

ASPECTOS A CONSIDERAR EN LA READECUACION DE ESTRUCTURAS EXISTENTES

Ing. Roy Acuña Prado, M.Sc.
HERIEL S.A.

RESUMEN

Se presentan las diferentes etapas necesarias para realizar el diseño de estructuras de refuerzo sismo-resistente para edificios existentes, desde la identificación de los problemas existentes hasta la forma de detallar los elementos de refuerzo.

En cada etapa se comentan los factores generales que influyen en la toma de decisiones, principalmente aquellos que están ausentes o difieren de los que se consideran en el proceso normal de diseño de estructuras para edificios que van a ser construidos.

Se comentan las limitaciones que pueden existir para cumplir algunas normas del Código Sísmico de Costa Rica y se ilustra el proceso de diseño con casos reales.

Se hace énfasis en que resolver un problema de readecuación de estructuras es un trabajo global, no sólo estructural, y debe ejecutarse dentro de un balance de los factores de economía y seguridad, considerando las limitaciones impuestas por la etapa de construcción

1. INTRODUCCION

Durante los últimos años se ha empezado a poner atención, por parte de las instituciones públicas y privadas, al tema de readecuación estructural de edificios existentes. No se trata ya de reparar las edificaciones dañadas por sismos, sino anticiparse al evento realizando las medidas correctivas necesarias, principalmente en edificios construidos antes de que se conocieran las normas vigentes.

En nuestro país también se han realizado trabajos de este tipo, impulsados principalmente por las experiencias vividas durante los sismos en la Zona Sur de Costa Rica en 1983, México en 1985 y San Salvador en 1986. Algunas instituciones se han preocupado por evaluar las condiciones de sus edificios e instalaciones, y se puede esperar que en el futuro se realizarán más readecuaciones estructurales, a medida que la sociedad vaya tomando conciencia de su importancia y necesidad.

Por tener puntos de partida totalmente diferentes, el diseño estructural de edificios nuevos y de refuerzo de edificios existentes presentan una gran diferencia en cuanto a los criterios, procedimientos de cálculo, detallado de los elementos y consideración del proceso de construcción.

Reconocer esas diferencias es de suma importancia para lograr la seguridad buscada.

2. RECONOCIMIENTO DE LOS PROBLEMAS ESTRUCTURALES EXISTENTES

Como primer paso en el estudio de la estructura se hace necesario identificar las posibles fuentes de problemas de comportamiento estructural para combinación de cargas gravitacionales y sísmicas.

Algunas de estas características negativas son propias de la estructura y pueden ser detectadas de una manera relativamente fácil, ya que han sido estudiadas y analizadas a la luz de experiencias sufridas en sismos anteriores.

Este es el caso de estructuras con

- columnas cortas, que provocan generalmente falla del concreto en cortante
- rellenos de mampostería no considerados en el análisis, que causan un aumento de rigidez del marco en que están incluidos y un comportamiento diferente al previsto
- discontinuidad de muros estructurales, con fuerte variación de rigidez en los primeros niveles, que genera unas fuerzas que difícilmente pueden llevar las columnas que los soportan, y provoca el efecto de "piso suave"
- anclaje insuficiente de elementos no estructurales, que provoca su caída o daños
- separación insuficiente de edificios adyacentes, que causa choque entre las estructuras
- estructuras tipo columna en voladizo, que deben comportarse en rango elástico
- irregularidades en planta, que pueden causar concentración de esfuerzos en algunos elementos, y torsión en planta, la cual aun es difícil de evaluar.

Las deficiencias de la estructura se pueden referir también a los materiales y a su detallado. Se puede mencionar:

- concreto con resistencia baja
- acero con poca ductilidad o sin corrugaciones
- pobre confinamiento
- anclajes inadecuados
- presencia de corrosión en el acero
- fisuramiento del concreto.

Para completar la etapa de diagnóstico es necesario realizar un estudio de vulnerabilidad sísmica para evaluar el comportamiento de la estructura. Para este estudio se vuelve importante la participación de factores externos a la estructura tales como su ubicación, el tipo de suelo en que se apoya y la importancia del uso que se le da.

Es fundamental en esta etapa del trabajo definir un criterio de evaluación de la estructura, pues es obvio que las estructuras existentes no pueden cumplir con todas las recomendaciones de los modificables códigos de construcción. De esta manera, no es suficiente que una estructura no cumpla con el Código Sísmico de Costa Rica (CSCR) (1) para que se clasifique como deficiente y deba ser reparada.

En el caso particular de los edificios del Hospital México, diseñado en 1962, el estudio de vulnerabilidad realizado (2 y 3), señaló una serie de deficiencias en su estructuración y en su detallado. Estos edificios se utilizarán en este artículo para ilustrar los comentarios que se presentan.

Es importante señalar que las estructuras del edificio principal del Hospital México, clasificable como tipo 3 según la clasificación estructural del CSCR, tienen resistencia más alta que la exigida para diseñar estructuras nuevas ubicadas en esa misma clasificación estructural. Sin embargo, la ausencia de ductilidad, la secuencia de formación de rótulas plásticas, la presencia de fallas prematuras por cortante y otras deficiencias no permiten que la estructura se comporte adecuadamente. En este caso, el resistir las fuerzas de diseño indicadas por el CSCR no es un criterio suficiente para evaluar el comportamiento de las estructuras.

3. ESTRUCTURACION

Luego de haber detectado y clasificado los problemas estructurales de un edificio, corresponde plantear las posibles modificaciones de la estructura.

En general, el objetivo de la reparación estructural abarca una o varias de las acciones siguientes:

- disminuir o eliminar deficiencias de la estructuración actual, de manera que se logre un balance aceptable entre los diferentes elementos estructurales, en relación con sus rigideces y resistencias relativas
- lograr un aumento en la resistencia y/o ductilidad de los elementos estructurales que lo requieran, de manera que satisfagan las condiciones del nuevo análisis
- modificar la respuesta de la estructura, incorporando nuevos elementos, de modo que las sollicitaciones sobre los elementos existentes disminuyan y sea suficiente su estado

- actual de resistencia y ductilidad
- evitar o disminuir los daños sobre elementos no-estructurales.

El tipo de estructuración que se proponga es obvio que depende en gran medida de los problemas detectados en el estudio de vulnerabilidad. Aunque en cada caso pueden ser propuestas un gran número de posibles soluciones, éstas pueden ser clasificadas en dos grupos:

- a.-Estructuración mediante modificación de los elementos existentes y/o adición de nuevos elementos en las líneas de resistencia existentes.

Es el caso de un aumento de la sección de columnas, o el de rellenar un marco para obtener un muro estructural. Se busca con la nueva condición incrementar la resistencia, rigidez y ductilidad de la estructura.

- b.-Estructuración mediante la incorporación de nuevas líneas de resistencia al edificio, ubicadas en su exterior, de manera que tomen parcialmente la carga que debía resistir la estructura existente. Esta carga se debe llevar a niveles suficientemente bajos para que la resistencia y la ductilidad actuales sean satisfactorias.

Este tipo de estructuración requiere una disponibilidad de espacio que no siempre puede ser satisfecha y cuenta entre sus puntos críticos el diseño de los elementos de conexión entre estructuras nueva y existente.

Al analizar cada estructura es posible que se requiera una combinación de las estructuras indicadas.

Es muy importante reconocer que la solución estructural también depende de otras condiciones no estructurales como pueden ser:

- ubicación actual de elementos arquitectónicos, eléctricos y mecánicos, algunos de los cuales no pueden ser o no conviene que sean modificados o reubicados
- utilización del edificio durante las obras de refuerzo, ya que puede ser necesario mantener el edificio parcialmente ocupado
- facilidades o inconvenientes para realizar las obras de construcción
- costo y tiempo de ejecución.

En el caso de los edificios de encamados del Hospital México se plantearon varias posibles soluciones estructurales, basadas en que inicialmente habría que desligar las paredes de mampostería de la estructura principal, debido a los problemas de "columna corta y piso suave" que causan.

La figura 1 muestra la estructuración finalmente adaptada para el Edificio Nor-Oeste.

Fueron determinantes el hecho que el hospital no debe paralizar sus actividades durante el período de construcción, y las condiciones sanitarias que deben imperar en el edificio, para optar por una estructuración externa, reduciendo al mínimo la labor dentro de la edificación.

Igualmente importantes fueron los criterios de iluminación, ventilación y estéticos para desechar la posibilidad de utilizar muros estructurales y escoger un sistema de marcos. Si se aprovechó la existencia de los muros de las escaleras de emergencia, con problemas de estabilidad por estar en voladizo, ligándolos a la estructura para aumentar la rigidez del edificio.

En el Edificio de Quirófanos, sus condiciones especiales de uso y de asepsia, que imposibilitan cualquier trabajo interior, condujeron a una solución de ampliación del edificio y utilización de muros de concreto para aumentar su rigidez (el período cambió de 1.06 seg a 0.42 seg) y disminuir las cargas en vigas y columnas existentes. (Ver figura 2.)

4. NIVEL DE DAÑO ACEPTADO

Para los edificios nuevos que requieren ser diseñados, de acuerdo con el CSCR, el criterio es salvaguardar las vidas humanas durante el sismo para el cual se diseña la estructura aceptandose la posibilidad de que existan daños estructurales importantes que, en algunos casos, provoquen su demolición.

Este criterio puede ser inadecuado y no cumplir con las expectativas de la sociedad cuando se trata de edificaciones muy importantes, que deban dar servicio inmediatamente después de un terremoto, para ayudar a aliviar o no aumentar la crisis. Además, el costo económico y social de los posibles daños pueden hacer inaceptable la aplicación del criterio anotado al diseño de algunas obras.

De la misma manera es cuestionada la obligación de llevar a los edificios existentes a una condición de cumplimiento total de las normas para diseño de edificios nuevos, considerando los altos costos y la gran dificultad de reforzar estructuras existentes.

Por estas razones generalmente se aceptan criterios menos estrictos sobre su comportamiento, en relación con las estructuras nuevas, buscándose una reducción de los riesgos de pérdida de vidas. Una norma muy estricta en este sentido puede provocar efecto desestimulante para reforzar edificios, por su mayor dificultad y costo.

El CSCR aunque no se refiere al refuerzo de estructuras existentes, indirectamente mantiene un criterio similar al expuesto, ya que, para estructuras dañadas por un sismo, indica que deben "ser reparadas de manera que se restablezca al menos su capacidad estructural original". No se obliga a cumplir las condiciones del CSCR para estructuras nuevas a menos que existan "estructuración, diseño o construcción, tales que exista un alto riesgo de colapso durante un sismo futuro".

Con base en lo anterior se puede concluir que el criterio para reforzar las estructuras puede ser el de reducir los riesgos de daños y de pérdida de vidas, aunque éstos sean superiores a los de estructuras nuevas. Especial atención merece la corrección de los problemas de estructuración.

Debe determinarse entonces el riesgo con base en la respuesta probable de la estructura modificada, según sea la resistencia y ductilidad de sus elementos, para escoger la probabilidad de que el sismo para el cual se diseña sea excedido durante la vida útil del edificio.

En el siguiente cuadro se presentan las condiciones que se consideraron para la readecuación estructural de los edificios del Hospital México.

VIDA UTIL (años)	Comportamiento elástico Condición: NO DAÑO Probab. de excedencia: 50%		Comportamiento inelástico Condición: NO COLAPSO Probab. de excedencia: 10%	
	Periodo de Retorno	Aceleración máx del suelo	Periodo de Retorno	Aceleración máx del suelo
50	73	0.165 g	308	0.25 g
70	102	0.175 g	431	0.29 g
100	145	0.200 g	616	0.31 g

Se escogió la probabilidad de excedencia del 10% para la condición de NO COLAPSO, más severa que el CSCR (20%) debido a la importancia que tiene el funcionamiento del hospital inmediatamente después del sismo.

La condición de NO DAÑO se establece de manera que haya un alto grado de seguridad del comportamiento de los edificios durante los sismos con mayor probabilidad de ocurrencia.

Se tomó en cuenta también el resultado del estudio de vulnerabilidad sísmica, que indica una excesiva resistencia en flexión y flexocompresión de los elementos. La mayoría alcanza una resistencia a partir de aceleraciones del suelo superiores a .20 g. En la figura 3 se muestran los niveles de aceleración en los que aparecen daños en los elementos.

La figura 3 también nos da información sobre el posible comportamiento inelástico de la estructura sin modificar, y de la imposibilidad de obtener una ductilidad suficiente para diseñar la estructura modificada con un factor de reducción del espectro de aceleraciones según lo establece el CSCR. Nótese que en algunos casos la falla ocurre por cortante en columnas y además, existen muchos casos de "columna débil - viga fuerte".

Con base en estas consideraciones se decidió darle a la estructura modificada una capacidad tal que soportara aceleraciones del suelo de .18 g, con un comportamiento elástico, o sea, utilizando el Factor de Amplificación Dinámica (FAD) para estructuras tipo 5 y aceleraciones del suelo de .30 g con comportamiento inelástico, aceptándose un FAD calculado como un 80% del FAD de estructuras tipo 5.

Otro aspecto importante a considerar en la respuesta de la estructura existente es el factor de reducción de resistencia ϕ , ya que en algunos casos se excederán los valores usuales para diseño. Por los motivos mencionados, de alto costo de los elementos y dificultad para lograr aumento de resistencia, el valor aceptable para el factor ϕ debe ser cuidadosamente definido para la situación de NO COLAPSO.

5. OPTIMIZACION DE LA ESTRUCTURA PROPUESTA

Al plantear la estructuración, ya sea con refuerzo de los elementos existentes o mediante la adición de nuevos elementos, es claro que se modifican las rigideces relativas de los elementos existentes.

En esta etapa el objetivo es lograr el mejor balance posible entre la rigidez de los elementos existentes y la rigidez de los elementos nuevos o modificados. Se busca realizar el trabajo dentro de las mejores condiciones de seguridad, economía y facilidad de construcción, para que el proyecto sea realizable.

El tener que realizar obras de refuerzo en áreas condicionadas arquitectónicamente, por su utilización o por razones estéticas, además de que cuentan ya con instalaciones eléctricas y mecánicas, provoca que al ir definiendo la estructura se deba considerar un gran número de limitaciones.

El proceso de diseño, iterativo en cuanto a la escogencia de secciones, es mucho más lento debido a que para cada propuesta es necesario investigar la relación carga/resistencia y la demanda de ductilidad en los elementos, así como la respuesta global de la estructura en cuanto a desplazamientos totales y relativos, presiones en el suelo, etc.

En esta etapa no sólo es necesario ajustar las rigideces y resistencias de los elementos, sino que también puede ser necesaria la introducción de nuevos elementos o la eliminación de algunos propuestos.

Durante el análisis de los Edificios del Hospital México, esta etapa debió realizarse de una manera muy minuciosa debido a que el tamaño de las secciones de vigas y el refuerzo en general de vigas y columnas están distribuidos desordenadamente, lo que obliga a revisar todos los elementos, pues no hay dos marcos iguales.

Al proponerse una estructura adicional exterior, debió buscarse una rigidez suficiente que eliminara el problema de choque entre edificios y que redujera las cargas sobre los elementos existentes. Al mismo tiempo la rigidez debía ser controlada de manera que se redujeran al mínimo las fuerzas y los problemas en las conexiones de elementos nuevos y existentes, así como las fuerzas de diseño de la nueva cimentación.

6. DETALLE DE ELEMENTOS Y UNIONES

No se pretende en esta sección abarcar la gran diversidad de posibilidades de realizar este trabajo de detallado de los elementos que se refuerzan, sino presentar algunos comentarios sobre esta última etapa del diseño de refuerzo estructural de edificios existentes.

Los elementos que se modifican pueden tener problemas de resistencia en flexión, flexocompresión o cortante, e insuficiencia en capacidad de deformación.

Cuando se trata de aumentar la rigidez y la resistencia de un elemento, lo que ocurre muy frecuentemente en columnas, esto se puede lograr aumentando la sección y colocando refuerzo longitudinal adicional. Debe considerarse la sección compuesta y es de gran importancia lograr que la sección existente y la nueva actúen conjuntamente.

Esta misma condición es necesaria cuando se incorpora un muro a la estructura para aumentar su rigidez. Las secciones críticas son las áreas de contacto de elementos existentes y nuevos.

Si el problema es de resistencia al cortante o se requiere aumentar la ductilidad de los elementos, hay varias soluciones propuestas; algunas se muestran en la figura 4 (4).

Se debe poner especial atención a que el refuerzo para cortante se independice del extremo del elemento, de manera que no provoque aumentos indeseables de la capacidad en

flexión.

En el caso de vigas que requieren esfuerzo para cortante, es necesario detallar el elemento de manera que el refuerzo transversal esté adecuadamente anclado, para que realmente sea efectivo. Esto puede traer problemas constructivos en la zona superior de las vigas ligadas a losas de entrepiso.

Cuando la estructuración se basa en elementos nuevos en la parte exterior del edificio existente, la unión de losas y la transmisión de fuerzas por vigas se vuelve crítica, ya que se debe asegurar la condición de diafragma de la losa modificada.

Las figuras 5 y 6 muestran detalles de los muros de cimentación del Hospital México, y detalles de unión entre el marco de fachada nuevo y el existente.

CONCLUSIONES

El proceso de diseño para la readecuación estructural de edificios existentes difiere en muchos aspectos del que se realiza para edificios nuevos. Las limitaciones son muy fuertes ya que no sólo se debe resolver el problema estructural, sino que deben considerarse las condiciones arquitectónicas, electromecánicas y de utilización del edificio.

El planteamiento de la estructuración requiere un análisis muy detallado con el fin de verificar que se consigan las características estructurales necesarias para dar como aceptable el comportamiento global del edificio.

Debe reconocerse la posibilidad de que algunos elementos no cumplirán con lo establecido por el CSCR para estructuras nuevas y que los riesgos de sufrir daños sean mayores. Aceptar ese riesgo exige un conocimiento profundo de la manera que la estructura va a responder a las cargas gravitacionales y sísmicas.

El análisis detallado de las modificaciones estructurales debe tener una rigurosidad mayor a la normal, para lograr que cada refuerzo que se coloque cumpla su cometido.

En resumen, aunque el problema sea estructural, la solución no es estructural únicamente, sino que, siendo global, debe involucrar una serie de necesidades y condiciones específicas de cada proyecto. La solución debe plantearse considerando tanto aspectos de seguridad como económicos y de condicionamientos para la construcción.

RECONOCIMIENTO

El autor agradece la participación del Ing. Miguel Cruz A. y del Ing. Carlos Herrera G. en la discusión y el desarrollo del tema del presente artículo.

REFERENCIAS

1. Código Sísmico de Costa Rica, 1986 Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos Editorial Tecnológica de Costa Rica. 1987.
2. Herrera, C. y Quirós, V. Estudio de Vulnerabilidad Sísmica del Hospital México. Facultad de Ingeniería, Universidad de Costa Rica, 1986.
3. Acuña, R. y Cruz, M. Estudio de Vulnerabilidad Sísmica del Hospital México. II Parte. Informe INII 35-87. Instituto de Investigaciones en Ingeniería. Universidad de Costa Rica, 1987.
4. Seismic Design for Existing Structures. Seminar Course Manual / SCM-14 (86). ACI American Concrete Institute. 1986.

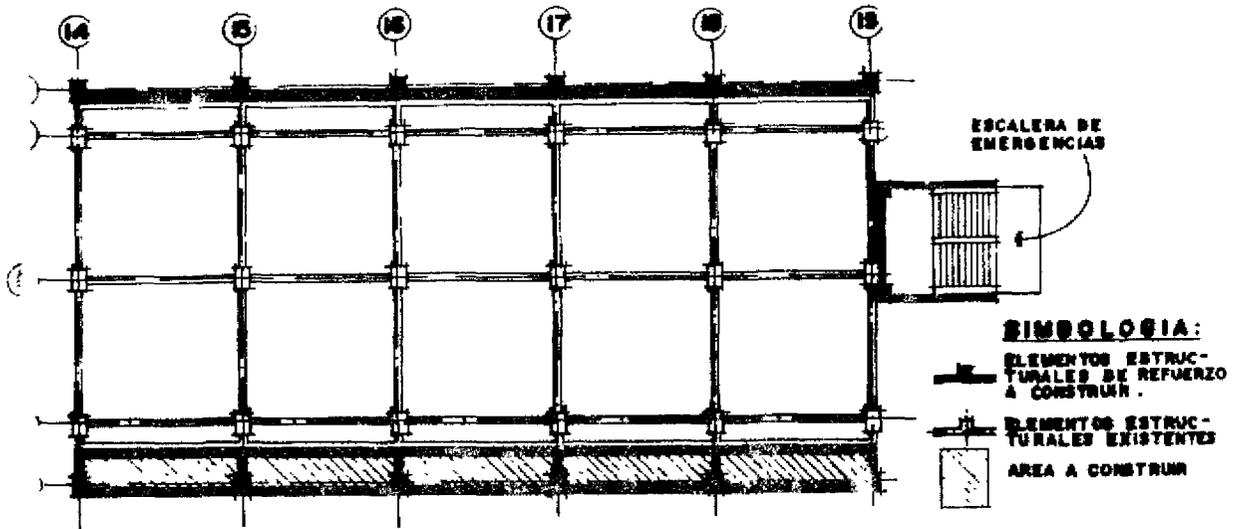


Fig.1: PLANTA ESTRUCTURAL TIPICA EDIFICIO NOR-OESTE Y ESCALERA DE EMERGENCIAS

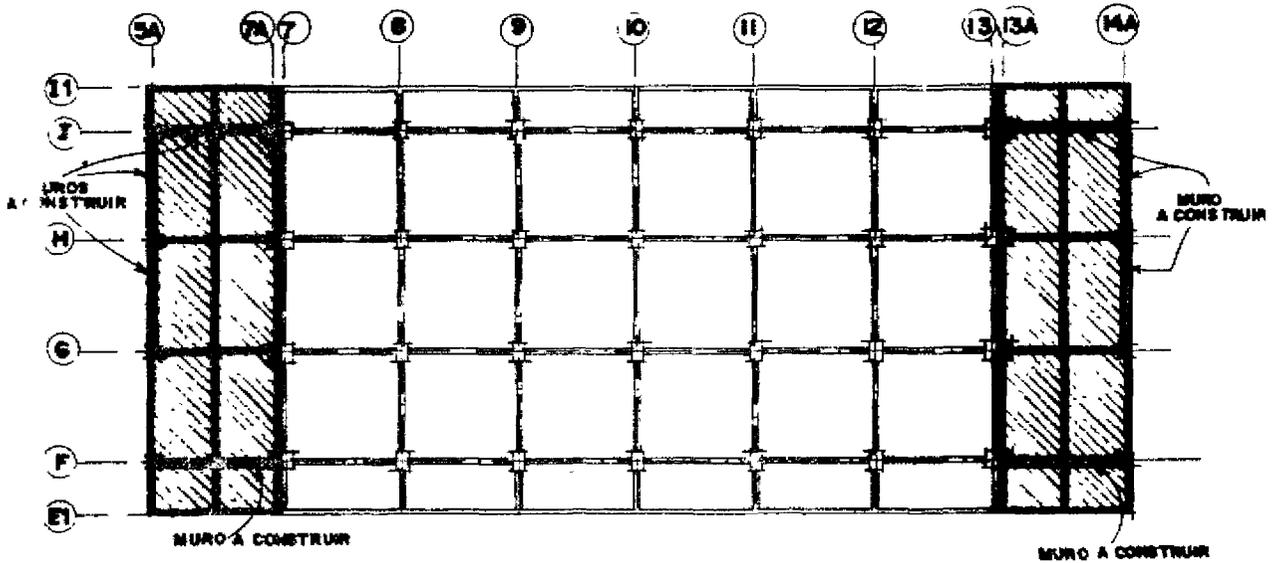


Fig.2 : PLANTA ESTRUCTURAL EDIFICIO QUIROFANOS

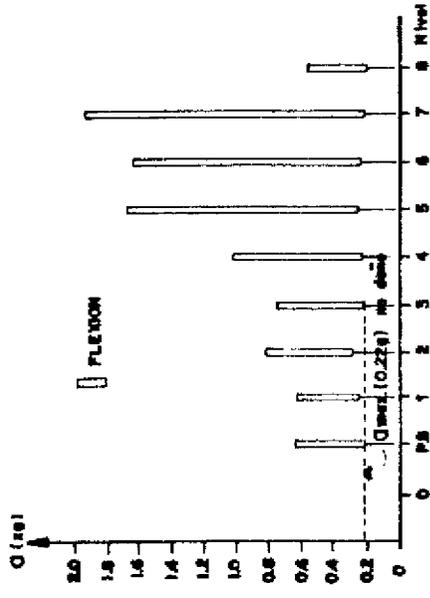
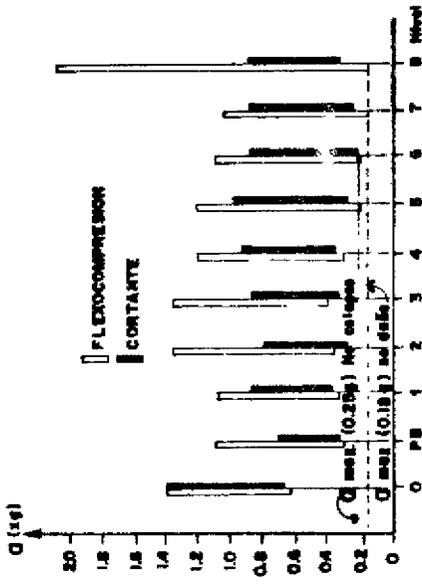


Fig-3 : NIVELES DE ACELERACION PARA LA APARICION DEL PRIMER DAÑO EN ELEMENTOS. EDIFICIO CENTRAL HOSPITAL MEXICO

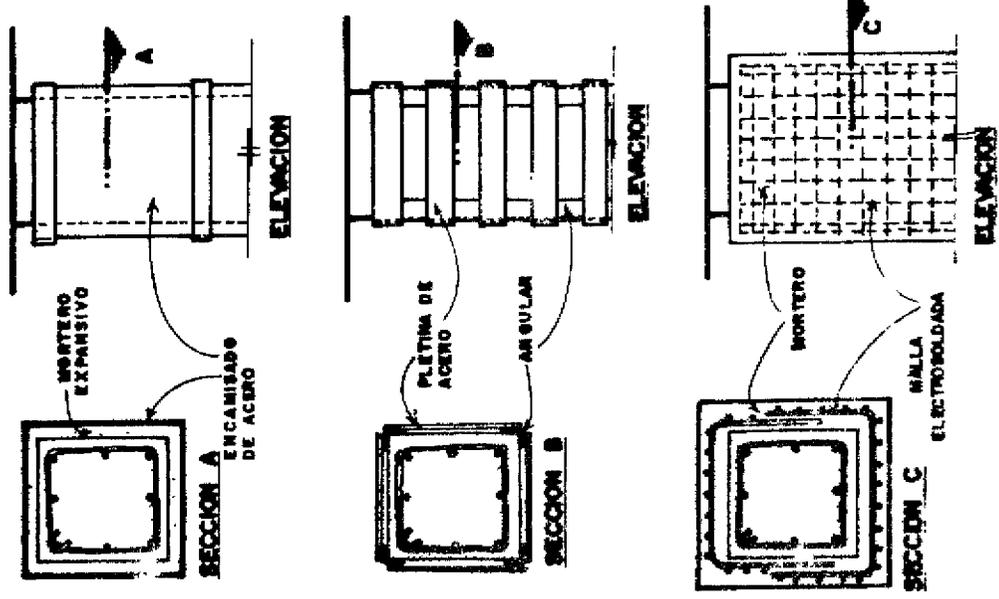
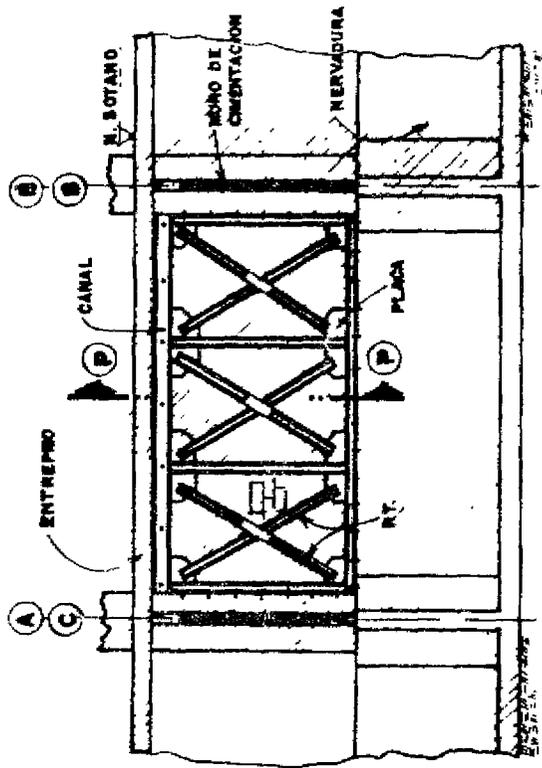
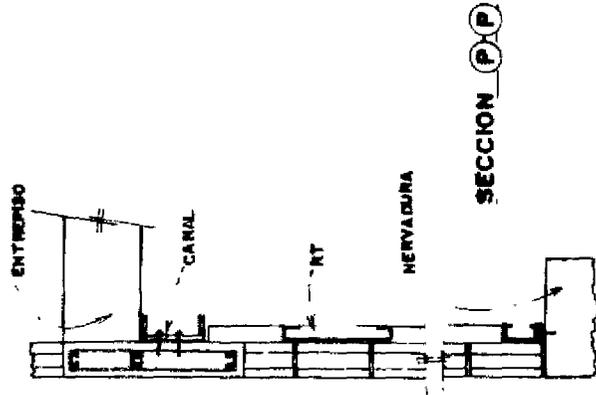


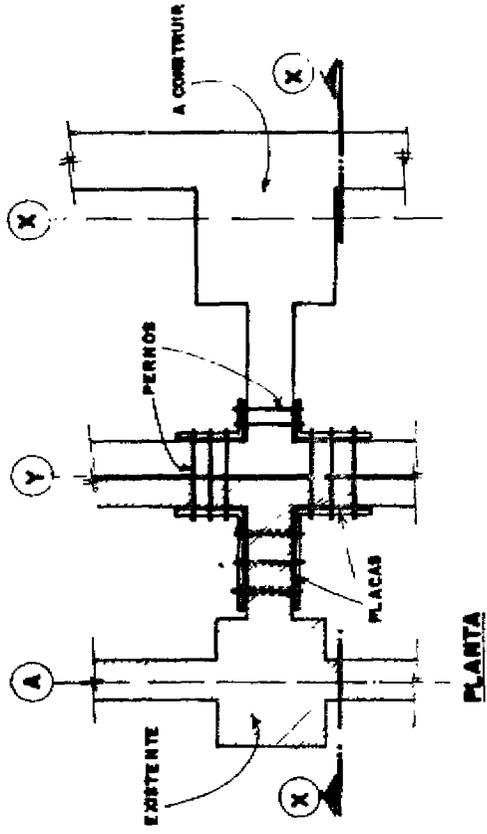
Fig-4 : TECNICAS PARA INCREMENTAR RESISTENCIA EN CORTANTE Y DUCTILIDAD DE COLUMNA



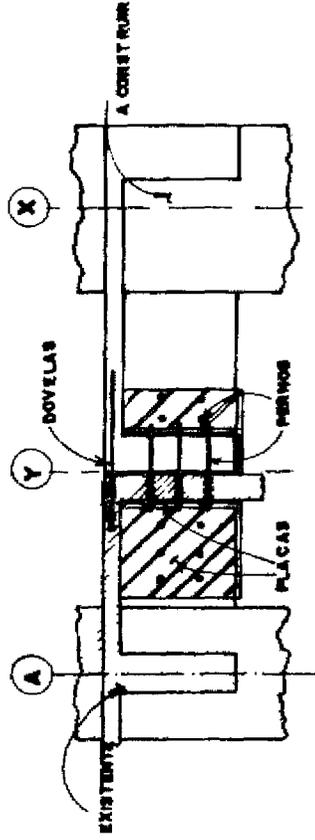
ELEVACION



SECCION P-P



PLANTA



SECCION X-X

Fig -6 : UNION DE ESTRUCTURA EXISTENTE Y EL MARCO DE REFUERZO

Fig -5 : REFUERZO DE MUROS DE CIMENTACION EDIFICIO NOR-OESTE - HOSP. MEXICO