

Tema 15

REFORZAMIENTO Y ADECUACIÓN DE EDIFICIOS EXISTENTES

HENRIQUE ARNAL Y ELINOR NERI DE TORO

Los que olvidan el pasado están condenados a repetirlo

15.1 ASPECTOS GENERALES

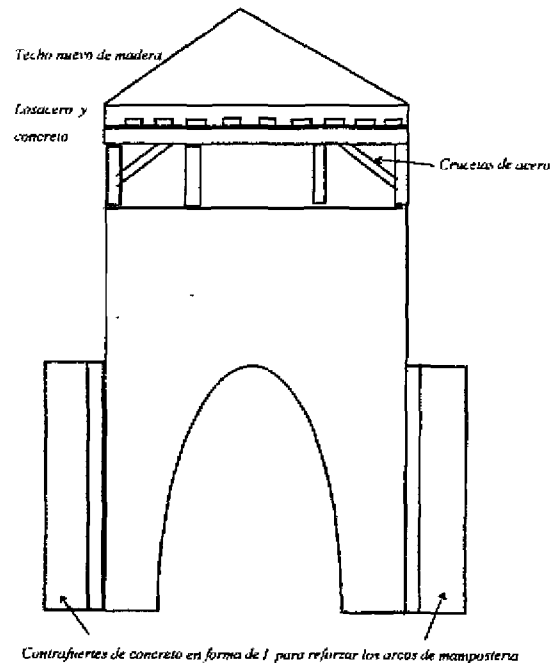
Después de los fuertes sismos ocurridos hace poco tiempo en el Estado de California (terremotos llamados de Loma Prieta y de Northridge) y después del terremoto de Kobe en Japón, en los que sufrieron daños muchos edificios importantes, ha vuelto a tomar actualidad mundialmente, y también en Venezuela, la preocupación por el comportamiento que podrían tener edificios existentes proyectados y construidos hace algún tiempo, cuando las Normas para edificios sismorresistentes eran mucho menos exigentes que en la actualidad.

Muchos edificios proyectados por antiguas Normas resistieron satisfactoriamente el terremoto de Caracas de 1967, algunos con daños medianos o pequeños y otros sin ningún tipo de daños. Sin embargo, ante la posibilidad de que pudiera ocurrir un sismo de mayor intensidad que el de 1967, o uno que afectara fuertemente otras ciudades del país también ubicadas en zona sísmica pero que no sufrieron en el terremoto de 1967, se plantea la interrogante de que hacer con los edificios que sufrieron daños medianos o pequeños y que hacer con edificios importantes, como serían edificios históricos, edificios escolares, edificios necesarios en caso de catástrofe, etc., que fueron proyectados cuando no se conocían demasiado bien el desempeño de los Edificios bajo acción sísmica.

En San Francisco después del terremoto de Loma Prieta, se pusieron en práctica muy diversas ideas para salvar y reforzar edificios que habían quedado dañados en distintos grados por el sismo. El edificio de la Corte de Apelaciones de California, con estructura de acero revestida con mampostería, sufrió daños y fue desalojado después del terremoto. Se repararon los daños y luego, se construyó un sistema de aisladores de caucho y acero bajo las columnas del Edificio para que un posible sismo futuro aisle la edificación.

La Memorial Church de la Universidad de Stanford, construida en 1903, sufrió graves daños en el terremoto de 1906, y quedó, después de reparada, sin la torre central que tenía originalmente. En el sismo de Loma Prieta sufrió nuevamente daños severos en el crucero. Se diseñó un refuerzo a base de elementos de concreto y acero, tratando de afectar lo menos posible el aspecto histórico del edificio (Figura 15.1).

Figura 15.1



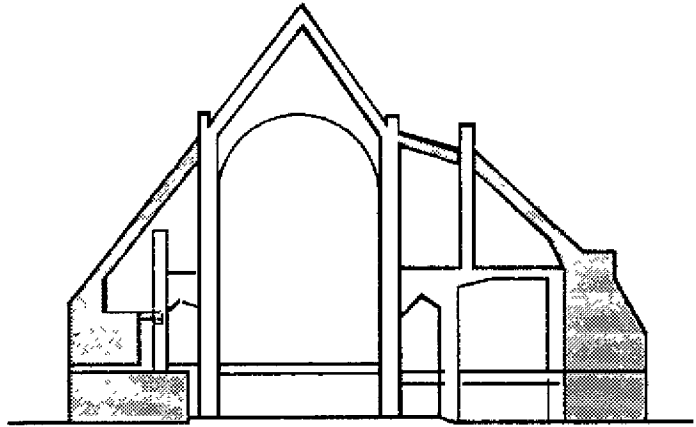
MEMORIAL CHURCH

En él se hicieron los siguientes trabajos:

- Se construyó un nuevo techo de madera contrachapada en sustitución del antiguo techo de madera deteriorado por el sismo.
- Se construyó el crucero con una placa de concreto liviano de 10 cm sobre láminas de metal.
- Se apoyó esta placa sobre una doble cruceta de vigas y columnas de acero.
- Se construyeron unos contrafuertes de concreto para reforzar los cuatro arcos de ladrillo existentes que soportan la doble cruceta de acero.

La Iglesia de Santo Domingo, muy apreciada en California por su estilo Neo-gótico americano, también sufrió daños en el terremoto. Después de repararla, se reforzó ante la amenaza de futuros sismos con unos arbotantes de concreto armado que aumentan su resistencia a fuerzas horizontales (Figura 15.2).

Los ejemplos antes citados constituyen casos interesantes que requirieron ser estudiados de manera particular y resulta difícil establecer recomendaciones generales que puedan ser aplicadas a ellos. El proyecto de reforzamiento de estos casos requiere experiencia, inventiva y creatividad sumadas a los conocimientos técnicos, o sea, requiere la aplicación de lo que David Billington ha llamado "el nuevo arte del diseño estructural".

Figura 15.2

**IGESIA DE SANTO DOMINGO.
REFORZAMIENTO MEDIANTE ARBOTANTES EN ACUERDO CON SU ESTILO**

Es encomiable la preocupación demostrada en los casos citados para prevenir daños en caso de sismos futuros en edificios especiales como podrían ser, por ejemplo, los edificios históricos. El proyecto de reforzamiento de estos casos especiales constituye un reto que debe ser afrontado. Para Edificios existentes convencionales se pueden aplicar procedimientos de pronóstico de desempeño y métodos de reforzamiento como los que se tratan a continuación.

15.2 CASO 1: EDIFICIO DE PÓRTICOS

CARACTERÍSTICAS

Edificio de pórticos deficientemente estructurado.

Numero de pisos = 14.

Altura = 40 metros.

Forma de la planta = Planta irregular constituida por dos cuerpos principales débilmente enlazados por la zona de circulación vertical.

Dimensión (E-O) = 44.5 m. En el sentido corto (N-S) = 16.5 m.

SISTEMA ESTRUCTURAL

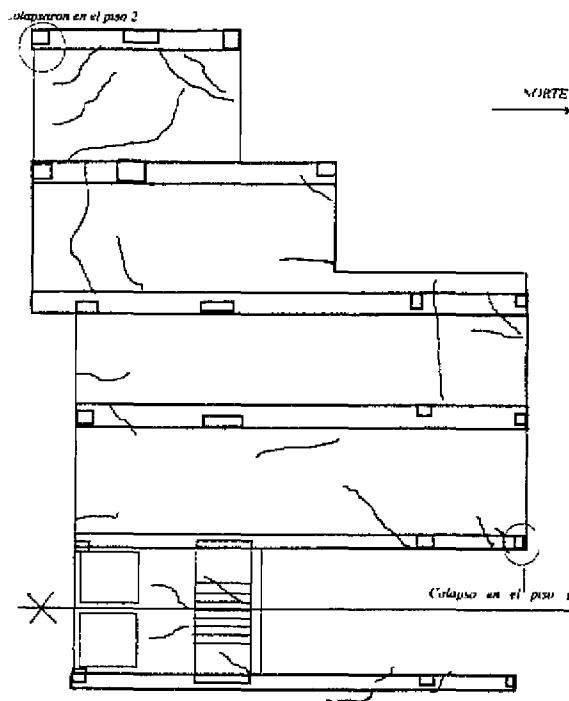
Los elementos estructurales principales son:

- Losa nervada de 30 cm de espesor.
- Vigas planas con anchos comprendidos entre 30 y 80 cm
- Columnas rectangulares aporricadas con las vigas en el sentido N-S.
- En el sentido E-O no hay pórticos definidos y las columnas no están alineadas.
- La escalera es de un solo tramo, maciza de concreto armado y apoyada en las vigas principales.
- La fundación es sobre pilotes.

DAÑOS CONSTATADOS

- Falla de una columna de fachada en el piso 1.
- Falla de 2 columnas de esquina en el piso 2.
- Las losas de los pisos 1 y 2 se agrietaron considerablemente ,en especial en la zona próxima a las columnas que fallaron .La de los pisos 3, 4, 5 y 6 presentaron grietas que disminuyen en espesor y extensión a medida que se asciende
- Las vigas están muy agrietadas en los pisos 1 y 2. Grietas menos abundantes en los pisos 3 y 5.
- La escalera se agrietó en los pisos 1, 2 y 3.

Figura 15.3



**ESTRUCTURA ORIGINAL
Y GRIETAS DEL PISO 1**

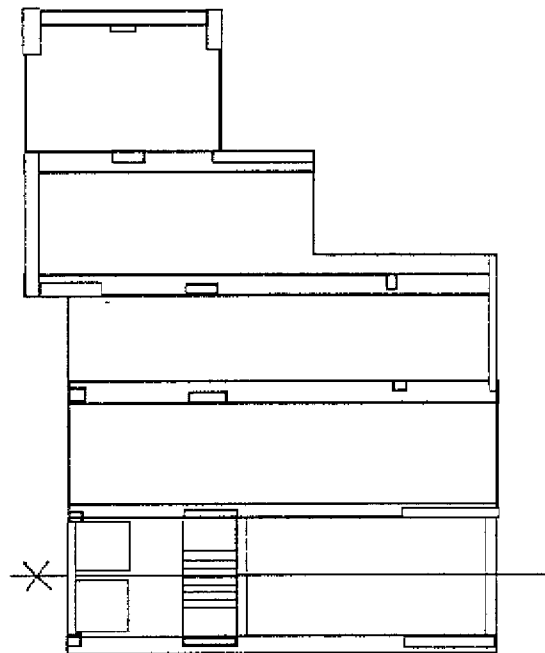
REPARACIONES EFECTUADAS

Dicha estructura está constituida por 10 pantallas en dirección N-S y 5 pantallas y 4 contrafuertes en dirección E-O. Estos elementos se extienden hasta el décimo piso. Los dos cuerpos del Edificio se enlazaron en todos los pisos por medio de una viga entre columnas 30 y 31.

Todas las columnas dañadas quedaron englobadas en los nuevos elementos estructurales. En los casos de colapso de columnas se restituyeron sus condiciones de trabajos por medio de gatos. Las grietas en vigas y losas se repararon con concreto y usando resinas epóxicas para mejorar la adherencia entre las superficies nuevas y viejas.

Los nuevos elementos resistentes se fundaron sobre pilotes y cabezales nuevos.

Figura 15.4



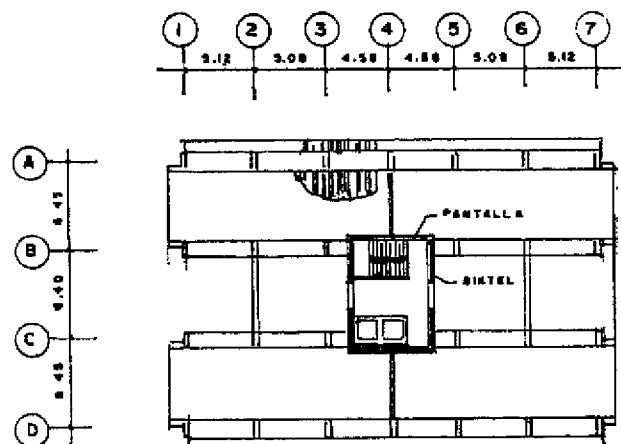
ESTRUCTURA REPARADA

15.3 CASO II: EDIFICIO DE PÓRTICOS Y PANTALLAS

CARACTERÍSTICAS (Figura 15.3)

- Numero de pisos =19.
- Altura total=52 m.
- Forma de la planta= En H simétrica en planta.
- Dimensiones =30x20 m.
- Sistema estructural= Losa nervada de 25 cm, vigas planas en dirección E-O solamente 26 columnas de concreto, un núcleo de pantallas de concreto en el centro del edificio. Las pantallas tienen forma de U y están unidas por dinteles.

Figura 15.5



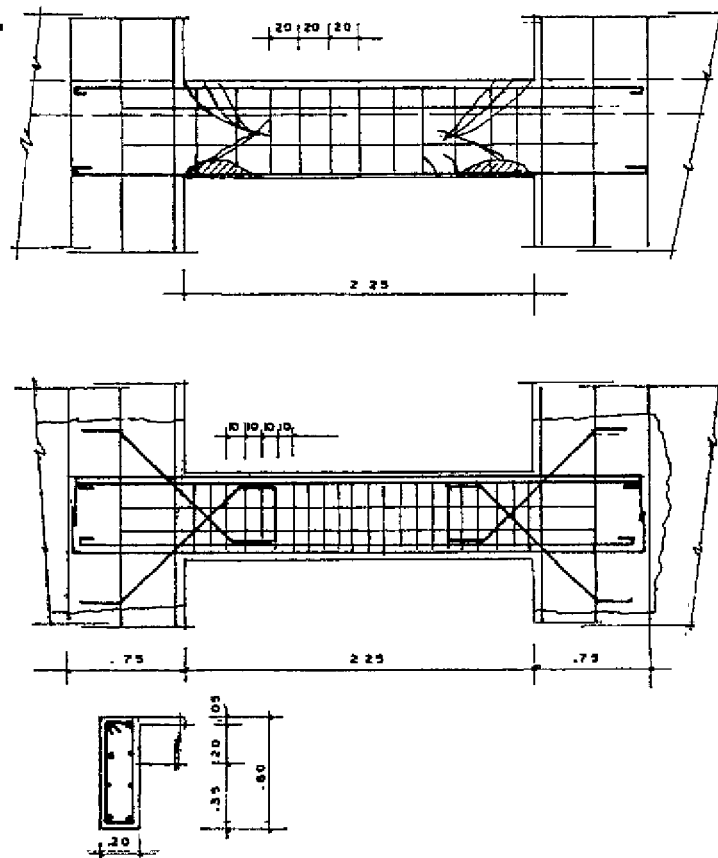
PLANTA TIPO DEL EDIFICIO

DAÑOS CONSTATADOS

Durante el sismo del 29 de Julio de 1967, el edificio sufrió los daños siguientes:

- Los dinteles de conexión entre las 2 mitades de la torre se agrietaron en los primeros nueve pisos.
- En los pisos 2,3,4 y 5, este agrietamiento era serio, con incipientes fallas progresivas en la vigas extremas; en el piso 1 y del 6 al 9, las grietas eran diagonales sencillas.
- Aparecieron grietas locales en la losa en la vecindad inmediata de los dinteles dañados.
- Estas grietas estaban confinadas a los pisos 2,3,4 y 5.
- Hubo agrietamiento en algunas caras de las pantallas de concreto del núcleo central.
- Hubo daños extensos en tabiquería, en especial en los pisos 2 a 5. La más afectada fue la pared del eje 4 que conecta la torre de concreto con las columnas de fachada, así como las paredes de las fachadas Este y Oeste y los tabiques del eje 5 que se derrumbaron en los pisos inferiores.
- Fuera de los dinteles ya mencionados, el resto de la estructura no fue afectada por el sismo. Por encima del noveno piso no presentaba daños
- Algunas columnas tuvieron agrietamiento incipiente en la zona de pórticos.

Figura 15.6



DAÑO EN DINTELES Y
REFUERZO DEL DINTEL
RECONSTRUIDO

REPARACIÓN EFECTUADA

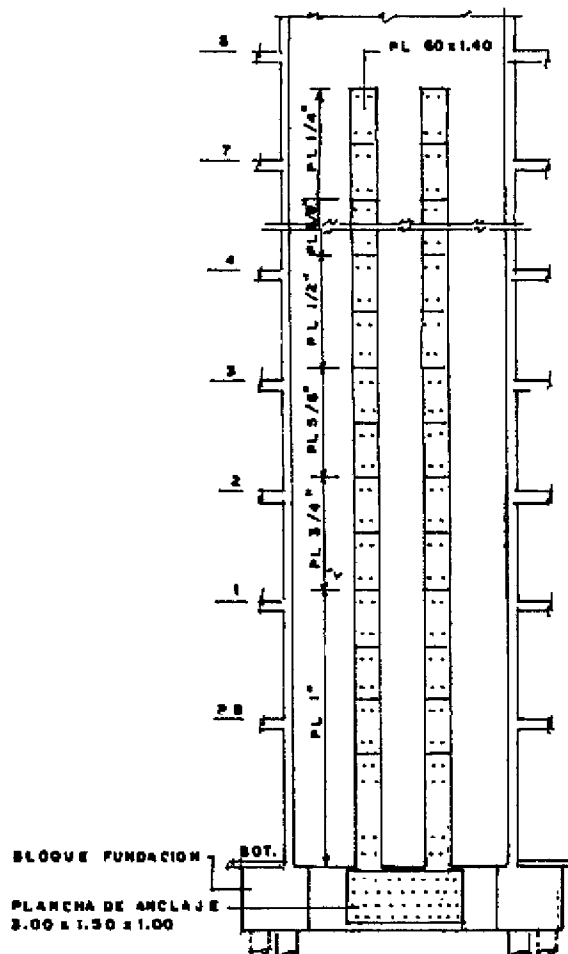
Demolición y reconstrucción de los dinteles en los pisos 1 a 5 que fueron los más dañados. Se reforzaron convenientemente para la fuerza cortante y la flexión. Para la adherencia del concreto nuevo con el viejo, se uso resina epóxica apropiada.

Los dinteles por encima del piso 5, donde hubo daños menores, se repararon inyectando las grietas con resina epóxica de baja viscosidad.

Se reforzaron las pantallas con planchas de acero en las caras donde hubo agrietamiento. Ellas se extienden desde la fundación, donde están convenientemente ancladas hasta el séptimo piso. Se fijaron a la superficie de concreto mediante pernos ASTM-A193 grado B7 con rosca en toda su longitud. Después de colocados se inyectaron los agujeros con mortero expansivo. Las planchas tienen espesores variables de abajo hacia arriba. Las piezas de acero tienen dimensiones pequeñas para que puedan manejarse manualmente. Antes de su colocación se pinto la superficie de concreto con epoxi y se remato con un mortero rico en cemento para obtener un buen asiento para las planchas. Como ellas tenían que soldarse entre si, se ubicaron sin apretar las tuercas a fin de permitir las deformaciones térmicas durante el proceso de soldadura. Al terminar, se apretaron las tuercas.

Figura 15.7

REFUERZO DE
LAS PANTALLAS DAÑADAS,
CON PLANCHAS DE ACERO



Para un mejor control de la desplazabilidad del Edificio, se unieron las 2 mitades de la torre entre el nivel techo y la sala de máquinas con un diafragma de cierre de 20 cm de espesor.

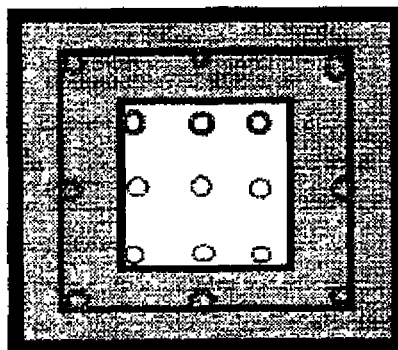
Los tabiques destruidos se reconstruyeron reforzando su friso con malla de alambre para hacerlos menos vulnerables a otro posible sismo.

REFUERZO DE COLUMNAS

Las columnas se reforzaron añadiendo refuerzo metálico y engrosándolas 10 cm a lado y lado para lograr un buen vaciado del concreto (ver Figura 15.8).

Figura 15.8

(sin escala)



REFUERZO DE COLUMNAS

Se agregó una cantidad de refuerzo igual a 1.5 veces la diferencia entre el acero requerido y el existente procediendo de manera conservadora.

La superficie de la columna se pintó con epoxi previamente al vaciado del concreto lo cual debe hacerse mientras el epoxi está todavía pegajoso; para ello debe usarse un producto de secamiento lento.

15.4 CASO III: EDIFICIO DE PANTALLAS DE CONCRETO

Este edificio fue proyectado y construido poco antes del terremoto de 1967 sufrió daños medianos en ese sismo, tales como los siguientes:

- Agrietamiento de dinteles en los pisos 1,2,3 y 4.
- Señales de falla de compresión y fallas de tracción en los bordes de algunas pantallas.
- Grietas bastante pequeñas en algunas losas de entrepiso.

CARACTERÍSTICAS DEL EDIFICIO

- Numero de pisos=11.
- Planta rectangular de 15.2x7.60 m.
- Altura total=33 m.
- Sistema estructural =placas de concreto macizas de 15 cm y pantallas de concreto en las dos direcciones principales de la planta.
- Fundaciones sobre pilotes. Se revisó el edificio para determinar su comportamiento en un posible sismo futuro de mayor intensidad que el de 1967.

El proceso de revisión consistió en lo siguiente:

1) **Inspección Ocular:** para determinación de los daños.

2) **Estudio Esclerométrico:** para determinación de la calidad del concreto. Como los resultados fueron bastante uniformes, concordante con la calidad del concreto establecida en el proyecto y con la edad del material, no se consideró necesario hacer ensayos de núcleos de concreto. (se recuerda que los resultados del estudio esclerométrico deben reducirse en 15% en elementos estructurales sometidos a carga y aproximadamente en 10% para tomar en cuenta la carbonatación superficial que ocurre en concretos construidos con mucha anterioridad al ensayo).

3) **Análisis Estructural:** en computadora con un programa apropiado para edificios de pantallas. Se determinaron las áreas de acero requeridas.

Este análisis se hizo aplicando las siguientes Normas: Normas de Acciones Mínimas Covenin-Mindur 2002-88 y Normas Covenin-Funvisis para Edificaciones Antisísmicas 1756-82. Como ya se ha comentado, existen diferencias de criterio entre la magnitud del coeficiente sísmico que conviene aplicar a los edificios existentes que soportaron el sismo de manera medianamente satisfactoria, aunque se ha venido generalizando la aplicación de los siguientes criterios:

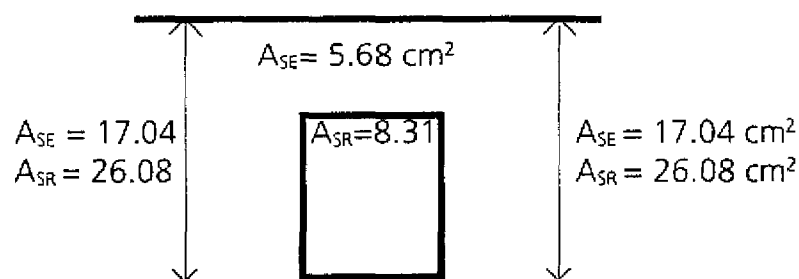
- i) La edificación no debe sufrir daños bajo la acción de sismos menores;
- ii) Se aceptan daños económicamente reparables en elementos no estructurales, bajo la acción de sismos moderados,
- iii) Se aceptan daños estructurales importantes pero reparables en sismos fuertes;
- iv) En ningún caso es aceptable el colapso del edificio, o daños tan graves que lo hagan irrecuperable.

Aplicando estas ideas se hizo el análisis estructural con el coeficiente sísmico de las Normas antes citadas y una vez conocidos los requerimientos de refuerzo se decidiría el alcance de la reparación y reforzamiento.

4) **Correlación Estructura-Terreno:** Es favorable por tratarse de un edificio rígido en terreno blando.

5) **Comparación de la Cantidad de Acero:** requerida por el análisis con la cantidad existente en los diversos elementos. Se detectó lo siguiente:

Figura 15.9



El acero a suministrar sería $(26.08-17.04) = 9.04$; $9.04 \times 1.5 = 13.56 \text{ cms}^2$

A_{SE} = Acero existente

A_{SR} = Acero requerido

El acero existente en el borde de las pantallas estaba constituido por 6ϕ de $3/4''$ ($A_s = 17.04 \text{ cm}^2$), en los dinteles existían 2ϕ de $3/4''$ arriba y 2ϕ de $3/4''$ abajo (5.68 cm^2)

El acero de la zona central de la pantalla cumple la Norma de cuantía mínima; $\rho_h = \rho_v = .0025$.

Tabla 15.1

EJE	PANTALLA	$A_{S \text{ EXIS}}$	$A_{S \text{ REQ}}$
00	W_1	30.42	53.1
0	W_2	11.36	23.2
1	W_3	17.04	26.08
2	W_4	7.92	20.2
3	W_5	7.92	16.4
4	W_6	11.36	18.3

Éstos valores corresponden al nivel 1 que es el más desfavorable. Se observa que hay deficiencia de acero en la mayoría de las pantallas reseñadas.

El edificio debe ser reforzado añadiendo acero en los extremos de las pantallas, aún cuando su parte central de las pantallas esta bien reforzada para corte con una malla apropiada de refuerzo.

Tomando en cuenta estos resultados se recomendó reforzar pantallas y dinteles en la forma que se describe a continuación:

PROCEDIMIENTO DE REFUERZO

A fin de minimizar la ruptura de elementos existentes se hizo un proyecto de engrosamiento de pantallas y dinteles agregando acero en los extremos o cabezas de las pantallas y agregando barras horizontales y diagonales en los dinteles, así como estribos.

En los extremos libres de las pantallas, donde no hay dinteles se siguió un procedimiento similar, el cual resultaba más sencillo constructivamente.

La afectación arquitectónica por estos elementos de refuerzo fue muy pequeña.

Las grietas en las placas se recomendó repararlas inyectando un producto epóxico.

15.5 CASO IV: EDIFICIO APORTICADO

15.5.1 ASPECTOS GENERALES

En este caso se trata de un edificio importante en caso de catástrofe por tratarse de un Edificio de Comunicaciones, sus características son las siguientes:

- Numero de pisos=10.
- Altura=28 m.
- Forma de la planta =rectangular.
- Dimensiones=50x30 m
- Sistema estructural = Losa nervada en dos direcciones ($h=30$ cm).
- Pórticos de concreto en las dos direcciones principales de la planta.
- Fundación sobre pilotes.
- Terreno blando.

15.5.2 COMPORTAMIENTO BAJO SISMO

El edificio fue proyectado y construido poco antes del sismo de 1967. No había sido ocupado cuando ocurrió, o sea que no tenía cargas variables, que en los edificios de correos es de 700 K/m^2 . La construcción no sufrió daños en el terremoto, sin embargo, por el hecho de no haber estado cargado cuando el sismo, por ser un Edificio flexible en terreno blando, por que va a ser remodelado para darle un uso más eficiente y porque fue proyectado por Normas viejas, se decidió una evaluación de su posible comportamiento bajo acción sísmica, según se describe a continuación:

15.5.2.1 INSPECCIÓN OCULAR

En ella se observó que la estructura está en buenas condiciones y presenta un aspecto satisfactorio sin presencia de grietas ni cangrejeras. Excepción a estas condiciones es el techo del pent-house que tiene una estructura de mal aspecto, con cangrejeras, cabillas a la vista en las losas y fisuras en algunas vigas. Se piensa que estos defectos no son atribuibles a la acción sísmica sino a un proceso constructivo de baja calidad en contraste con el resto del Edificio.

15.5.2.2 ESTUDIO ESCLEROMÉTRICO

Se efectuó un sondeo esclerométrico del Edificio obteniéndose resultados satisfactorios, con un valor de la resistencia del concreto de $f'c=280 \text{ K/cm}^2$

15.5.2.3 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE BÁSICO DE RESISTENCIA SÍSMICA E_o

Se aplicó un método similar a los explicados en la Sección 14, obteniéndose la posibilidad de daños moderados en caso de un sismo. Debido a que este índice no es completamente satisfactorio para un edificio importante en caso de catástrofe, donde interesa la menor alteración posible, se consideró conveniente hacer una investigación más a fondo del edificio.

15.5.2.4 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE SÍSMICO PROBABLE

Tomando en cuenta las condiciones específicas del terreno del edificio, el tipo de suelo, la distancia a fallas geológicas y la intensidad probable del sismo en la región, se obtuvo un coeficiente sísmico de $C=0.079$, bastante próximo al de las Normas

15.5.2.5 ANÁLISIS ESTRUCTURAL BAJO CARGAS VERTICALES Y ACCIÓN SÍSMICA

Mediante un programa apropiado de computación se hizo este estudio empleando métodos de análisis dinámico, partiendo de las dimensiones y cargas reales de la construcción y con los valores de $f'c$ y C obtenidos en los estudios antes mencionados.

Se obtuvieron los requerimientos de acero en un pórtico representativo. Estos valores se compararon con los valores reales existentes indicados en la planilla correspondiente.

15.5.2.6. COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE ACERO

Se concluyó que resulta conveniente reforzar algunas vigas y columnas del Edificio pero que sus condiciones generales, aparte de estos casos específicos, son satisfactorias con lo cual esta en capacidad de soportar un posible sismo futuro.

Tabla 15.2

ACERO EN LOS APOYOS	ÁREA (cm ²)				
	Existente (superior)	29	42	42	42
Requerido	31	44	44	43	32
Existente (inferior)	9	11	6	9	9
Requerido	22	32	32	32	21

15.5.3 PROYECTO DEL REFUERZO

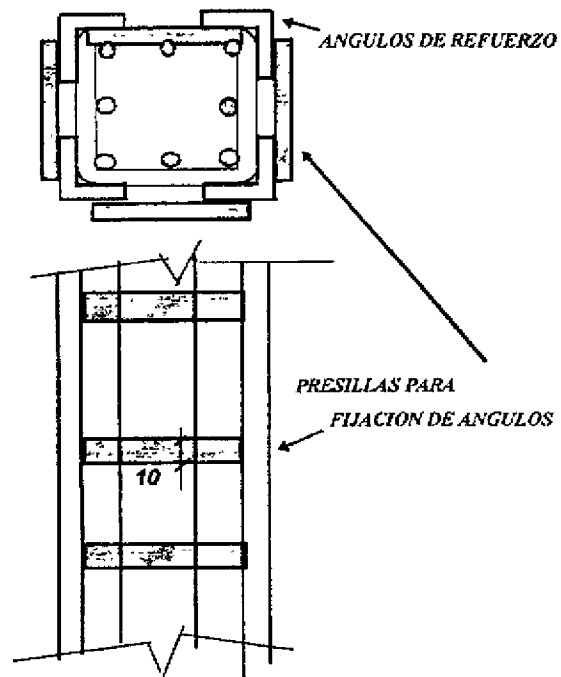
15.5.3.1 REFUERZO DE LAS COLUMNAS

Las columnas se reforzaron con ángulos metálicos colocados en las esquinas las cuales fueron previamente redondeadas para una mejor colocación de los ángulos.

Las presillas constituidas por planchas de 3/8" se soldaron estando calientes, para que al enfriarse se acortaran produciendo un buen contacto entre los ángulos y la superficie de la columna.

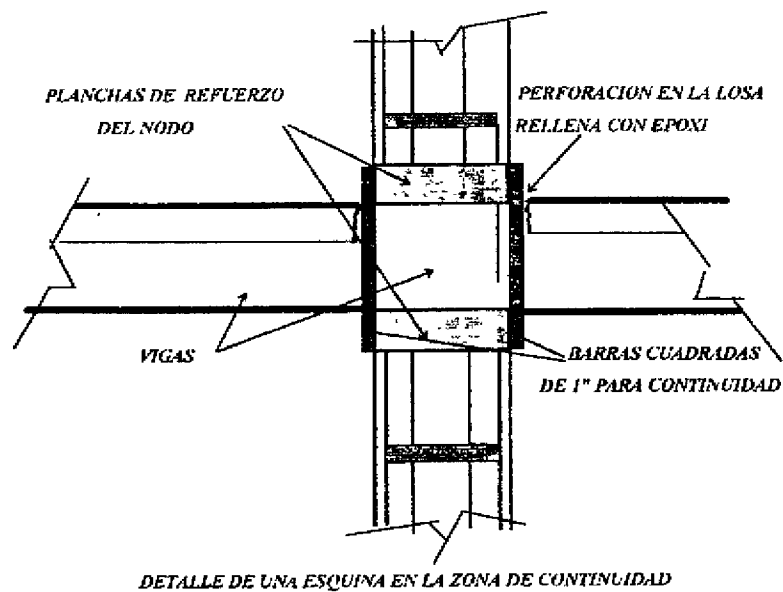
Para hacer más fuerte el nodo y mantener la continuidad de un tramo de columna con el tramo superior, se colocaron presillas más amplias en el nodo y barras cuadradas de 1" para lograr continuidad. (Ver figuras). Las presillas o planchas de refuerzo del nodo se dispusieron para lograr una mejor unión con las barras cuadradas de 1"

Figura 15.10

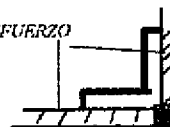


REFUERZO DE LAS COLUMNAS

Figura 15.11



PLANCHA DE 3/4" PARA REFUERZO DEL NODO



REFUERZO DE LAS VIGAS

15.5.3.2 REFUERZO DE LAS VIGAS EN LA FIBRA INFERIOR

En algunos nodos se encontró que la acción sísmica llegaría a producir tracción en la fibra inferior de la viga y que se requiere aumentar el área de acero allí existente.

$$\text{As requerido} = 17.2 \text{ cm}^2 \quad \text{As existente} = 11.61 \text{ cm}^2$$

Se requiere añadir 5.4 cm^2 , lo cual se hará pegando con epoxi una banda de acero en la cara inferior de la viga.

Esta solución es cada vez más empleada para reforzar estructuras existentes por no requerir, salvo casos especiales, hacer perforaciones, desconchados o remoción de partes de las vigas por reforzar.

Para aplicar esta solución se recomienda lo siguiente:

- a) Emplear un espesor de material epóxico no mayor de 1.5 mm.
- b) La resistencia de este material debe ser la siguiente:

Resistencia a compresión

$$f_{\text{comp}} \geq 1000 \text{ K/cm}^2$$

Resistencia a flexo-tracción

$$F_{\text{ft}} \geq 400 \text{ K/cm}^2$$

- c) Se prefieren bandas metálicas con espesor "t" menor o igual a 3 mm.
- d) El esfuerzo de adherencia se calculará por la expresión.

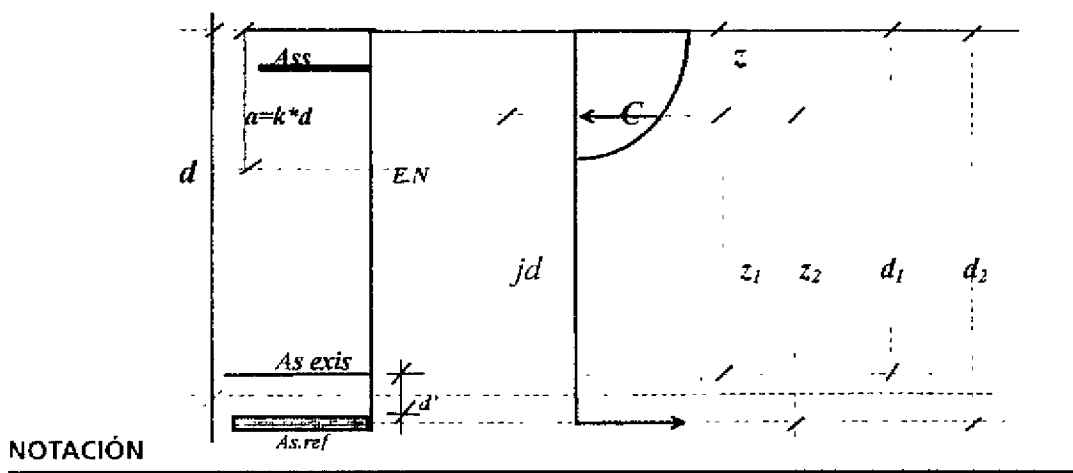
$$\tau = \frac{V}{b \cdot Z_2 \left[1 + \frac{A_{\text{exist}} (d_1 - a) \cdot Z_1}{A_{\text{ref}} (d_2 - a) \cdot Z_2} \right]}$$

- e) Se deberá tener

$$\tau \leq 0.3 \sqrt{f'c^2} \left(0.6 + \frac{0.4}{\sqrt[3]{h}} \right)$$

- f) La notación se explica en la siguiente Figura 15.12.

Figura 15.12



g) Se acostumbra hacer este cálculo en condiciones de servicio por las siguientes expresiones.

$$\text{si: } p = \frac{A_{SE} + A_{S_{REF}}}{bd} \quad p' = \frac{A_{SS}}{bd} \quad n = \frac{E_s}{E_c} \quad E_c = 15100 \sqrt{f'_c}$$

$$k = \sqrt{2n \left(p + p' \frac{d'}{d} \right) + n^2 (p + p')^2} - n(p + p')$$

$$z = \frac{\frac{k^3 * d}{3} + 2np'd'(k - \frac{d'}{d})}{k^2 + 2np'd'(k - \frac{d'}{d})} \quad jd = d - z$$

h) En caso de que no se cumplan las limitaciones establecidas en los puntos c y e se deben anclar las bandas en sus extremos mediante pernos con resistencia apropiada para la fuerza cortante

i) Se recomienda usar para la banda de acero un área:

$$A_{S_{ref}} = 1.5 (A_{REQ} - A_{EXIS})$$

j) No se recomienda emplear bandas con espesor mayor de 10 mm

k) No se recomienda usar esta solución en estructuras de concreto que tengan resistencia menor de 180 K/cm²

En el caso de este Edificio se diseñó una banda de:

$$A_{REF} = 30 \cdot .3 = 9 \text{ cm}^2$$

Como se requieren 5.6 cm^2 se cumple con la recomendación del punto antes citado.

Se verifica por adherencia la solución adoptada

Se tiene la siguiente disposición;

$$b = 30 \quad d' = 5 \quad h = 65$$



$$A_{ss} = 25.35 \text{ cm}^2$$

$$p' = \frac{25.35}{60 \cdot 30} = .014$$

$$A_{s \text{ exis}} = 11.61 \text{ cm}^2$$

$$p = \frac{11.61 + 9.0}{60 \cdot 30} = .011$$

$$E_c = 15.100 \sqrt{210} = 218.820$$

$$A_{s \text{ ref}} = 9.0 \text{ cm}^2$$

$$n = \frac{2.100.000}{238.750} = 10$$

$$k = \sqrt{2 \cdot 10 \left(.011 \cdot .014 \cdot \frac{5}{60} \right) + 100 \left(.011 + .014 \right)^2 - 10 \left(.011 + .014 \right)} = .30$$

$$z = \frac{\frac{3^3 \cdot 60}{3} + 2 \cdot 10 \cdot .014 \cdot 5 \left(.30 - \frac{5}{60} \right)}{.3^2 + 2 \cdot 10 \cdot .014 \left(.30 - \frac{5}{60} \right)} = 5.6 \text{ cm}$$

$$k \cdot d = 60 \cdot .30 = 18 \quad Z_1 = 54.4 - 2.5 = 51.9 \text{ cm} \quad Z_2 = 54.4 + 2.5 = 56.9 \text{ cm}$$

$$d_1 = 60 - 2.5 = 57.5 \text{ cm} \quad d_2 = 60 + 2.5 = 62.5 \text{ cm} \quad V = 34.000 \text{ kg}$$

$$\tau = 0.3 * \sqrt[3]{210^2} \left(.6 + \frac{0.4}{\sqrt[4]{.60}} \right) = 11.62 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau = \frac{34.000}{30 * 56.9 \left[1 + \frac{11.61(57.5-18) * 51.9}{9(62.5-18)56.9} \right]}$$

$$\tau = 9.74 \text{ kg/cm}^2 < 11.21 \text{ bien}$$

Se adopta la plancha de 30x 30 cm adherida al concreto con epoxi .La superficie del concreto debe estar perfectamente plana y debe limpiarse con chorro de arena preferentemente para obtener una rugosidad apropiada para la adherencia del epoxi.

15.5.3.3 REFUERZO DE LAS VIGAS EN LA FIBRA SUPERIOR

En la zona de momento negativo se reforzaron las vigas añadiendo barras en el macizado de las losas nervadas, soldándolas por puntos a los estribos existentes. Las barras se extendieron a lado y lado de la columna cubriendo toda la zona de momento negativo. Las ranuras hechas en la viga se pintaron con epoxi antes de colocar las barras y luego se rellenaron con mortero epóxico.

Se colocó una cantidad de acero igual a 1.2 veces la diferencia entre el acero requerido y el existente, procediendo conservadoramente.

15.6 USO DE LOS PRODUCTOS EPÓXICOS

Los principales usos de estos productos en la reparación y reforzamiento de Edificios son lo siguientes:

- Como adhesivos entre concreto viejo y concreto nuevo.
- Como adhesivo entre acero y concreto.
- Para anclaje de cabillas y pernos.
- Para reparación de grietas.

Debido a la amplitud del espectro de resinas epóxicas habrá que seleccionar para cada uno de estos usos la que sea más apropiada entre las diversas calidades suministradas comercialmente, mezclando los componentes en la forma y proporciones indicadas en las instrucciones correspondientes. También debe distinguirse entre condiciones de humedad y de sequía pues hay resinas epóxicas que incluso pueden usarse bajo agua, mientras que otras solo pueden usarse en condiciones secas.

Un aspecto inicial importante es la limpieza de las superficies donde se va a aplicar la resina epóxica las cuales deben estar perfectamente limpias, libres de polvo, solvente, materiales disgregados y cualquier otra sustancia que perjudique la adherencia del epóxico.

Para lograr la adecuada limpieza se recomienda el empleo de chorro de arena limpiador sobre las superficies. A continuación se dan algunas instrucciones de uso:

Para vaciar concreto fresco sobre concreto endurecido se aplicará sobre esta con brocha, rodillo o llana el material epóxico y antes de que este seque, o sea, mientras esta pegajoso se verterá el concreto fresco. El tiempo que tarda en secar es variable, dependiendo de la temperatura y del tipo de resina epóxica. Si hay que colocar refuerzo metálico o encofrados debe emplearse un producto de secamiento lento.

Para unir bandas o planchas de acero a una superficie de concreto, este debe estar perfectamente plano para asegurar un buen contacto entre las dos superficies. La superficie de acero así como la de concreto se deberán limpiar con chorro de arena; se pintarán ambas superficies con epóxico empleando una brocha y obteniendo un espesor de 1.5 mm de material epóxico. Luego se presionarán fuertemente las superficies durante un tiempo no menor de 5 horas, para lograr una buena unión. Para anclaje de pernos, cabillas en una pieza de concreto, se debe taladrar una perforación de diámetro 2 a 3 mm mayor que el diámetro del perno o cabilla y de una profundidad adecuada y llenarla con el epóxico.

Insertar el perno, que debe estar limpio y seco, colocándolo centrado en la perforación y bien empotrado

Fijarlo convenientemente durante un lapso de 5 horas. Se puede hacer uso del elemento al cabo de 36 horas

Para reparar grietas en elementos de concreto. Se deberá proceder de la siguiente forma.

Identificar con precisión la ubicación y la extensión de la grieta que se va a reparar. Colocar boquillas para inyección cada 20 cm aproximadamente, comenzando desde el punto más bajo de la grieta (boquilla 1).

Estas boquillas consistirán en tubos de cobre de 10 cm de largo y 8 mm (5/16") de diámetro. Se insertarán en perforaciones de 3 cm de profundidad aproximadamente.

Se ensancharán las grietas en forma de canal y se limpiarán cuidadosamente, luego se pintarán con brocha usando un epoxi de baja viscosidad.

Se sellarán las grietas con un mortero de epoxi y arena de cuarzo, usando una espátula y una llana apropiadas y se fijarán bien las rosquillas de cobre.

Después que haya fraguado el mortero (24 horas aproximadamente), con una pistola apropiada se inyectará epoxi de baja viscosidad en la grieta, empezando por la boquilla 1 hasta que fluya por la boquilla contigua, luego se inyectará por esta y así sucesivamente hasta inyectar todas las grietas. Se irán tapando las boquilla que se hayan inyectado.

El uso de los materiales epóxicos se ha extendido mucho en los últimos tiempos y se fabrican muchos tipos de resinas adaptadas a esos usos.

Un empleo muy interesante es en la prefabricación, para unir los paneles de concreto que forman las paredes de las viviendas, en estos casos se requiere una resina con adecuada plasticidad para evitar concentraciones de esfuerzos que den lugar a daños en los paneles.

REFERENCIAS

- 15.1 Billington, D. P. "The tower and the Bridge" Princeton University Press Princeton, N. J.,(1983)
- 15.2 Arnal H y Barboza E - "Diseño antisísmico de Edificios"- De. Textos-Caracas-(1991)
- 15.3 Fintel M-Handbook of Reinforced Concrete"- De. Van Nostrand Reinhold Company- N Y, (1974).
- 15.4 Wiegel R. L. "Earthquake Engineering "Prentice-Hall INC-Englewood Cliffs, N. J.,(1970)
- 15.5. Grases G , J " Concreto Armado en zonas sísmicas "Sivensa-Caracas-(1987)
- 15.6 Wakabayashi-"Design of Earthquake Resistant Buildings" McGraw-Hill inc. N Y -(1986)
- 15.7 Guevara P., L.T - "Consideraciones arquitectónicas en el comportamiento sismorresistente de viviendas de altura media"- Caracas-(1994)
- 15.8 Fintel M "Shearwalls -An Answer for seismic resistance?- Concrete International-(1991)
- 15.9. Arnal H y Epelboin S - "Manual para el proyecto de Estructuras de Concreto Armado"- Edit Arte- Caracas-(1985)
- 15.10. Lagorio H - "Earthquakes An Architect Guide to non structural seismic Hazards. "John Wiley and Sons -N Y -(1990)