estructura, luego del sismo de abril 2016. Entre otras reparaciones

realizadas, se reforzó los pilares mediante la técnica de recrecido con hormigón armado.



(El Universo, 2016)



(El Universo, 2017) Foto anterior Edificio Samborondón Plaza luego de sismo.

Foto actual



(El Universo, 2017) Edificio Samborondón Plaza luego de los trabajos ejecutados.

El hotel Ceibo Dorado, de Portoviejo, no sufrió daños en su estructura luego del sismo de abril 2016, sin embargo para brindar la mayor seguridad a sus clientes, entre otras medidas implementadas, se reforzó con fibras y láminas de carbono en pie y cabeza de las columnas. (El Diario, 2016)

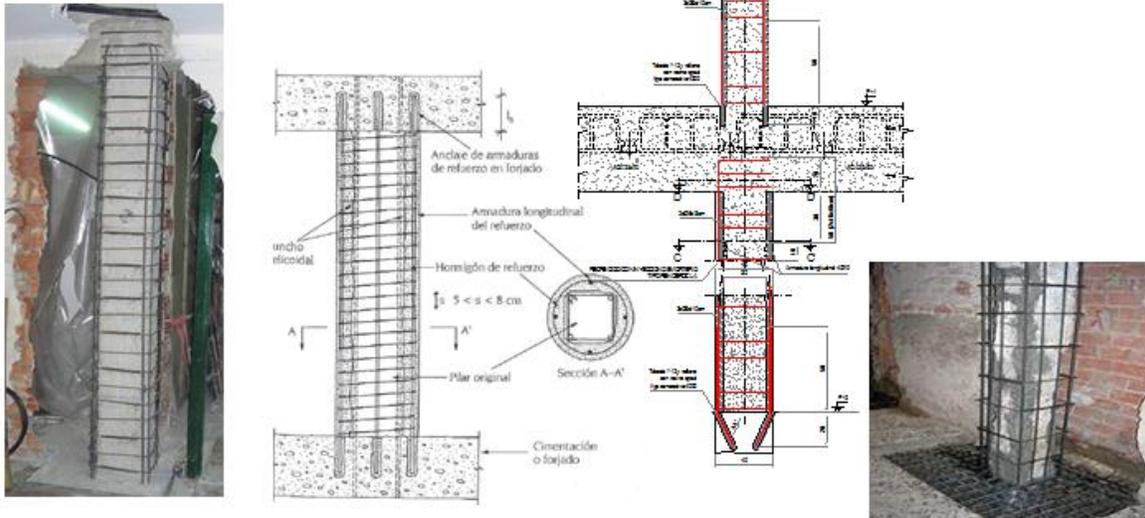


Hotel Ceibo Dorado - Portoviejo (El Diario, 2016)

En Manta y Portoviejo, luego del estudio “*Análisis técnico constructivo de las edificaciones afectadas por el sismo del 16 de abril y recomendaciones de actuación*” (TECNALIA, 2016) se recomendó respecto a las columnas de las edificaciones afectadas:

Reforzamiento de columnas, en caso de rotura de hormigón por aplastamiento o leve deformación con armadura vista, mediante recrecido de hormigón armado y mediante empresillados metálicos (TECNALIA, 2016):

REFORZAMIENTO DE COLUMNAS POR ENCAMISADO DE ARMADURA Y HORMIGÓN



tecnalia Inspiring Business

27

UNIVERSIDAD SAN GREGORIO PORTO VIEJO 18/05/2016

REFORZAMIENTO DE VIGAS Y COLUMNAS POR EMPRESILLADO CON PERFILES METÁLICOS



tecnalia Inspiring Business

29

UNIVERSIDAD SAN GREGORIO PORTO VIEJO 18/05/2016

El Palacio de Justicia de Portoviejo, durante el sismo 2016 sufrió daños importantes en su estructura. Entre otras medidas, como alivianar el peso de la estructura, se reforzó 32 columnas mediante angulares y presillas metálicas, para aumentar la capacidad de carga. (EL DIARIO, 2016)



(EI DIARIO, 2017)

El edificio del Terminal Terrestre de Guayaquil, evidenció fallas estructurales al año y medio de su inauguración, es decir en 1997, llegando inclusive a cerrarse la primera planta. Las causas fueron errores de diseño estructural y construcción (El Universo, 2005).

En el edificio del Terminal Terrestre de Guayaquil, se utilizó el reforzamiento de columnas con fibras de carbono para aumentar su resistencia (Mera, 2015)



ARCHIVO / EL UNIVERSO



Foto (Mera, 2015)

Reforzamiento de edificio en Esmeraldas (Mera, 2015)



REFORZAMIENTO DE EDIFICIO EN ESMERALDAS



Reforzamiento con bandas de carbono por falta de refuerzo por cortante



Fotos (Mera, 2015)

GLOSARIO

- **ACI** American Concrete Institute
- **Ag** área total del hormigón
- **As** acero
- **As** sección acero longitudinal
- **Ast** sección acero transversal
- **ASTM** American Society for Testing Materials
- **CFRP** Carbón Fiber Reinforced Plastic
- **e** excentricidad
- **Ef** módulo de elasticidad del FRP
- **Efe** deformación efectiva
- **Efu** deformación última efectiva del FRP
- **f'c** resistencia del hormigón, unidad kg/cm²
- **f'cc** resistencia del hormigón confinado
- **Ffu** tensiones últimas
- **fl** máxima presión de confinamiento
- **FRP** refuerzos de material compuesto /compuesto de matriz polimérica reforzado con fibras.
- **Fs** módulo elasticidad del acero
- **f'y** resistencia de acero de refuerzo
- **Fy** tensión plastificación acero
- **Fyk** compresión acero

- **HA** hormigón armado
- **IGM** Instituto Geográfico Militar (Ecuador)
- **k** rigidez
- **Ke** coeficiente de reducción
- **KN** Kilo Newton
- **Mpa** megapascal
- **Mu** momento último
- **n** número de capas de FRP
- **NEC** Norma Ecuatoriana de Construcción
- **Nf** esfuerzo axial
- **Pu** carga puntual
- **R** resistencia expresada en N/mm²
- **St** separación entre presillas
- **tf** espesor de cada capa de FRP
- **USGS** Servicio Geológico de Estados Unidos
- **Yc** densidad concreta
- **Ys** densidad del acero

Algunas definiciones tomadas de (de Diego, 2015) (Rougier, 2003)

BIBLIOGRAFÍA

- Abella, J. (28 de febrero de 2012). Obtenido de peritararquitectura:
<http://peritararquitectura.blogspot.com/2012/02/oxidacion-de-armaduras-en-pilares.html>
- Abella, J. (31 de mayo de 2012). *peritararquitectura*. Obtenido de
<http://peritararquitectura.blogspot.com/2012/05/>
- Adam, J. (2007). CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DE SOPORTES DE HORMIGÓN ARMADO REFORZADOS CON ANGULARES Y PRESILLAS METÁLICAS. ANÁLISIS DEL SOPORTE Y DEL NUDO VIGA- SOPORTE SOMETIDOS A COMPRESIÓN CENTRADA. *ICITECH. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA*.
- Aguilar, L. D. (2015). *EVALUACIÓN ESTRUCTURAL MEDIANTE EL FEMA 154 DEL NEC Y PROPUESTA DE REFORZAMIENTO DE LA INSTITUCIÓN HONRAR LA VIDA DEL D.M.Q.* Quito.
- BBC. (20 de abril de 2016). *www.bbc.com*. Obtenido de
http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/04/160416_ecuador_terremoto_magnitud_colombia_peru_bm
- BBC. (23 de abril de 2016). *www.bbc.com*. Obtenido de
http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/04/160422_ecuador_terremoto_problemas_construcciones_arquitectura_ab
- Bermúdez, M., & Alaejos, P. (2007). Permeabilidad a los cloruros del hormigón armado situado en ambiente marino sumergido. *Ingeniería de la Construcción*, 15-22.
- Cirtek, L. (2001). RC Columns strengthened with bandage – experimental programme and design recommendations. *Construction and Building Materials*, 341 - 349.
- D'Andrea, R. (2010). *Predicción de la durabilidad del hormigón armado a partir de indicadores de corrosión: aplicación de la resistividad eléctrica*. Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.
- de Diego, A. (2015). *Confinamiento de pilares de hormigón armado confinados con materiales compuestos*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid .
- EL DIARIO. (27 de agosto de 2016). Palacio de Justicia será reforzado. *Noticias*.
- El Diario. (5 de septiembre de 2016). Reconstrucción: Seguridad se impone en construcciones. *Noticias*.
- EL DIARIO. (13 de agosto de 2017). El Palacio de Justicia tiene menos peso.

El Universo. (14 de noviembre de 2005). La terminal esperó 20 años su reconstrucción. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/2005/11/14/0001/18/6874AFCFF4134F01B8EE929E7DF676DF.html>

El Universo. (21 de abril de 2016). Se reparan edificios y reciben donaciones tras el terremoto. *Viva*.

El Universo. (21 de ABRIL de 2016). SISMO AFECTO ESTRUCTURAS EN GUAYAQUIL. *NOTICIAS*.

EL UNIVERSO. (18 de junio de 2016). *www.eluniverso.com*. Obtenido de <http://www.eluniverso.com/noticias/2016/06/18/nota/5641080/igm-registro-cartografia-edificaciones-danadas-sismo>

El Universo. (13 de abril de 2017). A un año del terremoto aún no terminan readecuaciones de edificios. *VIVA*.

Ercolani, D., & Ortega, N. (2007). Empleo de Ultrasonidos y Esclerometría en el diagnóstico de estructuras de hormigón afectadas por elevadas temperaturas. *IV Conferencia Panamericana de END*. Buenos Aires.

Flores, L. (2014). FIBRAS DE CARBONO: REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS. *PUCP CIV*, 46 - 48.

Garzón Roca, J. (2009). ESTUDIO EXPERIMENTAL DE SOPORTES DE HORMIGÓN ARMADO REFORZADOS CON ANGULARES Y PRESILLAS, SOMETIDOS A ESFUERZOS DE FLEXOCOMPRESIÓN. *Universidad Politécnica de Valencia*.

Garzón, J., & Valente, I. (2014). Propuesta de diseño para estimar el diagrama axil-momento de pilares de hormigón armado reforzados con angulares y presillas metálicos. (U. d. Minho, Ed.) *Engenharia Civil*. UM(50).

Gil, L. (2014). El refuerzo de estructuras con laminados de FRP según la FIB. *Omnia Publisher*, 51-79.

Giménez Carbó, E. (2007). *Estudio experimental y numérico de soportes de hormigón armado*. Valencia- España: Universidad Politécnica de Valencia.

Hernández, M. M., & Barraza, D. J. (2017). Rehabilitación y refuerzo de vigas y columnas de hormigón armado. *Patología de Estructuras*. Universidad de Sucre.

López Achío, K. (2005). *Refuerzo de estructuras de concreto armado con fibras de carbono*. Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto. (ICCYC).

Mariotti, S. (2013). Refuerzo sísmico de un edificio existente. *Ingeniería de Edificación*.

- Martínez, M. F. (2016). GUÍA PARA EL DISEÑO DE REFUERZOS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE HORMIGÓN ARMADO MEDIANTE MATERIAL COMPUESTO POR MALLAS DE FIBRAS MINERALES EMBEBIDAS EN MORTAR CEMENTÍCEA. Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile.
- Mera, W. (2015). *Uso Potencial de la Norma CNR-DT 200 en Ecuador*. Miami: Universidad Católica Santiago de Guayaquil. Obtenido de http://cici.um-sml.com/uploads/1/6/7/2/16727926/miami-frp-seminario_presentaciones.pdf
- Molins, C., & Serrá, I. (2004). ASPECTOS FUNDAMENTALES PARA EL DISEÑO DE UN REFUERZO ESTRUCTURAL. *Informes de la Construcción*.
- Moreno, E. J., & Moscoso, J. D. (2014). *PROPUESTA DE REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DEL COLEGIO NACIONAL INGAPIRCA Y EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA SU INTERVENCIÓN*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Moreno, J. (5 de febrero de 2015). *Patología en la edificación*. Obtenido de <http://jdmoreno3.blogspot.com/2015/02/refuerzo-de-pilares-de-hormigon-armado.html>
- Ortega, N., & Ripani, M. (2007). Experiencias en el empleo de ensayos no destructivos, en el análisis de estructuras de hormigón afectadas por diferentes situaciones patológicas. *IV Conferencia Panamericana de END*. Buenos Aires.
- Parrilla Calle, P. (2011). ANÁLISIS TEÓRICO - EXPERIMENTAL DE PILARES Y VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO REFORZADOS CON FIBRA DE CARBONO. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Pérez, L. (2010). *Vida útil residual de estructuras de hormigón armado afectadas por corrosión*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Revollo, A., & Delgadillo, M. (30 de agosto de 2017). Análisis y diseño para el reforzamiento de columnas de hormigón armados con material FRP y perfiles metálicos. (U. d. Valle, Ed.) *JOURNAL BOLIVIANO DE CIENCIAS*, 13(40), 54-62.
- Río Bueno, A. (2008). *PATOLOGÍA, REPARACIÓN Y REFUERZO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO DE EDIFICACIÓN*. Madrid: E.T.S. Arquitectura (UPM).
- Rodríguez, F. (1998). Rehabilitación de estructuras de hormigón: técnicas y sistemas. *CEDEX*, 39 - 47.
- Rougier, V. (2003). *Confinamiento de columnas de hormigón con materiales compuestos*. Tucumán: Universidad Nacional de Tucumán.

- STRUCTURALIA. (27 de abril de 2017). *structuralia.com*. Obtenido de <https://www.structuralia.com/mx/blog/24-construccion/10002214-5-formas-de-reforzar-un-pilar>
- TECNALIA. (2016). *Técnico Constructivo de las edificaciones afectadas por el sismo del 16 de Abril y recomendaciones de actuación*. Portoviejo: Universidad San Gregorio de Portoviejo.
- Urbán, P. (2015). *CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO*. Alicante: Editorial Club Universitario.
- Vico, M., Morris, W., & Vazquez, M. (2003). *EVALUACIÓN DEL AVANCE DE LA CORROSIÓN DE REFUERZOS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN*. *Universidad Nacional Mar del Plata*.
- Yoris, A., Segovia, M., Carrasco, M., Belbey, F., Guillarducci, A., Defagot, C., . . . Marcipar, A. (2010). *Carbonatación del Hormigón Armado: Influencia de la Contaminación Ambiental Urbana*. *CINPAR*. Córdoba: Universidad Tecnológica Argentina.