

Técnicas de reforzamiento de estructuras construidas de concreto que presentan deficiencias estructurales



Abstract

The project named Reinforcement techniques of constructed concrete structures with structural deficiency has as a purpose to avoid unnecessary demolitions in concrete works that lack of design resistance or where the minimum steel was not placed, by the implementation of a complementary work.

The compilation of the information was done by means of empirical experience in the reinforcement of works, data given by the professor guide, interviews to construction engineers, generating five application groups: foundations, columns, beams, slabs and walls.

There are several limitations in this project and we can mention that the techniques can be applied to small and middle-sized works, one and maximum two height levels.

The results show that works poorly constructed and a lack of information in most cases would be demolished but the techniques can be applied successfully to achieve the design standards or even exceed the capacity of each item.

Thus the ultimate goal of the project is to propose tools to prevent the demolitions that have a negative impact on the cost of works, estimated time of delivery, generating environmental pollution from litter and debris, poor image of the professional or contractor.

Key word: Structural reinforcement

Resumen

El proyecto Técnicas de reforzamiento de estructuras construidas de concreto que presentan deficiencias estructurales tiene como finalidad evitar demoliciones innecesarias en elementos de concreto que carezcan de la resistencia diseñada o donde el acero mínimo no fue colocado, mediante la implementación de obras complementarias.

La recopilación de información se hizo por medio de la experiencia empírica en el reforzamiento de obras, datos aportados por el profesor guía, consultas a ingenieros en construcción, generando cinco grupos de aplicación: cimientos, columnas, vigas, losas y muros.

Las limitaciones de este proyecto son varias y entre las cuales se pueden mencionar que las técnicas se pueden aplicar a obras de pequeño y mediano tamaño, de uno y máximo dos niveles de altura.

Los resultados obtenidos demuestran que obras mal construidas y que por una falta de información en la mayoría de los casos serían demolidas. Sin embargo con las técnicas aplicadas correctamente se pueden lograr los estándares de diseño o hasta superar la capacidad de cada elemento.

De esta manera el fin último del proyecto es proponer herramientas que eviten las demoliciones que impactan de manera negativa en el costo de la obra, proyección del tiempo de entrega, contaminación del ambiente por generar basura y escombros, mala imagen del profesional o empresa constructora.

Palabra clave: Reforzamiento estructural

Técnicas de reforzamiento de estructuras construidas de concreto que presentan deficiencias estructurales

EDUARDO RAIGOSA TUK

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Ing. Rafael Cañas Ruiz
Profesor guía

Noviembre del 2010

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio	1
Resumen ejecutivo.....	2
Introducción.....	5
Metodología	7
Resultados	8
Análisis de los resultados	19
Conclusiones.....	23
Anexos	26
Referencias	27

Prefacio

En muchas obras de pequeño y mediano tamaño se cometen errores en la dosificación del concreto y en el armado del acero de las estructuras que conlleva a una no aceptación de los elementos, sean estos cimientos, columnas, vigas, losas o muros.

La demolición de obras se convierte entonces en una práctica que se lleva a cabo normalmente en el medio de la construcción y por ende acarrea atrasos en el cronograma, impacto en los costos del proyecto y desperdicio de material entre otros, por lo tanto, es necesario implementar ciertas técnicas de reforzamiento a las estructuras para evitar su demolición.

Otro aspecto que válida la implementación de las técnicas de reforzamiento es mejorar la imagen de la empresa o ingeniero al buscar soluciones y alternativas que eviten las demoliciones.

Para empezar a crear un cambio y minimizar la práctica de las demoliciones es que se proponen las técnicas de reforzamiento para los diferentes elementos estructurales.

En las construcciones es vital mantener una constante inspección, contar con un plan de control de calidad que abarque pruebas de laboratorio tanto para los materiales puestos en sitio como para el producto final, sea este armaduras o concreto.

Finalmente agradezco a Dios por darme las fuerzas y voluntad para concluir mis estudios, al Ing. Rafael Cañas Ruiz de Ingeniería Cañas por la ayuda brindada en la ejecución del proyecto, a mis hermanos Andrés, Sofía y Tatiana que fueron de gran apoyo, a mis padres por mostrarme con su ejemplo el deseo de superación, a Mariana Delgado por la gran colaboración. Siempre estaré muy agradecido con todos.

Resumen ejecutivo

El proyecto Técnicas de reforzamiento de estructuras de concreto construidas que presentan deficiencias estructurales, surgió de una vivencia personal junto con el Ing. Rafael Cañas, en una construcción de mediano tamaño, donde la resistencia del concreto y la armadura del mismo no fueron las óptimas y esperadas. Mi propuesta en ese momento fue realizar la demolición de los elementos que no cumplían con los lineamientos del Código Sísmico de Costa Rica. Sin embargo, el Ing. Rafael Cañas por su experiencia en la rama de construcción y el diseño, brindó la solución de reforzar y reparar aquellos elementos, con el fin de evitar la demolición.

Fue así como se plantearon técnicas de reforzamiento y reparación, para los distintos elementos estructurales, con la finalidad de que este proyecto mostrara el beneficio directo en la construcción, al introducir herramientas que eviten las demoliciones, que impactan de manera negativa en el costo de la obra, proyección del tiempo de entrega, contaminación del ambiente por generar basura y escombros, mala imagen del profesional o empresa constructora.

El objetivo principal fue determinar las Técnicas de reforzamiento de estructuras de concreto, logrando desglosar en cinco grupos dichas técnicas:

- Técnicas de reforzamiento para cimientos.
- Técnicas de reforzamiento para columnas de concreto.
- Técnicas de reforzamiento para muros en mampostería.
- Técnicas de reforzamiento para vigas de concreto.
- Técnicas de reforzamiento para losas.

Para lograr la correcta aplicación de estas técnicas, fue necesario generar una secuencia de actividades, basadas en la recopilación de información de experiencias en

campo y de los productos presentes en el mercado, que mejoren ciertas cualidades, como son: la adherencia entre concretos y la resistencia.

Para los cimientos, se aplicó la técnica de reforzamiento por medio de secciones transversales al mismo, denominadas “costillas”. Dicha técnica consiste en secciones de concreto colocadas de manera transversal al cimiento, para mejorar su comportamiento ante las deflexiones. Ver figura 1.



Figura 1. Fotografía del uso de las costillas.

Otra técnica para cimientos, que presentan problemas debido a la capacidad de soporte del suelo, es la inyección de concreto por debajo de las zonas afectadas.

Para las columnas se plantearon tres opciones, la primera consiste en un encamisado de acero por medio de una columna metálica complementaria, que debe soportar un porcentaje de la carga axial que depende de la columna de concreto actual. Este tipo de reforzamiento es poco atractivo ya que afecta la apariencia arquitectónica de la construcción, y por lo general se forra para evitar que el encamisado y sus refuerzos sean observados.

El diseño de este tipo de columna está ligado a la capacidad de soporte de la columna existente, a las condiciones de apoyo, a la esbeltez de la nueva columna y el debido cuidado para evitar un pandeo total o local, para esto es necesario el uso de rigidizadores.

En la base de la nueva columna metálica se instala una pletina que estará en contacto directo con el cimiento y transmitirá toda la carga, por lo que se debe revisar el efecto del aplastamiento en el concreto. Caso similar al que se da en el capitel con la unión entre la pletina y las vigas de concreto. Ver figura 2.

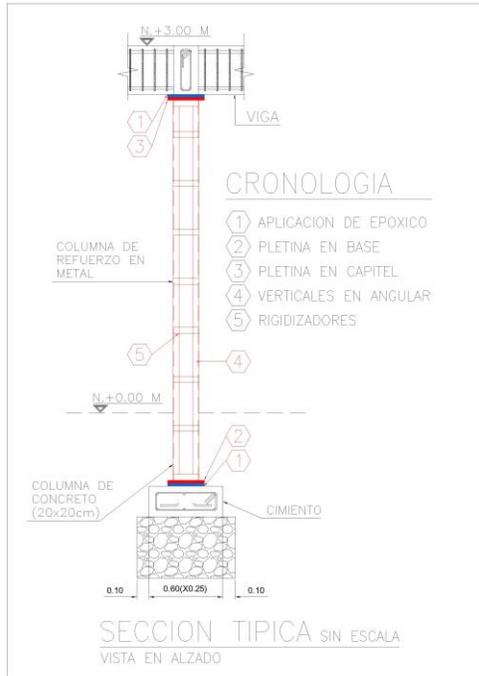


Figura 2. Vista en alzado de la columna. Autocad 2005.

El segundo caso consistió en la construcción de un anillo perimetral de concreto, que debe soportar el porcentaje de carga axial faltante de la columna existente y el acero se diseña para soportar el cien por ciento de la carga, según el esquema de flexión pura de la columna. Esta técnica es muy apropiada cuando el aspecto estético de la obra es de suma importancia.

La gran diferencia entre el encamisado metálico y el anillo perimetral de concreto es el tiempo de respuesta de cada uno. Para el primero la aplicación de las cargas es inmediato, y la columna entra en servicio, para el segundo caso se debe esperar a que el concreto chorreado alcance al menos una resistencia igual o mayor a la obtenida en el núcleo existente, por lo general al utilizar concretos expansivos de alta resistencia, es de esperar a los tres días dicho valor, a partir de esa fecha se podría cargar la columna. Ver figura 3.

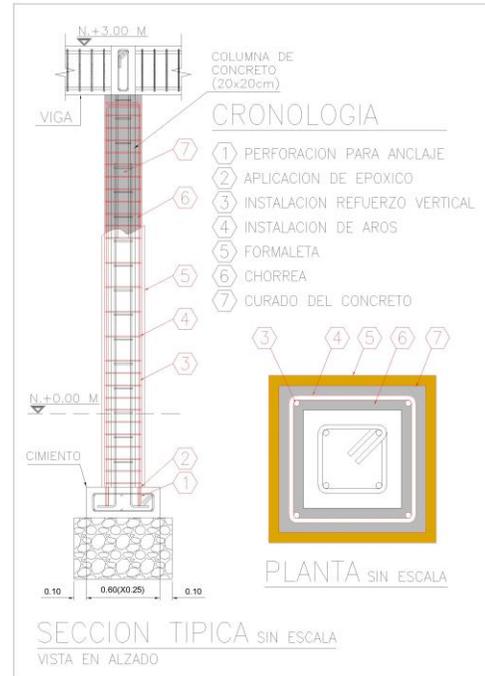


Figura 3. Vista en alzado de la columna con refuerzo por anillo perimetral. Autocad 2005.

El tercer caso es el reforzamiento de la columna, haciendo uso de una demolición zonificada, e ingresando los aros y acero que faltaban desde el inicio, y luego realizar la respectiva chorrea de la columna. Esta reparación puede realizarse sin necesidad de apuntalar la columna y vigas aledañas, ya que se trabaja en la zona del recubrimiento del acero. Sin embargo por seguridad y con la idea de mantener la integridad del núcleo de concreto existente es que se apuntala la zona.

Para el caso de los muros construidos con mampostería, se planteó reducir el ancho del paño, por medio de la introducción de una columna de concreto intermedia, logrando que la dimensión efectiva fuera menor, y así, las cargas disminuyeran. Utilizar una sobre viga que ayude a distribuir las cargas a las columnas y no a la mampostería, puede ser otra técnica que complementada con la antes mencionada, de un mejor resultado. Ver figura 4.

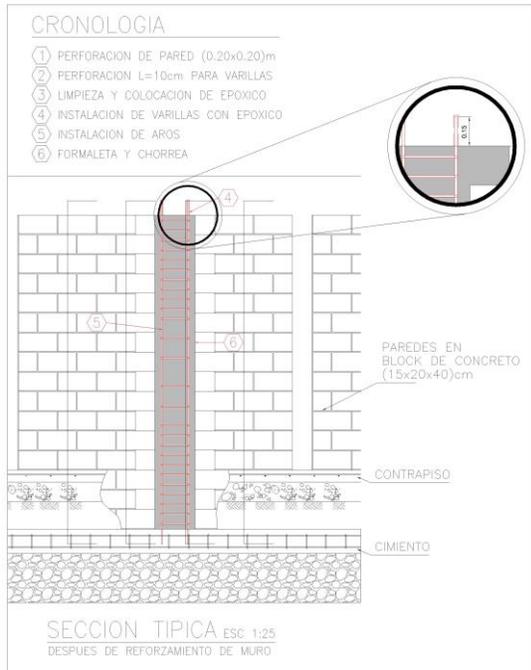


Figura 4. Reforzamiento de Muro. Autocad 2005.

Para las vigas de concreto, las técnicas empleadas se basaron en la incorporación del acero faltante, confeccionando surcos en la viga, haciendo uso de sierras mecánicas, y luego rellenando el espacio con concreto de alta resistencia. Esta técnica aplica, tanto para el acero de refuerzo, como para el acero por cortante. Ver figura 5.

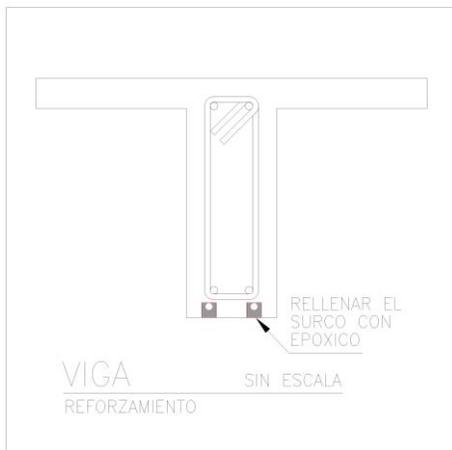


Figura 5. Relleno de surcos. Autocad 2005.

Para el reforzamiento de las losas de concreto, se propuso realizar una sobre losa, cuya función principal es aumentar el espesor de la misma, y obtener un bloque de esfuerzos "a" menor. Al contar con un "a" de menor cuantía, el acero mínimo requerido disminuye, esto resuelve el problema de la deficiencia por acero. Ver figura 6.

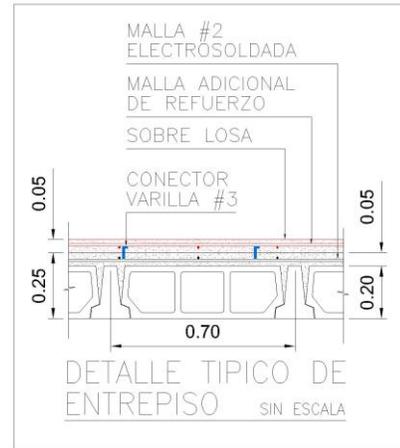


Figura 6. Sobre losa de concreto. Autocad 2005.

La implementación de técnicas de reforzamiento a elementos estructurales que presentan deficiencias en el concreto y en el acero, fueron favorables, dando resultados aceptables y evitando así la demolición de los mismos. Esto se comprueba con el análisis estructural de cada elemento reforzado, según las teorías de diseño existentes, que permiten obtener la capacidad final. Además, sin realizar un análisis de costos detallado, es notable que la aplicación de las técnicas antes mencionadas reflejan un menor costo en comparación a realizar una demolición y reconstrucción total del elemento.

Se recomienda el uso de productos o aditivos, presentes en el mercado nacional a costos razonables, que ayudan a realizar ciertas etapas de los reforzamientos.

Finalmente, antes de proponer la demolición de un elemento realice una revisión del mismo, y establezca posibles técnicas de reforzamiento, con esto, logrará minimizar el impacto en su construcción.

Introducción

Se puede recopilar en obras pequeñas ya realizadas por distintas empresas o ingenieros, información de atrasos o sobre costos en que se incurrió en la etapa de obra gris, debido a alguna demolición de elementos estructurales. Este costo se ve reflejado directamente en el presupuesto e impacta en los imprevistos y hasta en la utilidad de la empresa, ya que dicho elemento se debe reponer sin costo para el propietario y sin variar la fecha de entrega de la obra.

Partiendo de que las estructuras se diseñan de acuerdo con el Código Sísmico de Costa Rica para que cumplan una serie de requisitos como lo son resistencia, factores de seguridad, calidad de los materiales, funcionalidad, capacidad, vida útil, los cuales deben ser tomados en cuenta y aplicados a la hora de la construcción para obtener un resultado de calidad; sin embargo en muchas ocasiones por falta de experiencia de la mano de obra, inspectores e ingenieros, un uso incorrecto del equipo técnico o herramientas, no se cumplen las directrices y conlleva a que el elemento presente deficiencias.

En el concreto esta deficiencia se hace evidente en la resistencia del mismo por mala dosificación, tiempo erróneo de batido, o por añadir más agua a la mezcla, uso de materiales de baja calidad, concreto chorreado de manera incorrecta, falta de capacitación de la mano de obra en la tarea de vibrado, entre otras.

En el acero, la causa más común es la falta del mismo, por una indebida instalación de la armadura o porque el acero colocado es de un diámetro o grado estructural menor al indicado en planos. Esto se logra determinar cuando existen zonas donde no se ha chorreado el concreto y queda la armadura expuesta, lo que permite identificar el acero de refuerzo y el acero por cortante. Se compara la armadura del sitio con la que se muestra en planos para corregir el faltante.

Otra manera de determinar la falta de resistencia en el concreto es por medio de las pruebas de laboratorio, las mismas pueden ser tomadas antes de realizar la chorrea y llevando estas muestras al laboratorio para determinar la capacidad y características del concreto.

Si el concreto por el contrario ya fue chorreado y cumplió con su tiempo de fraguado, la prueba más común que se pueden utilizar es un muestreo de núcleo, que consiste en retirar del elemento chorreado una sección para ser analizada y comprobar su resistencia.

Debido a esta situación y a defectos de la construcción es que muchos ingenieros toman la decisión de demoler el elemento que no cumpla con la normativa establecida sin antes analizar la estructura y proponer alguna solución que busque dejar el elemento con capacidad igual o mejor a la original esperada.

Para minimizar este problema se propone generar algunas técnicas de reforzamiento que ayuden a los ingenieros como una herramienta para resolver casos típicos. Se debe tomar en consideración que el diseño estructural y su comportamiento integral rige sobre las técnicas de reforzamiento, ya que las mismas son recomendaciones para casos específicos y no se deben emplear de manera generalizada. Es así como se plantea el:

Objetivo General:

Determinar las Técnicas de Reforzamiento de Estructuras de Concreto.

El alcance del proyecto se limita a ciertos elementos estructurales y a su deficiencia en la resistencia del concreto y a la carencia en la armadura del acero de refuerzo y aros. Elementos como cimientos, columnas, muros de mampostería, vigas y losas de entrepiso son los que serán provistos de técnicas de reforzamiento.

Objetivos Específicos:

- Determinar las técnicas de reforzamiento para cimientos.
- Determinar las técnicas de reforzamiento para columnas de concreto.
- Determinar las técnicas de reforzamiento para vigas de concreto.
- Determinar las técnicas de reforzamiento para losas y muros.
- Respaldar y fundamentar cada técnica empírica mencionada.

En la actualidad existen varias publicaciones y metodologías que permiten realizar análisis y evaluaciones en obras deterioradas por el tiempo o sismos que podrían ser aplicadas como técnicas de reforzamiento. Las teorías de diseño actuales permiten calcular y comprobar la capacidad de los elementos reforzados. Por lo tanto, las técnicas que se proponen en este proyecto en su mayoría dependen de la resistencia del elemento existente en sitio y el complementario que mejoraría el comportamiento global del elemento, esto hace más fácil para cada ingeniero poder determinar el resultado final.

De esta manera se recomienda analizar cada elemento y su importancia global, proponiendo alguna alternativa que permita mantener la estructura y reforzarla antes de tomar la decisión de demoler. El cambio va más allá de evitar un sobre costo, es hacer conciencia en el impacto ambiental al generar escombros y basura de manera excesiva. El bienestar del propietario también se debe tomar en consideración, ya que atrasos en la obra y comprometer la calidad de la construcción no es bien visto y puede llevar a una mala relación entre ambas partes. Por último la eficiencia de los recursos e imagen de la empresa o ingeniero a cargo de la obra no se debe dejar de lado, estos son la carta de presentación para proyectos futuros.

Metodología

Las Técnicas de Reforzamiento se obtienen de un proceso de recopilación de información de campo, de trabajos empíricos, planteamiento de los objetivos, de una delimitación del alcance y las limitaciones del proyecto.

Se dan situaciones en las construcciones que repercuten en la calidad y resistencia de un elemento y la manera más común de resolverlo es no aprobando la obra, solicitando la demolición del elemento. Esta fue la motivación del proyecto, en donde se pudo plantear el problema de las demoliciones y las propuestas que se pueden implementar para dar solución a cada elemento.

El primer paso es plantear el problema, la demolición como primera opción para corregir la deficiencia de un elemento estructural, de aquí nace el objetivo principal: Determinar las Técnicas de Reforzamiento de Estructuras de Concreto. Ya definido claramente el problema lo siguiente es proponer las posibles soluciones, por lo que es necesario identificar los principales elementos estructurales, desglosando los frentes de trabajo, que van a formar los objetivos específicos:

- Cimientos
- Columnas
- Vigas
- Losas y
- Muros

Para cada elemento se requiere realizar una recopilación de información sobre las técnicas empleadas empíricamente en las obras, para mejorar por medio del reforzamiento su condición estructural.

Esto se logra por medio de consultas a ingenieros en campo, maestros de obras, experiencia personal y consultas a bibliografía presente sobre el tema.

El Ing. Rafael Cañas propuso varias de las técnicas de reforzamiento que él en su vida profesional ha aplicado y que señala como positivas en funcionalidad y economía versus una demolición.

Luego de esta etapa se definen cuáles son las técnicas más empleadas y fáciles de aplicar, que logran de manera económica su objetivo, ya que muchas de las investigadas resultan poco factibles para la dimensión de la obra.

Para desarrollar varias reparaciones o reforzamientos es necesario aplicar productos especiales que se encuentran en el mercado, donde varias empresas dedicadas a esta rama de la construcción fueron pieza importante de este proyecto. En las reuniones con dichas empresas se plantean los problemas más comunes para las reparaciones y reforzamientos y de esta se proponen tres productos indispensables. En las técnicas de reforzamiento se dan varias tareas que requieren de estos productos, para los anclajes nuevos de aros, pernos o varillas en un concreto existente, es necesario realizar perforaciones al concreto que permita anclar el acero nuevo y la correcta fijación se logra por medio de la aplicación de un material epóxico (ver anexo 1). Otra actividad importante es lograr una máxima adherencia entre el concreto existente y el nuevo, esto se logra con la aplicación de otro tipo de epóxico (ver anexo 2) y por último para realizar rellenos de concreto se propone un concreto expansivo de alta resistencia. (ver anexo 3)

Finalmente es necesario indicar que las técnicas de reforzamiento se emplean para obras de pequeño y mediano tamaño, de uno y máximo dos niveles, esto por que las técnicas son de simple aplicación, para resolver situaciones comunes dadas en sitio. Estas técnicas son recomendaciones para casos específicos y no deben ser aplicadas de manera generalizadas.

Resultados

Las técnicas de reforzamiento se separaron en cinco, según sea el elemento, serán estas técnicas de reforzamiento para cimiento, columnas, vigas, muros y losas, las cuales son explicadas a continuación.

Cimientos

Se pueden presentar problemas en los cimientos por la baja resistencia obtenida en el concreto o porque el acero instalado no cumple con el mínimo, según lo establecido por el Código Sísmico de Costa Rica, pero para ambas situaciones se emplea en campo, para corregir dicha deficiencia, una técnica denominada “costillas”, la cual consiste en reforzar el cimiento de manera transversal mejorando el espesor del elemento, evitando de esta manera deflexiones excesivas que lleven al concreto a la falla y el acero agregado contribuye a tomar los esfuerzos de flexión.

Los tres métodos más utilizados son el reforzamiento superficial (costilla), ampliación lateral del cimiento cuando el mismo quedó de menor dimensión en comparación al ancho solicitado, donde la técnica es similar a las costillas y por último la sustitución que se da cuando el cimiento del todo no es aceptado porque presenta daños visibles, como fisuras de gran tamaño en el concreto por su falta de resistencia ante las solicitudes de carga, pero esta no aplica para los fines establecidos.

Primeramente se deben delimitar las zonas, donde el cimiento según una prueba de laboratorio indica que el concreto presenta una resistencia menor a la indicada en planos o esperada según diseño. Con la zonificación hecha, se deben ubicar las columnas, ya que es en cada una de ellas donde se debe instalar una “costilla”, para luego colocar a cada metro como mínimo una “costilla” adicional.

El segundo paso es trazar los lugares donde se van a colocar las costillas, con el fin de establecer las perforaciones. En los lugares donde las costillas quedan en columnas no es necesario realizar perforación transversal, pero sí donde el trazo quede en una pared de bloques de concreto. En dicho sitio se debe realizar una demolición de 20 centímetros de ancho por 20 centímetros de alto y por el espesor del bloque de concreto de manera que permita generar un espacio a través de la pared. Ver figura 1.

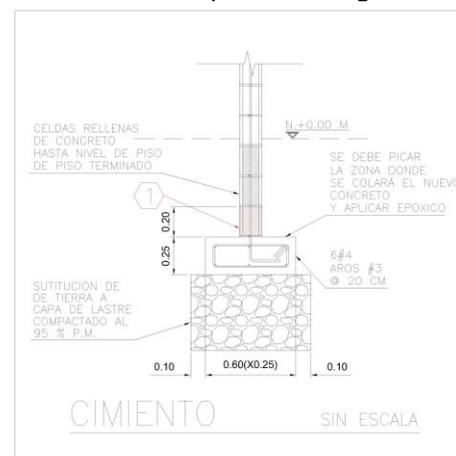


Figura 1. Zona de Perforación en mampostería. Autocad 2005.

El tercer paso es picar una franja de 20 centímetros de ancho por un largo transversal igual al cimiento de manera que permita obtener una superficie rugosa para recibir el nuevo concreto, adicionalmente se deben realizar las perforaciones en el cimiento para instalar unos pernos de anclaje en forma de “U” que servirán como aros. Después de realizar las perforaciones y picas es importante limpiar la zona evitando que queden residuos o trozos sueltos de concreto. Las perforaciones deben tener al menos 1,50 veces el diámetro de la varilla del perno, en este caso el perno es en varilla #3 por lo tanto la perforación debe ser de al menos 2 centímetros de diámetro. Ver figura 2.

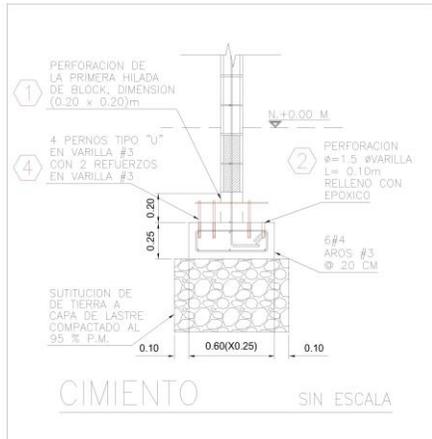


Figura 2. Perforación y pica de cemento para pernos. Autocad 2005.

El cuarto paso es aplicar en la zona donde se picó el cemento un producto epóxico (ver anexo 3) que mejora la unión entre el concreto existente con el próximo a colar. Además, se deben llenar los huecos donde se colocarán los pernos con epóxico, con una cantidad igual a la tercera parte del volumen de la perforación con la finalidad de que el producto quede dentro y no se desperdicie. Seguidamente se instalan los pernos en forma de “U” y se coloca el acero longitudinal como mínimo varilla #3, amarrado con alambre negro #16. Ver figura 3.

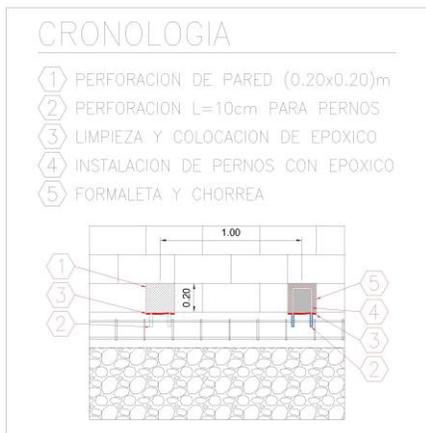


Figura 3. Aplicación de producto e instalación de pernos y refuerzo longitudinal. Autocad 2005.

Finalmente se debe formaletear cada costilla para realizar una colada, teniendo el debido cuidado de estar humedeciendo la chorrea para evitar pérdida de agua y con esto la formación de grietas. (Ver figura 4.)

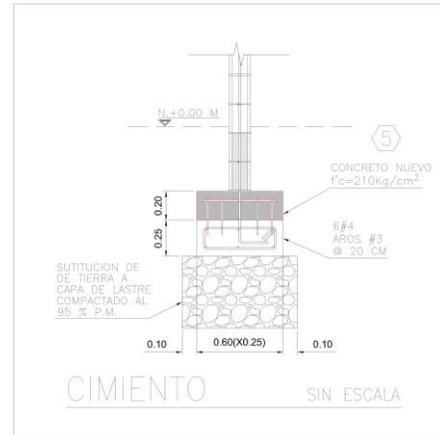


Figura 4. Encofrado y chorrea de costilla. Autocad 2005.

Esta técnica es sencilla, algo lenta en la etapa de las perforaciones y pica de cada costilla, pero el resultado es sumamente beneficioso y evita así la demolición del cemento, más aun cuando sobre este ya existen paredes y columnas.

En las figuras 5 y 6 se muestran las costillas aplicadas en un proyecto ubicado en Santa Ana.



Figura 5. Fotografía del uso de las costillas.



Figura 6. Fotografía del uso de las costillas.

En los cimientos, otro problema que está asociado es la capacidad de soporte del suelo, y por un incorrecto nivel de desplante de las fundaciones se generan asentamientos diferenciales. En algunas ocasiones el cimiento se ve separado del suelo y se observan espacios debajo del cimiento sin suelo. Estos espacios deben ser rellenados y mejorar así la transmisión de cargas. Para realizar un reforzamiento del suelo se debe apuntalar el cimiento por medio de vigas de metal, tipo IPN, que pasen de manera transversal por debajo del cimiento, garantizando que la fundación no presente concentraciones de esfuerzos y se agriete, por lo que el espaciamiento de las vigas metálicas debe ser revisado. Dichas vigas deben soportar el peso del cimiento y de las cargas que están actuando sobre él y lograr una correcta distribución de cargas hacia el suelo, esto se puede mejorar agregando en los extremos de las vigas metálicas pletinas que aumenten la superficie de contacto entre la viga y el suelo. Luego de apuntalar y asegurar la zona que va a ser reforzada, se debe excavar al menos 10 centímetros a cada lado del cimiento y por una profundidad según un estudio de suelos. Posteriormente se incorpora a la zanja una mezcla de lastre cemento o de toba cemento que posea una fluidez que facilite el ingreso a la zanja y una fácil compactación por medio de vibradores manuales. Una vez que se concluye la chorrea del material de sustitución y este quede fraguado, se deben dejar las vigas metálicas hasta que el lastre cemento adquiera una resistencia adecuada. Las vigas pueden ser retiradas en el futuro o pueden dejarse embebidas en el material de sustitución.

Columnas

Las columnas de concreto con refuerzo de acero pueden presentar dos problemas típicos, uno de ellos es la poca resistencia del concreto por las causas antes mencionadas para el mismo, pero sí cuenta con la debida armadura, para este caso se presentan dos alternativas de reforzamiento, una de ellas es el encamisado con una estructura metálica (Caso 1) y la otra es construir un anillo de concreto con el refuerzo de acero debido para mejorar la capacidad de la columna (Caso 2), en ambos casos son obras complementarias.

El otro caso que se puede dar es que el concreto posea una resistencia adecuada, pero por error humano no se colocó todo el refuerzo o aros requeridos, para este caso se debe reparar la zona afectada únicamente (Caso 3).

Caso 1

El encamisado con estructura metálica es una técnica muy sencilla, pero poco atractiva, ya que afecta el aspecto arquitectónico de la obra y por lo tanto, no es tan utilizada; sin embargo, es importante mencionarla como alternativa de reforzamiento.

Para realizar esta técnica es necesario determinar cuál o cuáles son las columnas que no lograron obtener la resistencia necesaria y calcular la carga tributaria, de tal manera que se pueda diseñar una estructura complementaria que soporte la totalidad de la carga, evitando de esta manera que el concreto falle en su núcleo por la falta de resistencia.

La estructura complementaria es una columna metálica que consta de cuatro vértices sean estos angulares, platinas o tubos de hierro negro con rigidizadores diseñados para evitar un pandeo local o total de la nueva columna metálica, que como ya se mencionó deberá soportar toda la carga.

El primer paso es despuntar los bordes de la columna de concreto existente de manera que la estructura nueva no esté en contacto directo con la de concreto evitando así esfuerzos concentrados en los vértices. Ver figura 7.

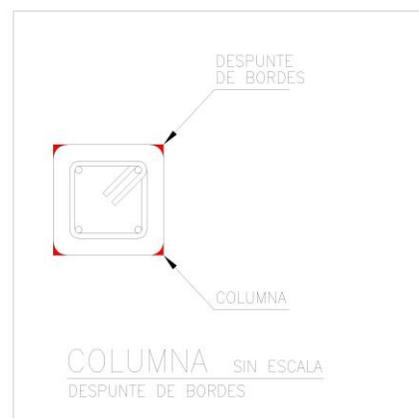


Figura 7. Despunte de bordes. Autocad 2005.

El segundo paso es aplicar epóxico en la base del cimiento y en la zona de capitel, esta zona es por debajo de las vigas existentes. Para luego colocar una platina metálica que servirá de inicio y tope para los refuerzos verticales. Ver figura 8.

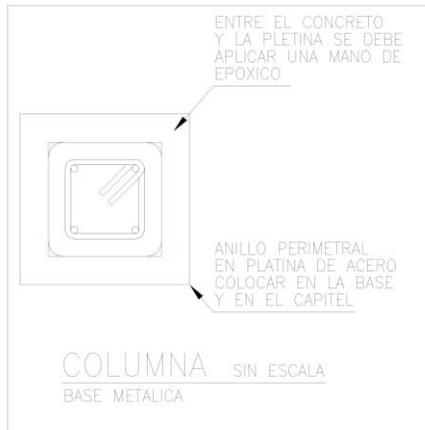


Figura 8. Aplicación de producto e instalación de platina en la base y en el capitel. Autocad 2005.

El tercer paso es colocar los cuatro vértices según diseño puede ser angular o tubo metálico. Dichos verticales irán soldados desde la base ubicada en el cimiento hasta el capitel. Ver figura 9.



Figura 9. Ubicación de verticales en los vértices de la columna. Autocad 2005.

El cuarto paso es colocar los rigidizadores que pueden ser platinas separadas según diseño para evitar el pandeo de la columna metálica. Ver figura 10.



Figura 10. Ubicación de rigidizadores. Autocad 2005.

Para finalizar este caso se muestra en la figura 11 una vista en alzado desde la base del cimiento hasta el capitel, con un orden cronológico detallado de todo el proceso.

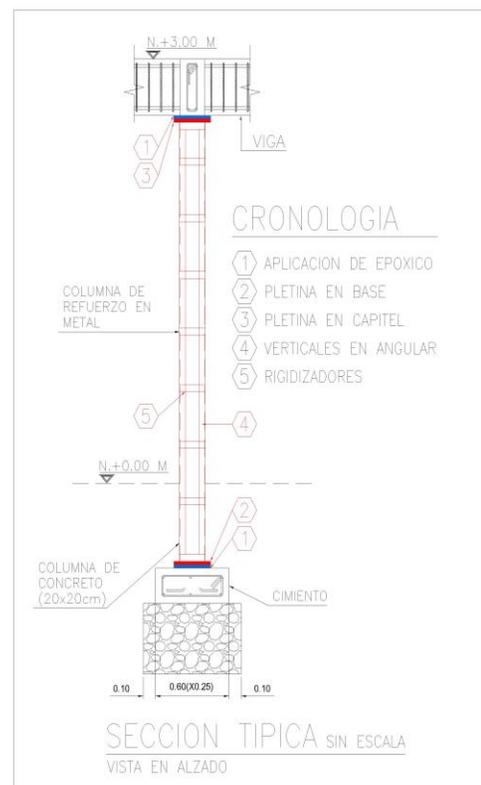


Figura 11. Vista en alzado de la columna. Autocad 2005.

Caso 2

El anillo perimetral de concreto con acero adicional es una técnica más elaborada, pero como producto final da un acabado arquitectónico favorable, ya que el trabajo de refuerzo no es visible, simplemente es un aumento de la sección de la columna. Es una técnica que es complementaria a la columna existente y ayuda al núcleo de concreto existente a absorber y distribuir las cargas hacia el cimiento.

Como pasos para realizar esta técnica es necesario nuevamente analizar la columna según su estado de resistencia de concreto, para así determinar el sobre ancho de la sección y que el acero a instalar sea el requerido para la nueva área. De tal manera que esta nueva sección sea la que trabaje y resista las cargas de la columna.

El segundo paso es realizar en la base del cimiento y el capitel en la zona de vigas, cuatro perforaciones de una vez y medio el diámetro de la varilla de refuerzo vertical, con una profundidad mínima de 10 a 15 centímetros o lo requerido según el análisis del cono de esfuerzos, y dicho espacio será luego relleno por una tercera parte de su volumen con un epóxico, para seguidamente insertar la varilla de refuerzo. Las cuatro varillas del basamento se traslapan con las cuatro varillas del capitel en alturas diferentes para evitar un plano de falla.

El tercer paso es aplicar a las cuatro caras de la columna existente una mano de epóxico para mejorar la adherencia entre el concreto nuevo y el viejo. Además se colocan conectores que mejoren el comportamiento en conjunto de ambas estructuras.

El quinto paso armar los aros según el diseño previo y amarrarlos con alambre negro #16.

El sexto paso es elaborar una formaleta para poder realizar la chorrea con un concreto de resistencia promedio de 210Kg/cm^2 si el espesor es mayor a 5 centímetros, de lo contrario se puede rellenar con un concreto expansivo de alta resistencia.

Es de suma importancia para esta técnica darle el tiempo requerido para que el concreto alcance el 80% de su resistencia antes de ser cargado.

Para dicha técnica se puede observar la figura 12, en la cual se muestra el orden cronológico de las actividades.

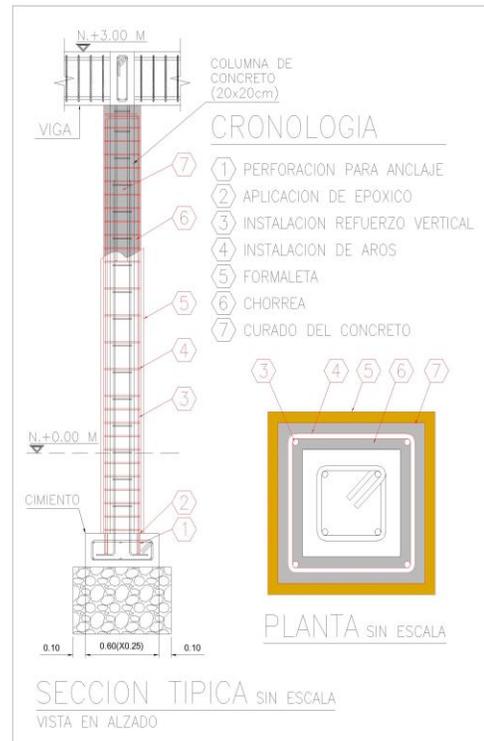


Figura 12. Vista en alzado de la columna con refuerzo por anillo perimetral. Autocad 2005.

Caso 3

La reparación zonificada es una técnica que se aplica cuando en ciertas partes de la columna bien identificadas es necesario añadir aros.

Los pasos para realizar la técnica es realizar primero un correcto apuntalamiento de las vigas que están actuando sobre la columna, esto con finalidad de evitar que la columna este trabajando mientras se realice la reparación.

El siguiente paso es demoler la zona identificada dejando la parte expuesta final de concreto con un diente de traba para mejorar de forma considerable la unión próxima entre el concreto más antiguo y el nuevo.

A continuación se debe limpiar todas las varillas, tanto las de refuerzo como los aros expuestos. Se debe aplicar una mano de epóxico para mejorar la adherencia.

Se colocan los aros necesarios para completar lo indicado según el diseño previo y se sujetan al acero de refuerzo con alambre negro #16.

Por último, es necesario confeccionar el correspondiente encofrado para poder realizar la chorrea con una resistencia igual a la del núcleo de la columna. Es muy importante para este caso darle el tiempo requerido para que el concreto alcance el 80% de su resistencia antes de ser cargado.

Para representar dicho proceso se muestra en la figura 13 los pasos a seguir. Dicha técnica es muy fácil de aplicar, rápida y no refleja cambios en el aspecto visual de la misma, por lo que es muy utilizada.

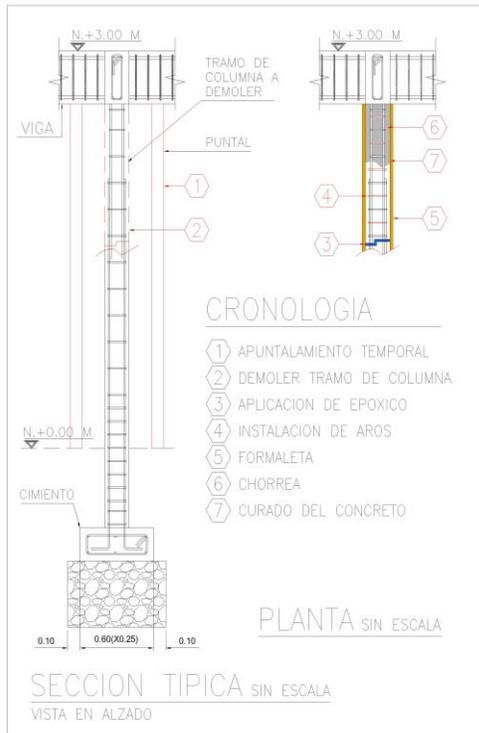


Figura 13. Vista en alzado de la columna con reparación zonificada. Autocad 2005.

Muros

Los muros de mampostería que presenten deficiencia en el acero longitudinal o transversal o la combinación de ambos pueden ser reforzados por medio de agregar columnas intermedias que acorten la distancia del muro y que también baje las cargas que son aplicadas directamente a la pared de mampostería. Aplica tanto para paredes internas o externas de una construcción como para muros de retención, ya que el principio es el

mismo, minimizar las cargas al paño. Otras técnicas utilizadas con mayor frecuencia son la aplicación de “pie de amigo” con un adosamiento de columnas, sean estas en concreto o metal, pero su aplicación se ve más en muros de retención.

La técnica de reforzamiento de muros de mampostería se inicia con un apuntalamiento de la viga corona o de entrepiso con el fin de evitar que el muro se encuentre cargado a la hora de realizar la obra.

Se divide el paño o luz a la mitad y se inicia una demolición partiendo de la parte superior hasta llegar a la corona del cimiento, se debe realizar la demolición con ayuda de equipo mecánico realizando cortes longitudinales para obtener la figura del ancho requerido. Una vez hecha la demolición se continúa con una limpieza de la zona, evitando que queden partículas sueltas.

Seguidamente se perforan cuatro orificios en el cimiento y cuatro más en la viga, espacios que deberán quedar limpios y rellenar con una tercera parte de su espacio con epóxico para luego insertar las varillas que servirán como refuerzo vertical, según diseño estructural de su carga tributaria.

Los aros se instalan y se separan según el diseño de una columna convencional que estará soportando las cargas del área tributaria.

La aplicación del epóxico para mejorar la unión entre los concretos es únicamente necesaria en la base y el capitel de la columna por chorrear.

Por último se realiza el encofrado y colado con concreto, respetando el tiempo requerido para que el concreto alcance su resistencia. Como todo elemento de concreto deberá llevar un proceso de curado.

Para ilustrar este proceso se muestra la figura 14 que señala varias etapas de la técnica.

Otra manera de mejorar el comportamiento del paño de mampostería es construyendo una sobre viga que ayude a distribuir de mejor manera los esfuerzos a las columnas y no cargar el paño de mampostería.

Además de la técnica antes mencionada, también se utilizan sobre anchos del paño, que se logran añadiendo una malla de acero al frente de la mampostería y realizando un chorrea que genere un espesor de al menos 5 centímetros. Esta técnica también ayudará a tomar los esfuerzos de cortante que afectan a la pared.

Vigas

Las vigas son los elementos estructurales más versátiles para reforzar, ya que existen varias técnicas que ofrecen resultados similares, unas más complejas que otras según el grado de importancia de la obra, pero para este proyecto se definió que las técnicas a aplicar serían para obras de pequeño y mediano tamaño para un máximo de dos niveles, donde las cargas de diseño no hacen requerir sistema complejos de reforzamiento.

Partiendo de esta premisa, las vigas que presentan deficiencia es su acero positivo o en la cara inferior pueden ser reforzadas agregando el acero longitudinal requerido de tres maneras. Caso 1: por medio de una pica que llegue hasta por encima del aro y permita agregar el acero requerido, el Caso 2: para situaciones más críticas de carencia del acero de refuerzo, por medio de aros a cada 1,00m se hace colgar el acero longitudinal y luego se procede a chorrear y resanar las zonas donde se colocaron los aros, el Caso 3: muy utilizado en la actualidad es por medio del uso de sierras mecánicas que forman los surcos necesarios para introducir el acero y luego rellenar el espacio, este método funciona tanto para el acero positivo como para el acero negativo. Cuando el acero faltante es por cortante, los aros se instalan por medio de confección de surcos y se rellena con un cemento de alta resistencia.

Cuando la deficiencia de la viga es por la resistencia del concreto, es recomendable revisar y analizar si una disminución del factor de seguridad hace que la viga sea funcional. De lo contrario en este caso en particular es mejor realizar la demolición de la viga y volverla a construir debido a que técnicas más complejas y de alto costo pueden funcionar, pero no así la factibilidad del refuerzo.

Caso 1

En este caso la deficiencia del acero se encuentra en el refuerzo longitudinal, por lo que es necesario realizar una pica que inicie en el fondo de la viga hasta llegar por encima del aro y

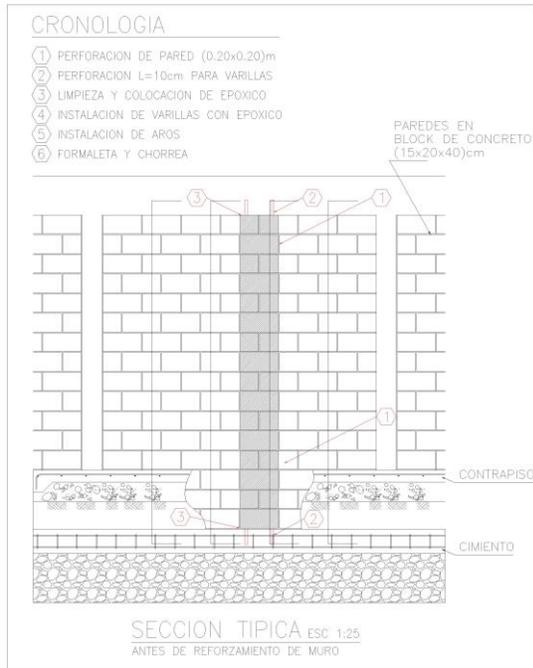


Figura 14. Demolición para Reforzamiento de Muro. Autocad 2005.

La figura 15 detalla el refuerzo vertical, los aros, aplicación del epóxico para los orificios, y la zona de chorrea.

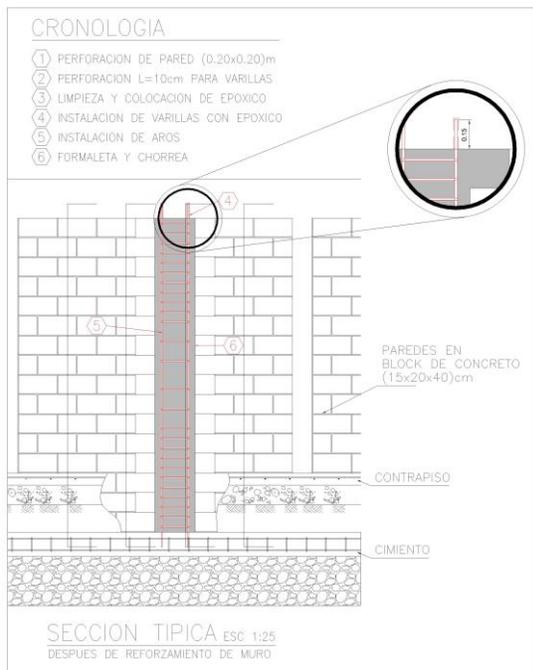


Figura 15. Reforzamiento de Muro. Autocad 2005.

permita agregar el acero requerido a la par del acero existente. Ver figura 16.

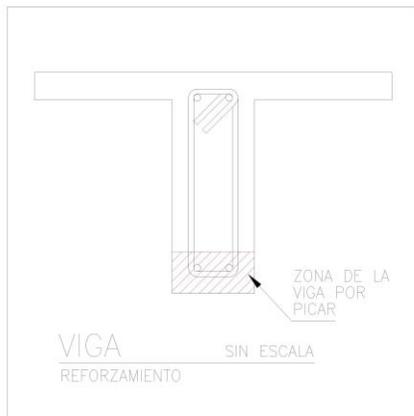


Figura 16. Pica de viga para reforzamiento. Autocad 2005.

El siguiente paso es aplicar una capa de epóxico para mejorar la adherencia del concreto existente con el nuevo, adicionalmente se debe incluir el acero longitudinal que según planos no se incluyó originalmente en la armadura. Ver figura 17.

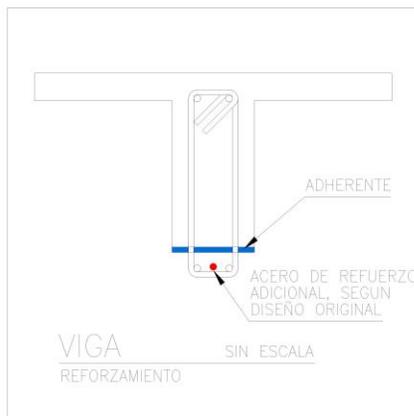


Figura 17. Incorporación del acero de refuerzo. Autocad 2005.

Por último se realiza el encofrado dejando un costado abierto para poder realizar la chorrea con concreto $f'c = 210 \text{ Kg / cm}^2$. Por un aspecto arquitectónico y estético es recomendable definir el lado que quedará con la cuña de concreto después de chorreado. Es indispensable darle el debido curado a la chorrea o aplicar alguna membrana de curado. Ver figura 18.

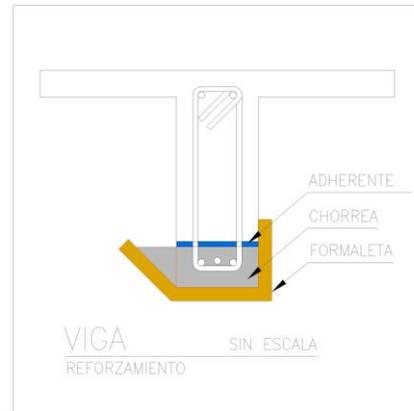


Figura 18. Encofrado y chorrea. Autocad 2005.

Caso 2

Para situaciones más críticas de carencia del acero de refuerzo, se recomienda generar surcos en las caras laterales de la viga con una dimensión de 2,50 centímetros de ancho por 2,50 centímetros de profundidad y una altura de 20 centímetros medidos desde el fondo de la viga. Adicionalmente se realizan perforaciones de 2 veces el diámetro del aro a instalar, dichas perforaciones irán a cada metro y su función es la de colgar los aros que soportarán el peso del acero longitudinal. Ver figura 19.

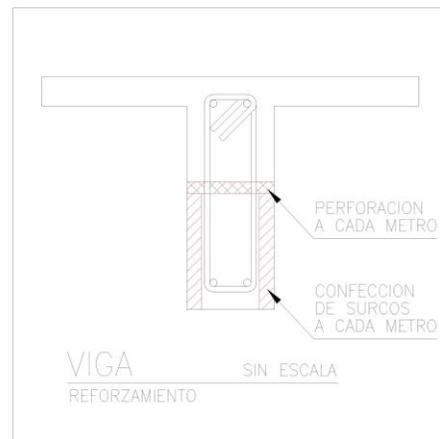


Figura 19. Perforación y pica de viga. Autocad 2005.

El siguiente paso es aplicar epóxico en la perforación de la viga hasta una tercera parte del espacio con el fin de introducir el aro sin que se desperdicie el producto. Además, se aplica una capa de epóxico en el fondo de la viga para mejorar la adherencia de los concretos y se agrega el acero longitudinal necesario. Ver figura 20.

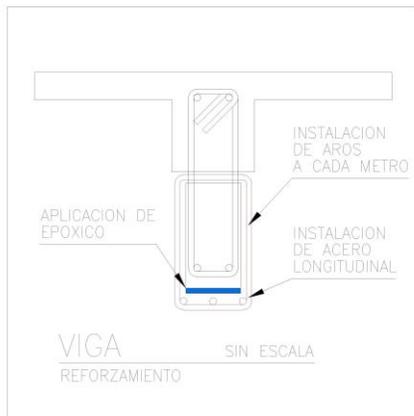


Figura 20. Instalación de aros. Autocad 2005.

El último paso es rellenar los surcos donde se insertaron los aros con concreto expansivo de alta resistencia, confeccionar el encofrado y realizar la chorrea, teniendo el debido cuidado con el curado o utilizando una membrana. Ver figura 21.

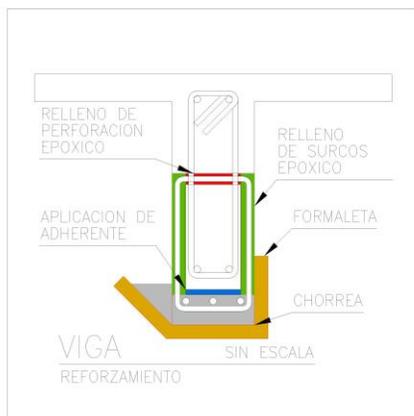


Figura 21. Chorrea de la viga y relleno de los surcos. Autocad 2005.

Caso 3

Por su facilidad y rápido resultado, en la actualidad se está utilizando la incorporación del acero faltante tanto positivo como negativo por medio de la confección de surcos similares a los mostrados para los aros en el caso 2. Estos surcos se realizan con la ayuda de una sierra mecánica. Ver figura 22.

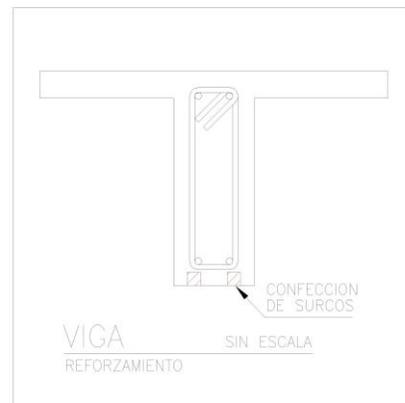


Figura 22. Confección de surcos. Autocad 2005.

El siguiente paso es limpiar la zona donde se realizó la perforación y luego incorporar dentro del surco el acero requerido. Ver figura 23.



Figura 23. Incorporación del acero longitudinal. Autocad 2005.

Finalmente se rellenan los surcos con un epóxido que asegura una correcta adherencia entre el concreto existente y el acero colocado. Posteriormente al secado del epóxido, unas dos horas después se procede a aplicar un concreto expansivo en los surcos, hasta rellenar todo el espacio. Ver figura 24.

Losas



Figura 24. Relleno de surcos. Autocad 2005.

El mismo procedimiento que se utilizó anteriormente para el acero de refuerzo positivo puede ser aplicado para el acero negativo, siguiendo las mismas directrices. Para las vigas que carecen del acero por cortante, los aros que se deben agregar siguen el mismo esquema de ingreso de aros mencionado para el caso 2.

Anteriormente se mencionó que las vigas con deficiencia estructural por resistencia del concreto es recomendable su demolición, ya que las técnicas que pueden dar solución son costosas y a veces poco atractivas, por lo que se debe forrar la viga para disimular la reparación.

Algunas de las técnicas son el encamisado de la viga por medio de pletinas metálicas que ayuden a transmitir las cargas a las columnas, o colocar refuerzos en forma de "L" en las esquinas donde se une la viga con la columna, por ser esta una zona de alto cortante.

Otra técnica que se puede emplear son los tensores, estos funcionan por medio de cables que están soldados a una placa metálica ubicada en el centro de la luz de la viga y viajan hasta una columna que pueda soportar la carga y tensar los cables. Esta técnica es recomendable cuando existen deformaciones en la viga que ya son visibles fácilmente.

Técnicas nuevas utilizan fibras de carbono como parches que se adhieren a las vigas por medio de epóxicos y ayudan de gran manera a la resistencia final de la viga.

Las losas de entrepiso sean estas diseñadas para una o dos direcciones pueden presentar problemas por falta de acero en su zona de tensión o de compresión. Para ambos casos se puede utilizar como técnica de reforzamiento los surcos antes mencionados, incorporando el acero faltante y rellenando cada surco con concreto expansivo. La limitación de esta técnica es que se debe utilizar en losas de dimensiones reducidas, debido al gran trabajo que este proceso requiere y a los problemas asociados con la vibración.

Sin embargo, para losas de entrepiso con luces normales de 3,00 metros a 4,50 metros apoyadas en viguetas, sean estas metálicas o de concreto, se puede plantear el esquema de instalar una sobre malla que compense la falta de acero y crear una nueva chorrea encima de la existente. Esta técnica debe contar con la instalación de conectores de cortante que garanticen la transferencia de esfuerzos entre ambas losas.

Los pasos detallados para esta técnica son la perforación de orificios en la losa existente de concreto para instalar los conectores de cortante, dicho orificio se debe rellenar con epóxido y luego introducir el conector. Ver figura 25.

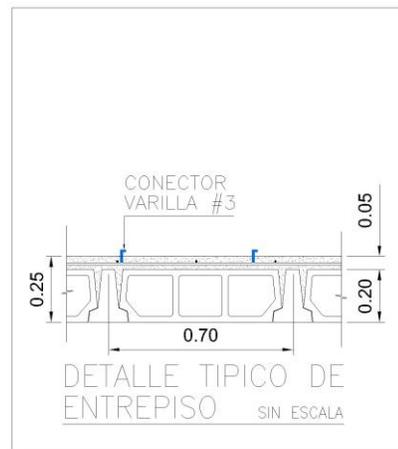


Figura 25. Conectores de cortante. Autocad 2005.

Luego de instalar los conectores se coloca la nueva malla para adicionar el acero faltante. Se debe amarrar la armadura a los conectores. Ver figura 26.

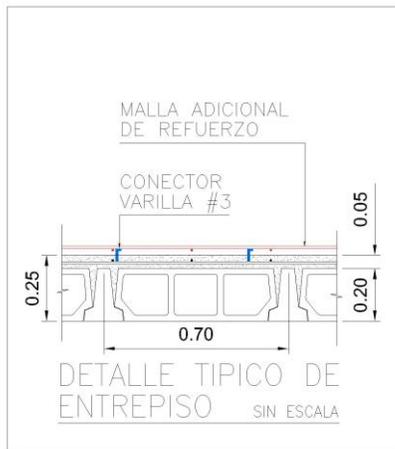


Figura 26. Instalación de malla de acero. Autocad 2005.

Como paso final se realiza la chorrea de la sobre losa, se debe tener cuidado de no doblar o quebrar algún conector de cortante. Ver figura 27.

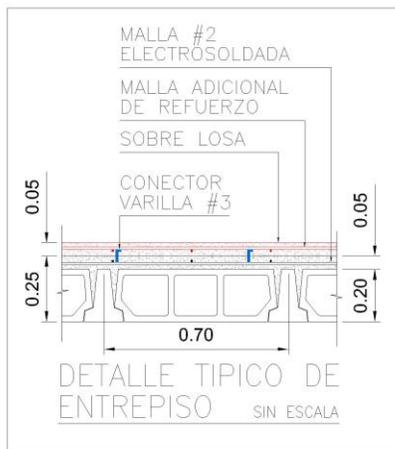


Figura 27. Sobre losa de concreto. Autocad 2005.

La sobre losa de 5 centímetros se analiza como una sobre carga que afecta directamente a las viguetas y a la viga de carga suponiendo únicamente una reducción del factor de seguridad.

En entrepisos mixtos, que poseen vigas metálicas de carga, con losas de concreto, los reforzamientos por deficiencia del acero, se pueden realizar por medio de surcos en el concreto y de manera similar a una reparación de viga, se agrega dentro del surco la varilla del

acero principal que complete la sección de acero mínimo solicitado en planos. Esto se puede realizar en la parte superior. En la cara inferior de la losa de entrepiso, al existir en su mayoría de casos un cuadrículado de vigas metálicas se hace más difícil confeccionar los surcos, pero se puede resolver por medio de franjas metálicas. Lo que se debe hacer es aplicar epóxico en la zona del acero principal y luego colocar una pletina con la sección de acero faltante.

Cuando este tipo de entrepisos presenta deficiencia por resistencia del concreto, se puede chorrear una sobre losa, pero las vibraciones pueden afectar dicha solución. Esto debido a que en los entrepisos y gradas las cargas vivas son las responsables de dicho efecto. Un aumento de la carga muerta por una sobre losa, hace que las cargas vivas disminuyan, por lo que se pueden empezar a dar problemas de vibraciones en el entrepiso. La recomendación para este caso es construir vigas diafragmas.

Análisis de los resultados

Cimientos

Los cimientos se diseñan como una losa en una dirección donde datos como las dimensiones del cimiento, (ancho y alto), junto con la carga permanente y su peso propio son necesarios para calcular la carga por metro lineal y que a su vez nos arroja el momento de diseño (M).

Una variable dependiente es la altura del bloque de esfuerzos "a", la cual se puede obtener de la ecuación que relaciona el espesor efectivo de la losa "d", el momento actuando sobre la placa y la resistencia del concreto f'c.

La ecuación antes mencionada es:

$$a = d - \sqrt{d^2 - ((2 \times M) / (0,85 \times 0,90 \times f'c \times 100))}$$

(Ecuación 1)

Para la técnica de reforzamiento de cimientos, la base de la misma es aumentar el valor "d" mejorando así la carencia de la resistencia del concreto, y lo más importante es que al aumentar el "d" automáticamente se disminuye el valor de "a" que es indispensable para calcular el acero mínimo de la sección (As). El acero de la sección se obtiene de la siguiente fórmula:

$$As = 0,85 \times f'c \times 100 \times a / fy$$

(Ecuación 2)

Si se observa la fórmula anterior, al disminuir el valor del bloque de esfuerzos "a" y al mantener el valor de fluencia del acero y la resistencia del concreto constantes, entonces el valor del As también disminuye ya que es directamente proporcional, por lo tanto, si existe alguna deficiencia en el acero instalado esta puede ser compensada o mejorada.

Otro análisis que se puede obtener en el caso de que el acero instalado sea correcto, pero que el concreto presente deficiencia en su resistencia es que al realizar una nueva evaluación del cimiento con una resistencia del 50% de la estimada, el valor de "a" se duplica, y al ingresar este dato a la ecuación 2, junto con el cambio de la resistencia del concreto a un 50%, los factores de aumento de "a" y disminución de f'c se cancelan y el resultado es que el valor de As sufre una pequeña variación, pero no significativa. En resumen un cimiento con deficiencia de su resistencia afecta muy poco en el acero requerido para su sección.

Columnas

En el caso de las columnas las técnicas empleadas fueron tres.

Caso 1

Para este caso se propone la creación de una obra complementaria que llegue a soportar la carga total de diseño, esta nueva columna metálica se diseña bajo la relación de condición de apoyo (λ), el factor l/r, fórmula de Euler y diseño de los rigidizadores.

Caso 2

En esta técnica se refuerza el núcleo de concreto existente por medio de un anillo nuevo de concreto de mayor resistencia que al menos resista la mitad de la carga axial y un acero de

refuerzo diseñado para resistir los esfuerzos de flexión simple. Viendo la figura 28, se detalla el área del anillo en color gris y se obtiene su valor de la ecuación 3:

$$\begin{aligned} \text{Área 1} = & A1 = (b+2z) \times (h+2z) - (b \times h) \\ & A1 = bh + 2z(b+h) + 4z^2 - bh \\ & A1 = 2z(b+h) + 4z^2 \end{aligned}$$

Ecuación 3



Figura 28. Área de anillo de concreto. Autocad 2005.

El 50% de la carga axial de la columna será tomada por el anillo de manera que:

$$\begin{aligned} P: & \text{ carga axial} \\ f'c: & \text{ Resistencia del concreto} \end{aligned}$$

$$P/2 = 0,85 \times f'c \times A1$$

Ecuación 4

Sustituyendo el valor de A1 con el de la ecuación 3 se obtiene:

$$P/2 = 0,85 \times f'c \times 2z(b+h) + 4z^2$$

Ecuación 5

Si todos los valores ya son conocidos, carga axial, factor de reducción, resistencia del concreto, base y ancho de la columna, queda únicamente despejar el valor Z en la ecuación 5, para encontrar la dimensión del anillo perimetral.

El acero de la columna se obtiene de un análisis rápido de la columna por flexión simple que tome el 100% de la carga. De esta manera la ecuación 6 detalla el cálculo:

$$P = 0,85 \times A1 \times f'c + As \times fy$$

Ecuación 6

Nuevamente si todos los valores ya son conocidos, carga axial, factor de reducción, resistencia del concreto, área del anillo, valor de fluencia del acero, queda únicamente despejar el valor As en la ecuación 6, para encontrar el acero requerido en la sección.

Caso 3

La técnica de reforzamiento aplicada en el caso 3 no requiere comprobación, ya que la misma tiene la función de agregar los aros que no se instalaron previamente y que hacía a la columna deficiente en el acero por cortante.

Muros

Los muros analizados son muros construidos en mampostería. La técnica propuesta se basa en ingresar una columna que divida el paño de mampostería en dos y de esta manera se reduce a la mitad el ancho "lw" a un valor de "lw/2" y al afectar este valor por un factor de reducción de 0,80 se obtiene finalmente un ancho de paño de diseño mucho menor. Como primer punto la disminución reduce directamente el valor del cortante tomado por la mampostería (Vm) a la mitad. Por otro lado, el valor del cortante Vn también se ve afectado ya que al cambiar las condiciones de apoyo, al ingresar una columna nueva y aumentar el peralte de la viga, las cargas y solicitudes del paño de mampostería van a variar. Para la revisión del acero se utiliza la ecuación 7:

$$As = (Vs \times S) / (fy \times d)$$

Ecuación 7

- Vs: cortante tomado por el acero (disminuyó)
- S: separación (instalada en el muro)
- fy: fluencia del acero (instalado en el muro)
- d: ancho efectivo del paño (disminuyó)

De lo anterior al evaluar la ecuación 7 con los datos obtenidos del sitio y el calculado Vs, se obtiene el nuevo valor del acero requerido As y se compara con el instalado en el sitio. De no cumplir sería necesario agregar otra columna para volver a revisar el paño nuevamente.

Vigas

Las vigas de concreto pueden ser reparadas o reforzadas para el acero en la zona de flexión y compresión según los casos previamente señalados; sin embargo, las mismas por su condición estructural hacen imposible que no se encuentre afectada por las cargas a la hora de efectuar el trabajo. La viga seguirá trabajando y recibiendo las solicitudes para las cuales fue diseñada.

La técnica de reforzamiento y reparación se aplica para el acero y los aros. Para el caso de los aros es simplemente agregar los aros faltantes a la viga existente y rellenar el espacio que se formó con un cemento expansivo de alta resistencia.

Los casos 1 y 3 de reforzamiento del acero no requieren comprobación, ya que simplemente se agrega el acero faltante y se mejora el fondo de la losa con un concreto de alta resistencia.

El caso 3 propone el aumento de la sección de la viga y un nuevo acero de refuerzo, el cual se comprueba mediante el uso de diagrama de esfuerzos de la viga, para obtener el acero faltante. Ver figura 29.

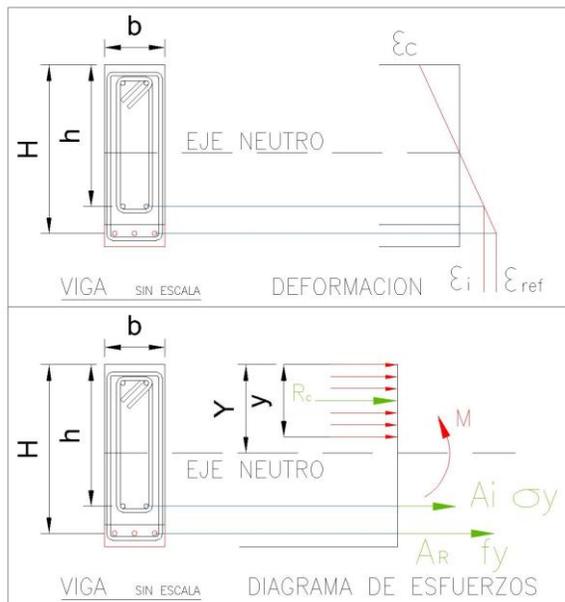


Figura 29. Diagrama de Esfuerzos. Autocad 2005.

De la figura antes indicada se obtienen las ecuaciones para obtener el acero de refuerzo y la ecuación para revisar el momento de la viga.

La resultante del concreto R_c se obtiene del diagrama rectangular de esfuerzos como un volumen entre la altura, ancho y resistencia del concreto, donde la altura "y" corresponde a un 80% de la altura "Y", distancia entre la parte más alejada de la viga y el eje neutro, por otro lado, la resistencia del concreto está dada por el f'_c obtenida en sitio y en ancho de la viga "b" se mide en la viga, así:

$$R_c = 0,85 \times b \times y \times f'_c$$

Ecuación 8

Por otra parte, la resultante del acero R_a se obtiene del resultado entre el área de acero (A_r) a instalar y el valor de fluencia del acero f_y , de esta manera:

$$R_a = A_r \times f_y$$

Ecuación 9

Al igualar la ecuación 8 con la ecuación 9 se obtiene que:

$$A_r \times f_y = 0,85 \times b \times y \times f'_c$$

Ecuación 10

Conociendo todos los valores de las variables presentes en la ecuación 10, se logra despejar el valor del A_r , con esto, el área de acero requerida.

La contribución del acero de refuerzo existente se debe tomar en consideración por medio de un área residual que se descontará al valor de A_r y así tener el acero final (A_s requerido) de la ecuación 14. El área residual se calcula por medio de un factor que relaciona la deformación final del acero entre la deformación inicial del acero (ver ecuación 11), este factor afecta directamente al f_y (ver ecuación 12) y multiplica al área de acero inicial (ver ecuación 13). En resumen:

$$\Phi = \epsilon_i / \epsilon_{ref}$$

(Ecuación 11)

$$\sigma = \Phi f_y$$

(Ecuación 12)

$$A_i \sigma_y = A_i \Phi f_y$$

(Ecuación 13)

As requerido = $A_r - A_i \Phi f_y$ (Ecuación 14)

El momento de la viga se obtiene al multiplicar la resultante del concreto R_c por el brazo de palanca, el cual es la distancia entre la R_c y la R_a que se ubica en el centro del acero nuevo de refuerzo, cuantitativamente:

Brazo de palanca = $H - (y / 2)$ (Ecuación 15)

El momento entonces se obtiene de multiplicar el valor de ecuación 15 con la ecuación 8, resultando:

$$M = 0,85 \times b \times y \times f_c \times (H - (y / 2))$$

Este valor de momento debe ser revisado con el momento último de viga y revisar si cumple, para dar por aprobado el acero de refuerzo por instalar.

Losas

La técnica de reforzamiento de losas se basa específicamente en el aumento del espesor de la losa concreto, similar a lo expuesto para el caso de los cimientos, el aumento del espesor refleja directamente una disminución de la altura efectiva "a", de la que el acero requerido es directamente proporcional, por lo tanto, al disminuir "a", disminuye el acero requerido en la zona de flexión.

El aumento del espesor de losa conlleva tres implicaciones: la primera por la sobre carga se disminuye el factor de seguridad de las vigas de carga, por lo tanto, se deben revisar dichas vigas para garantizar que esa disminución del factor de seguridad no sea significativo y poder utilizar este sistema de reforzamiento. Como segundo punto el incremento de la losa requiere en la losa adicional una malla de refuerzo que tome los esfuerzos ahora en la zona de compresión. Y por último, las dos losas deberán trabajar en conjunto por lo que es necesario instalar conectores de cortante.

Conclusiones

El proyecto Técnicas de reforzamiento de estructuras construidas de concreto que presentan deficiencias estructurales ha mostrado algunas recomendaciones para casos específicos y concluye:

1. La implementación de técnicas de reforzamiento a elementos estructurales que presentan deficiencias en el concreto y en el acero son favorables, dando resultados aceptables y evitando así la demolición de los mismos.
2. Aplicar las técnicas de reforzamiento adecuadamente mejorará los tiempos de entrega de la obra, evitaría sobre costos, y ayudaría a una mejor imagen de la empresa o ingeniero ante el propietario.
3. Cuidar el medio ambiente y producir el mínimo de residuos, escombros y basura durante una construcción debe ser una meta de todo ingeniero en la actualidad. Utilizar las técnicas mencionadas ayudan a evitar la contaminación por generación de escombros.
4. Sin realizar un análisis de costos detallado es notable que la aplicación de cualquier técnica es de menor costo al que representaría realizar una demolición y reconstrucción total del elemento.
5. Si el acero instalado es el correcto, pero el concreto presenta deficiencia en su resistencia, y se revisa la estructura para esta condición, el As sufre una pequeña variación pero no significativa. El acero instalado en sitio cumple.
6. La demolición en cimientos que presentan deficiencias en el acero y en el concreto no es la mejor opción, ya que primero es necesario analizar la estructura y proponer soluciones más acordes dirigidas a evitar sobre costos y atrasos en la obra.

Cimientos

5. La técnica aplicada para el reforzamiento en cimientos depende de la altura "d", altura efectiva del cimiento, para dar solución a la deficiencia en la resistencia del concreto.
6. El aumento del "d" disminuye el valor del bloque de esfuerzos "a" del cual es directamente proporcional el valor del acero requerido. A un menor valor de "a" menor será el área de acero requerida.

Columnas

9. El reforzamiento de columnas que carecen de una correcta instalación de aros puede ser factible, rápida y económica en función de una demolición, utilizando una reparación de la zona identificada.
10. Si la columna presenta deficiencia en la resistencia del concreto se puede reforzar la misma con una estructura complementaria que soporte la carga.
11. Si la columna presenta deficiencia en la resistencia del concreto se puede reforzar la misma con un anillo de concreto perimetral que debe soportar al menos el 50% de la carga axial y el acero de refuerzo el 100% de la carga para un análisis de flexión simple.

Muros

12. Los muros confeccionados con mampostería pueden ser reforzados fácilmente acortando el ancho del paño e introduciendo una columna que ayude a disminuir la carga última de diseño y el cortante último de diseño.
13. El acero de refuerzo vertical y horizontal en los muros, aplicando la técnica mencionada puede

ser revisado cuando el mismo no cumple al acortar el ancho del paño.

Vigas

14. En las vigas es indispensable el uso de productos y aditivos como resinas epóxicas que mejoren la adherencia entre concretos.
15. Las vigas de concreto pueden ser reforzadas tanto en su acero en la zona de tensión como en la zona de compresión. Las técnicas empleadas demuestran su correcta aplicación y resultados.
16. Las vigas que presenten carencia del acero por cortante (aros), pueden ser reforzadas y reparadas por medio de la confección de surcos en la viga y rellenando con un concreto expansivo de alta resistencia.
17. Las vigas de concreto que presenten deficiencia en la resistencia del concreto no son recomendables para el reforzamiento, es mejor realizar para este caso la demolición de la viga.

Losas

18. Las losas que su concreto tenga deficiencia en la resistencia puede ser corregido por medio de una sobre losa.
19. El acero de refuerzo en las losas de concreto en el caso que sea inferior al requerido, al aumentar el espesor de la losa, se ve afectado favorablemente. Después de una revisión estructural dicho acero puede llegar a cumplir como acero mínimo requerido.
20. Al construir una sobre losa de concreto es necesario agregar una malla de acero en la nueva losa que contribuya en la zona de compresión y evite fisuras a la losa.

Recomendaciones

1. Existen productos o aditivos en el mercado nacional a costos razonables que ayudan a realizar ciertas etapas de los reforzamientos, por lo que es aconsejable estar al día con las tendencias, técnicas, equipo y materiales que ayuden a realizar más fácilmente los trabajos.
2. Antes de proponer la demolición de un elemento es necesario realizar una revisión del mismo, y establecer posibles técnicas de reforzamiento.
3. Revise cuidadosamente el elemento que vaya a ser reforzado de manera que cumpla con el mínimo establecido por los códigos y regulaciones del país.
4. En viga de concreto que presente deficiencia en la resistencia del concreto es preferible la demolición de la misma que un reforzamiento, dichas técnicas son muy complejas y costosas.
5. Realice un análisis costo de demolición contra costo de reforzamiento y otro de costo de demolición contra el beneficio de no incurrir en más atrasos en la obra y producción de escombros innecesarios.
6. Realice un plan de inspección, muchas de las deficiencias en los elementos se deben a una incorrecta revisión de la armadura, o a la falta de capacitación para la producción y colado del concreto.
7. Revise la calidad de los materiales con los que se va a producir el concreto, de manera que estos no sean causa de una baja resistencia del concreto.
8. Contemple en el presupuesto un rubro para pruebas de laboratorio donde al menos se compruebe la calidad y resistencia del concreto en cada uno de los elementos ya mencionados.

Anexos

Los materiales complementarios necesarios en este proyecto son tres. Los anexos son especificaciones técnicas de los productos y aditivos indicados en las técnicas de reforzamiento.

Cada uno de los anexos puede ser encontrado y ampliado en la página de Internet de la empresa INTACO, www.intacocr.com

Anexo 1. Maxistik 580

Anexo 2. Maxistik 590

Anexo 3. Maxibed

Referencias

Acuña, A.; Bermúdez, J. CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA 2002. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Alcocer, Sergio. REPARACIÓN Y REFUERZO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO.

Aragón, J. PRODUCTOS PARA REFORZAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES. 2010. San José, INTACO. Comunicación personal.

Belén, Hernández, Fenoll, Morza Arquitectos. PATOLOGÍA DE LA EDIFICACIÓN / CIMENTOS / SUPERFICIALES / REPARACION. 29 Ediciones anónimas. 10 de agosto de 2010
<http://es.wikibook.org/w/index.php?oldid=150404>

Cañas, R. TÉCNICAS DE REFORZAMIENTO. 2010. San Pedro, Oficinas Ingeniería Cañas. Comunicación personal.

Wight, J.; Rabat, B. REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL Y COMENTARIO (ACI 318S-05). Estados Unidos de América: American Concrete Institute.