

**ORIGINAL EN
MAL ESTADO**

UTILIZACION DE MARCOS DUCTILES Y MUROS DE CORTANTE
EN EL REFUERZO SISMO RESISTENTE DE ESTRUCTURAS EXISTENTES

Miguel F. Cruz A.
Profesor Asociado,
Universidad de Costa Rica

RESUMEN

Se muestran en este trabajo las características del análisis de las estructuras existentes que deben ser sometidas a refuerzo sísmico. Concretamente se discuten las formas de análisis y algunos procedimientos de diseño de las soluciones con marcos dúctiles y con muros de cortante. Se propone un procedimiento para diseñar los elementos nuevos y revisar o reforzar los elementos existentes basado en una intensidad de movimiento para la que no se presenten daños y otra más alta para la que se evite el colapso.

Introducción

Cuando se hace necesario reforzar una estructura para que soporte cargas sísmicas puede recurrirse a varios procedimientos constructivos. Estos procedimientos dependen del tipo de estructura que se quiera reforzar, del estado actual de la misma, de las facilidades o inconveniencias constructivas que ella presente y del aspecto económico.

Es claro que el refuerzo de una estructura pretende elevar el nivel de seguridad de la respuesta ante los sismos y esto puede lograrse mediante (1):

- incremento en la resistencia
- incremento en la ductilidad
- o incremento de ambas

es importante apuntar también que en algunos casos esto se puede lograr mediante un incremento en la rigidez o mediante una disminución en la demanda de ductilidad. Esta última se logra con el incremento de resistencia.

En este trabajo se discuten las soluciones de refuerzo de estructuras mediante marcos dúctiles y mediante muros de cortante. Es fácil visualizar que las estructuras de marcos pueden ser reforzadas con marcos o con muros o con una combinación de ambos, mientras que una estructura de muros difícilmente podrá ser reforzada con marcos, es decir que su solución deberá, en la mayoría de los casos incluir muros de cortante.

Cuando se recurre a la solución con marcos el refuerzo puede consistir en marcos nuevos que funcionarían como nuevos ejes de resistencia, marcos reconstruidos reconstruyendo los elementos en los ejes existentes, o marcos reforzados adicionando elementos a los ejes de resistencia existentes. La figura 1 muestra las particularidades de cada caso. Se puede argumentar que con estas soluciones se puede lograr incremento de resistencia, de ductilidad y de rigidez.

Las soluciones con muros presentan características que dependen del tipo de estructuras a la cual se apliquen.

En el caso de estructuras con muros estas soluciones pueden consistir en la construcción de muros nuevos que serían nuevos ejes de resistencia, o en la reconstrucción de los muros existentes para darles más resistencia o para darles más ductilidad.

En el caso de estructuras con marcos la utilización de los muros nuevos como elementos de refuerzo representa la definición de nuevas líneas de resistencia o de reforzamiento de las existentes según como se ubiquen. Estas particularidades se muestran más claramente en la figura 2.

La solución con muros normalmente implica un aumento de rigidez y un aumento de resistencia a nivel global en la estructura y esto a su vez hace que los demás elementos existentes experimenten una disminución de su demanda de ductilidad.

El refuerzo de estructuras existentes puede ser necesario por varios motivos:

- baja capacidad a flexión de los elementos y por consiguiente alta demanda de ductilidad
- baja capacidad a cortante de los elementos respecto a las cargas esperadas
- alta flexibilidad de la estructura que hace que se puedan presentar problemas de choque o problemas de estabilidad.
- combinación de algunas de las anteriores.

Estos motivos incidirán en el tipo de refuerzo que se escoja y a su vez la solución escogida mejorará en mayor o menor medida cada uno de estos aspectos.

A continuación se exponen las características más relevantes del análisis, de la respuesta global y de los detalles de las soluciones con marcos y de las soluciones con muros.

Utilización de marcos dúctiles

Como ya se ha comentado, el uso de marcos dúctiles como elementos de refuerzo es aplicable casi únicamente a estructuras compuestas por marcos.

Antes de proceder al detalle de los elementos, y aún más a la escogencia misma del espectro de diseño, es muy importante conocer cual es el límite elástico de la estructura, ya sea a flexión, flexocompresión o a cortante. El límite elástico se define aquí como el nivel de la aceleración máxima del suelo y la estructura oscilando en el rango elástico que haría a los elementos alcanzar la falla. Este límite obviamente es diferente para cada elemento y en cada elemento es diferente para la falla en flexión y para la falla en cortante.

La obtención de estos límites normalmente está hecha en el estudio previo al estudio de refuerzo para la estructura en su estado actual, y es necesario evaluarlos en la estructura con las modificaciones que se incluyan.

Esta evaluación permite visualizar en que grado la estructura de refuerzo propuesta modifica o mejora las condiciones de la existente y además indica cuales elementos requieren de un aumento de resistencia o de ductilidad.

La decisión más difícil que se le presenta al diseñador es la escogencia del espectro de diseño y por consiguiente de las fuerzas internas para las que debe diseñar los elementos nuevos y para las que debe revisar los existentes.

El nivel de reducción del espectro de diseño que se escoja dependerá del grado de certeza que tenga el diseñador de las características de resistencia y ductilidad de los elementos existentes y de las posibilidades que tenga de modificar estas características.

A manera de ejemplo, supóngase se tiene una estructura con acero de alta resistencia y poca ductilidad que hace que las capacidades a flexión de las secciones sea bastante grande con respecto a la que se requeriría si se hiciese un análisis con espectro para estructura tipo 1 (2), y además se sabe que el confinamiento con aros es menor que el requerido para este tipo de estructura. Es de esperar entonces se tengan rótulas a flexión con poco confinamiento del concreto y con comportamiento poco seguro, o en el peor de los casos que se excedan las fuerzas cortantes en los elementos respecto a sus capacidades, debido a que no se presenten las reducciones de fuerzas sísmicas esperadas, y entonces se tengan fallas frágiles de cortante causantes de colapso.

Podría entonces pensarse en realizar el análisis con espectro para estructura tipo 3 (2), pero aún pueden quedar dudas respecto al detalle y capacidad de los nudos y a las longitudes de anclaje del acero principal. En caso que estas dudas se confirmen debería entonces realizarse el análisis para un espectro mayor que el de la estructura tipo 3.

Esta incertidumbre es la que induce al autor a proponer el siguiente procedimiento de análisis y diseño.

Se escoge un sismo con una probabilidad de excedencia de aceleración máxima del suelo más alta que la del sismo de diseño original. Esta probabilidad se determina según el Capítulo 1 del Código Sísmico de Costa Rica y según la importancia de la estructura y de vida útil que le reste al edificio. Es importante aclarar que el riesgo debe ser conocido por el propietario del edificio y él debe ser consiente del riesgo que se asume ya que no se puede lograr que una obra existente sea, luego del refuerzo, 100 % invulnerable a los sismos, si se quiere mantener los costos dentro de lo razonable

Una vez escogido el sismo se procede a revisar y a diseñar los elementos existentes y los nuevos para la estructura oscilando en el rango elástico, es decir con un análisis sísmico con espectro para estructura tipo 5 (2).

Todas aquellas secciones existentes que no tengan la suficiente resistencia deberán reforzarse para alcanzar la requerida por este análisis. Este aumento de resistencia que se asigna hará que en caso de alcanzarse la

rótula en la sección la demanda de ductilidad sea menor.

Posteriormente se realizará el análisis para el sismo de diseño original definido por el CSCR con espectro de estructura tipo 1 o tipo 3, o mayor que para estructura tipo 3 según sea el caso. Esto se escogerá como ya se dijo, de acuerdo a la certeza que se tenga de las características de la estructura. En este análisis todas aquellas secciones que no cumplan con la capacidad a flexión o flexocompresión requerida deberán reforzarse para aumentar la capacidad o para aumentar la ductilidad, o para ambas cosas. En este análisis la capacidad a cortante de los elementos debe ser garantizada según se establece en el CSCR.

Con este procedimiento se puede garantizar que se cumple con la filosofía del CSCR en que no se tendrán daños para sismos pequeños y no habrá colapso para sismos más grandes.

En lo referente al análisis de carga vertical hay que tener en cuenta que la estructura existente ya está cargada con sus propias cargas permanentes y con algún porcentaje de la carga viva de diseño, por lo tanto las fuerzas internas se obtendrán mediante la superposición de las fuerzas obtenidas del análisis de la estructura original cargada con sus cargas permanentes y con un porcentaje de la carga viva de diseño, y las fuerzas obtenidas del análisis de la estructura modificada cargada con las cargas permanentes adicionales más las cargas vivas necesarias para completar el 100 % de las cargas vivas de diseño. La figura 3 resume este procedimiento.

En algunos casos el análisis vertical realizado de esta forma es irrelevante debido a la magnitud de las fuerzas internas de carga vertical comparadas con las fuerzas del análisis sísmico. Sin embargo como norma general el procedimiento no debe obviarse.

Una vez realizados los análisis se debe proceder con el detalle de los elementos nuevos, de los elementos de amarre y de los elementos a reconstruir. Los elementos nuevos no presentan ninguna particularidad en lo referente al cálculo de capacidad y al detallado.

En el caso de los elementos reconstruidos se supone (1) que resistencia a flexión, flexocompresión y cortante se calcula como si fuese un elemento monolítico usando las secciones modificadas y los aceros adicionales. Es preferible en estos casos utilizar aceros de misma resistencia de los aceros actuales.

Si la reconstrucción del elemento considera la colocación de acero principal para aumentar la capacidad a flexión o a flexocompresión es de suma importancia el detalle del anclaje que se le provea a este acero a fin de obtener el máximo provecho del aumento de resistencia. Las maneras de realizar este anclaje dependerán de las condiciones que se tengan en cada caso, sin embargo se pueden citar entre otras las siguientes: anclaje químico con ampollas o con resinas epóxicas, anclaje mecánico con pernos expansibles o con soldadura, y anclajes mediante longitud de desarrollo anclando el acero en zonas de concreto nuevo suficientemente confinadas, la figura 4 muestra algunos de estos casos.

En el caso de los elementos de amarre se pueden distinguir varios tipos de ellos y aquí podemos citar aquellos elementos encargados de transmitir la fuerza cortante lateral a los nuevos ejes de resistencia, y los elementos encargados de dar continuidad a los elementos actuales con los nuevos en los ejes de resistencia.

Los primeros de éstos se colocan normalmente para dar continuidad al entrepiso y se considera que no son capaces de llevar flexiones y cortantes propias de los ejes de resistencia.

La figura 5 muestra una sección de una viga de transmisión de cortante lateral, esta viga se detalla para que soporte sus pesos tributarios, y los pernos y las resinas epóxicas se detallan para que sean capaces de transmitir el cortante lateral a los nuevos ejes. En esta figura se ve claro que la losa nueva debe ser revisada para resistir los mismos efectos que la viga en cuestión.

Los elementos encargados de la continuidad en los ejes de resistencia son los más difíciles de detallar y los de mayor incertidumbre en lo relativo al comportamiento dinámico no lineal de ahí que pasan a ser elementos claves dentro del proceso de refuerzo. Estos elementos son de muy variadas formas y de muy variados comportamientos según sea la continuidad que se requiera. Ellos pueden estar uniendo viga actual con viga nueva, viga actual con columna nueva, viga nueva con columna actual, columna actual con columna nueva. Algunos de estos casos se muestran en la figura 6 y como se puede apreciar ellos deben diseñarse para soportar las cargas internas que se demanden. Estos elementos deben también revisarse para que se mantengan en el rango elástico para el sismo de probabilidad de excedencia alta y para que mantengan su integridad y ductilidad para el sismo de diseño original.

Utilización de muros de corte en estructuras de marcos

La utilización de muros de corte en estructuras de marcos debe ser considerada solo en el caso de que no haya otras opciones para reforzar la estructura ya que esta solución acarrea algunos problemas difíciles de resolver. Entre ellos se pueden citar algunos: - los muros de corte causan un cambio radical en el comportamiento dinámico y estructural del edificio, - deben ser colocados preferiblemente en el perímetro de la estructura de manera que no causen efectos de torsión, - normalmente inducen cortantes muy grandes a las vigas de acople con la estructura existente, - como son construidos posteriormente a que el edificio ha sido cargado llevan muy poca carga axial lo que trae soluciones en la cimentación sumamente caras, - en la mayoría de los casos llevan en conjunto cortantes superiores al 80 % del cortante total del edificio lo que implica diseños a cortante muy severos y que en caso de presentarse la falla pondrían en peligro al resto del edificio. El problema de la cimentación de los muros es delicado ya que se puede demostrar que una vez que estalle la falla de las vigas de acople es inminente y total, de ahí que la revisión a cortante en estas vigas debe ser muy estricta para garantizar siempre la estabilidad. Una falla del cimiento de los muros lleva implícito también un incremento muy marcado en los desplazamientos.

En estos casos es evidente que la revisión de las vigas de amarre de entrepiso y de las losas nuevas y existentes para transmitir el cortante lateral

a los nuevos ejes de resistencia se hace ineludible, ya que como se dijo anteriormente los muros tienden a absorber más del 80 % de la carga del edificio, sobre todo en los niveles inferiores, lo que causa una concentración de esfuerzos importante en estos elementos.

Sin embargo, a pesar de estos inconvenientes, la solución con muros presenta algunas ventajas como son la de rigidizar al edificio lo suficiente para reducir los desplazamientos hasta valores de un 10 % del desplazamiento de la estructura original, y por otro lado esto permite descargar a los marcos existentes respecto a las cargas laterales en una reducción del mismo orden. En la mayoría de los casos estos marcos quedan lo suficientemente seguros para que no se requiera la reconstrucción de ninguno de los elementos.

El procedimiento de análisis propuesto para estos casos es similar el de la solución con marcos, es decir se revisará la estructura para un sismo de baja intensidad, alta probabilidad de excedencia, para el cual no debe presentarse ningún daño. El análisis se realizará utilizando un espectro de estructura tipo 5, estructura en el rango elástico. Posteriormente se revisará con el sismo original de mayor intensidad y de menor probabilidad de excedencia y utilizando un espectro de estructura tipo 2, tipo 4 o mayor que el tipo 4 según la certeza que se tenga de las capacidades y ductilidades existentes.

El detalle y refuerzo de los elementos de acople no reviste ninguna diferencia respecto a los de la solución con marcos y básicamente caben los mismos comentarios.

El análisis para carga vertical se realizará como se esquematiza en la figura 3, se utilizará la carga muerta existente más un porcentaje de carga viva en los ejes originales y luego se utilizará la carga viva adicional y la carga muerta adicional en los ejes modificados. La sumatoria de ambos análisis representa el análisis vertical.

Utilización de muros de corte en estructuras de muros

Una estructura que contenga muros puede requerir refuerzo sísmico, en la mayoría de los casos, debido a falta de capacidad de los elementos o debido a falta de ductilidad, rara vez es por problemas de excesiva flexibilidad.

Es por esto que en estos casos la solución puede consistir en reconstruir o reforzar los muros existentes y muchas de estas soluciones no implican mayor transtorno en la operación del edificio. El refuerzo adicionado a los muros puede ser colocado para aumentar la ductilidad o la resistencia.

En la figura 7 se muestra un caso de refuerzo adicional para aumentar la capacidad a flexión y uno para aumentar la ductilidad o la capacidad a cortante. La evaluación de la capacidad a flexo-compresión del muro puede hacerse sobre la base de considerar el elemento como si fuere monolítico e incluyendo el acero adicional siempre y cuando se tenga suficiente confinamiento; sin embargo describir el comportamiento del elemento durante el proceso de carga hasta la falla es algo que no puede basarse en esa suposición, ya que el estado de deformación de lo existente es diferente al estado de deformación de lo adicionado, y esto debería ser considerado en las evaluaciones de ductilidad que se hagan del mismo.

ORIGINAL EN MAL ESTADO

vigas de acople que puedan existir en la estructura deben ser revisadas para garantizar la resistencia y la ductilidad. Muy importante es la revisión de las vigas de acople ya que de ellas dependerá la integridad de la estructura. En la figura 8 se muestra una forma de reforzar para estos efectos con cinchas de acero, es muy importante que estas cinchas estén cerradas para que puedan confinar y para que puedan tomar cortante en ambas direcciones, es decir cortantes hacia arriba o hacia abajo.

El procedimiento propuesto para el diseño es aplicable a estos casos, se analizará un sismo de alta probabilidad de excedencia y manteniendo la respuesta en el rango elástico y luego se revisará y diseñará para el sismo de diseño con espectro de respuesta inelástica y manteniendo la estabilidad de la estructura.

Los marcos existentes que pueda tener la estructura normalmente están dentro de un rango aceptable para las cargas que se generan considerando a la estructura como un todo, pero si se revisan para el 25 % de la carga sísmica total, como exigen algunos códigos extranjeros o el C.S.C.R. en su versión de 1974, puede darse el caso que no estén aceptables y haya que reforzarlos o reconstruirlos.

Esta revisión puede ser obviada si se garantiza que el entrepiso es capaz de distribuir las fuerzas sísmicas a los ejes de resistencia. Debe señalarse el hecho de que los objetivos del refuerzo pueden ser lograr cumplir con el código vigente o sencillamente mejorar la respuesta sísmica total del edificio para evitar el colapso. De ahí que la simple revisión del entrepiso pueda bastar para no considerar esta forma de carga en los marcos existentes.

Si la solución con la reconstrucción de los muros existentes no basta o no es viable constructivamente habrá que recurrir a la reconstrucción de nuevos muros en los ejes de resistencia existentes o en nuevos ejes de resistencia. En estos casos también son aplicables los argumentos de ventajas y desventajas de la utilización de los muros en estructuras de marcos.

Conclusiones

Se ha mostrado en este trabajo que es posible cumplir con la filosofía del C.S.C.R. en estructuras existentes haciendo un diseño del refuerzo y revisando lo existente para dos niveles de intensidad del sismo y para dos tipos de comportamiento que serían elástico e inelástico sin colapso.

Las estructuras de marcos han mostrado que pueden ser reforzadas con marcos dúctiles o con muros de cortante. Estas soluciones tienen características diferentes y se han señalado las desventajas de la solución con muros concretamente los problemas que se presentan en la cimentación.

En estructuras de muros la solución puede consistir en la reconstrucción de los elementos existentes. La ubicación de nuevos ejes de resistencia se debe considerar una vez que se haya agotado esta posibilidad ya que los problemas señalados a las soluciones con muros en estructuras de marcos son totalmente aplicables a las soluciones con muros en estructuras de muros.

Bibliografía

- 1) Sungano, Shunsuke. " Seismic Strengthening of Existing Reinforced Concrete Buildings in Japan". Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering. Vol. 14, Nº 4, Diciembre 1981
- 2) Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. " Código Sísmico de Costa Rica 1986". Editorial Tecnológico de Costa Rica, 1987.
- 3) Herrera G. Carlos y Quirós, R., Víctor. "Estudio de Vulnerabilidad Sísmica del Hospital México". Universidad de Costa Rica, 1986
- 4) American Concrete Institute. " Seismic Design for Existing Structures". Seminar Course Manual. SCM-14 (86) aci. Detroit 1986.

Reconocimiento

El autor desea reconocer el aporte de los ingenieros Carlos Herrera G. y Roy Acuña P. en lo referente a la discusión de detalles constructivos y en la ejecución de los programas de cálculo de estructuras que sirvieron de base para la discusión planteada en este trabajo.

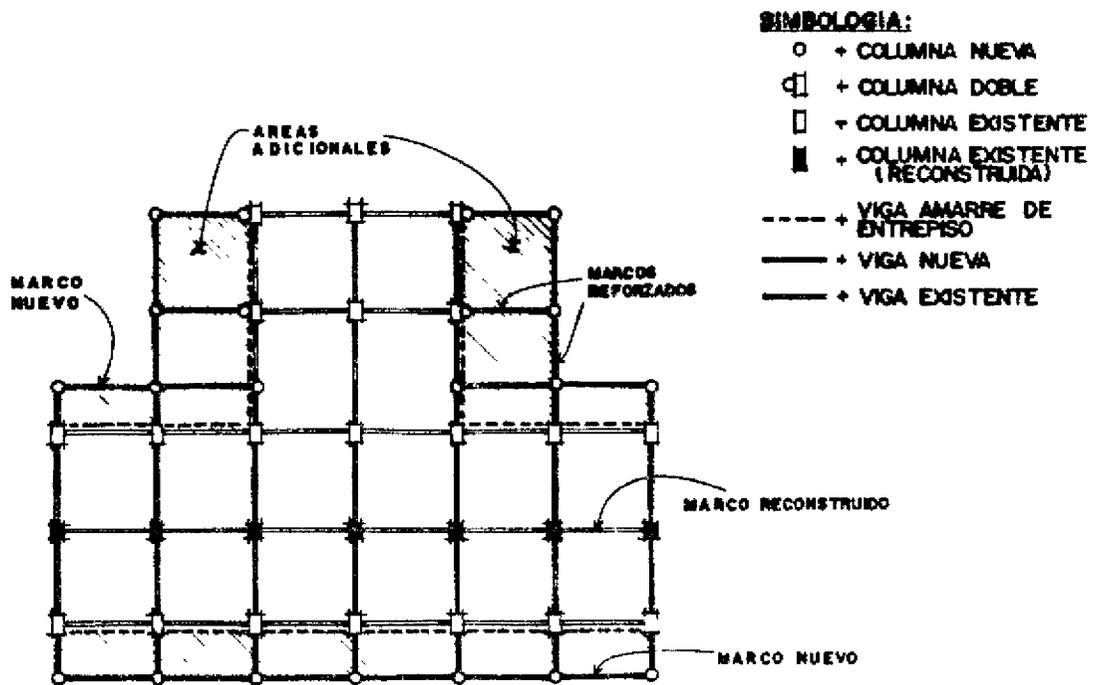


Fig-1 : SOLUCION MEDIANTE MARCOS DUCTILES

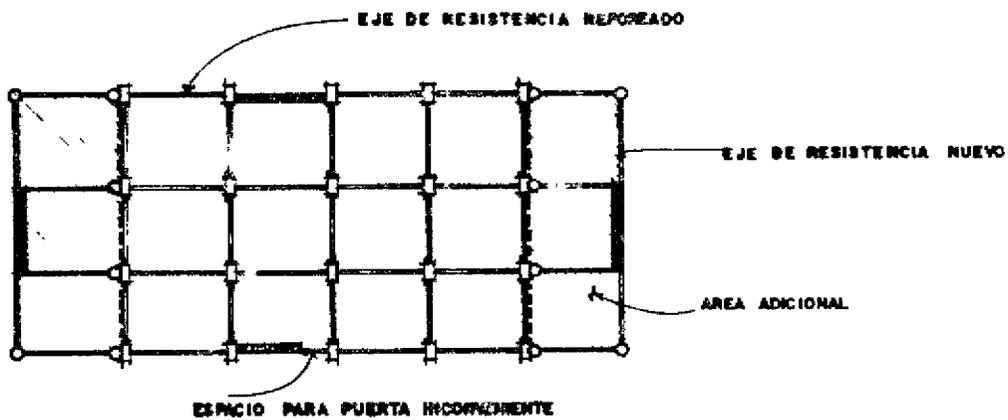


Fig-2: SOLUCION MEDIANTE MUROS DE CORTE

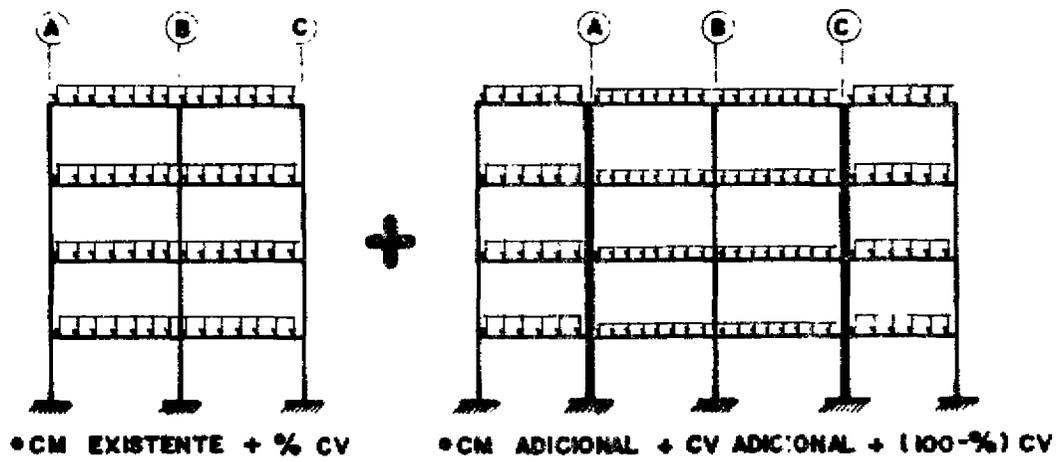


Fig-3: ESQUEMA PARA ANALISIS VERTICAL

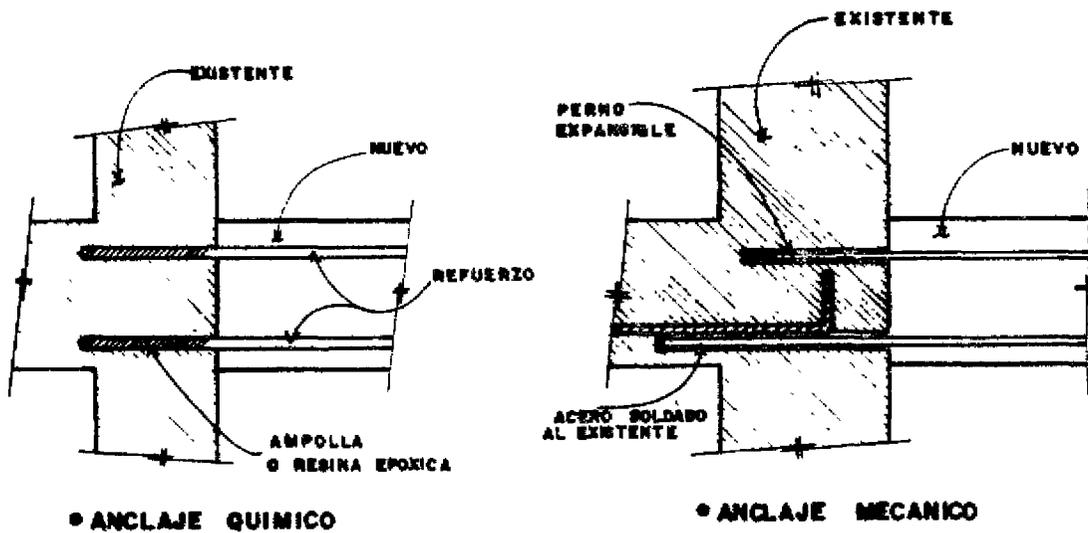


Fig-4: ANCLAJE DE REFUERZO PRINCIPAL

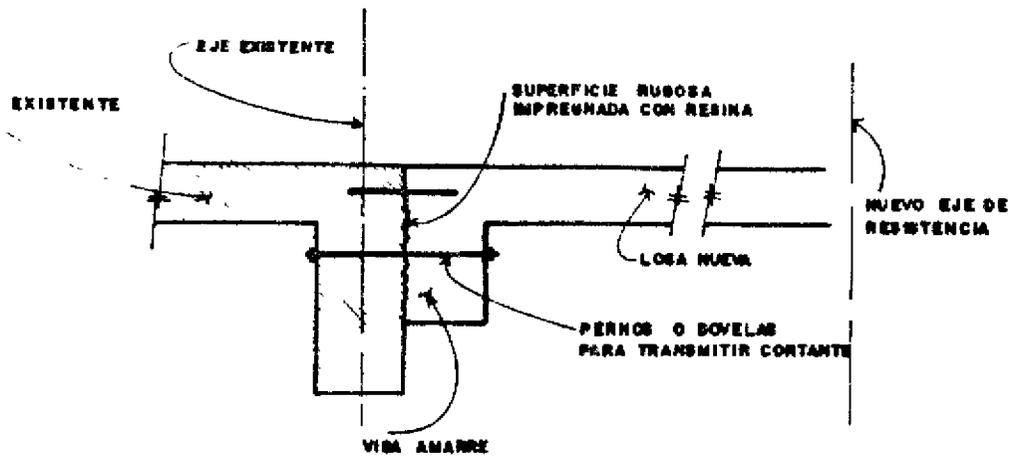


Fig-5: VIGA DE AMARRE PARA TRANSMISION DE CORTANTE LATERAL

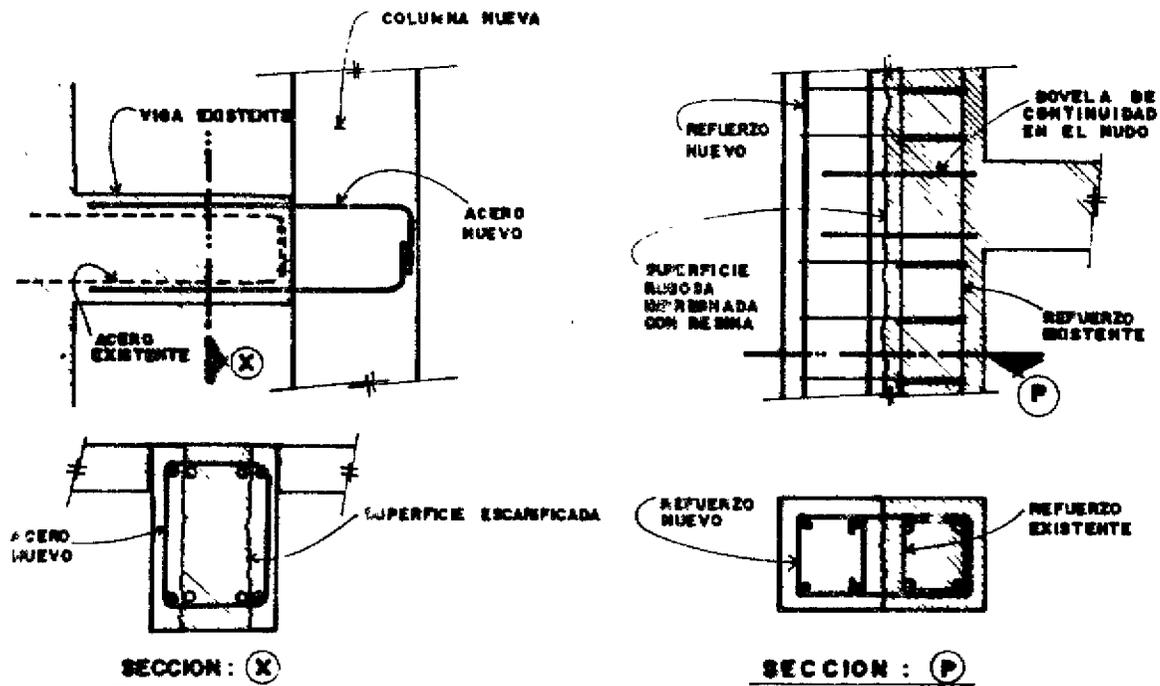


Fig-6a: VIGA EXISTENTE CON COLUMNA NUEVA

Fig-6b: COLUMNA EXISTENTE CON COLUMNA NUEVA (COLUMNA DOBLE)

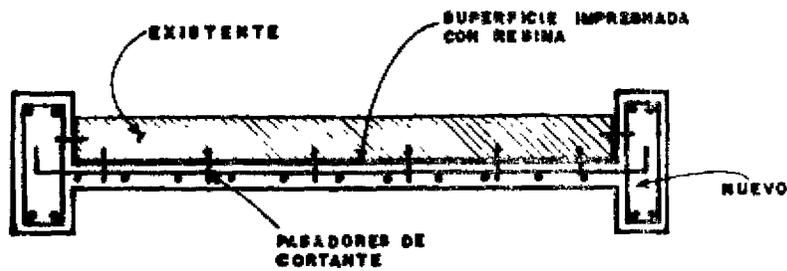


Fig-7a: REFUERZO PARA AUMENTAR CAPACIDAD A FLEXION EN MURO EXISTENTE

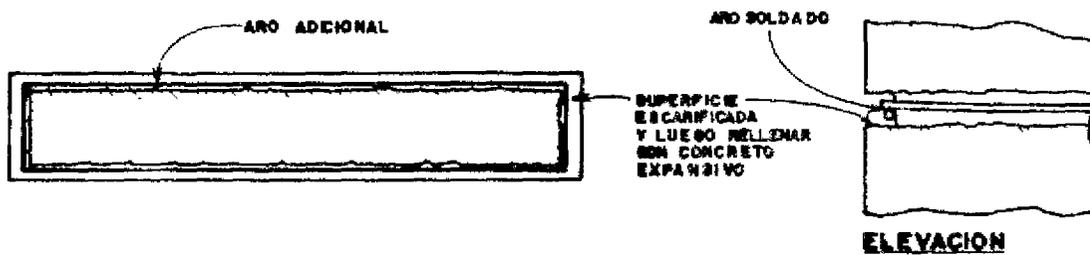


Fig-7b: REFUERZO DE CONFINAMIENTO Y DE CORTANTE EN MURO EXISTENTE

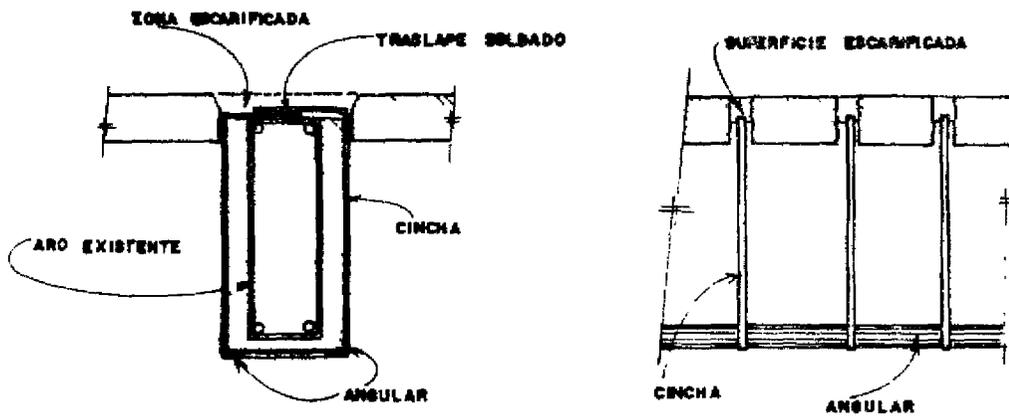


Fig-8: REFUERZO DE CONFINAMIENTO Y DE CORTANTE EN VIGA