

NOMBRE DEL TRABAJO

"ASPECTOS CONSTRUCTIVOS EN LA REPARACION Y REFORZAMIENTO
DE EDIFICIOS DE CONCRETO REFORZADO Y MAESTRIA DAÑADOS
POR SISMO".

NOMBRE DEL ALUMNO

HERNANDEZ MARTIN VERGARA BERNA

TRABAJO

Presentado a la División de Estudios de
Posgrado de la
FACULTAD DE INGENIERIA
de la
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

como requisito para obtener
el grado de

MAESTRO EN INGENIERIA
(CONSTRUCCION)

CIUDAD UNIVERSITARIA, D.F., Marzo de 1988.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO.

Presidente: M. en C. ENRIQUE DEL VALLE CALDERON.

Vocal: Dr. RENE MUCIÑO CASTAÑEDA.

Secretario: Ing. ALFONSO M. ELIZONDO RAMIREZ.

Suplente: Ing. SALVADOR DIAZ DIAZ.

Suplente: Ing. FERNANDO FAVELA LOZCOYA.

G(2). 502204

Un reconocimiento al M. en C. Enrique del Valle Calderón
por su ayuda en la realización de este trabajo.

INDICE

Pág.

CAPITULO 1	
INTRODUCCION	1

CAPITULO 2	
INSPECCION Y EVALUACION PRACTICA DEL DAÑO	4

2.1 Introduccion	4
------------------------	---

2.2 Dictamen técnico preliminar	5
---------------------------------------	---

2.3 Daños estructurales	6
-------------------------------	---

2.4 Observación y descripción de grietas	8
--	---

2.5 Verificación de la resistencia del concreto ..	9
--	---

2.5.1 Esclerómetro o martillo de Schmidt	10
--	----

2.5.2 Detector de armado	11
--------------------------------	----

2.5.3 Radiografías	13
--------------------------	----

2.5.4 Equipo de ultrasonido	13
-----------------------------------	----

2.5.5 Pistola de Windsor	13
--------------------------------	----

2.5.6 Métodos destructivos	13
----------------------------------	----

2.6 Dictamen técnico definitivo (DTD)	15
---	----

2.7 Inspección visual y levantamiento de datos ...	16
--	----

2.7.1 Formatos de inspección	17
------------------------------------	----

CAPITULO 3.	
MEDIDAS TEMPORALES DE REHABILITACION.	

3.1 Introduccion	40
------------------------	----

3.2 Métodos de apuntalamiento vertical	42
--	----

3.2.1 Soportes de madera	42
--------------------------------	----

3.2.2 Perfiles de acero	44
-------------------------------	----

3.2.3 Puntales telescópicos y elementos tubulares diversos	45
--	----

	Pág.
3.3 Soporte lateral	46
3.3.1 Soporte lateral de muros	46
3.3.2 Contraventeo de marcos	47
3.4 Métodos de acuar	49

CAPITULO 4
REPARACION Y REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

I. REPARACION	
4.1 Introducción	58
4.2 Factibilidad de reparar y/o reforzar	59
4.3 Procedimientos para la reparación del área por reparar	64
4.4 Procedimientos para la reparación de daños ocasionados por sismos, con productos químicos ..	67
4.4.1 Productos químicos para reparaciones estructurales	67
4.5 Procedimientos para la reparación de daños ocasionados por sismos, utilizando cemento y agregados	72
4.5.1 Lechadas y morteros	72
4.5.2 Reparación en concreto simple	73
4.5.3 Reparación en concreto armado	75
4.5.4 El concreto inyectado	76
4.5.5 Concreto colado in-situ	79
4.5.6 Concreto lanzado	79
4.5.7 Mortero inyectado	80
4.6 Refuerzo, soldadura y anclajes metálicos	81
II. REFORZAMIENTO.	
4.7 Reforzamiento en columnas	83
4.7.1 Procedimientos para el encamisado de columnas de concreto	83
4.7.2 Procedimiento para el encamisado por medio de perfiles	87

	Pág.
4.8 Refuerzo en vigas	89
4.8.1 Procedimientos para el encamisado de vi - gas de concreto	89
4.8.2 Procedimiento para el encamisado por me - dio de placas metálicas	90
4.9 Refuerzo de unión viga-columna	91
4.9.1 Procedimiento para el encamisado con con- creto reforzado	91
4.9.2 Procedimiento para el encamisado por medio de placas de acero	91
4.10 Refuerzo de muros de concreto	92

III REESTRUCTURACION.

4.11 Métodos para la reestructuración de edificios	94
4.11.1 Adición de muros de cortante de concre to reforzado	94
4.11.2 Reforzamiento de marcos existentes ...	93
4.11.3 Introducción de marcos de acero estruc- tural y marcos de acero contraventeados	96
4.11.4 Adición de contrafuertes	97
4.11.5 Adición de muros de rellena	98

CAPITULO 5 REPARACION Y REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOS TERIA.

5.1 Introducción	106
5.2 Reparación de muros	107
5.2.1 Inyección de grietas	107
5.2.2 Reparación de grietas grandes	107
5.2.3 Muros con grave daño	109
5.3 Reforzamiento de muros	110
5.3.1 Reforzamiento de muros por medio de enca- misado	110

	Pág.
5.4 Recomendaciones generales en construcciones de mampostería	112
5.5 Nuevas formas constructivas para la mampostería	114
5.5.1 Refuerzos especiales en la mampostería convencional	114
5.5.2 Mampostería con junta seca y con refuerzo en las caras exteriores	115
5.5.3 Mampostería con morteros de alta adherencia	118
5.5.4 Mampostería postensada	118

CAPITULO 6

EJEMPLOS DE REPARACION, REFUERZO Y REESTRUCTURACION DE ALGUNAS ESTRUCTURAS (PROCEDIMIENTO).

6.1 Ejemplo de reparación y reforzamiento de un edificio en Bulgaria	223
6.2 Ejemplos de reparación y reforzamiento de un par de edificios en la ciudad de México	131
6.3 Ejemplos de reparación y reforzamiento de un par de edificios en los Estados Unidos	143
6.4 Ejemplo de reparación reforzamiento de un edificio en San Salvador	151

CAPITULO 7

COMENTARIOS FINALES, RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.

7.1 Comentarios finales	164
7.2 Recomendaciones	167
7.3 Conclusiones	173

BIBLIOGRAFIA	175
--------------------	-----

-1-

CAPITULO 1

INTRODUCCION.

En el presente trabajo se intenta explicar cuales son los principales daños que sufre una edificación por causa de un sismo y que procedimientos se emplean para evaluar, reparar y/o reforzar a la estructura, discutiendo las ventajas y problemas constructivos que plantean las distintas técnicas propuestas.

Este trabajo se basa en una recopilación bibliográfica de diferentes artículos que se han publicado tanto por ingenieros mexicanos como por ingenieros extranjeros y que plasman en ellos su experiencia en la reparación y reforzamiento de estructuras dañadas.

Considero que si se quisiera desarrollar un trabajo sumamente completo sobre reparación y reforzamiento de estructuras se tendrían que escribir varios tomos, puesto que tenemos estructuras para edificios, estructuras para silos, - estructuras para puentes, etc., y también tendríamos que -- tocar todos los distintos materiales que las componen, como es concreto reforzado, mampostería, acero y combinación de más de uno de estos materiales, etc., también tendríamos - que analizar los diferentes métodos de reparación tanto para la superestructura como para la subestructura. Por lo anteriormente explicado, los alcances de este trabajo son - modestos, limitándome a tratar aspectos relativos a la su-

perestructura de edificios construidos a base de concreto - reforzado y mampostería.

En el "Capítulo 2" se toca el tema de la inspección y la evaluación del daño que sufre un edificio después del sismo ya que inmediatamente de ocurrido éste surge la necesidad de conocer la magnitud de los daños para determinar si un edificio es habitable o no y posteriormente saber si es posible su reparación.

En el "Capítulo 3" se habla de las medidas temporales de rehabilitación que se realizan mientras se lleva a cabo el estudio definitivo de la reparación y la realización de esta; explicando cuales son los métodos usuales de apuntalamiento vertical, soporte lateral y la manera correcta de acuñar estos puntales.

En el "Capítulo 4" se exponen los diferentes procedimientos que se siguen para la reparación y el reforzamiento de estructuras de concreto, dividiendo al capítulo en tres partes. En la primera parte se habla de la reparación, es decir, de la recuperación de las propiedades originales de resistencia o rigidez de un elemento o estructura. En la segunda parte se exponen los métodos de reforzamiento, o sea, métodos constructivos para el mejoramiento de las propiedades de resistencia o rigidez de un elemento tocando: columnas, vigas y muros de concreto. En la tercera parte se

comentan los métodos para la reestructuración, entendiéndose esta como la modificación total de las propiedades de resistencia o rigidez de un elemento o estructura, comentando la adición de muros de cortante de concreto reforzado, el reforzamiento de marcos existentes, la introducción de marcos de acero estructural y marcos de acero contraventeados, la adición de contrafuertes y finalmente la adición de muros de relleno.

En el "Capítulo 5" se tratan los diferentes métodos usados en la reparación y reforzamiento de estructuras de mampostería, al final de este capítulo se dan una serie de recomendaciones generales para evitar que se dañen lo menos posible los muros de mampostería ante fuerzas sísmicas.

En el "Capítulo 6" se presentan diferentes procedimientos que se siguieron para reparar y reforzar edificios dañados por sismos.

En el "Capítulo 7" se dan una serie de comentarios para lograr que en sismos próximos los daños que sufra una estructura sean nulos o mínimos.

C A P I T U L O 2

INSPECCION Y EVALUACION PRACTICA DEL DAÑO.

2.1 INTRODUCCION.

Inmediatamente de ocurrir el sismo surge la necesidad de evaluar la magnitud de los daños y reunir todos los antecedentes necesarios para decidir las medidas de emergencia a tomar y las tareas de investigación posteriores. Todo esto requiere tiempo, el cual no abunda en estas circunstancias. (Ref. 16)

Asimismo, es necesario realizar un levantamiento de las pérdidas tanto humanas como materiales para tomar medidas de emergencia de asistencia y protección a los damnificados. Con una recopilación de información completa y veraz, podrán generarse programas de reconstrucción adecuados y de planeación a corto y largo plazo, con el fin de reducir el riesgo sísmico en el país. (Ref. 13)

Después de un sismo se realizan una gran cantidad de inspecciones de edificios para la determinación de la magnitud de daños y para la clasificación de los mismos. Ello permite, además de tomar las medidas de emergencia para la protección y ayuda a la población, realizar estadísticas de las edificaciones y zonas más dañadas de la ciudad afectada. (Ref. 12)

2.2 DICTAMEN TECNICO PRELIMINAR.

La finalidad principal de un dictamen técnico preliminar es determinar si los edificios dañados por un sismo -- brindan las condiciones de seguridad necesarias para ser habitados. En caso contrario, se deberán establecer medidas de emergencia para la protección de los usuarios. (Ref. 13)

La figura 2.1 muestra el procedimiento para clasificar edificios dañados en función de sus condiciones de seguridad, servicio y estabilidad. Las condiciones de seguridad (daños estructurales) establecen si el edificio es habitable o si debe ser desocupado. Las condiciones de servicio (daños no estructurales) indican las restricciones bajo las cuales el edificio puede ocuparse, y las condiciones de estabilidad señalan las restricciones de acceso al edificio o a la zona donde éste se encuentre. (Ref. 13)

Se incluyen los dos casos extremos en los cuales claramente se observa que un edificio no ha sufrido daños (ligera- mente dañado, LD, marcados con color verde) o aquellos -- que tienen problemas de estabilidad y deben demolerse enseguida (severamente dañado, SD, marcados con color rojo). Los casos restantes, cuando el edificio sólo tiene daños no es- tructurales (moderadamente dañado, MD, marcados de color a- marillo) o cuando el edificio tiene también daños estructu- rales (fuertemente dañado, FD, de color anaranjado) queda- rán sujetos a estudios posteriores en un peritaje. (Ref. 13)

Dadas las condiciones de emergencia bajo las cuales debe tomarse la decisión de clasificar al edificio dentro de una u otra magnitud de daños, ésta se basará fundamentalmente en el entrenamiento y la experiencia de un perito responsable. (Ref. 13)

Para una correcta evaluación de los daños y sus causas es necesario identificar el sistema estructural utilizado en el edificio en estudio. Deberá por lo tanto investigarse cual fue el sistema empleado: marcos rígidos con o sin contravientos, con sistemas de piso de vigas y losas o de losas planas sin vigas, macizas o aligeradas; muros de concreto reforzado; muros de mampostería con o sin contravientos; elementos precolados; o alguna combinación de los sistemas anteriores. También es importante tomar nota del sistema de cimentación empleado: zapatas aisladas o corridas; sistemas reticulares total o parcialmente compensados; pilotes de fricción o de apoyo directo, o alguna combinación de estos sistemas. (Ref. 8)

2.3 DAÑOS ESTRUCTURALES.

En la tabla 2.1 se resumen los daños estructurales más comunes sobre los que se deberá hacer énfasis durante la inspección. Los daños se han clasificado por tipo de elemento estructural, indicándose también la causa principal de los mismos. (Ref. 8)

Tabla 2.1
Daños estructurales más comunes. (Ref. 8)

Elemento Estructural	Tipo de daño	Causa
Columnas (fig. 2.2)	Grietas diagonales Grietas verticales Desprendimiento del recubrimiento Aplastamiento del concreto y pandeo de barras	Cortante o Torsión. Flexocompresión. Flexocompresión. Flexocompresión.
Vigas (fig. 2.3)	Grietas diagonales Rotura de estribos Grietas verticales Rotura del refuerzo Aplastamiento del concreto	Cortante o Torsión. Cortante o Torsión. Flexión. Flexión. Flexión.
Unión viga-columna. (fig. 2.3)	Grietas diagonales Falla por adherencia del refuerzo de vigas	Cortante. Flexión.
Sistema de piso (fig. 2.4)	Grietas alrededor de columnas en losas o placas planas Grietas longitudinales	Penetración. Flexión.
Muros de concreto (fig. 2.5)	Grietas diagonales Grietas horizontales Aplastamiento del concreto y pandeo de barras	Cortante. Flexocompresión. Flexocompresión.
Muros de mampostería (fig. 2.6)	Grietas diagonales Grietas verticales en las esquinas y centro. Grietas como placa perimetralmente apoyada	Cortante. Volteo y Flexión. Flexión.

2.4 OBSERVACION Y DESCRIPCION DE GRIETAS. (Ref. 12)

La descripción detallada de una grieta debe incluir su ancho en varios puntos a lo largo de su longitud, para de -
terminar los posibles desplazamientos del elemento estructu
ral y las distancias entre grietas diferentes. También debe
determinarse la profundidad de la grieta, para conocer si -
ésta ha penetrado lo suficiente y si ha disminuido la resis
tencia mecánica del elemento.

La presencia de material extraño en la grieta (suelos,
óxidos, pinturas, etc.) ayuda a determinar si la grieta ya
existía o si fue producto del movimiento sísmico.

Los desplazamientos angulares que haya sufrido un plano
por el sismo se distinguen por la variación del ancho de sus
grietas. Los anchos de grietas pueden medirse fácilmente me
diante un comparador de grietas (figura 2.7).

En muros, la variación de los anchos de sus agrietamien
tos en zig-zag en el mortero pueden ser una indicación del -
desplazamiento ocurrido en su plano.

Los agrietamientos térmicos e hidráulicos (debidos a la
acumulación de esfuerzos en el proceso de hidratación o por
efectos térmicos) están caracterizados por su tendencia a
cortar la sección transversal en ángulos rectos, formando -
más o menos una retícula rectangular. Tales agrietamientos
pueden complicar la interpretación de una inspección des -
pués del sismo.

2.5 VERIFICACION DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO.

Una primera aproximación para determinar la resistencia mecánica de un elemento estructural puede ser por observación visual o por métodos no destructivos, como el de verificación de resistencia por percusión (martillo de Schmidt) o el de ondas de ultrasonido. (Ref. 12)

La inspección del concreto debe de incluir su apariencia externa, su calidad en uniones de elementos y la calidad de su geometría. (Ref. 12)

Las inspecciones realizadas con el esclerómetro de Schmidt son rápidas y útiles. Los valores para resistencia a la compresión deben ser considerados a partir de un control estadístico. (Ref. 12)

Las mediciones deben ser hechas en lugares cercanos a donde se hayan extraído especímenes de prueba, con el propósito de tener en consideración la composición y el tipo de curado del concreto. (Ref. 12)

La mayor información acumulada desde diferentes puntos de vista hará que exista mayor probabilidad para llegar a mejores conclusiones en cuanto a la resistencia del concreto empleado. (Ref. 12)

2.5.1 Esclerómetro o martillo de Schmidt. (Ref. 12)

El esclerómetro es un instrumento utilizado para medir, mediante impacto, y de manera aproximada, la resistencia del concreto. Aunque aparentemente existe poca relación teórica entre la resistencia del concreto y el número de rebote del martillo, se han establecido correlaciones empíricas que, con ciertas limitaciones, dan buenos resultados.

Las limitaciones de las pruebas con esclerómetro se deben a que las curvas que relacionan el número de rebote con la resistencia a la compresión no consideran la cantidad de cemento, la composición granulométrica, el diámetro del agregado y la proporción agua-cemento en el concreto.

Pese a las limitaciones anteriores, el esclerómetro puede ser útil durante las inspecciones de estructuras dañadas por sismos, mediante la comparación de varias mediciones de resistencia en diferentes lugares de un elemento estructural.

Además, el esclerómetro es un instrumento económico, portátil y fácil de utilizar.

Para un buen uso del esclerómetro es necesario:

- 1.- Apoyar la cabeza de la barra de percusión ligeramente sobre la superficie que se va a probar; liberar después su fijación para que se deslice por sí misma fuera del armazón.

2.- Preparar la superficie con la piedra abrasiva eliminando irregularidades, pintura, etcétera, de la misma.

3.- Apoyar ligeramente la cabeza de la barra de percusión sobre la superficie presionando lenta y continuamente. En el momento de la percusión, el aparato debe sostenerse perpendicularmente a la superficie de ensayo.

4.- El valor medido del número de rebote " R_n " debe considerarse con una precisión de 1/2 unidad de lectura y -- los valores de la resistencia " W_n " con una precisión de 1/10 de kg/cm^2 .

5.- Se recomienda de 5 a 10 ensayos. Se calcula el valor medio de las lecturas $R = R_n / n$ eliminando todas aquellas lecturas que varíen en más de 5 unidades del promedio. ($R - 5 \leq R_n \leq R + 5$).

2.5.2 Detector de armado. (Ref. 12)

El detector de armado es un instrumento magnético que está calibrado para medir directamente el tamaño de las varillas de refuerzo y su recubrimiento de concreto. Ya que el detector mide algo que usualmente no se puede ver, es necesario que el inspector se familiarice con su uso y la aproximación de sus resultados.

El principio del funcionamiento del detector de armado es el siguiente:

- La intensidad del campo magnético es inversamente proporcional al cubo de la distancia entre los polos. Consecuentemente, el efecto del material magnético (varilla) en el campo magnético es también inversamente proporcional al cubo de su distancia desde los polos. Es relativamente difícil para un campo magnético propagarse en el espacio libre. Es relativamente fácil para un campo magnético propagarse en material magnético. Cuando se coloca un material magnético en el campo de un detector de acero, todas las líneas de fuerza magnética pueden encontrar una distancia más corta desde un polo al otro yendo a través de la varilla en lugar de ir a través del espacio no magnético. Esto distorsiona la forma del campo magnético, pues reduce sustancialmente la intensidad del campo en direcciones alejadas desde la varilla más cercana.

Este efecto, junto con la ley de distribución de líneas de fuerza magnética, nos lleva a una buena discriminación entre dos varillas a diferentes distancias desde los polos. Esto es, hay un marcado máximo cuando el eje largo del localizador y el eje de la varilla están alineados, al igual que cuando el localizador está directamente arriba de la varilla.

2.5.3. Radiografías . (Ref. 8)

Una alternativa menos práctica y más costosa que el detector de armado consiste en la toma de radiografías.

2.5.4 Equipo de ultrasonido. (Ref. 8)

Este sistema de verificación se basa en el uso de un instrumento que registra la velocidad de un pulso ultrasónico a través del concreto, la que depende de la densidad del mismo. Con esta técnica se puede hacer estimaciones de la resistencia del concreto y de su módulo de elasticidad, así como del estado de agrietamiento interno.

2.5.5 Pistola de Windsor. (Ref. 8)

Con este instrumento se puede estimar la resistencia del concreto a partir de la penetración de un dardo metálico en un elemento particular. También en esta prueba se recurre al uso de relaciones empíricas penetración-resistencia que deberán corresponder al mismo tipo de agregados usado en el elemento en estudio.

2.5.6 Métodos destructivos. (Ref. 8)

A).- Extractor de corazones.

La extracción de corazones permite estimar la resistencia del concreto en la estructura y su módulo de elasticidad; también aporta información sobre su composición granulométrica, densidad aparente y estado de carbonatación.

B).- Extracción y pruebas de barras.

Para verificar la calidad del acero empleado se puede recurrir a la extracción de algunas muestras y a su prueba estandar a tensión.

Resulta recomendable recurrir a más de una de las alternativas previamente descritas para tener redundancia en los resultados; así por ejemplo, sería conveniente combinar las pruebas de mayor precisión y costo como la Extracción de Corazones y la Pistola de Windsor, con otros menos confiables pero de empleo más sencillo y económico, como el esclerómetro y los equipos de ultrasonido.

2.6 DICTAMEN TECNICO DEFINITIVO (DTD). (Ref. 13)

El dictamen técnico definitivo es parte importante de los estudios de peritaje y es la base para determinar la mejor solución estructural o de demolición del edificio dañado.

La figura 2.8 muestra el procedimiento general de registro y el análisis de información que se requieren para emitir un dictamen técnico para la ejecución de proyectos de reparación, refuerzo o reconstrucción. La definición de las soluciones estructurales posibles y de la clasificación de daños se incluyen en las tablas 2 y 3 respectivamente.

El planteamiento anterior se ha desarrollado sólo desde el punto de vista técnico, considerando que teóricamente toda construcción puede repararse. Sin embargo, es importante tomar en cuenta que una buena solución práctica no sólo depende de aspectos técnicos, sino también de aspectos económicos, sociales, legales y políticos.

TABLA 2 Soluciones estructurales posibles

Reparación (R)	Recuperación de las propiedades originales de resistencia o rigidez de un elemento o estructura.
Refuerzo y Reparación (RR)	Mejoramiento de las propiedades de resistencia o rigidez de un elemento o estructura.
Reconstrucción, refuerzo y reparación (RRR)	Modificación total de las propiedades de resistencia o rigidez, de un elemento o estructura.

TABLA 3 Clasificación de daños.

Daños menores
(DMN)

Los daños carecen de importancia para la estabilidad del elemento o de la estructura, que puede dejarse en su estado actual.

Daños mayores
locales (DML)

Los daños carecen de importancia para la estabilidad del elemento o la estructura si y sólo si se refuerza localmente.

Daños mayores
globales (DMG)

Los daños afectan la estabilidad del elemento o la estructura y se debe reconstruir.

2.7 INSPECCION VISUAL Y LEVANTAMIENTOS DE DATOS.

Generalmente, las estructuras por inspeccionar se encuentran en uso, por lo que es necesario determinar tan rápido como sea posible si deben seguir siendo habitadas, si se deben desocupar o si se debe restringir su ocupación. (Ref. 12)

Después de un sismo severo pueden existir réplicas que aún siendo de menor magnitud, pueden llegar a causar mayores daños a los edificios. (Ref. 12)

Por otro lado, existen edificaciones destinadas a servicios públicos (hospitales, estaciones de bomberos, de bombeo de agua, de energía eléctrica, telefónica, escuelas, almacenes, sistemas de tráfico, etc.), que requieren estar en servicio lo antes posible para realizar las labores de emergencia necesarias después del sismo. (Ref. 12)

2.7.1 Formatos de inspección.

La metodología empleada para la recopilación y clasi-
ficación de datos debe ser uniforme y sencilla, con el fin
de evaluar desde un mismo punto de vista el daño físico y -
las pérdidas. La información debe incluir no sólo el levan-
tamiento de daños; sino también debe considerar todos aque-
llos elementos del edificio que se encuentran en buenas con-
diciones. (Ref. 12)

J. Petrovski propuso el siguiente formato con la fin-
alidad de que la información quede convenientemente ordenada
para su procesamiento por computadora teniendo como ventaja
disponer de esta en forma estadística. (Ref. 12)

El formato queda dividido en las siguientes áreas:

- I. Localización y orientación del edificio.
- II. Descripción de la geometría y del uso del edificio.
- III. Descripción del sistema estructural.
- IV. Observaciones de la inspección.
- V. Recomendaciones y conclusiones.

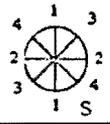
FORMULARIO PARA LA INSPECCION DE LOS DAÑOS DEL TERREMOTO Y POSIBILIDAD DE USO

- Localización de la geometría y del uso del edificio
- Ciudad (nombre-código) 1
- Identificación de la construcción:
- 1 Código de la sección de la ciudad o del asentamiento: 7
- 2 Código del equipo de trabajo: 9
- 3 Número de construcciones: 11
- Orientación principal de la construcción:
- 1. NS, 2. EW, 3. N45E, 4. N45W 14
- Posición de la construcción en el bloque:
- 1. Última, 2. Media, 3. Libre 15
- Superficie bruta de la construcción (m²): 16
- Número de pisos:
- 1 Sótano: No/0/, Sí/1/ 20
- 2 Piso: 21
- 3 Mezanina: No/0/, Sí/1/ 23
- 4 Atico: No/0/, Sí/1/ 24
- Propósito (véase la descripción atrás):
- 1 Edificio 25
- 2 Planta baja 27
- Número de apartamentos: 29
- Periodo de construcción (definir para cada país):
- 1. 1966-1976 3. 1976- 31
- Clasificación del Sistema Estructural:
- 1 Tipo de construcción (véase la descripción atrás): 32
- Estructura del piso:
- 1. Concreto armado, 2. Acero, 3. Madera, 4. Otro 35
- Estructura de techo:
- 1. Concreto armado, 2. Acero, 3. Madera, 4. Otro 36
- Materiales de techar: 1. Teja, 2. Asbesto cemento, Láminas metálicas, 4. Otro (especificar) 37
- Tipo de sistema constructivo: véase la descripción atrás):
- 1. Muro de carga, 2. Marco, 3. Marco con muro, Estructura con muro, 5. Sistema mixto, Otro (especificar) 38
- Calidad de la construcción:
- 1. Buena, 2. Promedio, 3. Pobre 39
- Flexibilidad del primer piso comparado con los otros:
- 1. Más grande, 2. Casi igual, 3. Más pequeña 40
- Separación de los terremotos anteriores:
- 1. No, 2. Sí, 3. No se sabe 41
- Condiciones de la inspección
- Condiciones de los elementos constructivos:
- 1. No hay, 2. Pequeño, 3. Moderado, 4. Grave, 5. Severo (véase la descripción atrás)
- 1 Muros de carga 42
- 2 Columnas 43
- 3 Vigas 44
- 4 Nudos de pórticos 45
- 5 Paredes de cortante 46
- 6 Escaleras 47
- 7 Pisos 48
- 8 Cubiertas (losas) 49
- Condiciones de los elementos no constructivos e instalaciones:
- 1. No hay, 2. Pequeño, 3. Moderado, 4. Grave, 5. Severo (véase la descripción en el manual)
- 1 Muros interiores 50
- 2 Muros de división (colindancia) 51
- 3 Muros de exterior (fachada) 52
- 4 Instalación eléctrica 53
- 5 Plomería, canalización, gas 54
- 6 Elevadores 55

Localización del edificio

Croquis de la construcción

Planta Sección

Edificios colindantes: 

Separación: I S

Dirección:

Propiedad de:

- 20. Daño de toda la construcción: 1. No hay, 2. Pequeño, 3. Moderado, 4. Grave, 5. Severo 56
- 21. Daños como resultado de fuego después del terremoto: No/0/, Sí/1/ 57
- 22. Condiciones del suelo en el lugar: 1. Roca, 2. Firme, 3. Medio, 4. Blando 58
- 23. Inestabilidad del suelo: 1. No hay, 2. Pequeño hundimiento, 3. Hundimiento intensivo 4. Licuación, 5. Derrumbamiento 6. Derrumbamiento de rocas, 7. Falla, 8. Otro (especificar) 59
- Conclusiones y Recomendaciones
- 24. Clasificación de uso y marcar: Marcar: 1. Verde, 2. Amarillo, 3. Rojo No marcar: 4. Marcar después de eliminación del peligro, 5. Problemas de suelo y problemas geológicos, reinspección, 6. Clasificación imposible, reinspección, 7. Edificio inaccesible 60

Explicar las razones generales para su clasificación y la manera de marcar:

- 25. Recomendaciones para medidas urgentes: 1. No hay, 2. Eliminación del peligro local, 3. Protección de la construcción del colapso, 4. Protección de las calles o las construcciones vecinas, 5. Demolición urgente 61
- 26. Fotografías: No/0/, Sí/1/ 62
- 27. Atrapados en los edificios: No/0/, Sí/1/ (Si hay, parar la inspección e informar a las autoridades) 63
- 28. Víctimas humanas: No hay muertos y heridos /0/: Posibles muertos y heridos /1/: 64 Si hay datos, escribir: Número de muertos: 65 Número de heridos: 66
- 29. Fecha de la inspección: mes/día 67 Nombres de los ingenieros de inspección: Firmas: 1. 2. 3.

DESCRIPCION Y CODIGOS PARA CLASIFICACION DE CONSTRUCCIONES SEGUN EL USO, TIPO DE CONSTRUCCION, TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL Y GRADO DE DAÑO (COLORES CONVENCIONALES PARA CLASIFICAR DAÑOS)

7. CATEGORIAS DE USO DE LAS EDIFICACIONES:

- 10 Residencial: 11 Casas de familia, 12 Edificios de apartamentos.
20 Oficinas: 21 Edificio total, 22 Parte del edificio.
30 Economía: 31 Comercio, 32 Finanzas, 33 Pequeña Industria, 34 Almacenes, 35 Agricultura, 36 Pescadería, 37 Forestal.
40 Salud y protección social: 41 Hospitales y clínicas, 42 Servicios de salud, 43 Protección social (Establecimientos para ancianos, minusválidos, etc).
50 Servicios públicos: 51 Administración central o local, 52 Policía y bomberos, 53 Transporte (carreteras, ferrocarriles, aire y mar), 54 Comunicaciones (correos, radios, T. V.).
60 Educación y cultura: 61 Escuelas, 62 Universidades y centros de investigación, 63 Dormitorios, 64 Históricos y religiosos, 65 Culturales y recreativos, 66 Deportes (estadios, gimnasios).
70 Turismo y hotelería: 71 Hoteles, 72 Restaurantes, cafés, 73 Cafeterías, pastelerías, y otros.
80 Industrias y energía: 81 Industria, 82 Energía (centrales eléctricas, subestaciones, otros).
90 Otras construcciones: Especificar.

de acero con núcleo de concreto reforzado, 334 Pórtico de acero con paneles de concreto reforzado.

400 Construcciones de madera:

- 410 Entramado contraventeado con relleno de material: 411 Con cimentación en mampostería de piedra, 412 Sin cimentación en mampostería de piedra.
420 Prefabricadas: 421 Pórticos de madera, 422 Elementos cortos y paneles pequeños de madera.

14. TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL:

Sistema de transmisión de cargas verticales y laterales: 1. Muros, 2. Pórticos, 3. Pórticos con tabique, 4. Entramado con tabique en el cual las vigas y columnas no forman pórtico, 5. Mixta de pórticos y/o muros de cortante y tabique, 6. Otros sistemas (describir).

18. DAÑOS EN LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS (COLORES CONVENCIONALES)

- 1. Ninguno-marcado verde: Sin daño visible de los elementos constructivos. Posibles fisuras en el aplanado de paredes y techos. Se observan pocos daños en la construcción.
2. Ligero-marcado verde: Fisuras en el aplanado de muros y techo. Grandes partes de aplanado caído de muros y techos. Importantes grietas o derrumbes parciales en chimeneas, áticos. Distorsión, agrietamiento y estallido parcial con caída del techo de cubierta. Fisuras en elementos constructivos.
Los construcciones clasificadas en las categorías 1 y 2 no presentan reducción de su capacidad sísmo-resistente y no son peligrosas para las personas. Pueden ser utilizadas inmediatamente o luego de la reparación.
3. Moderado-marcado amarillo: Fisuras diagonales y de otro tipo, en muros con aberturas. Fisuras grandes en elementos constructivos de C. R., columnas, vigas, muros. Derrumbe parcial o total de chimeneas y áticos. Dislocación, agrietamiento y caída del techo.
4. Fuerte-marcado amarillo: Grietas grandes con o sin separación de los muros y con trituración del material. Grandes grietas con trituración del material de las paredes entre las aberturas de los elementos constructivos. Grietas grandes con pequeña dislocación de elementos de concreto reforzado: columnas, vigas, muros. Pequeña dislocación de elementos constructivos y de toda la construcción.
Las construcciones clasificadas en las categorías 3 y 4 tienen muy disminuida su capacidad sísmo-resistente. El acceso a las mismas es controlado y la construcción no se puede usar antes de ser reparada y reforzada. Hay que evaluar la necesidad de apuntalar la construcción y proteger los edificios vecinos.
5. Severo-marcado rojo: Los elementos constructivos y las uniones están muy dañados y dislocados, con un número grande de ellos destruidos. Las construcciones presentan ruina total o parcial.
Las construcciones clasificadas en la categoría 5, no son seguras, presentan peligro de derrumbe. El acceso está prohibido. Es necesario proteger la calle y edificios vecinos, o demoler el edificio a la mayor brevedad posible. En caso de edificios aislados, o con construcciones cercanas de la misma clasificación, la decisión para su demolición debe ser tomada luego de una evaluación desde el punto de vista económico del costo de su reparación y reforzamiento.

10. TIPOS DE CONSTRUCCION

100 Edificios de mampostería:

- 110 Adobe: 111 sólo adobe, 112 adobe con fajas de madera.
120 Ladrillo macizo: 121 Con entramado horizontal de concreto reforzado, 122 Con entramado horizontal y vertical de C. R. (concreto reforzado).
130 Ladrillos huecos: 131 Con entramado horizontal de C. R., 132 Con entramado horizontal y vertical de C. R.
140 Bloques de concreto: 141 Con entramado horizontal de C. R., 142 Con entramado horizontal y vertical de C. R.
150 Mampostería de piedra: 151 Mampostería de piedra asentada en seco, 152 Piedra con mortero de mala calidad, 153 Piedra con mortero de buena calidad, 154 Piedra con fajas de madera, 155 Piedra con amarres de acero, 156 Piedra con vigas horizontales de C. R., 157 Piedra con vigas y columnas de C. R.

200 Construcciones de concreto reforzado:

- 210 Pórticos monolíticos: 211 Con muros de ladrillo macizo, 212 Con muros de ladrillo hueco, 213 Con bloques livianos de concreto o paneles, 214 Con muros de cortante.
220 Sistemas de muros portantes: 221 Con muros portantes en una dirección, 222 Con muros portantes ortogonales en las dos direcciones.
230 Construcciones prefabricadas: 231 Pórtico con muros de ladrillo hueco, 232 Pórtico con tabique ligero de concreto, 233 Pórtico combinado con muros de cortante, 234 Construcciones de paneles grandes, 235 Construcciones de paneles pequeños.
240 Construcciones compuestas: 241 Pórticos de C. R. con muros portantes de mampostería, 242 Combinación de pórticos de acero con muros portantes de mampostería.

300 Construcciones de acero:

- 310 Construcciones de acero para la industria pesada: 311 Sin grúas, 312 Con grúas.
320 Construcciones de acero para la industria ligera: 321 Sin grúas, 322 Con grúas.
330 Construcciones de acero con varios pisos: 331 Pórtico sin contraventeo, 332 Pórticos contraventeados, 333 Pórtico

Por otra parte, en general no se cuenta con información sobre el proyecto estructural original de los edificios. Esto complica la evaluación estructural de los mismos y hace necesario realizar levantamientos de datos en el lugar. (Ref. 13)

Los formatos DT-01, DT-02 y DT-03.1 buscan obtener toda la información que se requiere para analizar los problemas mencionados y para conocer en detalle la estructuración del edificio. (Ref. 13)

Normalmente no se podrá observar el refuerzo en los elementos, por lo que será preciso efectuar calas y detectar armados. (Ref. 13)

Una vez conocido el sistema estructural, es importante que el ingeniero conozca los siguientes parámetros fundamentales de evaluación, con objeto de establecer las propiedades reales de resistencia y rigidez de la estructura e identificar las diferentes acciones sobre ésta. (Ref. 13)

1. Materiales (MAT).
2. Dimensiones (DIM).
3. Desplcmes y desniveles (DES).
4. Armado (ARM).
5. Cargas o acciones (CAR).
6. Daños (DAÑ).

En cuanto a los daños, resulta difícil cuantificar la disminución de la resistencia y rigidez de un elemento estructural. Por lo tanto, en el formato DT-04.3 se ha elegido definir magnitudes generales de daño y de la solución opcional. (Ref. 13)

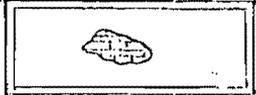
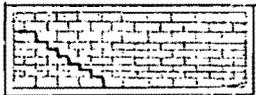
Para elementos de concreto reforzado en particular, el ancho de los agrietamientos superficiales puede utilizarse como un buen parámetro para definir en forma preliminar la magnitud de los daños (tabla 4). (Ref. 13)

Tabla 4.

Agrietamiento	Ancho	Magnitud de daño.	Ejemplos de soluciones estructurales posibles del elemento.
Fisura	≤ 0.4 mm	LD	No requiere reparación.
Grieta	≤ 1.0 mm	MD	Reparación con resinas epóxicas.
Fractura	≤ 5.0 mm	FD	Aumento de dimensiones y acero de refuerzo.
Dislocación	> 5.0 mm	SD	Demolición y construcción de un elemento nuevo.

Sin embargo, para muros de mampostería confinados el tipo de falla constituye un mejor parámetro para la definición de la magnitud de los daños (tabla 5). (Ref. 13)

Tabla 5.

Tipo de falla	Magnitud del daño	Ejemplo de soluciones posibles.
	LD	Recubrimiento con yeso o mortero.
	MD	Aplanado de mortero, cemento:arena 1:3.
	FD	Refuerzo con malla electrosoldada 6x6/ 10x10 y aplanado de mortero, cemento:arena 1:3.
	SD	Demolición y construcción de un elemento nuevo.

De manera similar, podrán escogerse otros parámetros para definir la magnitud de daños en materiales y sistemas estructurales diferentes. (Ref. 13)

Durante el proceso de registro de daños de un edificio, es importante realizar un registro completo, objetivo y confiable. Además, es recomendable que el perito responsable considere en el sitio la posible solución local del elemento dañado. Esto es, planear el siguiente paso. (Ref. 13)

El formato DT-05 cumple con estos requisitos y permite al ingeniero registrar en mayor detalle los daños de elementos principales de la estructura (DT-06). (Ref. 13)

Con la información obtenida en estos formatos, resultará fácil realizar un croquis de los daños por niveles y entrepisos que muestre en forma cualitativa la distribución de los daños en el edificio (tabla 6), esto es parecido al procedimiento propuesto por el Ing. Santiago Arias, después del sismo ocurrido en Chile en 1965. (Ref. 13 y 16)

TABLA 6											
Plano de daños											
Indicador de daños											
Sector (1)	Tipo de elemento										
Sector (2)	Magnitud del daño										
Sector (3)	Registro detallado (RD)										
Sector (4)	Solución local										
Ejemplo:											
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Nivel o entrepiso, localización, tipo de elemento</th> </tr> <tr> <th>Identificación</th> <th>Descripción</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E1, 2/C-D, M1</td> <td>Muro tipo M1, en el entrepiso E1, en el eje 2, entre los ejes C-D.</td> </tr> <tr> <td>E2, C/2, C3</td> <td>Columna tipo 3, en el entrepiso E2, en la intersección de ejes C y 2.</td> </tr> <tr> <td>N1, 1-2/A-B, L1</td> <td>Losa tipo 1, en el nivel N1, entre los ejes 1-2 y A-B.</td> </tr> </tbody> </table>		Nivel o entrepiso, localización, tipo de elemento		Identificación	Descripción	E1, 2/C-D, M1	Muro tipo M1, en el entrepiso E1, en el eje 2, entre los ejes C-D.	E2, C/2, C3	Columna tipo 3, en el entrepiso E2, en la intersección de ejes C y 2.	N1, 1-2/A-B, L1	Losa tipo 1, en el nivel N1, entre los ejes 1-2 y A-B.
Nivel o entrepiso, localización, tipo de elemento											
Identificación	Descripción										
E1, 2/C-D, M1	Muro tipo M1, en el entrepiso E1, en el eje 2, entre los ejes C-D.										
E2, C/2, C3	Columna tipo 3, en el entrepiso E2, en la intersección de ejes C y 2.										
N1, 1-2/A-B, L1	Losa tipo 1, en el nivel N1, entre los ejes 1-2 y A-B.										

En el formato DT-07 se presenta el resumen de daños es tr u c t r a r a l e s en forma cuantitativa (por entrepisos, niveles y elementos estructurales). La información obtenida en es te re s u m e n podría procesarse estadísticamente para determi nar un índice de seguridad del edificio. Asimismo, depen diendo de la magnitud del daño, podría asignarse un costo promedio de reparación, refuerzo, o reconstrucción de los diferentes elementos y obtener un índice económico. (Ref. 13)

Con base en el croquis de daños y en el resumen de daños, el perito tendrá los elementos suficientes para dic taminar la mejor solución. (Ref. 13)

La descripción de cada uno de los formatos presentados a continuación es la siguiente: (Ref. 13)

Formato : DT-01.

Título: "Localización, orientación y observaciones exterior es del inmueble".

Objetivo: obtener un croquis de localización y orientación del inmueble, en donde se identifiquen también los edificios colindantes (A, B y C) y se describa el estado ocupacional y de daños de los edificios, con base en observaciones exteriores.

Formato : DT-02.

Título: " Croquis de planta tipo ".

Objetivo: obtener croquis de la planta tipo del inmueble, en donde se definan los ejes de referencia, la distancia entre los mismos y el tipo de elementos estructurales existentes.

Formato : DT-03.1.

Título: " Tipificación de elementos estructurales ".

Objetivo: definir de manera uniforme y ordenada los diferentes elementos estructurales existentes en el inmueble. Esto se realizará de acuerdo con la nomenclatura indicada y con la secuencia siguiente: Tipo de elemento, Dimensiones, Materiales, Refuerzo.

Formato : DT-03.2.

Título: " Posibles soluciones estructurales ".

Objetivo: establecer las diversas soluciones estructurales posibles, para que, a partir de ellas, se defina la magnitud de daños de los elementos (DT-04.3).

Formato : DT-04.1.

Título: " Parámetros fundamentales de evaluación estructural ".

Objetivo: indicar algunos parámetros de particular importancia para la evaluación estructural de los elementos (DT-05).

Formato : DT-04.2.

Título: " Clasificación de daños ".

Objetivo: clasificar el daño de un elemento o de una estructura en función de su estabilidad.

Formato : DT-04.3.

Título: " Definición de magnitud de daño ".

Objetivo: definir de manera uniforme la magnitud del daño - de un elemento o de una estructura, en función de la clasificación del daño y de su solución posible.

Formato : DT-05.

Título: " Registro general de daños ".

Objetivo: registrar de manera práctica, completa, uniforme y sencilla, la integridad de todos los elementos estructurales dañados, por niveles (N-losas y trabes) o entrepisos (E-muros y columnas), indicando las posibles causas y soluciones.

Formato : DT-06.

Título: " Registro detallado de daños ".

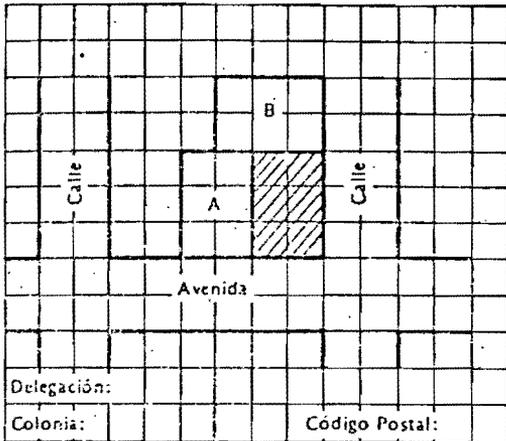
Objetivo: registrar los croquis y daños de los principales elementos de la estructura. Estos podrán representarse cualitativamente en un plano de daños. Un registro fotográfico será un buen complemento.

Formato : DT-07.

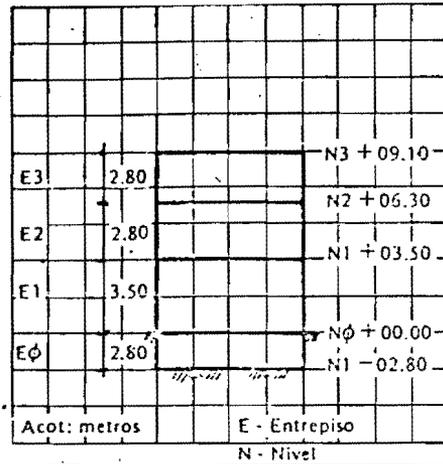
Título: " Resumen de daños ".

Objetivo: :cuantificar por entrepiso, por nivel y por elemen
tos, el estado de daños de todo inmueble.

Croquis de localización



Elevación



Edificios colindantes

A: Edificio de 5 niveles de concreto reforzado. De mayor altura que el inmueble, fue construido antes que éste. Su uso es de departamentos y se encuentra habitado. No está dañado. La separación de colindancia es de 15 cm. No presenta hundimientos o desplomes.

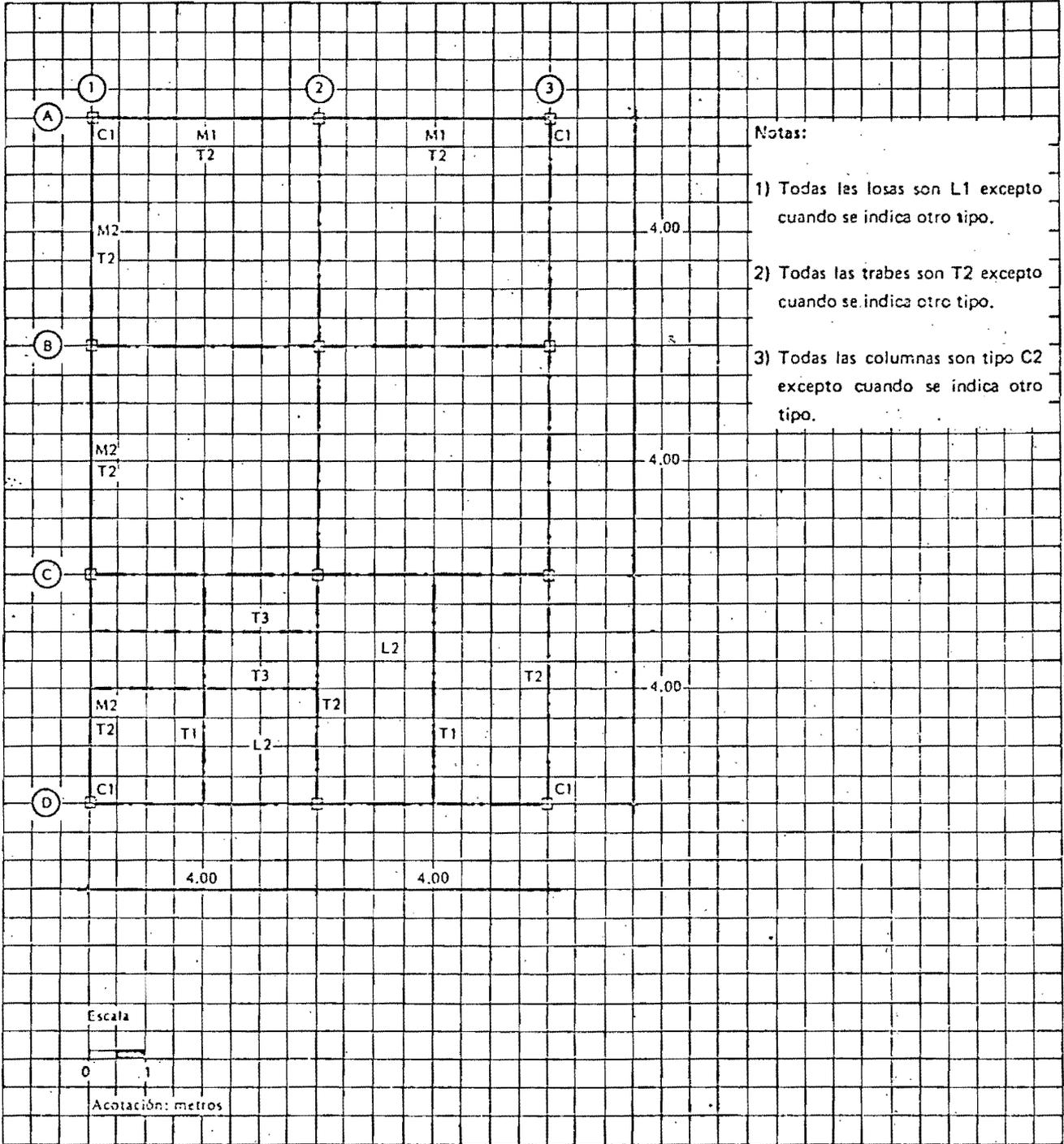
B: Edificio de 4 niveles de concreto reforzado. De mayor altura que el inmueble, es un edificio para uso de oficinas. Se encuentra severamente dañado y está desocupado. La separación de colindancia es de 5 cm. Presenta desplomes y hundimientos hacia el inmueble. Fue construido después que el inmueble. Chocó con el entrepiso E3 del inmueble y produjo daños fuertes. El edificio es inestable.

Observaciones exteriores del inmueble

Edificio de 3 niveles con sótano de estacionamiento, destinado a oficinas. La estructura consiste en columnas y trabes de concreto reforzado que soportan losas perimetrales. Se encuentra habitado. Está severamente dañado. No presenta desplomes o hundimientos. Existe peligro de caída de materiales a la vía pública.

CROQUIS DE PLANTA TIPO

Entrepiso (s) E2, E3 Nivel (es) N2, N3



TIPIFICACION DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES	NOMENCLATURA
Tipo de Elemento, Dimensiones/Material/Refuerzo	K Castillo
M1, 15 ϕ /MM-Tabique rojo/confinado con D1 y K1	C Columna
M2, 15 ϕ /MM-Block concreto/internamente reforzado	M Muro
C1, 30 x 30/CR	T Trabe
C2, 45 x 45/CR/4 Vs # 6/E γ # 2 @40	D Dala
K1, 15 x 15/CR/4 Vs # 3/E γ # 2 @20	L Losa
T1, 20 x 30/CR	Z Cimiento o zapata
T2, 30 x 50/CR/3 Vs # 4 (+)/2 Vs # 4 (-)/E γ # 3 @15	\emptyset Diámetro (cm)
L1, 10 ϕ /CR/Vs # 4 @30	ϕ Espesor (cm)
L2, 15 ϕ /CR/T3 @100	
T3, 6 x 8/CR-Vigueta prefabricada	
D1, 15 x 15/CR	AD Adobe
	CR Concreto Reforzado
	CP Concreto Prefabricado
	MM Mampostería
	MD Madera
	AC Acero

SOLUCIONES ESTRUCTURALES POSIBLES

Reparación (R)

Es la recuperación de las propiedades originales de resistencia y rigidez del elemento estructural; por ejemplo, el empleo de morteros o resinas para unir agrietamientos.

Refuerzo y reparación (RR)

Es el mejoramiento de las propiedades de resistencia y rigidez del elemento estructural; por ejemplo, el aumento de las dimensiones y del acero de refuerzo del elemento.

Reconstrucción, refuerzo y reparación (RRR)

Es la modificación total de las propiedades de resistencia y rigidez del elemento estructural; por ejemplo, la demolición parcial o total del elemento y la construcción de otro con materiales y refuerzos diferentes.

DT-04.1

PARAMETROS FUNDAMENTALES DE EVALUACION ESTRUCTURAL

1. Materiales (MAT)
 2. Dimensiones (DIM)
 3. Desplomes y Desniveles (DES)
 4. Armado o refuerzo (ARM)
 5. Cargas o sollicitaciones (CAR)
 6. Daños (DAÑ)
-

DT-04.2

CLASIFICACION DE DAÑOS

Daños menores (DMN)	Los daños carecen de importancia para la estabilidad de la construcción y ésta puede dejarse en su situación actual.
Daños mayores locales (DML)	Los daños carecen de importancia para la estabilidad de la construcción si y sólo si ésta es <i>reforzada (RR) localmente</i> .
Daños mayores globales (DMG)	Los daños afectan a la estabilidad de la construcción y ésta debe ser <i>reconstruida (RRR) globalmente</i> .

DT-04.3

DEFINICION DE MAGNITUD DE DAÑOS

Ligeramente dañado (LD)	Prácticamente no se requiere <i>reparación</i> ; por ejemplo, pequeñas <i>fisuras</i> , desprendimiento de recubrimientos y acabados, problemas no importantes de humedad, etc.
Moderadamente dañado (MD)	Se requiere <i>reparación de daños menores</i> ; por ejemplo, <i>grietas</i> que pueden <i>repararse</i> sin necesidad de <i>refuerzo</i> , problemas importantes de humedad, etc.
Fuertemente dañado (FD)	Se requiere de <i>refuerzo y reparación de daños mayores</i> ; por ejemplo, <i>fracturas</i> que disminuyen la resistencia y rigidez del elemento, problemas de estabilidad del elemento, etc.
Severamente dañado (SD)	Se requiere de <i>reconstrucción</i> del elemento; por ejemplo, <i>dislocaciones</i> con pérdida de material, colapsos o derrumbes, etc.

REGISTRO DETALLADO DE DAÑOS.

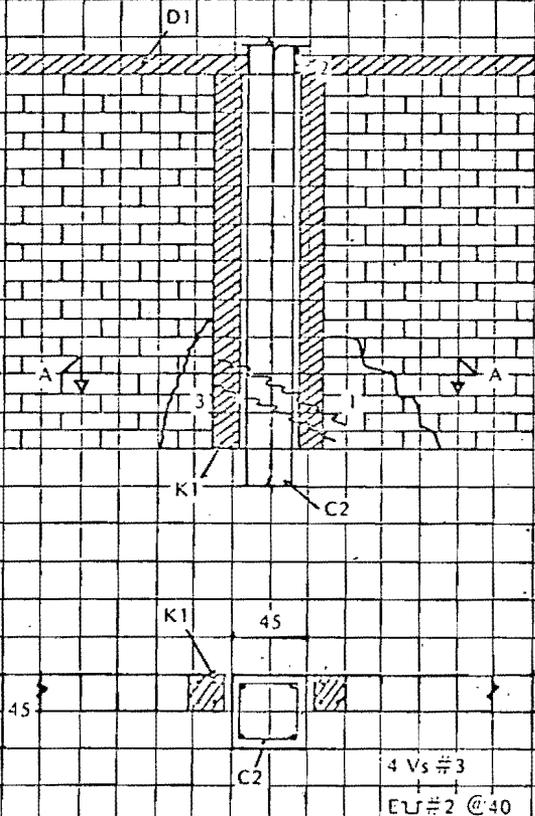
Elemento: E3. 2/A, C2
(Niv. o Ent., Ejes, Tipo Elem.)

Hoja 1 de 1

Fecha: 28/VII/86

Croquis detallado

Observaciones



1. La columna resultó severamente dañada por el choque producido con la colindancia B. La columna presenta pérdida de material y el refuerzo transversal en la zona inferior resultó fracturado.

2. La columna está desplomada hacia el eje 3 y comprime el material de poliestireno de la junta con el muro.

3. La separación de estribos en el cuarto inferior de la columna ($E.L. \# 2 @ 40 \text{ cm}$) no cumple con la separación máxima.

4. Los castillos también resultaron fracturados.

5. Los muros de colindancia prácticamente ya son muros de carga.

Conclusiones y recomendaciones

Los elementos son inestables y deben apuntalarse inmediatamente con polines de madera de 4" x 4" alrededor de la columna.

La columna deberá reconstruirse en su totalidad sustituyendo completamente su acero de refuerzo. Ver procedimiento de reconstrucción RRR-02.

RESUMEN DE DAÑOS ESTRUCTURALES

Entrepiso (E)	Columnas (C)				Muros (M)				Nivel (N)	Trabes (T)				Losas (L)			
	LD	MD	FD	SD	LD	MD	FD	SF		LD	MD	FD	SD	LD	MD	FD	SD
Eφ	12	0	0	0	5	0	0	0	Nφ	17	0	0	0	6	0	0	0
E1	12	0	0	0	5	0	0	0	N1	17	0	0	0	6	0	0	0
E2	3	4	4	1	0	0	3	2	N2	10	5	1	1	3	3	0	0
E3	1	1	6	4	0	0	2	3	N3	9	6	1	1	3	3	0	0
Total									Total								

CONCLUSIONES:

Como puede observarse los entresijos que resultaron más dañados son el E2 y E3, sobre todo en columnas y muros. Consecuentemente la magnitud del daño es severo y se clasifica al edificio con daños mayores globales. Ello implica la realización de un proyecto ejecutivo de *reconstrucción* que cumpla con los requerimientos de las Normas de Emergencia.

Dictamen técnico preliminar (DTP)

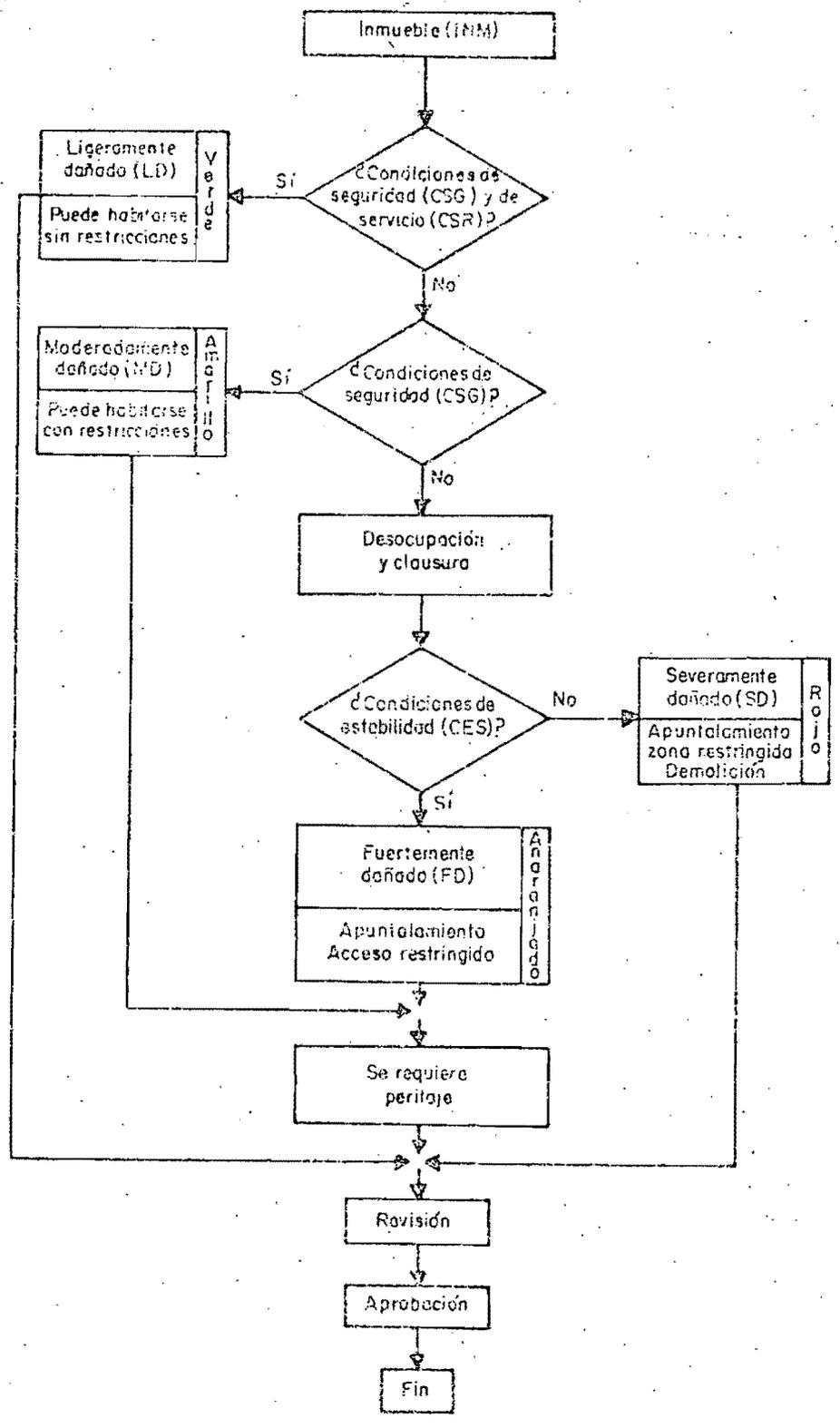
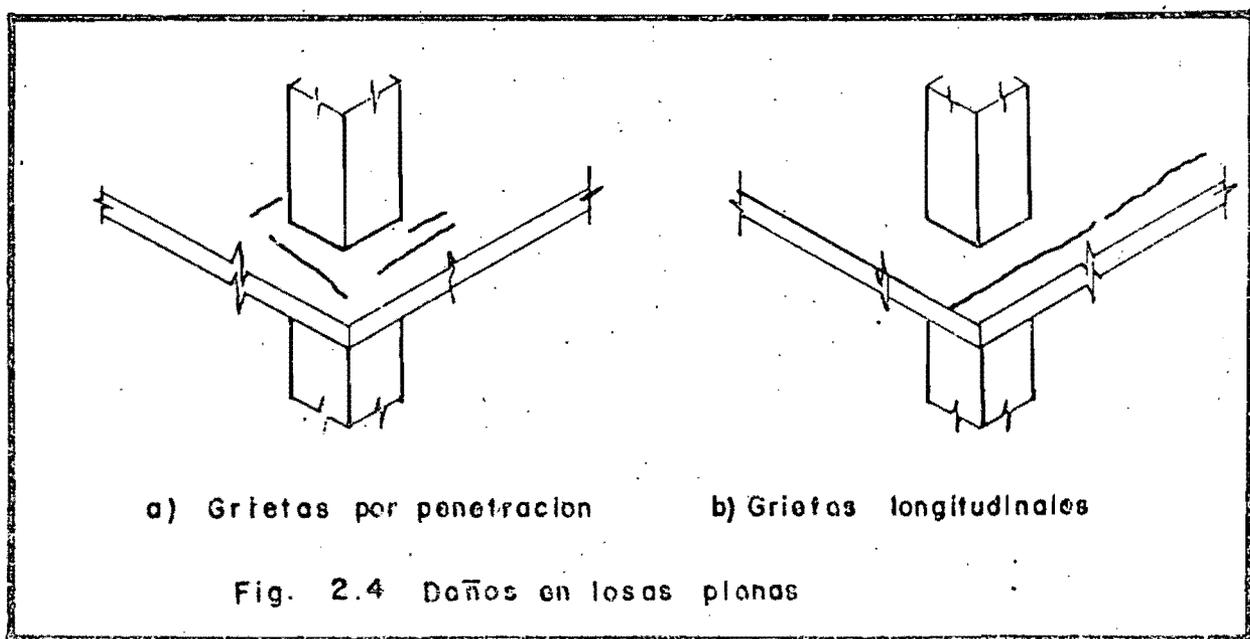
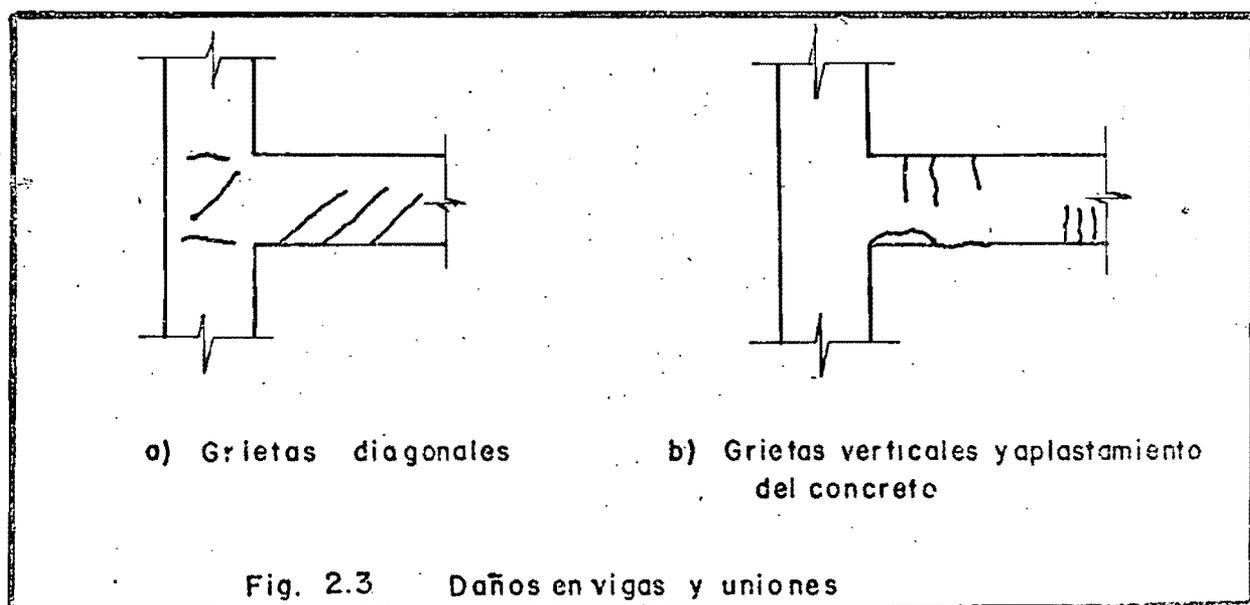
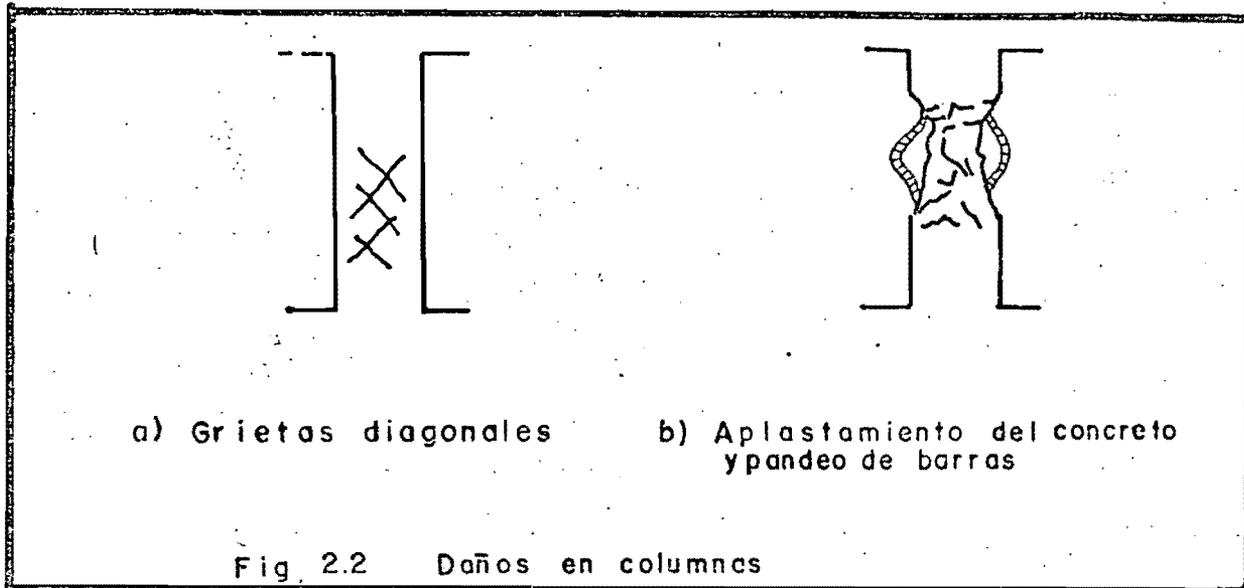
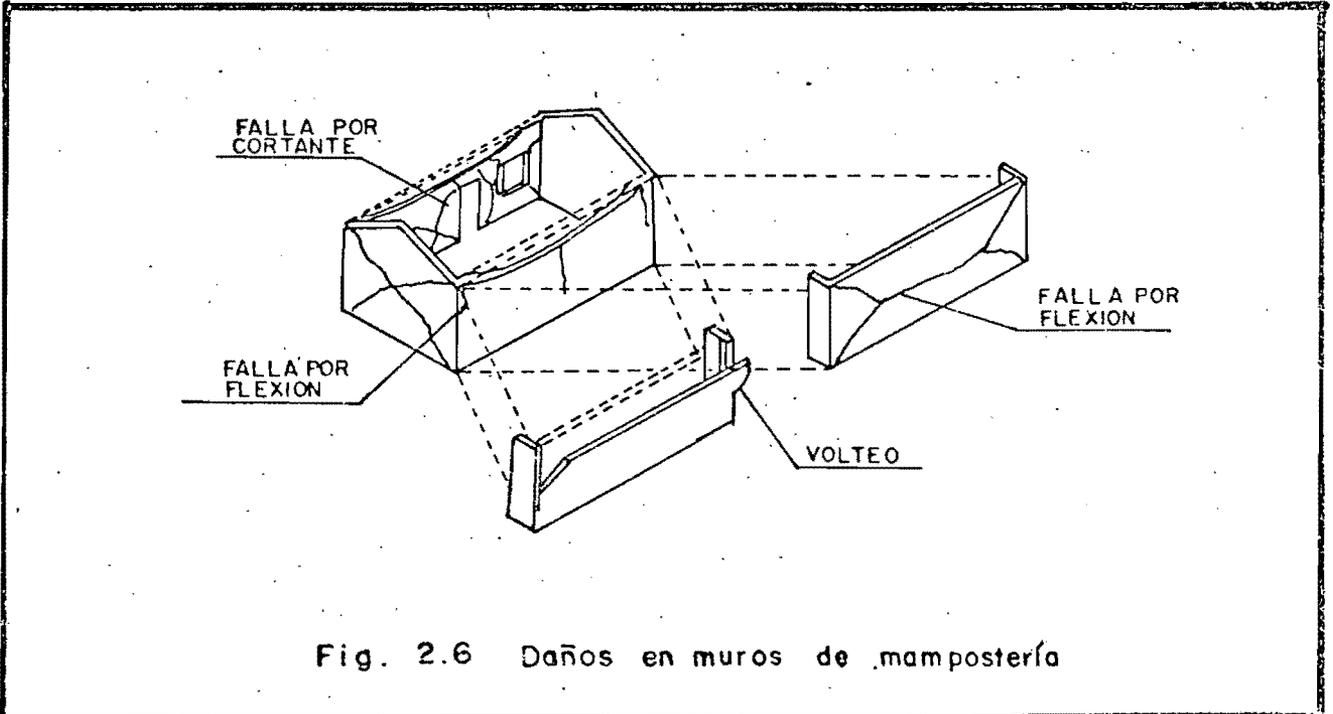
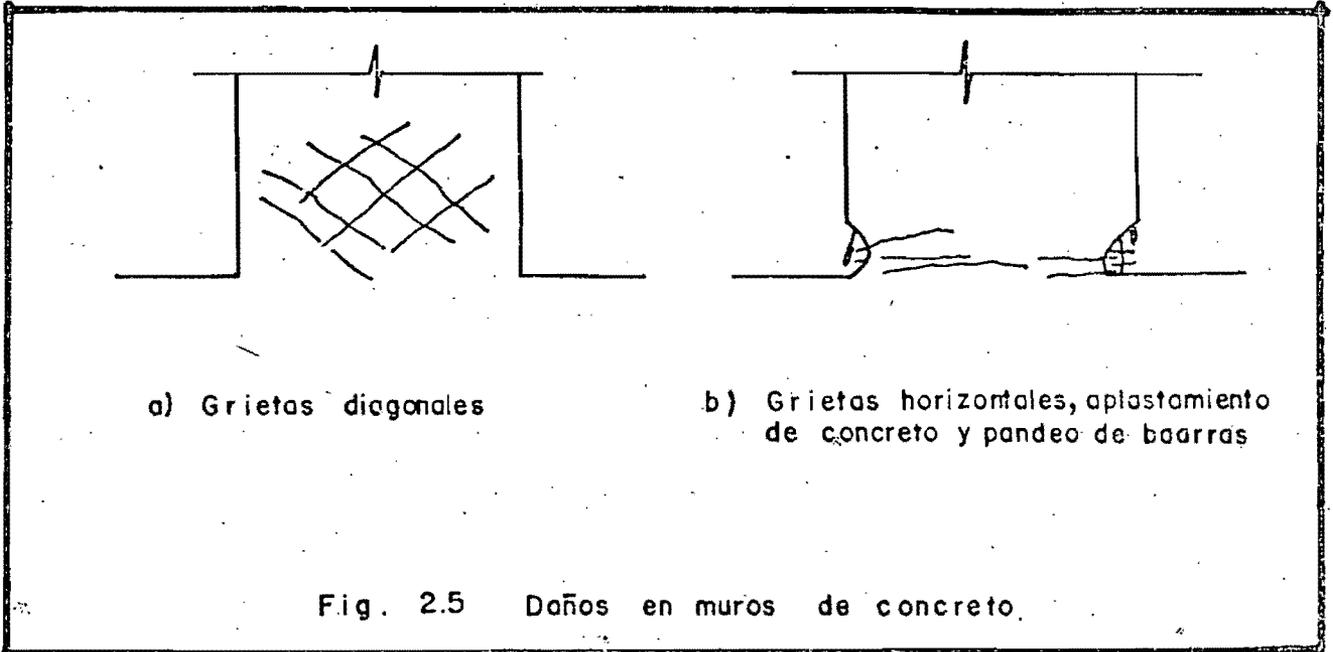


Fig. 2.1





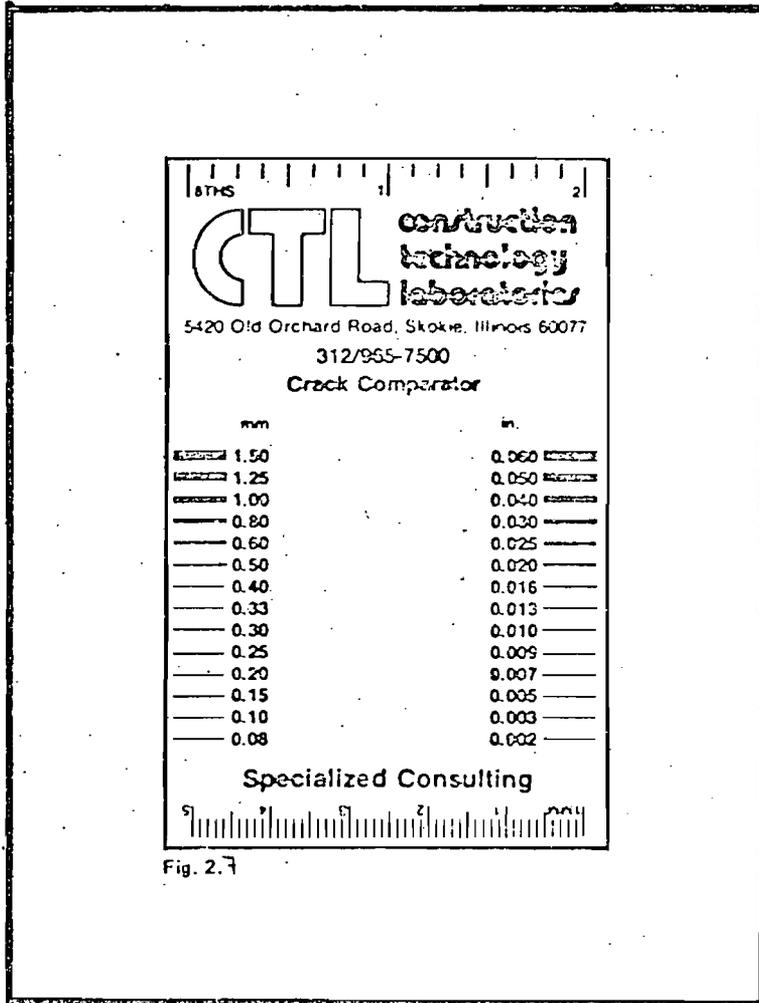
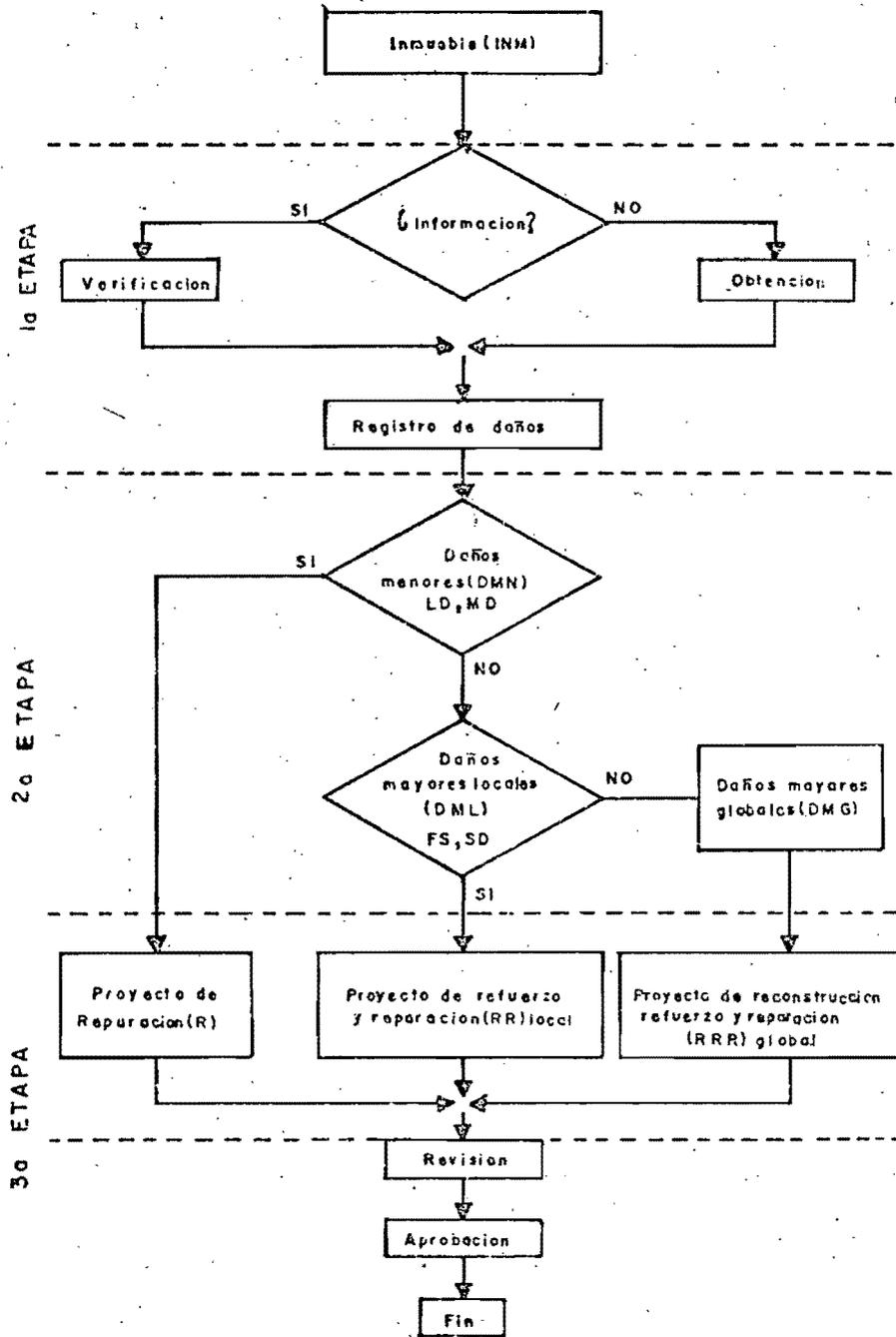


Fig. 2.7

II Peritaje de un edificio



ETAPA I

- 1a. Recopilación de información de campo.
- 2a. Dictamen técnico.
- 3a. Alternativa de soluciones estructural

Fig. 2.8.

C A P I T U L O 3

MEDIDAS TEMPORALES DE REHABILITACION.

3.1 INTRODUCCION. (Ref. 8)

Si como resultado de la evaluación preliminar de da -- ños se concluye que no es necesaria la demolición inmediata de la estructura, deberán definirse las medidas de emergen-- cia apropiadas para garantizar protección temporal mientras se lleva a cabo el estudio de la rehabilitación definitiva.

El propósito de la rehabilitación temporal es proporci-- onar resistencia provisional a aquellos elementos y conexio-- nes de los cuales depende la seguridad del sistema estructu-- ral total. Además, la protección temporal deberá incluir - medidas que garanticen la seguridad de las personas en las zonas adyacentes al edificio dañado y de los trabajadores - que realicen las labores de rehabilitación.

El Reglamento de Construcciones para el Distrito Fede-- ral en su artículo 236 de su Capítulo IX , establece que "antes de iniciar las obras de refuerzo y reparación, deberá demostrarse que el edificio dañado cuenta con la capacidad de soportar las cargas verticales estimadas y 30 por cien-- to de las laterales que se obtendrían aplicando las proseg-- tes disposiciones con las cargas vivas previstas durante la

ejecución de las obras. Para alcanzar dicha resistencia será necesario en los casos que se requiera, recurrir al apuntalamiento o rigidización temporal de algunas partes de la estructura." (Ref. 14)

Podrá prescindirse de los soportes o apuntalamientos laterales en aquellos casos en que los daños a reparar sean locales y se considere evidente que la estabilidad general de la estructura es adecuada.

El proporcionar apoyo vertical auxiliar a las columnas y muros de carga seriamente dañados es la primera medida a tomar al instalar un sistema de protección temporal.

Es importante proporcionar soporte provisional a todos los niveles además del correspondiente al elemento dañado, como se ilustra en la fig. 3.1. De esta manera se reducen considerablemente las fuerzas cortantes en las secciones $t-t$ a ambos lados del elemento vertical dañado. Cuando los elementos de soporte provisional se apoyan sobre losas debe cuidarse que no se presenten problemas de penetración. Para evitar esto, los elementos de soporte deben apoyarse sobre piezas horizontales, que pueden ser tablonés o vigas de madera acostados, que distribuyan la carga. Estas piezas pueden combinarse con placas de acero para casos de cargas grandes o sistemas de piso débiles.

Debe procurarse que los puntales sean colineales en todos los niveles. Generalmente será necesario transmitir cargas hasta la cimentación e incluso puede requerirse la construcción de un cimiento provisional para llevarlas hasta el suelo.

La distancia entre los elementos de apoyo provisionales y el elemento dañado debe ser la mínima posible aunque dejando espacio suficiente para los trabajos de reparación.

3.2 METODOS DE APUNTALAMIENTO VERTICAL. (Ref. 8)

3.2.1 Soportes de madera.

Las secciones más comunes de madera utilizadas para soporte son el polín de 4x4 pulg, la viga de 4x8 pulg, el tablón de 2 pulg de grosor y las tablas o duelas de 3/4 pulg a 1 1/2 pulg. Estas medidas son nominales; las medidas reales suelen ser algo menores. Los tabloncillos y tablas se consiguen en varios anchos. Pueden también aprovecharse los postes comúnmente utilizados en líneas de transmisión de energía eléctrica.

Con cargas ligeras pueden utilizarse polines o vigas sin arriostrar. Para repartir la carga y evitar los problemas de penetración mencionados antes es necesario colocar

en los apoyos tablonos o vigas acostados. En uno de los extremos deberán colocarse cuñas en la forma indicada en el inciso 3.4 (fig. 3.2a).

Pueden formarse elementos compuestos compactos uniendo dos vigas por medio de clavos, pernos o flejes como se indica en la fig. 3.2b.

La eficiencia de los miembros aislados puede incrementarse por medio de arriostramientos triangulares que disminuyan las longitudes efectivas de pandeo como se muestra en la fig. 3.2c. El arriostramiento puede hacerse únicamente en el sentido desfavorable en caso de secciones rectangulares como las vigas. En caso de secciones cuadradas como los polines, el arriostramiento deberá hacerse en ambos sentidos para que sea efectivo. Las piezas para arriostar deben tener un grosor mínimo de una pulgada y un ancho mínimo de 10 cm. Deben clavarse con clavos de 2 1/2 pulg. El número de clavos en cada unión debe ser el máximo posible en el espacio disponible, sin que se excedan los espaciamientos que establecen las normas. Los detalles de apoyo deben ser semejantes a los mencionados para miembros simples aislados.

Cuando las porciones de muros entre aberturas se han agrietado de manera que su capacidad de carga y su estabilidad lateral son dudosas, puede recurrirse a refuerzos con

piezas de madera como los mostrados en la fig. 3.3 -
Una solución semejante es apropiada cuando se han presenta-
do daños en los dinteles y muros sobre aberturas.

3.2.2. Perfiles de Acero.

Cuando las cargas que deben soportarse son grandes de-
be recurrirse al empleo de perfiles de acero o a combinacio-
nes de ellos para formar diferentes tipos de secciones com-
puestas. Tanto los perfiles simples como las secciones com-
puestas deben estar provistos de placas de apoyo. Deben acu-
ñarse debidamente, en forma semejante a la utilizada para -
los elementos de soporte de madera. El dimensionamiento se
lleva a cabo por los procedimientos usuales. Una alterna-
tiva interesante consiste en un refuerzo formado por ángu-
los colocados en las esquinas de las columnas dañadas y u-
nidos por placas de metal como se muestra en la fig. 3.4.
Este tipo de soporte puede aprovecharse para el refuerzo -
definitivo de la columna como se describirá más adelante .
En los extremos de los ángulos deben colocarse placas de
acero con el fin de garantizar un apoyo adecuado. Los hue-
cos entre los ángulos y la superficie de la columna deben
rellenarse con un mortero con aditivos expansores.

3.2.3. Puntales telescópicos y elementos tubulares diversos.

Existen diversos elementos estándar producidos industrialmente para ser usados en cimbras y obras falsas para la construcción de estructuras de concreto que pueden aprovecharse para apuntalar.

Para cargas muy ligeras pueden utilizarse soportes telescópicos independientes como el mostrado en la fig. 3.5a. La capacidad de estos elementos es del orden de dos toneladas y su altura máxima es de aproximadamente tres metros. La altura puede ajustarse por medio de un dispositivo a base de rosca. Están provistos de placas de apoyo en los extremos, pero en caso de que los esfuerzos de penetración sean excesivos, deberán disponerse tablonés o vigas adicionales en ambos extremos para lograr una mejor repartición de la carga.

Para soportar sistemas de piso o techos ligeros que hayan sufrido daños, puede recurrirse a combinaciones de elementos tubulares como en el caso ilustrado en la fig. 3.5b. La altura de estos elementos puede ajustarse por medio de dispositivos de rosca como el de la fig. 3.5c. Al igual que en el caso de los soportes telescópicos independientes deben cuidarse los detalles de apoyo en ambos extremos.

Los datos sobre capacidad útil de los elementos estándar descritos deben obtenerse de los fabricantes.

3.3 SOPORTE LATERAL. (Ref. 8)

3.3.1 Soporte lateral de muros.

Debe proporcionarse soporte lateral a los muros de carga de mampostería o concreto a fin de que no caigan hacia afuera debido a posibles réplicas del sismo o a otras acciones horizontales, lo que ocasionaría el derrumbe de los pisos o techos que sostienen. Esto puede hacerse mediante un apuntalamiento exterior semejante al ilustrado en la fig.

3.6. Los puntales pueden estar formados por dos vigas unidas por pernos o flejes, colocadas a distancias convenientes según las fuerzas que se estima que deben resistir. Deben apoyarse a la altura de los pisos sobre piezas verticales de madera, unidas al muro por elementos de conexión adecuados para resistir la componente vertical del puntal inclinada. El extremo inferior debe tener apoyo, empotrándolo o por algún otro procedimiento para que resista fuerzas laterales. La inclinación de los puntales con respecto a la horizontal no debe ser superior a 45 grados y preferiblemente debe ser de aproximadamente 25 grados. El apoyo sobre el suelo debe ser adecuado. Para su ajuste suelen dispnerse cuñas en el extremo inferior. El apuntalamiento puede hacerse también con perfiles laminados o con tubos de acero.

Cuando no se dispone de espacio suficiente para colocar puntales o tensores inclinados exteriores, pueden utilizarse tirantes de acero que unan los muros exteriores con los interiores perpendiculares a ellos. También se pueden ligar los muros exteriores a elementos del sistema de piso como en la figura 3.7, o colocar tirantes de muro a muro como en la fig. 3.8.

Debe observarse que no siempre estos sistemas de soporte de los muros exteriores son suficientes para garantizar la estabilidad general de una estructura. Así en algunas situaciones deben complementarse con contraventeos semejantes a los que se describen en el siguiente inciso.

3.3.2 Contraventeo de marcos.

Los edificios a base de marcos pueden rigidizarse por medio de contraventeos formados por miembros diagonales de madera o de acero que trabajen en compresión, dispuestos en la forma indicada en la fig. 3.9. Para que sean efectivos deben acuñarse adecuadamente en ambos extremos. Debe también revisarse que la resistencia a cortante tanto de la viga como de la columna en los apoyos de los puntales inclinados sea suficiente para resistir las componentes debidas a dichos elementos rigidizantes. Si las columnas no son capaces de resistir las componentes verticales introducidas por el contraventeo, será necesario completarlo con elementos adicionales verticales. Una forma de lograr lo anterior se muestra en la alternativa de contraventeo de la fig. 3.10.

El contraventeo puede también realizarse con miembros sujetos a tensión como se indica esquemáticamente en la fig. 3.11. Los miembros pueden consistir en cables o en perfiles laminados de acero. La ventaja de este tipo de contraventeo es que los miembros no están expuestos a pandeo. Los perfiles laminados se dimensionan por los métodos usuales de

esfuerzos permisibles o de resistencia última. Los cables suelen dimensionarse por resistencia última ya que el dato que acostumbran dar los fabricantes es la carga de rotura. Un factor de seguridad de tres parece razonable. Para que sean efectivos los cables deben estar ligeramente tensados con templadores. Como en el caso de los elementos rigidizantes en compresión, deben revisarse los efectos que los tirantes producen en las vigas y columnas. Los detalles de unión de los tirantes a la estructura en proceso de reparación deben estudiarse cuidadosamente. En el caso de cables deben tenerse en cuenta las recomendaciones de los fabricantes.

En algunas situaciones puede resultar conveniente proporcionar soporte a una estructura por medio de tirantes exteriores en la forma ilustrada en la fig. 3.12. En tales casos es necesario diseñar un muerto de anclaje apropiado.

3.4 METODOS DE ACUÑAR. (Ref. 8)

Para transferir carga de los elementos estructurales dañados al sistema de soporte temporal es necesario acuñar adecuadamente los miembros del sistema que trabajan en compresión. Esto puede hacerse por medio de diversos dispositivos: cuñas de madera; gatos mecánicos; gatos hidráulicos ordinarios y gatos hidráulicos planos.

Las cuñas de madera deben fabricarse de madera dura, seca y libre de nudos. Las fibras deben quedar orientadas - como se muestra en la fig. 3.13. Una vez ajustadas deben evitarse posibles movimientos clavándolas (fig. 3.14 a). No deben usarse cuñas sueltas como en la fig. 3.14b.

Los gatos mecánicos deben tener una superficie de apoyo proporcional a la carga que transmiten, de manera que no haya problemas de penetración excesiva, además dicha superficie debe estar en relación con la altura del gato de manera que no haya riesgo de volteo. Como regla general se sugiere que se cuente con 50 cm^2 de apoyo por cada tonelada de carga.

Varios gatos hidráulicos pueden conectarse de manera - que apliquen igual carga simultáneamente en varios elementos del sistema de apoyo. Los gatos hidráulicos deben estar

calibrados de manera que el operador pueda relacionar la presión del aceite con la carga aplicada. Una ventaja de los gatos hidráulicos es que pueden manejarse a distancia, sin que los operarios corran peligro durante el acuñado.

Cuando la base de los gatos no proporciona un apoyo adecuado puede intercalarse una pieza de madera o una placa de acero entre la base y la superficie de apoyo para lograr una mejor repartición de la carga.

Los gatos planos constituyen un medio eficaz de acuñar y pueden operarse a distancia al igual que los gatos hidráulicos ordinarios. Generalmente funcionan inyectándoles agua o aceite. Si se desea hacer permanente la deformación del gato puede inyectarse lechada de cemento; la presión de inyección deberá mantenerse mientras la lechada endurece. Los gatos planos suelen ser de forma circular aunque también se fabrican con otras formas. En la fig. 3.15a se muestra un gato plano antes y después de la inyección de líquido. A veces es conveniente colocar lechada, madera dura o placas de plomo entre la estructura soportada y el gato plano para mejorar las condiciones de apoyo (fig. 3.15b). Una vez terminada la operación de gateo es conveniente instalar cuñas de madera como medida de seguridad en caso de una pérdida de presión (fig. 3.15c).

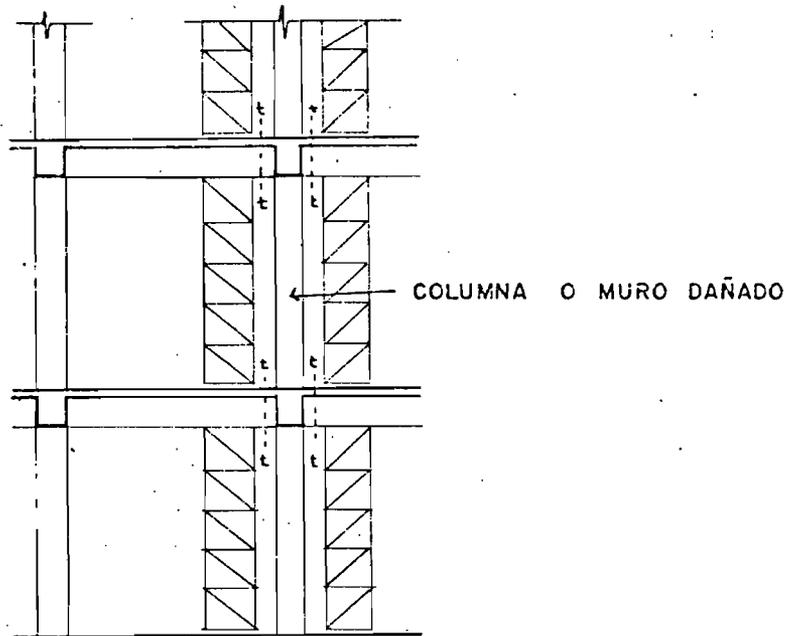
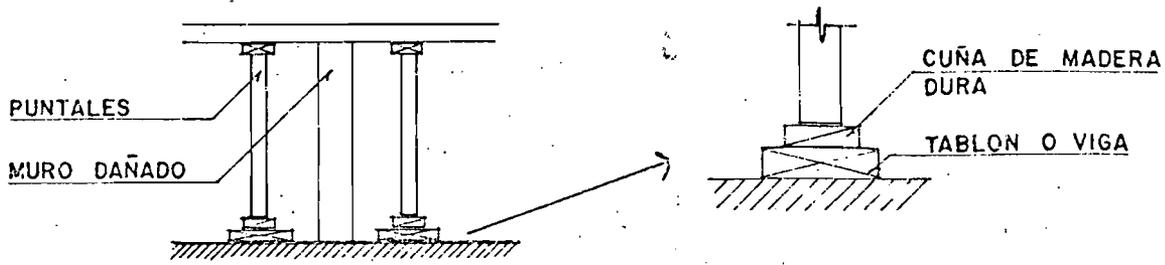
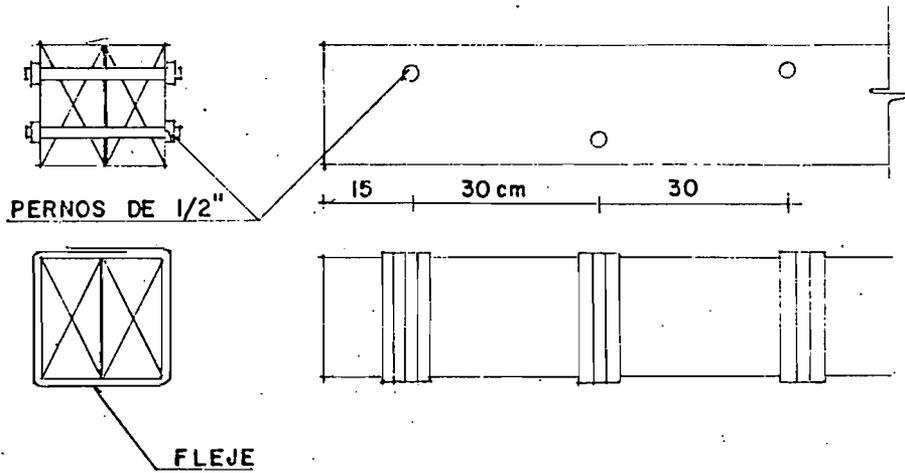


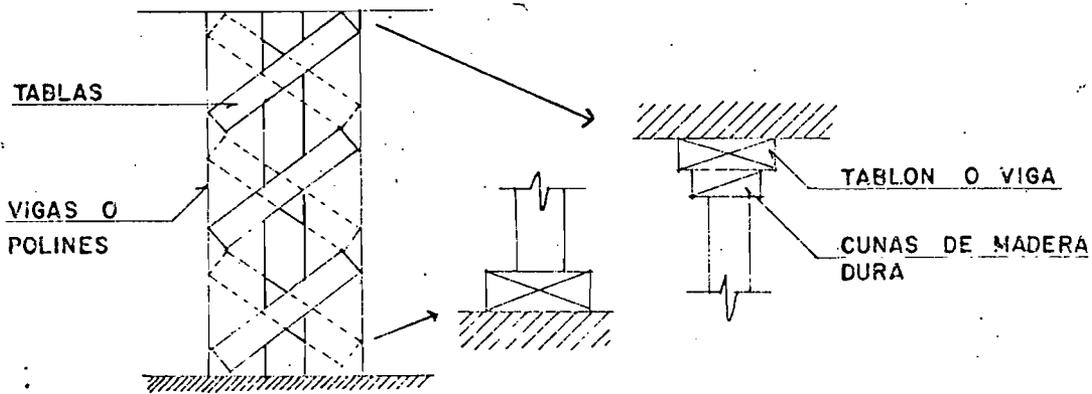
Fig. 3.1 APUNTALAMIENTO EN VARIOS PISOS



a) PUNTALES SIMPLES



b) PUNTALES FORMADOS POR DOS VIGAS



c) PUNTALES ARRIESTRADOS

Fig. 3.2 APUNTALAMIENTO VERTICAL CON PIEZAS DE MADERA

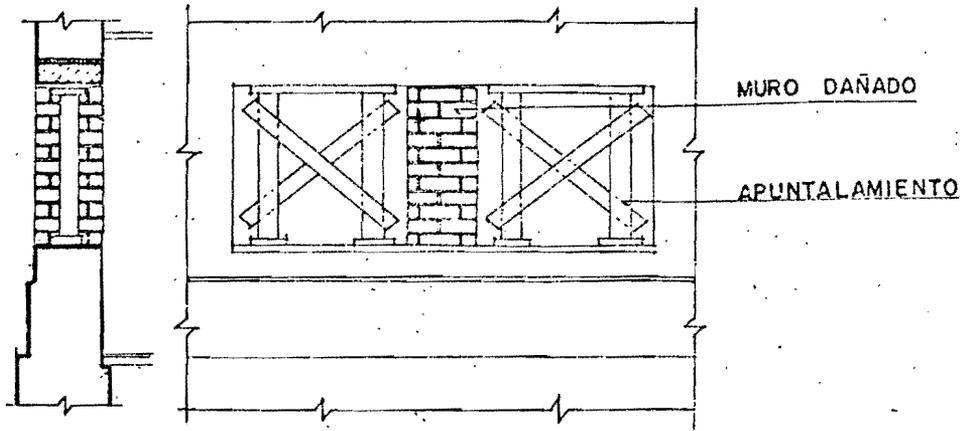


Fig. 3.3 APUNTALAMIENTO DE ABERTURAS

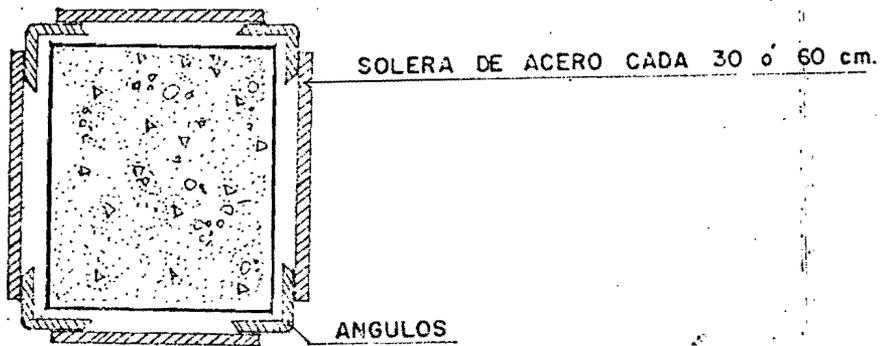


Fig. 3.4 APUNTALAMIENTO CON ANGULOS Y SOLERAS DE ACERO

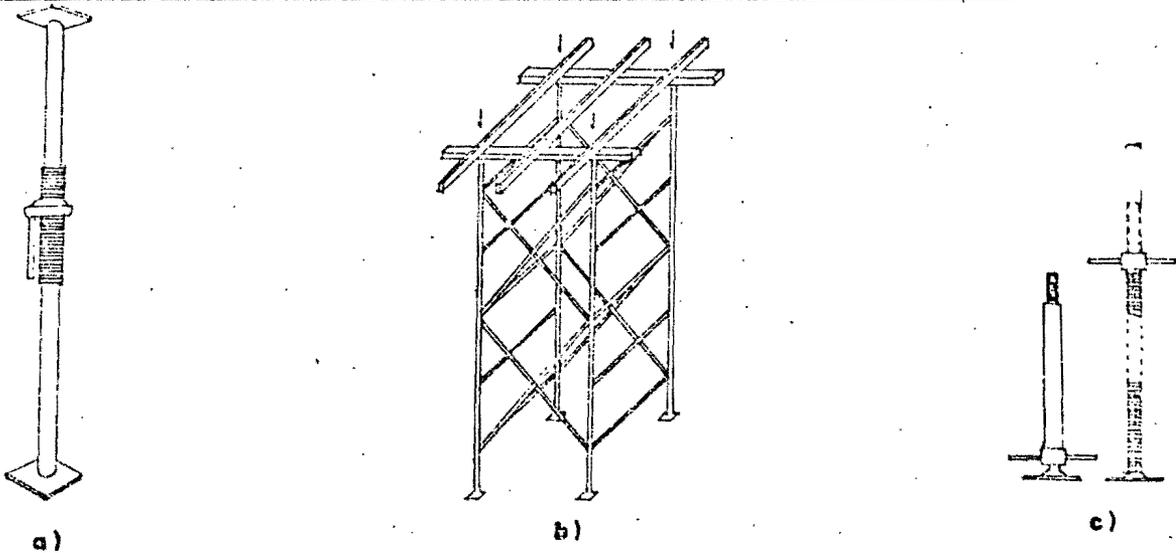


Fig. 3.5 PONTALES TELESCOPICOS Y ELEMENTOS TRUSULARES DIVERSOS

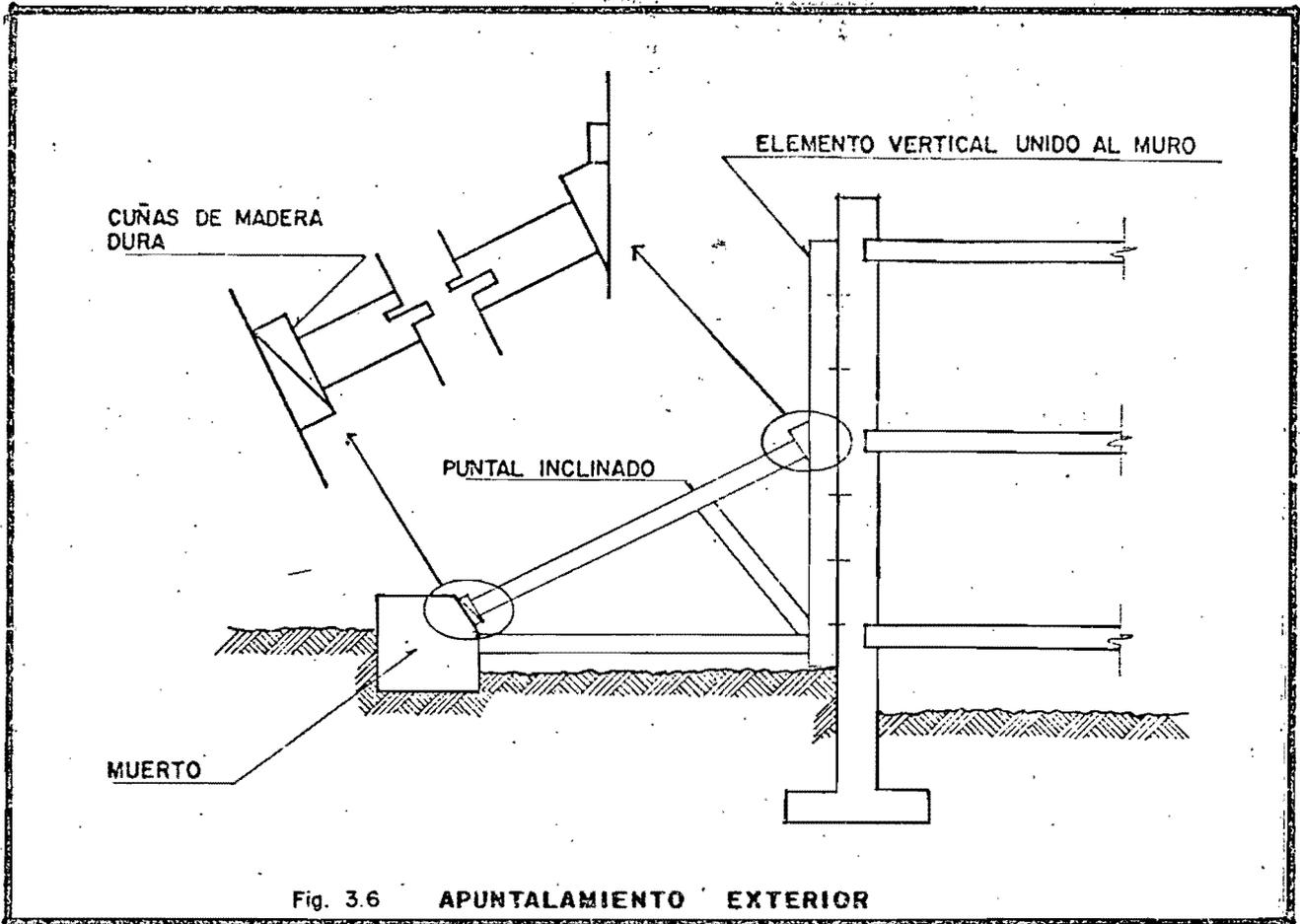


Fig. 3.6 APUNTALAMIENTO EXTERIOR

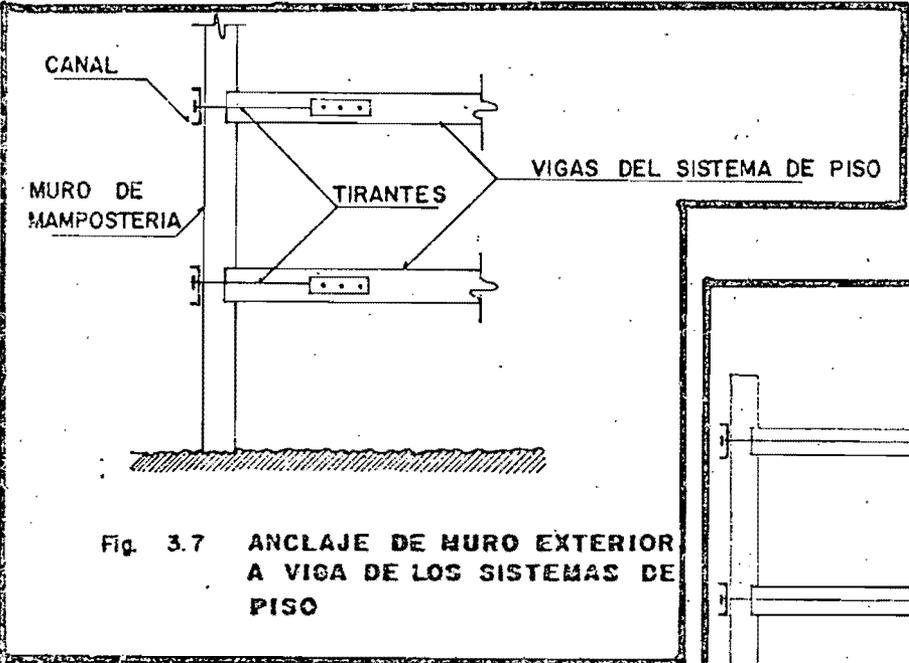


Fig. 3.7 ANCLAJE DE MURO EXTERIOR A VIGA DE LOS SISTEMAS DE PISO

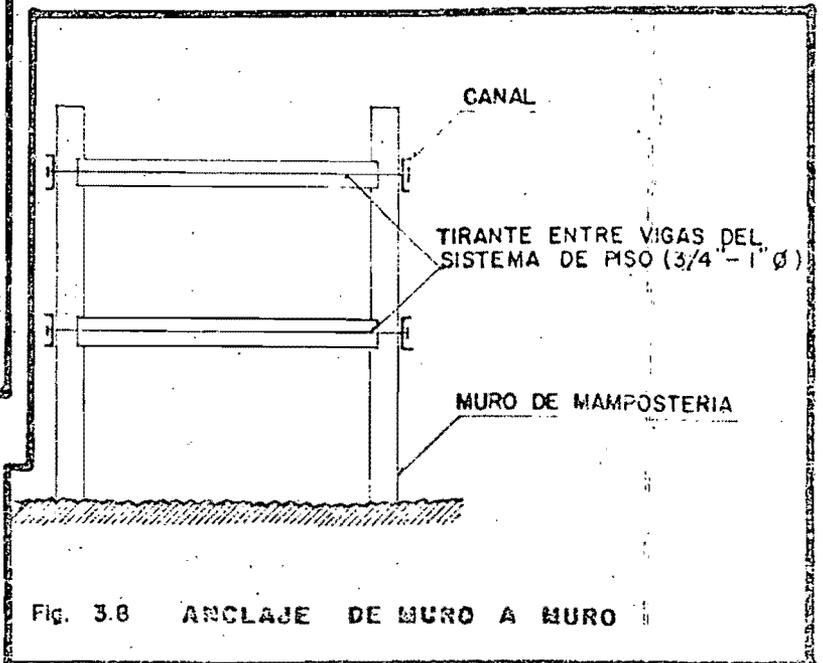
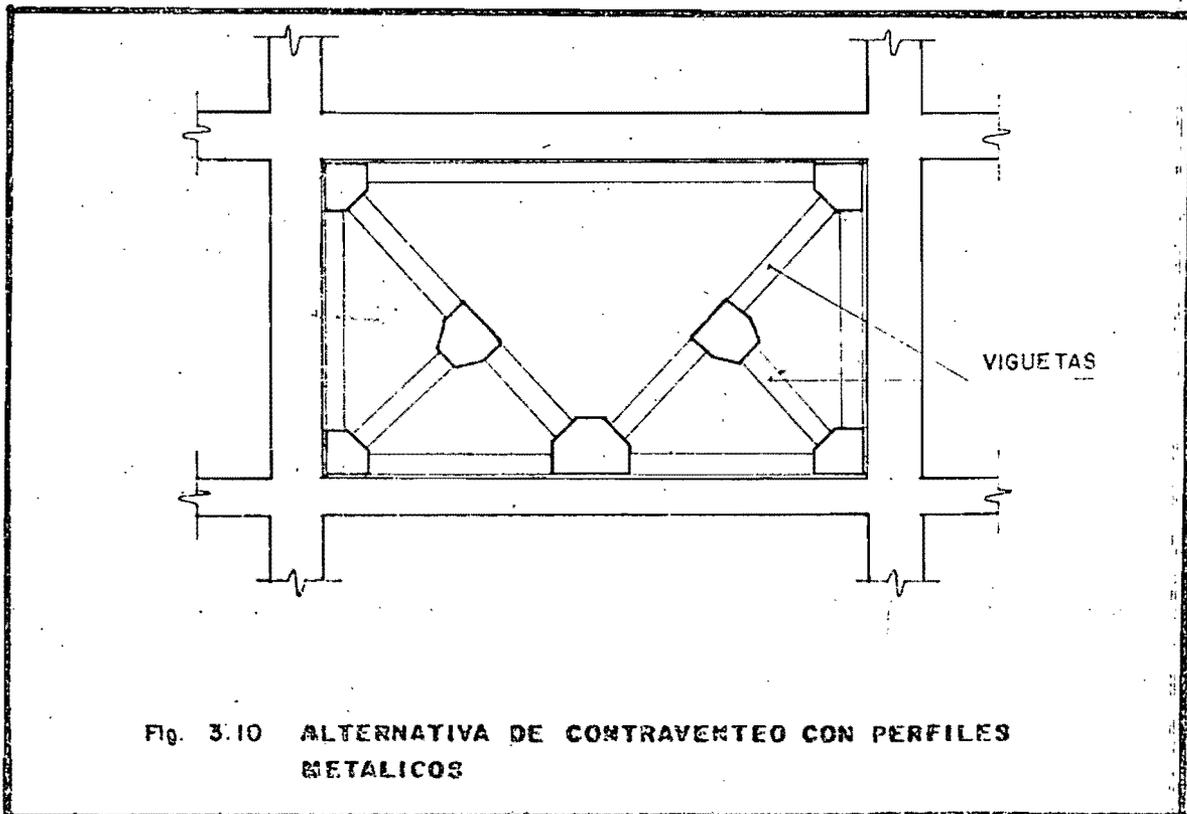
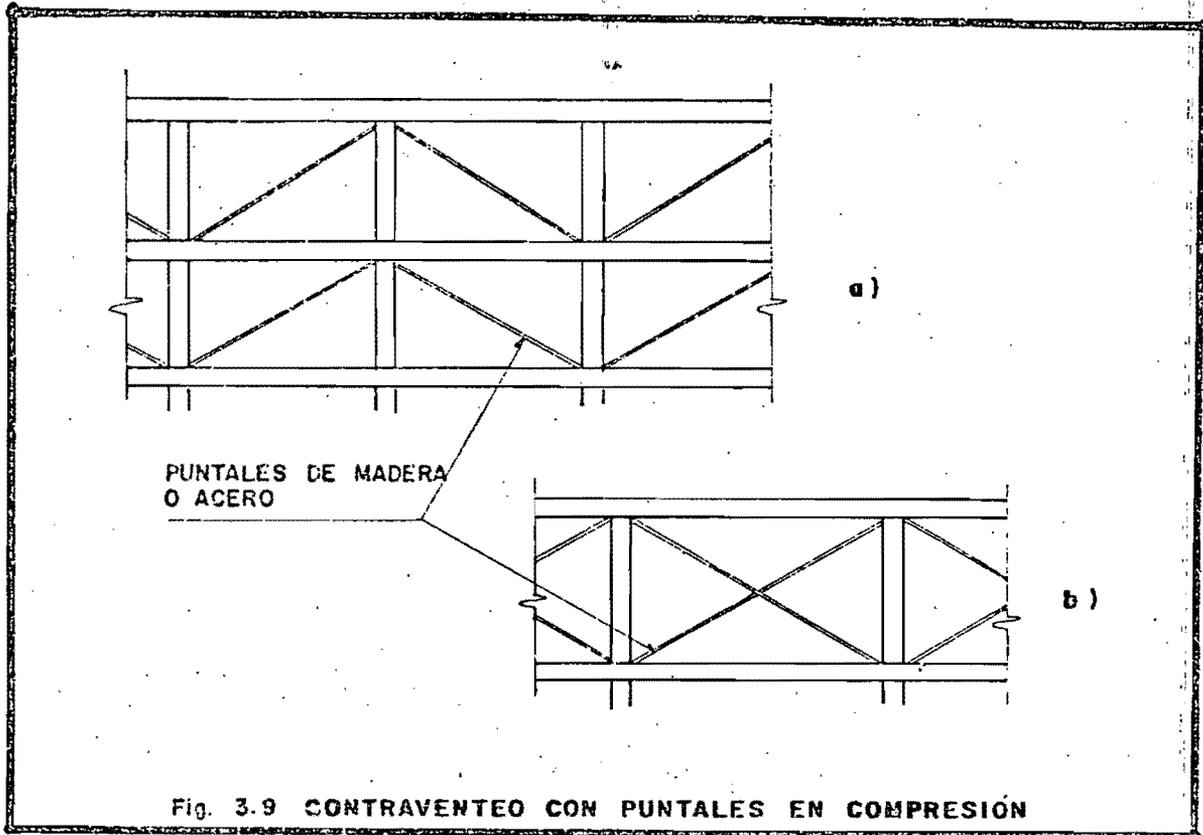


Fig. 3.8 ANCLAJE DE MURO A MURO



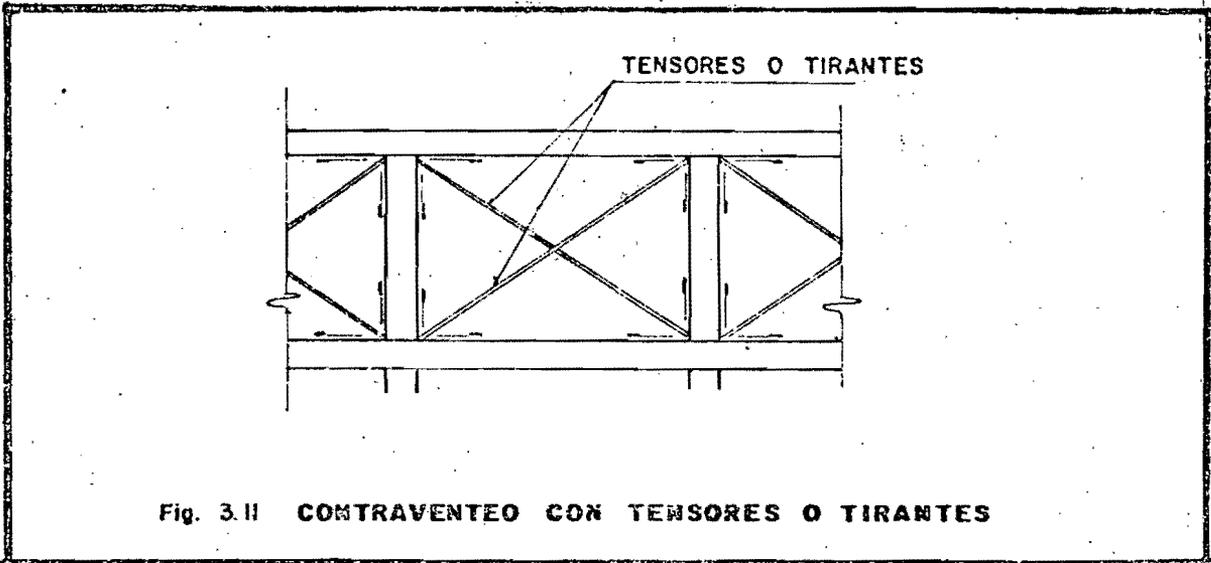


Fig. 3.11 CONTRAVENTEO CON TENSORES O TIRANTES

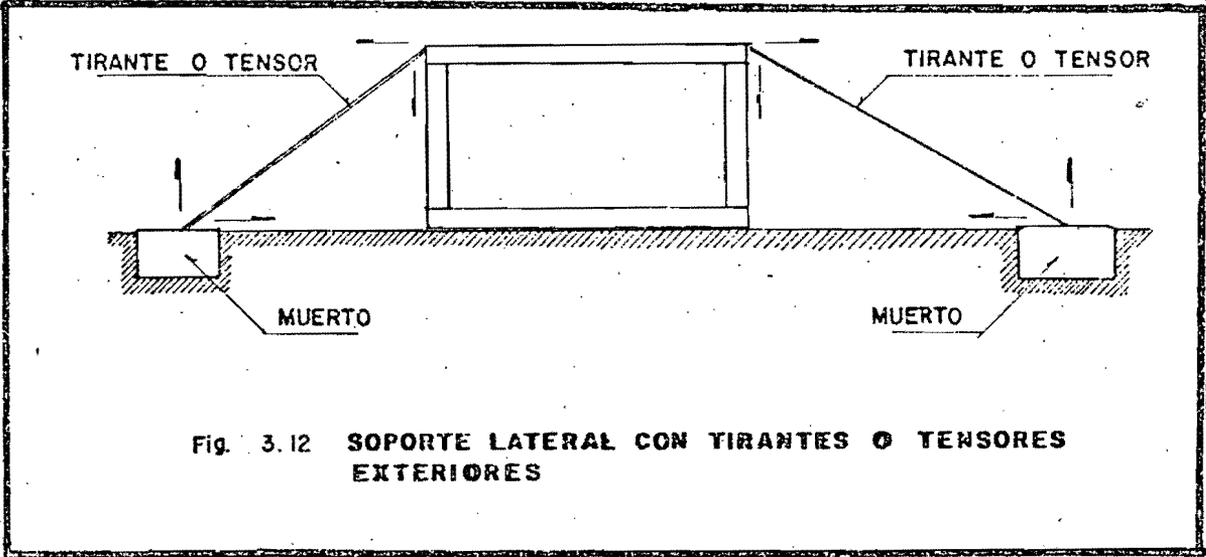


Fig. 3.12 SOPORTE LATERAL CON TIRANTES O TENSORES EXTERIORES

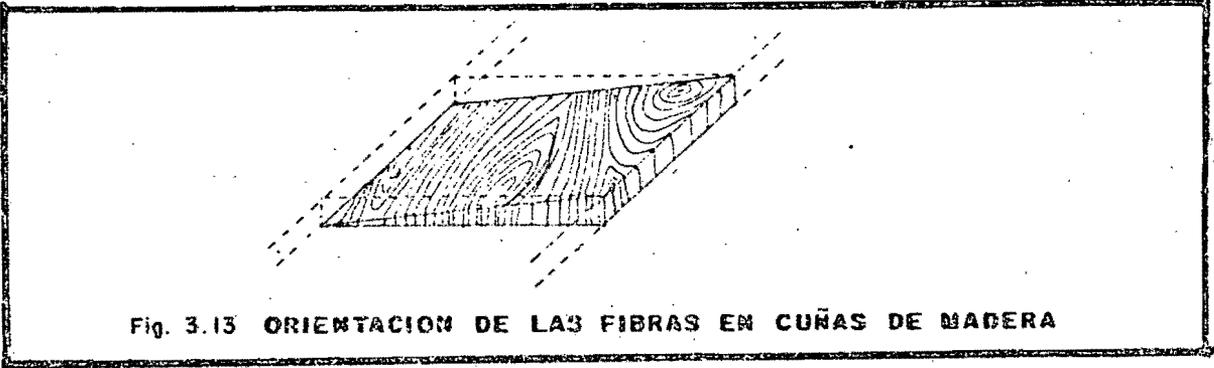
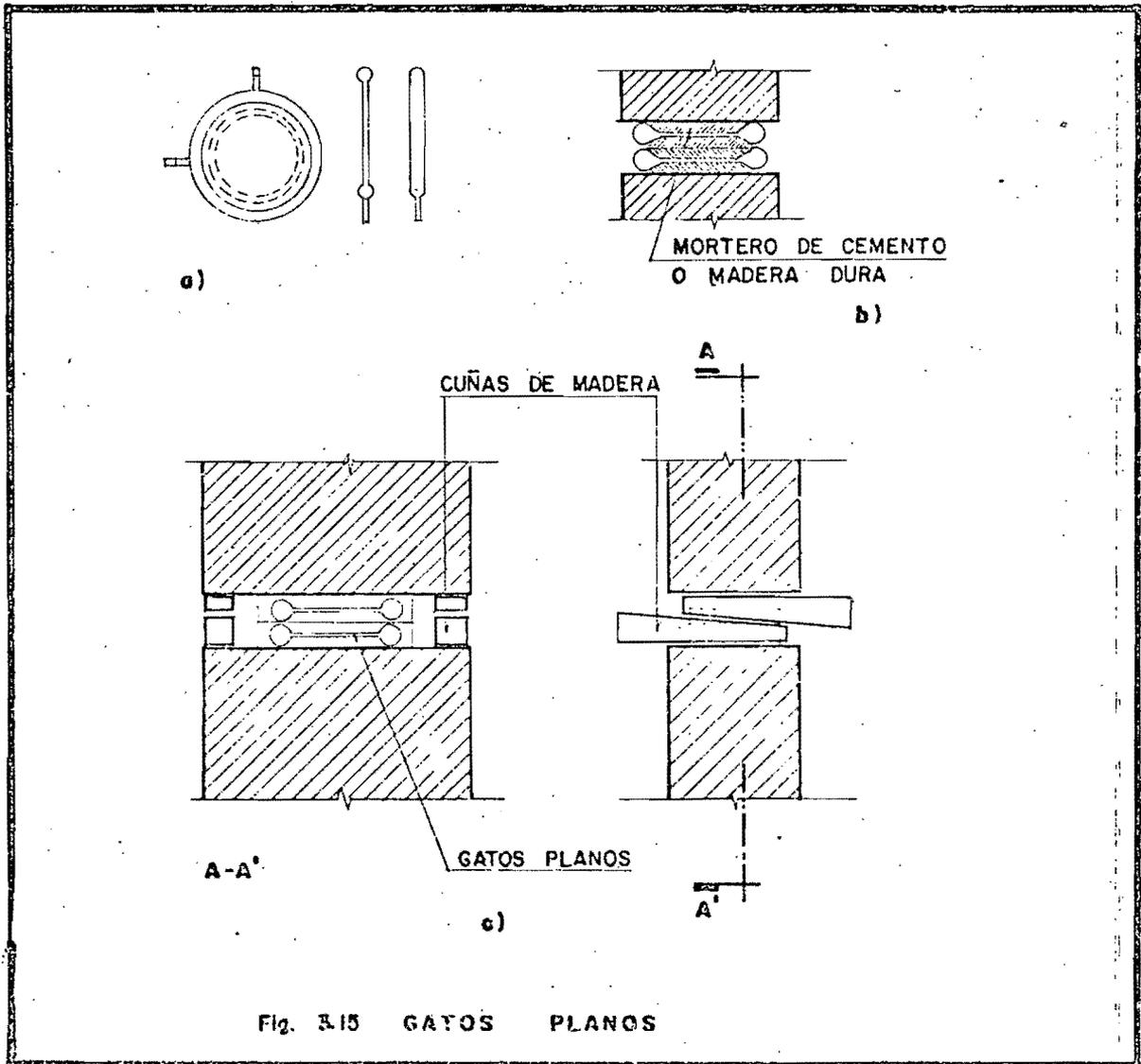
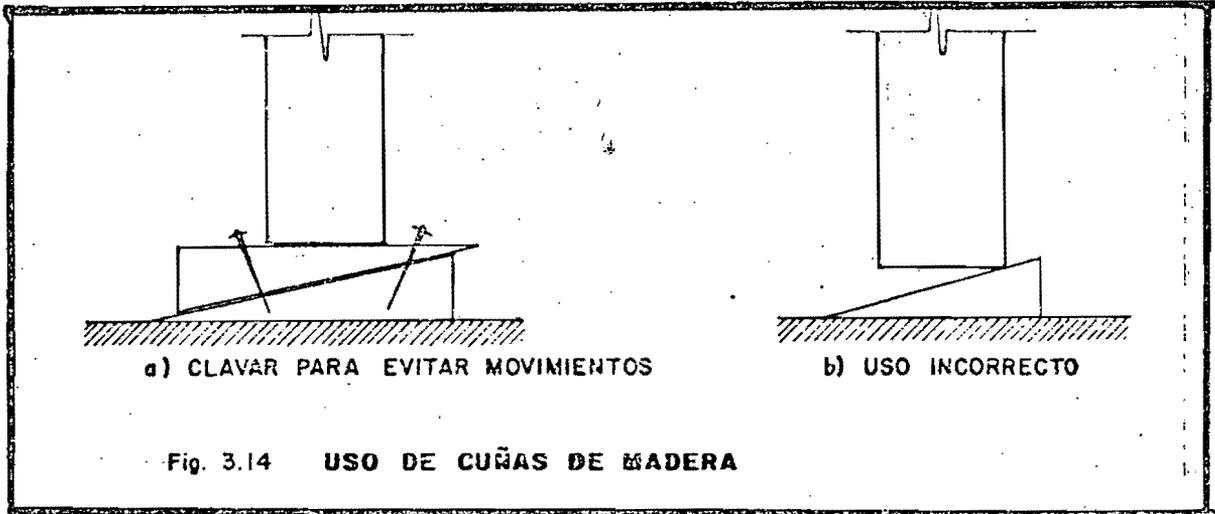


Fig. 3.13 ORIENTACION DE LAS FIBRAS EN CUÑAS DE MADERA



C A P I T U L O 4

REPARACION Y REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO.

I REPARACION.

4.1 INTRODUCCION.

La reparación y/o el reforzamiento de estructuras de edificios dañados por un sismo plantea un gran número de problemas difíciles de solucionar, ya que es complejo el proceso de conciliar los métodos de ejecución, deseables desde el punto de vista técnico, con los aspectos económicos y sociales del problema. (Ref. 16)

Los criterios que determinan la conveniencia de reparar y/o reforzar deben contemplar aspectos técnicos, económicos y sociales que caracterizan el problema. Además de los problemas de índole netamente estructural, la decisión de reparar incluye otros factores tales como:

- Confiabilidad en la eficacia del método.
- Costo.
- Disponibilidad de la mano de obra requerida.
- Disponibilidad de equipos, maquinarias y herramientas necesarias.
- Duración del trabajo.
- Interferencia con los usuarios (ciertos métodos son incompatibles en algunas ocasiones con las funciones del edificio).
- Implicaciones sobre las reparaciones estructurales.

(Ref. 16)

Respecto a este último factor, cabe indicar que siempre se le da mayor importancia a las restauraciones y refuerzo de los elementos que otorgan resistencia mecánica al edificio y se discute sobre la correcta forma de reparar muros, columnas y otros elementos vitales, pero es frecuente que económica y prácticamente resulten más caros y difíciles de realizar otros trabajos tales como reparar tabiques y unirlos a elementos de contorno; reparar o eliminar ornamentos de fachadas; restaurar y reformar redes interiores de servicios higiénicos; reparar tanques superiores de agua potable; restaurar instalaciones; otras modificaciones y modernizaciones que se suelen hacer aprovechando la oportunidad de la reparación. (Ref. 16)

4.2 FACTIBILIDAD DE REPARAR y/o REFORZAR.

A).-Factibilidad técnica.

Las reparaciones y/o los reforzamientos requieren en muchos casos el uso de tecnologías especializadas, con la consiguiente necesidad de mano de obra, equipos, maquinarias y herramientas diferentes a los usados en los trabajos convencionales. La disponibilidad de estos recursos en un momento determinado puede ser importante para elegir el sistema. (Ref. 16)

Mano de obra.

La experiencia indica que en una región en que los sismos son frecuentes y, por lo tanto, el trabajo de reparación es más común, los recursos humanos de mayor nivel profesional permanecen y pueden ser usados en el momento necesario. Más difícil es conseguir los equipos humanos de menor nivel o nivel intermedio. (Ref. 16)

De lo anterior se desprende que para proceder a una reparación y/o reforzamiento es necesario considerar un tiempo de formación y capacitación de personal medio e inferior. Por lo general, esta instrucción es difícil y lenta y la eficiencia necesaria se alcanza después de cierto tiempo de trabajo continuo. (Ref. 16)

Equipo, herramientas y materiales.

Frecuentemente la decisión de importar elementos se toma en el momento crítico, pero requiere una operación administrativa que generalmente es muy engorrosa durante la emergencia. De ahí que sea conveniente que instituciones o empresas constructoras posean estos equipos en forma permanente, especialmente cuando ellos han de ser utilizados para varios tipos de trabajos. (Ref. 16)

Algunos de los equipos que se usan con este fin a veces son considerados como de uso muy especial. Ello es do-

blemente erróneo, ya que en primer lugar la reparación por sí mismo es la misma, o muy parecida, a la que se hace por otras causas y es bien similar a trabajos de corrección realizados durante la construcción y el mantenimiento de edificios. En segundo lugar, los equipos y materiales usados para reparar y/o reforzar permiten desarrollar nuevos métodos de construcción, realizar mejor las operaciones tradicionales y utilizarlos intensivamente en la recuperación de edificios deteriorados por el uso normal. Sirva de ejemplo el equipo de chorre de arena para la correcta limpieza de las juntas del concreto. (Ref. 16)

B).- Factibilidad económica.

La experiencia en ciertos países recomienda hacer reparaciones y/o reforzamientos cuando su costo sea inferior al 5 % del costo de reposición de edificios importantes de uso público, y al 30 % en el caso de viviendas. Este costo incluye terminaciones y todo trabajo requerido por el método usado. En el caso de edificios industriales, debe considerarse también el costo de desmontaje y montaje de maquinarias, reducción de la producción, etc. (Ref. 16)

Otro criterio usado en el caso de viviendas es el siguiente: el costo de reparación y/o reforzamiento debe ser menor que el 80 % del valor actualizado de la vivienda.

El valor actual es el valor de reposición depreciado linealmente en proporción a la parte restante de la vida útil asignada al edificio. Así:

(Ref. 16)

$$CR \leq 0,80 VR \left(\frac{d-n}{d} \right)$$

CR es el costo de reparación.

VR es el valor de reposición.

d son los años asignados.

n son los años de servicio cumplidos.

El primer criterio es más favorable para las casas antiguas. Debe hacerse notar que, en general, no es necesario buscar soluciones matemáticamente perfectas ya que otros factores no económicos también ejercen importante influencia en la decisión final. (Ref. 16)

Las reparaciones de elementos no estructurales deben cumplir con criterios iguales a los que se han expuestos para los elementos resistentes, pero esta inversión, contrariamente a lo que sucede para estos últimos, pueda ser diferida para una etapa posterior. (Ref. 16)

C).- Otros factores que influyen en la decisión de reparar y/o reforzar.

Hay aspectos de carácter social que determinan la reparación y/o el reforzamiento. En ciertas condiciones los tra

bajos pueden llegar a tener costos mayores que los de reconstrucción o consistir en restauraciones que, desde el punto de vista técnico, no son necesarias o podrían postergarse. Tal es el caso cuando se asignan prioridades básicas por razones de conveniencia nacional o comunitaria. Ciertas reparaciones cuyo costo puede ser superior al valor de la estructura son llevados a cabo por la función que cumplen determinadas estructuras en la vida nacional, como es el caso de hospitales, puentes o aeropuertos. (Ref. 16)

Hay factores estéticos que desvalorizan las estructuras deterioradas por el sismo; se hace necesario pues cubrir defectos y aplicar revestimientos, pinturas y barnices para restablecer la apariencia original. Frecuentemente, también es posible mejorar el diseño arquitectónico original, con base en nuevos materiales y artefactos y aún introduciendo ciertos cambios formales en el edificio. Prioridades culturales, religiosas, políticas, estratégicas o urbanísticas, pueden influir igualmente en las decisiones que se adopten para la reconstrucción y reparación después del sismo. (Ref. 16)

4.3 PROCEDIMIENTOS PARA LA PREPARACION DEL AREA POR REPARAR.

Definida la zona que debe ser reparada y determinadas las causas del daño, se tiene que proceder a la corrección de los defectos exteriores: desviar aguas, estabilizar suelos, retirar sobrecargas excesivas, reforzar secciones disminuidas por peso de tuberías no proyectadas, etc. (Ref. 16)

Con el objeto de permitir una total y eficiente utilización de las nuevas secciones cuando se refuerzan elementos que reciben cargas de importancia, es necesario descargar hasta donde sea posible las solicitaciones, sean cargas permanentes u ocasionales. Así, cuando la nueva estructura esté instalada y en condiciones de recibir cargas, la totalidad de los esfuerzos se podrán repartir en la proporcionalidad prevista, distribuyéndose adecuadamente entre secciones nuevas y antiguas. (Ref. 16)

Ante todo, se debe definir la zona a remover de acuerdo con la calidad del material, retirar el concreto de baja calidad destruido, despejar bien el acero, retirar los elementos de albañilería rotos, etc. (Ref. 16)

Luego es preciso elegir las herramientas adecuadas para la remoción, con la finalidad de disminuir los posibles daños al resto de la estructura. (Ref. 16)

El rendimiento aumenta usando herramientas neumáticas que exigen un menor esfuerzo físico del albañil. La energía debe ser proporcional al volumen de material y a su resistencia mecánica. Muchas veces bastará, y otras veces se tendrá que tolerar, el uso de herramientas manuales tradicionales, tales como cinceles y mazos. (Ref. 16)

A continuación se procederá a limpiar suficientemente la superficie de las uniones. El mejor sistema de limpieza es el chorro de arena, que es un equipo sencillo de uso común en montaje industrial. Se usa arena fina y consume de 1.6 a 2.5 m³ de aire por minuto. (Ref. 16)

El arenado se completa con limpieza con aire a presión o con chorro de agua a presión. Cuando no se puede aplicar el chorro de arena como, por ejemplo, cuando hay máquinas que puedan ser dañadas, es posible limpiar con una solución acuosa de ácido clorhídrico al 25-30 %, aplicada con brocha. (Ref. 16)

La solución se deja actuar de 15 a 30 minutos, para limpiar posteriormente con abundante agua y secar con chorro de aire a presión. Este sistema tiene la desventaja de ser peligroso para el personal que lo aplica, su efecto es limitado y difícil de controlar y puede favorecer la corrosión del acero, especialmente si hay grietas. Además, ciertas resinas epóxicas son incompatibles con la aplicación del ácido. (Ref. 16)

La limpieza con escobillas de acero es de menor efectividad que las anteriormente indicadas y puede aceptarse en reparaciones menores. La acción del escobillado es más efectiva cuando se realiza con equipos mecánicos pudiendo complementarse con un ataque de ácido clorhídrico. (Ref. 16)

Una práctica dudosa en esta etapa de operación es la de tratar el acero con una solución de ácido fosfórico para remover o desactivar el óxido; es importante proteger al ácido fosfórico con una pintura de caucho clorado, tratamiento que generalmente se recomienda aplicar sobre el acero de refuerzo antes de utilizar cualquier compuesto cementante en la reparación, aunque debe considerarse que se incrementa si el acceso al punto afectado es difícil o el trabajo tiene un límite de tiempo. (Ref. 1)

Es de mucha importancia el tiempo de efectividad de la limpieza. En las grandes ciudades, una limpieza puede ser anulada en menos de 6 horas por efecto de la contaminación ambiental y, en un ambiente ácido, 2 horas pueden ser excesivas. Cuando se limpia un concreto hay que cubrirlo con una protección muy eficiente. La técnica es proceder a una primera limpieza al terminar la remoción de material defectuoso e inmediatamente antes de colocar la cimbra, procediendo después a una segunda limpieza para asegurar la calidad del trabajo realizado. (Ref. 16)

4.4 PROCEDIMIENTOS PARA LA REPARACION DE DAÑOS OCASIONADOS POR SISMOS, CON PRODUCTOS QUIMICOS. (Ref. 9)

4.4.1 Productos químicos para reparaciones estructurales.

Para la reparación de elementos estructurales de concreto, principalmente trabes y columnas que tengan problemas de desprendimientos, agrietamientos, fisuras, etc., se recomienda el uso de productos epóxicos, de entre los cuales los que tienen una aplicación directa en la reconstrucción son los siguientes:

- Epóxico para inyección.
- Epóxico resanador.
- Epóxico adhesivo.
- Epóxico mortero para pisos.

EPOXICOS PARA INYECCION.

Este producto se puede inyectar a elementos de concreto que tengan fisuras o grietas ocasionadas por sismos. En este caso se recomienda el uso de un adhesivo para inyección diseñado especialmente para adherir concretos fisurados o agrietados, mediante un sistema de inyección.

Su característica principal es producir una excelente unión en concretos agrietados o fisurados; con lo que se consigue, en la mayoría de los casos, la total rehabilitación del elemento tratado.

Debido a su baja viscosidad, se logra excelente penetración a través de las fisuras o grietas.

Una ventaja más es que se puede aplicar o inyectar con equipos muy simples.

A lo largo de la fisura se hacen perforaciones (orificios) de aproximadamente 2.5 cm de diámetro; la separación entre ellas se determina de acuerdo con la longitud de la fisura. Después se colocan taponés de madera o cartón en cada orificio y, de inmediato, se sella la fisura con un cemento de fraguado instantáneo.

Es necesario el sellado con cemento para proteger la resina en caso de incendio y evitar que el fuego llegue directamente a ella, ya que si esto sucede se produce un debilitamiento en la zona inyectada. Dicha zona queda protegida con el cemento de fraguado instantáneo.

Hecho lo anterior, se procede a ejecutar el trabajo de inyección, colocando la boquilla del equipo en la primera perforación. La inyección se hará siempre de abajo hacia arriba para expulsar el aire que pudiera estar atrapado. Cuando empieza a emanar el producto inyectado en la siguiente perforación, se suspende la inyección, se tapona la primera perforación, se continúa en el siguiente orificio de la misma manera, y así, sucesivamente, hasta terminar en la última perforación.

Cuando no se vea emanar la resina en el siguiente orificio, se puede barrer en un punto intermedio para tener la seguridad de que se esta inyectando toda la grieta o fisura.

Se han obtenido corazones para probar la continuidad en el elemento inyectado, y se han comprobado excelentes resultados en las pruebas a compresión. Además, se ha demostrado que dicho corazón se rompe por todas partes, menos donde se ha hecho la unión con resina (ésta hace las veces de un cordón de soldadura).

EPOXICO RESANADOR.

Es un mortero desarrollado como un sistema adhesivo resanador, no contiene solventes (es 100% sólido), por lo que puede usarse en recintos cerrados.

Se recomienda su uso para resanar y reparar grietas en piezas precoladas, escaleras de concreto y cualquier elemento estructural, ya que tiene extraordinaria adherencia al concreto, a la piedra, al fierro, a la madera, etc.

En resanes de más de 5 cm de espesor es necesario colocarlo en capas no mayores de 2.5 cm, y compactar cada una de ellas antes de colocar la siguiente. Es necesario colocar cada capa antes de que haya secado la inmediata anterior, ya que, de lo contrario, deberá usarse el Epoxine Primer epóxico en cada capa, para asegurar una buena adherencia.

EPOXICO ADHESIVO

Este tipo de epóxico tiene una adherencia muy superior a la de cualquier otro tipo de adhesivo empleado para concreto.

Se usa en la continuación de colados de concreto, para unir concreto viejo a concreto o mortero nuevo.

En la reparación de pisos y, desde luego, en la reparación de traveses y columnas.

Para su aplicación es necesario que la superficie por tratar está libre de polvo, grasa, membrana de curado, etc. Para limpiar correctamente la superficie se usa generalmente ácido muriático rebajado al 10%, y posteriormente se enjuaga con abundante agua. La aplicación del ácido se hace cuando la superficie está ligeramente húmeda.

El tiempo necesario para que la película formada por el epóxico adhesivo (0.3 a 0.5 mm) permita la adherencia varía de acuerdo con la temperatura ambiente. En la Ciudad de México el tiempo que debe transcurrir antes de colar el concreto o mortero nuevo es de aproximadamente una hora.

Aparte de esperar a que se haga mordente la película de epóxico, es importante dejarla reposar una hora para darle tiempo de que se adhiera al concreto viejo y no lo desplace al mortero o concreto nuevo al colarlo.

MORTERO EPOXICO PARA PISOS.

Se recomienda utilizarlo principalmente como recubri-
miento protector de pisos industriales o en áreas de traba-
jo sujetas a la máxima abrasión.

Se debe colocar en un espesor mínimo de 3 mm y se pue-
de aplicar sobre concreto, metal, madera, etc. Para su colo-
cación deberá usarse un Primer epóxico, y la limpieza debe
hacerse como se indicó anteriormente.

Las propiedades generales más relevantes de los productos
químicos para reparar daños son:

- Excelente capacidad adhesiva.
- Alta resistencia y dureza.
- Resistencia a los ácidos, álcalis y solventes.
- Baja contracción.
- Gran durabilidad.

Su principal inconveniente es su baja resistencia al
calor, pues pierden su resistencia a temperaturas por en-
cima de los 100 grados centigrados.

4.5. PROCEDIMIENTOS PARA LA REPARACION DE DAÑOS OCASIONADOS POR SISMOS, UTILIZANDO CEMENTO Y AGREGADOS.

4.5.1. Lechadas y morteros. (Ref. 8)

La lechada de cemento es una mezcla muy fluida de agua y cemento, que se puede emplear en la inyección de grietas menores de 0.5 mm de ancho en elementos de concreto o mampostería y en la preparación de la superficie de contacto entre concreto nuevo y viejo para mejorar la adherencia. En grietas de más de 0.5 mm de ancho es preferible recurrir al uso de lechadas de morteros cemento-arena. Para reducir la contracción y aumentar la fluidez de la lechada, es recomendable utilizarla en combinación con aditivos expansores y plastificantes.

Existen en el mercado productos especiales "GROUTS" a base de cemento, aditivos y arenas seleccionadas, que se distribuyen en dosificaciones específicas para lograr lechadas de baja contracción que desarrollan altas resistencias a edad temprana. Estos materiales son muy útiles para el anclaje de conectores metálicos en el concreto.

Para el resane de huecos, tanto en concreto como en mampostería, es conveniente recurrir al uso de morteros de cemento-arena en combinación con aditivos expansores que minimicen la contracción. Asimismo, se pueden emplear morteros epóxicos a base de resinas, de gran adherencia, alta resistencia y baja contracción, que también proporcionan excelentes resultados en el anclaje de conectores metálicos en el concreto.

4.5.2 Reparación en concreto simple. (Ref. 16)

La primera etapa del proceso consiste en limpiar la zona afectada, eliminando todo material suelto o débil. Los más importantes aspectos del proceso son la cimbra, la selección de materiales, la preparación de las superficies y el proceso de colado.

La grava que se use debe pasar por una criba cuya abertura sea igual o menor que un quinto de la menor dimensión del volumen a colar. Es conveniente incluir aditivos expansores en una cantidad tal que anulen la contracción hidráulica inicial.

Hay dos soluciones corrientes para mejorar la adherencia del concreto nuevo con el antiguo: mojar el concreto antiguo o pintarla con un adhesivo, como resinas epóxicas por ejemplo. La adherencia es mejor cuando el concreto antiguo también se encuentra en un período de contracción. Si el concreto se riega en el momento de la reparación, se estará expandiendo justamente cuando el hormigón nuevo se empieza a contraer. Por esto, se recomienda que el concreto antiguo se riegue abundantemente por dos o tres días, se deje sin regar durante el día anterior y solamente se humedezca en el momento de reparar. Cuanto más se aproxime el tratamiento previo a este ideal, mejor será el resultado final. Otra solución puede consistir en pintar con resinas epóxicas, las que deberán tener una formulación tal que su rigidez sea similar a la del concreto.

El colado se inicia con una capa de mortero de un espesor de 1 a 1.5 cm. Este mortero se elabora con dos partes en peso de arena, que pasa por una criba de 55 mm, por cada parte de cemento. Este mortero debe tener una consistencia semifluida. En ningún caso es permisible el uso de pasta de cemento. El colado se hace en capas de menos de 20 cm, las cuales se compactan cuidadosamente con una pieza de madera (5x5 cm) o con barras de acero (16-20 mm) o vibradores de inmersión (más de 3,600 vibraciones por min.). La consistencia del concreto debe ser lo más seca posible (4 a 6 cm de asentamiento en el cono de Abrams). Es aceptable que el concreto de las primeras capas sea más blando, pero se termina la operación con concreto seco fuertemente compactado.

Para asegurar la adherencia con las superficies superiores se usa un aditivo expansor, en la dosis necesaria para contrarrestar la contracción hidráulica. Antes del relleno final es recomendable detener el proceso unos 20 cm debajo de la superficie de contacto y dejar que se produzca el asentamiento del concreto y la exudación del agua durante 30 minutos. Dentro de las 24 horas se elimina el concreto sobrante y se procede al curado del concreto durante el tiempo que sea necesario según las condiciones del clima y el proceso de endurecimiento del material. En ciertos casos es posible que sea necesario reforzar la zona con malla electro-soldada o efectuar la reparación con concreto inyectado.

4.5.3 Reparación en concreto armado. (Ref. 16)

Cuando se trata de la reposición de un volumen de concreto en un elemento reforzado con barras de acero, se pueden aplicar todas las instrucciones indicadas para la reparación en concreto simple.

A las instrucciones deben agregarse otras propias del concreto armado como son la restauración y el refuerzo de las barras, y las que resultan de la conveniencia de usar técnicas más especiales en el proceso de colado, tales como concreto inyectado.

En primer lugar, las barras deben ser rectas. Si se hubieran desviado es mejor cortarlas y reemplazarlas con un nuevo refuerzo traslapado. Todas las barras deben quedar libres como mínimo 5 cm. en su contorno. Las nuevas barras deben ser soldadas a las antiguas, debiéndose completar las barras existentes que puedan haberse deteriorado por efectos del sismo o de la operación misma.

Las cimbras y los detalles de colado son iguales a los indicados anteriormente para el caso del concreto simple, antecedentes que se amplían más adelante en la descripción del uso del concreto inyectado.

4.5.4 El concreto inyectado. (Ref. 16).

El concreto inyectado o preempacado consiste básicamente en un mortero especial inyectado en el volumen del elemento el cual es delimitado por una fuerte cimbra especial llenada previamente con grava. El sistema ha sido probado satisfactoriamente en reparaciones, dando como resultado un concreto de buena resistencia a la compresión, adherencia satisfactoria y muy pequeña retracción hidráulica.

El concreto inyectado tiene grandes ventajas por su versatilidad, la seguridad de sus resultados y su factibilidad de llegar a sitios de la estructura que son inaccesibles para otros sistemas. Pueden considerarse como desventaja el mayor costo y la necesidad de personal especializado; si a esto se suma el alto costo de los equipos que hay que transportar y hacer revisar periódicamente por personal especializado, y la necesidad de usar materiales que no siempre se producen localmente, es evidente que el sistema no puede ser considerado para reparaciones de pequeña magnitud.

La reparación se inicia con el trazado de la zona que se debe eliminar; se pica el concreto dañado, se refuerzan las barras y se limpian las superficies. Toda esta operación es similar a la descrita para el colado en el caso del concreto simple. La sección a reparar debe estar descargada.

El volumen se llena con agregado grueso, lo que constituye una labor delicada lenta ya que debe llenar todo el espacio con el material medianamente compactado. El trabajo se hace normalmente a mano por las ventanas del molde con la ayuda de varillas-pisón o vibradores de molde. Terminada la colocación de la grava, se sellan los espacios perimetrales entre la cimbra y el concreto antiguo con una mezcla de una parte en peso de cemento, una parte de yeso y tres partes de arena. La operación de calafates se hace dos días antes de la inyección. Durante este periodo los moldes deben mantenerse perfectamente saturados de agua.

El mortero se bombea por mangueras de 40 mm de diámetro. A medida que se llenan las distintas secciones del encofrado, se retiran las boquillas y se cierran los orificios con tapones cónicos de madera. Cuando la lechada aparece en las aberturas de ventilación, se puede aumentar la presión de inyección (0.35 a 0.70 Atm) siendo recomendable detener el proceso por periodos de 20 minutos, ayudando la penetración del mortero por medio de vibración externa al encofrado. La presión final de inyección es de 1 a 1.3 Atm controlada simultáneamente en la bomba y en la boquilla. El proceso de curado es el habitual; los moldes se aflojan levemente después de 24 ó 48 horas de inyectados.

La parte fundamental del equipo es la bomba neumática con dos estanques de colado, que se alternan para lograr un trabajo continuo; mientras en uno se pesa la mezcla, el otro está en la etapa de carga.

El agregado grueso debe cumplir con las especificaciones normales para el concreto convencional. Es importante disponer de agregados con muy pocos huecos (35% o menos) evitar el uso de piedras planas o chatas. Debe tratarse de usar la mayor cantidad de agregados del máximo tamaño posible, compatibles con las dimensiones del elemento y del armado. Para dimensiones de 40 cm se usan agregados de hasta 40 o 50 mm, para mayores dimensiones es posible usar gravas de hasta 100 mm. El tamaño mínimo es de 15 mm para secciones gruesas y 12 mm para elementos de menos de 40 cm.

El agregado fino debe cumplir las mismas especificaciones para un concreto normal.

El cemento debe ser de tipo Portland de resistencia normal. Los aditivos son un material esencial en todo el proceso de inyección. Ellos hacen posible la entrada de mortero en los espacios entre los agregados y además evitan la sedimentación dentro del molde.

La presión ejercida y el efecto de los aditivos produce una adherencia entre el concreto inyectado y el concreto antiguo que equivale a un 80 a 90% de la resistencia a la tracción por flexión del material monolítico. Este concreto tiene una contracción hidráulica equivalente a un 50% de la del concreto normal y a un 17% aproximadamente de la del mortero proyectado. Las otras propiedades y características son iguales a muy similares a las del material convencional.



DEFI

4.5.5 Concreto colado in-situ.

Los principales obstáculos que enfrenta el uso del concreto colado in-situ en reparaciones son la contracción y la falta de adherencia que producen la pérdida de contacto con el concreto viejo. Para evitar la contracción se puede recurrir al uso de algún aditivo estabilizador y para mejorar la adherencia, a la preparación de la superficie de contacto con lechada o con algún adhesivo. (Ref. 8)

El colado debe efectuarse por capas de menos de 20 cm, compactadas con vibrador. Un buen curado es importante para minimizar las contracciones. Para efectuarlo pueden utilizarse membranas de curado. (Ref. 16)

4.5.6 Concreto lanzado. (Ref. 8)

El concreto lanzado presenta muchas ventajas como material de reparación, sobre todo para muros de concreto o mampostería; buena adherencia; alta resistencia y necesidades mínimas de cimbra.

El equipo utilizado mezcla neumáticamente la arena y el cemento con el agua en el momento de la expulsión y proporciona la cantidad mínima necesaria para la hidratación, logrando así altas resistencias.

La arena usada en el mortero lanzado es de tipo normal para concreto y su tamaño máximo es de 5 mm. Hay equipos modernos que permiten proyectar concretos con agregado de tamaño máximo igual a 25 mm. (Ref. 16)

Para obtener la consistencia relativamente seca que se ha señalado y para poder operar adecuadamente el equipo, la humedad de la arena debe ser equivalente al 3 a 6 % de su peso seco. (Ref. 16)

Se usan cementos normales y pueden emplearse aditivos para reducir pérdidas por falta de adherencia o "rebote", acelerar el endurecimiento, aumentar la impermeabilidad y disminuir las retracciones hidráulicas, como si se tratara de un material normal. (Ref. 16)

Para minimizar la contracción es necesario efectuar un curado apropiado. El uso de aditivos acelerantes permite alcanzar la resistencia especificada con rapidez. (Ref. 8)

4.5.7 Mortero Inyectado. (Ref. 16)

En el caso de grietas mayores en concreto, así como para cualquier grieta en mampostería, es posible hacer inyecciones de mortero usando moldes metálicos o de madera o simplemente tapando superficialmente grietas pequeñas con mortero de

cemento. Estas técnicas de inyección son las mismas que se han indicado para el concreto inyectado o preempacado. Las reparaciones por inyección de mortero permiten utilizarse tanto en elementos de concreto como de mampostería.

4.6 REFUERZO, SOLDADURA Y ANCLAJES METALICOS. (Ref. 8)

Es frecuente tener que restaurar barras dañadas por el sismo o simplemente reforzar alguna sección débil. En estos trabajos deben tenerse en cuenta las siguientes condiciones:

- La sección debe estar descargada.
- Las barras antiguas deben estar limpias y en la posición correcta.
- Las barras nuevas rectas y soldadas a las barras antiguas.
- Se deben respetar los traslapes normales.
- Hay que respetar las normas en lo referente a agrupamiento de las barras, tanto por las dificultades del colado como por el peligro de agrietamiento.
- Se deben cumplir las prescripciones de las normas relativas a la distancia entre las barras .

Todos los hierros innecesarios o inservibles deben ser retirados. La base doblada se coloca en su posición o se reemplaza. El nuevo armado adicional debe fijarse en forma que no sufra alteraciones al colocarse el nuevo concreto. Si se agregan barras, es preciso recordar que estas barras no colaborarán adecuadamente a la estructura si esta no fue previamente descargada.

La reparación de elementos de concreto y mampostería requiere con frecuencia la adición de acero de refuerzo y la fijación de conectores metálicos.

Debido a las altas temperaturas que genera, el uso de soldadura para unir el acero de refuerzo nuevo con el viejo puede producir cambios en sus características mecánicas. Por esta razón, se debe efectuar la soldadura de acuerdo con las normas, poniendo especial atención en precalentar el acero y en evitar su enfriamiento rápido.

La necesidad de anclar elementos conectores metálicos en el concreto se puede resolver ahogándolos con lechadas o morteros. Otra opción consiste en recurrir a anclajes mecánicos como los clavos o pernos hincados por disparo; las barrenanclas y los taquetes.

II. REFORZAMIENTO.

4.7 REFORZAMIENTO EN COLUMNAS.

4.7.1 Procedimientos para el encamisado de columnas de concreto.

Este procedimiento de refuerzo de columnas consiste en envolverlas con barras y estribos adicionales o malla electrosoldada y añadir un nuevo recubrimiento de concreto lanzado o colado in-situ. La superficie del elemento por reparar, además de prepararse como se indicó anteriormente, deberá picarse para obtener suficiente rugosidad. (Ref. 8)

Si sólo se encamisa la columna en el entrepiso (fig. 4.1a) se obtiene un incremento en su resistencia ante carga axial y fuerza cortante, así como un comportamiento más dúctil, pero no se altera la resistencia a flexión original. Mejorar esta última implica extender el encamisado a través de la losa, prolongando el acero longitudinal por orificios que también faciliten el colado y añadiendo algunos estribos que atraviesen las almas de las vigas (fig. 4.1b). (Ref. 8)

El encamisado más común es el que se efectúa todo alrededor de la columna. Si la columna es de sección rectangular el refuerzo se concentra cerca de las esquinas para permitir su confinamiento con estribos, o bien se reparte de manera más uniforme uniendo el refuerzo nuevo al viejo mediante conectores soldados. (Ref. 8)

Cuando existen restricciones de espacio, es posible encamisar por 1, 2 o 3 lados únicamente. En tal caso se puede recurrir al uso de ganchos, estribos soldados o conectores entre el refuerzo longitudinal para conseguir el monolitismo en el elemento. (Ref. 8)

En el caso que solo se pueda encamisar por 1 solo lado, debe existir una adecuada conexión y el nuevo concreto debe ser colocado cuidadosamente. (Ref. 15)

Las soluciones siguientes pueden ser aplicadas. (Ref. 15)

-Anclar estribos al acero longitudinal existente (fig. 4.2a).

Soldar los estribos no es necesario, pero es importante crear un espacio para pasar los ganchos adicionales.

-Soldar estribos adicionales a los estribos existentes (fig. 4.2b). El concreto que cubre la región del estribo antiguo debe ser removido y cada nuevo estribo debe ser soldado al estribo existente.

-Usar conectores soldados al refuerzo longitudinal (fig. 4.2c). El concreto debe ser quitado solamente en la región a soldar. De esta manera es posible transmitir esfuerzos cortantes. Los conectores permiten la transferencia de fuerzas al refuerzo longitudinal.

Detalles similares son aplicados en caso de tener que encamisar por dos o tres lados. (Ref. 15)

Para el caso del encamisado por 4 lados algunas posibles soluciones son presentadas en la figura 4.3. (Ref. 15)

-Encamisado con conectores (Fig 4.3a). El refuerzo longitudinal adicional es unido al refuerzo existente por medio de conectores soldados. Este tipo de encamisado es aplicado para columnas de gran sección donde el refuerzo central no puede ser confinado por nuevos estribos. (Ref. 15)

-Encamisado con estribos (fig. 4.3b). La concentración de refuerzo adicional longitudinal en las esquinas, permite un adecuado confinamiento de todas las barras longitudinales. Para lograr un buen confinamiento es necesario que tanto los estribos como las barras adicionales estén lo más cerca posible. (Ref. 15)

Un buen confinamiento puede también ser dado por medio de un encamisamiento circular y una nueva sección de concreto. (Ref. 15)

Para el encamisamiento con concreto reforzado se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones. (Ref. 15)

-El refuerzo del nuevo material debe ser igual o más grande que el existente. La resistencia del concreto nuevo debe ser por lo menos 5 MPa más grande que la resistencia del concreto existente. (Ref. 15)

-La distancia del encamisado a la columna antigua debe ser por lo menos 4 cm para concreto lanzado o 10 cm para concreto colado in-situ. (Ref. 15)

-El área del acero longitudinal no debe ser menor que 0.01 y no más que 0.06 veces que el área de la sección encamisada. El refuerzo no debe ser menor de 4 barras para encamisado por 4 extremos y el diámetro de las barras debe ser por lo menos del No. 4. (Ref. 15)

-Los estribos se dispondrán de manera que cada barra longitudinal de esquina y una de cada dos consecutivas a la periferia tengan un soporte lateral proporcionado por un doblez de un estribo con un ángulo interno no mayor de 135 grados. Además ninguna barra que no tenga soporte lateral debe distar más de 10 cm de una barra soportada lateralmente. (Ref. 15)

-El diámetro mínimo de los estribos debe ser de 8 mm pero no menor que 1/3 del diámetro de las barras longitudinales. (Ref. 15)

-El espaciamiento vertical no debe exceder de 20 cm, además el espaciamiento de los estribos desde la junta hasta un cuarto de la longitud de la columna no debe exceder de 10 cm. Finalmente, el espaciamiento de los estribos no debe ser mayor que el espesor del encamisado. (Ref. 15)

4.7.2 Procedimiento para el encamisado por medio de perfiles. (Ref. 8)

El encamisado metálico se puede efectuar mediante un esqueleto de perfiles unidos entre sí con soleras o varillas soldadas (fig 4.4a), o bien, con el recubrimiento total de la columna a base de placas (fig 4.4b).

En ambos casos se requiere especial atención para el diseño de la unión con las losas, que puede resolverse mediante un collar de ángulos (fig 4.4c).

El espacio entre la camisa y la columna se debe rellenar con un mortero con aditivo expansivo o a base de resinas.

El recubrimiento final con concreto reforzado con malla electrosoldada, otorga cierta protección contra la corrosión y el fuego y constituye un buen acabado.

La dificultad de prolongar la camisa metálica a través de las losas, limita su efectividad a un mejoramiento de la resistencia a carga axial y fuerza cortante, así como de la ductilidad de la columna, sin modificar la resistencia a flexión en los extremos.

Este procedimiento también puede ser utilizado como soporte temporal, comentado en el capítulo 3.

4.8 REFUERZO EN VIGAS.

4.8.1 Procedimientos para el encamisado de vigas de concreto.

De manera similar a lo descrito para columnas, también se pueden reforzar las vigas con un encamisado de concreto teniendo las mismas precauciones que en el caso mencionado.

(Ref. 8)

Si solamente se requiere reforzar la resistencia a flexión, se puede recurrir al encamisado de la cara inferior, usando conectores soldados para unir el nuevo refuerzo al viejo, así como estribos adicionales que también serán soldados a los originales. Para proporcionar el anclaje adecuado en los extremos, se puede recurrir a un collar de ángulos alrededor del extremo de la columna (fig 4.5). (Ref. 8)

Cuando se requiere reforzar tanto para flexión como para cortante, el encamisado se puede efectuar en 3 caras (fig 4.6a y 4.6b) o todo alrededor de las vigas (fig. 4.6c); en este último caso resulta factible añadir refuerzo por momento negativo. La perforación de la losa es necesaria tanto para pasar los estribos como para facilitar el colado. (Ref. 8)

Para el encamisado se deben tomar las siguientes consideraciones:

-La resistencia de los nuevos materiales no debe ser menor que la resistencia de los existentes en la viga. (Ref. 15)

-El espesor del encamisado no debe ser menor de 4 cm cuando se utiliza concreto lanzado u 8 cm para concreto colado in-situ. (Ref. 15)

-El reforzamiento a momento de una viga que forme parte de un marco debe ser continuo en el lecho alto y bajo de la viga y no menos que 0.005 veces el peralte de la viga en la región de apoyo. (Ref. 15)

-El refuerzo del lecho bajo y alto debe ser anclado dentro de la junta de la columna con su completa longitud de desarrollo, empezando desde la cara de la columna. (Ref. 15)

4.8.2 Procedimiento para el encamisado por medio de placas metálicas. (Ref. 8)

Para el refuerzo de vigas por flexión o cortante, se puede hacer uso de placas metálicas adheridas con resinas epóxicas y conectores mecánicos a las caras del elemento.

Otra alternativa de refuerzo la constituye el empleo de es-tribos postensados exteriores que aumenten la capacidad a cortante y la ductilidad de la viga (fig. 4.7).

4.9 REFUERZO DE UNION VIGA-COLUMNA.

4.9.1 Procedimientos para el encamisado con concreto reforzado. (Ref. 15)

El encamisado de la junta debe ser tal que todos los miembros conectados trabajen de manera conjunta. Con las mismas recomendaciones establecidas para el encamisado de columnas, se puede usar esta técnica en el refuerzo de las uniones viga-columna.

En el caso que solo se tenga que reforzar la junta, el encamisado puede realizarse ahí solamente. El encamisado envolverá la junta y la viga en todas sus caras (fig. 4.8). Los estribos horizontales dan el refuerzo cortante necesario a la junta. Los estribos transversales verticales son conectados con los estribos horizontales. Se hace notar que el encamisado aparece tanto arriba como abajo de la losa.

También el encamisado se puede realizar en combinación con el encamisado de vigas y columnas (fig. 4.9).

4.9.2 Procedimiento para el encamisado por medio de placas de acero. (Ref. 15)

El reforzamiento con placas de acero es una técnica que permite reforzar juntas sin considerable cambio de sección. En estructuras con marcos en una sola dirección, como es el caso de algunos edificios industriales, es posible reforzar

las uniones con placas metálicas adheridas con resinas epóxicas y conectores mecánicos (fig 4.10). Las placas de acero deben ser conectadas a la junta por pernos presforzados. Cuando no se cuenta con una superficie lisa, una delgada capa de mortero expansivo debe ser colocada. Las placas deben tener por lo menos 4 mm de espesor.

Este método no da realmente un gran refuerzo ante fuerzas laterales, a menos que las placas de acero estén interconectadas con placas de acero similares o perfiles usados en el reforzamiento de vigas y columnas explicadas anteriormente. Especiales medidas se deben tomar para poder contrarrestar el fuego y la corrosión.

4.10 REFUERZO DE MUROS DE CONCRETO. (Ref. 8)

El aumento en el espesor de un muro de concreto significa un incremento en su resistencia al corte. Si además se requiere reforzar su capacidad para resistir la flexión, se debe aumentar particularmente la sección de sus extremos, concentrando en ellos buena parte del refuerzo adicional (fig 4.11).

El concreto nuevo deberá anclarse al viejo mediante conectores ahogados en éste con morteros epóxicos, o que atraviesen el muro si el refuerzo se tiene en ambas caras. La preparación de las superficies se hará como se indicó al principio de este capítulo. Es preferible usar concreto lanzado que colado in-situ. Para transmitir las fuerzas cortantes entre los muros y las losas, así como para lograr la con

tinuidad necesaria para el trabajo a flexión, se puede recurrir a perforaciones en las losas que permitan el paso del refuerzo y faciliten el colado.

III. REESTRUCTURACION.

4.11 METODOS PARA LA REESTRUCTURACION DE EDIFICIOS.

Existen diferentes métodos para reestructurar edificios de mampostería o de concreto, pero el que es apropiado para un edificio puede resultar inapropiado para otro. Los métodos seleccionados deben ser compatibles con la estética, la función del edificio, la estructura original y su resistencia, ductilidad y rigidez. Cuando se requiera la ocupación continua del edificio durante la reestructuración, ésta causará un efecto considerable sobre el proyecto seleccionado. (Ref. 18)

4.11.1 Adición de muros de cortante de concreto reforzado.

Un método aparentemente sencillo es añadir nuevos muros de cortante de concreto reforzado colados en obra. El agregar nuevos muros muchas veces es conveniente situarlos cerca pero afuera de los ejes de columnas originales, para que sea posible lograr buena continuidad vertical en los niveles de pisos, lo cual a menudo es difícil en los ejes de columnas donde frecuentemente existen trabes grandes, y de esta manera se pueden agregar nuevos cimientos entre las zapatas existentes para soportar el peso adicional de los muros. En las estructuras más altas el volteo puede ocasionar problemas si los muros son demasiado esbeltos. También será necesario aplicar a las columnas existentes cargas adicionales para contrarrestar las tendencias de las fuerzas de levantamiento. En los sistemas de piso deben agregarse cuerdas o colectores para que el esfuerzo apropiado se transfiera en cada nivel. Cuando se consideran todas las facetas este método no es siempre tan sencillo como parece. (Ref. 18)

La adición de nuevos muros de cortante reforzados con concreto lanzado es una técnica comúnmente aplicada, sobre todo en edificios de mampostería o en edificios a base de marcos con muros de relleno de mampostería. Esto es adecuado en especial para estructuras elegantes antiguas o históricas, donde la experiencia histórica del edificio se debe conservar. (Ref. 18)

4.11.2 Reforzamiento de marcos existentes. (Ref. 18)

Otro método es el reforzamiento de marcos existentes, para crear sistemas razonables de muros de cortante. Este enfoque es particularmente adecuado para edificios con sistemas de marcos perimetrales de columnas esbeltas y trabes perimetrales rígidas y peraltadas. La experiencia ha demostrado que los edificios de este tipo, con trabes fuertes y columnas débiles, dan como resultado fallas en las columnas, con inestabilidad del edificio y condiciones potenciales de peligro. Las columnas deben reforzarse hasta un grado en que sean compatibles con las trabes y se comporten satisfactoriamente como un sistema de muros de cortante. Deben abrirse orificios en el sistema de piso que pase el nuevo acero de refuerzo vertical, y se debe tener mucho cuidado en lograr el trabajo integral del concreto original con el nuevo. En este tipo de reforzamiento es de gran importancia asegurarse de que el concreto viejo y el nuevo se comportarán como en una condición monolítica.

4.11.3 Introducción de marcos de acero estructural y marcos de acero contraventeados. (Ref. 18)

Algunos otros procedimientos para reforzamiento de edificios de concreto o mampostería con concreto pueden ser el empleo de marcos de acero estructural, y de marcos de acero contraventeados. Una ventaja importante de utilizar sistemas de acero estructural es la menor adición de pesos a la estructura, lo cual evita el significativo aumento de masa y de fuerzas laterales resultantes, y disminuye el potencial reforzamiento de la cimentación por el incremento de las cargas gravitacionales, que puede resultar muy caro. Generalmente, el reforzamiento con acero tendrá forma de marco de acero contraventeado en una parte o en todo el perímetro del edificio. El patrón de contraventeo se selecciona comúnmente para que se adapte a la posición de las ventanas y las puertas y también para que tenga una apariencia agradable cuando son visibles. Los marcos contraventeados con ubicaciones excéntricas de los contravientos, que experimentalmente han mostrado excelente absorción de energía sísmica, se pueden utilizar también para obtener mayor adaptabilidad del esquema de contraventeo con el patrón de puertas y ventanas del edificio.

Cuando los elementos diagonales de los marcos contraventeados se oponen a las consideraciones funcionales o estéticas del edificio, pueden utilizarse marcos de acero resistentes a momento para reforzar edificios de concreto. Los marcos resistentes a momento pueden ser simples bastidores

transversales colocados dentro de los marcos de concreto, con detallado apropiado en los pisos para transmitir las fuerzas de cortante y volteo. el peso del acero estructural requerido para este tipo de contraventeo puede ser mayor que el utilizado en los sistemas contraventeados.

Por lo general la estructura original será muchas veces más rígida, aunque debe confiarse en la resistencia, estabilidad y ductilidad del nuevo sistema de acero, relativamente flexible. En un sismo es de esperarse el agrietamiento en la estructura original de mampostería o de concreto, y después de que ha ocurrido en grado suficiente, el nuevo sistema de acero tendrá rigidez comparable y será efectivo. Los diseños de este tipo son completamente válidos, ya que los anchos de las grietas en la estructura pueden ser aceptados. Si la estructura original tiene materiales totalmente no dúctiles como mampostería no reforzada, pueden ser necesarias medidas para conservar la integridad de la estructura durante esta fase de agrietamiento.

4.11.4 Adición de contrafuertes. (Ref. 18)

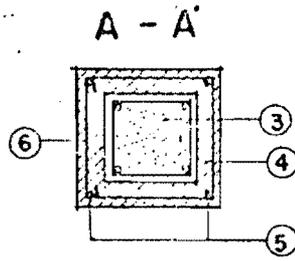
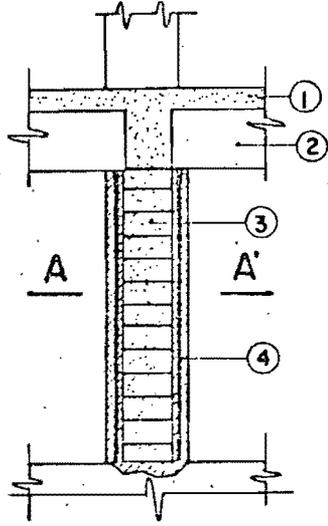
Otro procedimiento de reestructuración de edificios para la resistencia sísmica, totalmente ajeno a los anteriores, es la adición de estructuras exteriores de contrafuertes. Estos contrafuertes deben quedar adyacentes a la estructura original y en general incluyen sistemas de muros de cortante masivos en todo su perímetro; además, deben unirse totalmente a la estructura original. Aunque éste puede ser un sistema más caro, proporciona área adicional al edificio, lo que quizás compense el costo adicional.

4.11.5 Adición de muros de relleno.

Los muros de relleno son muros de concreto reforzado o de mampostería, ubicados en los ejes de columnas de una estructura. El comportamiento de los muros de relleno puede ser semejante al de muros de rigidez cuyo refuerzo en los extremos constituyeran las columnas de la estructura original, siempre que la unión entre los muros y las vigas y columnas garanticen la continuidad. En caso contrario, el muro se comporta como un diafragma que introduce grandes fuerzas cortantes en las columnas y en las vigas, lo que además puede hacer necesario el refuerzo de estos elementos. (Ref. 8)

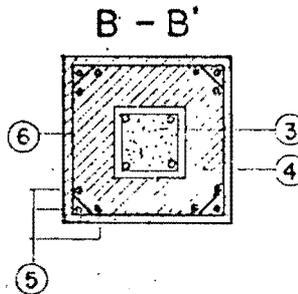
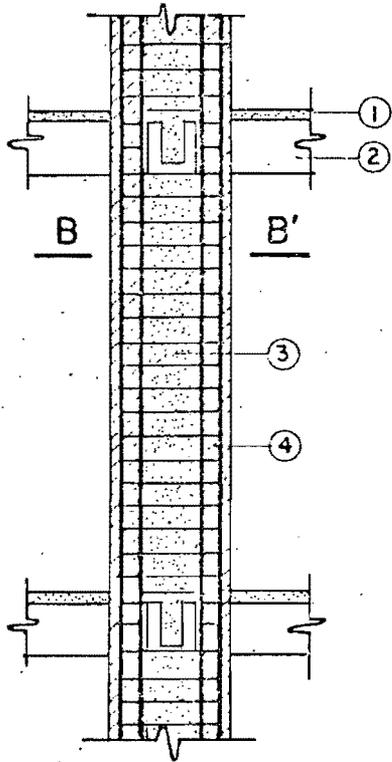
Hay que tener presente que tener estructuras rígidas, con periodos cortos pueden ser más vulnerables en terrenos firmes que tienen periodos dominantes pequeños (de menos de 0.5 seg) durante movimientos sísmicos, y que las estructuras de altura media con periodos de vibración entre 1 y 2 seg, son más susceptibles a sufrir daños cuando se desplantan sobre terrenos blandos en los que los periodos dominantes durante los movimientos sísmicos pueden ser de ese orden. Por lo tanto se recomienda que el periodo de la estructura sea distinto de los periodos dominantes en el movimiento del suelo.

a.



INCREMENTO
EN CARGA
AXIAL, FUERZA
CORTANTE
Y COMPORTAMIENTO
MAS DUCTIL
SIMULTANEA
LA RESISTENCIA
A FLEXION ORIGINAL

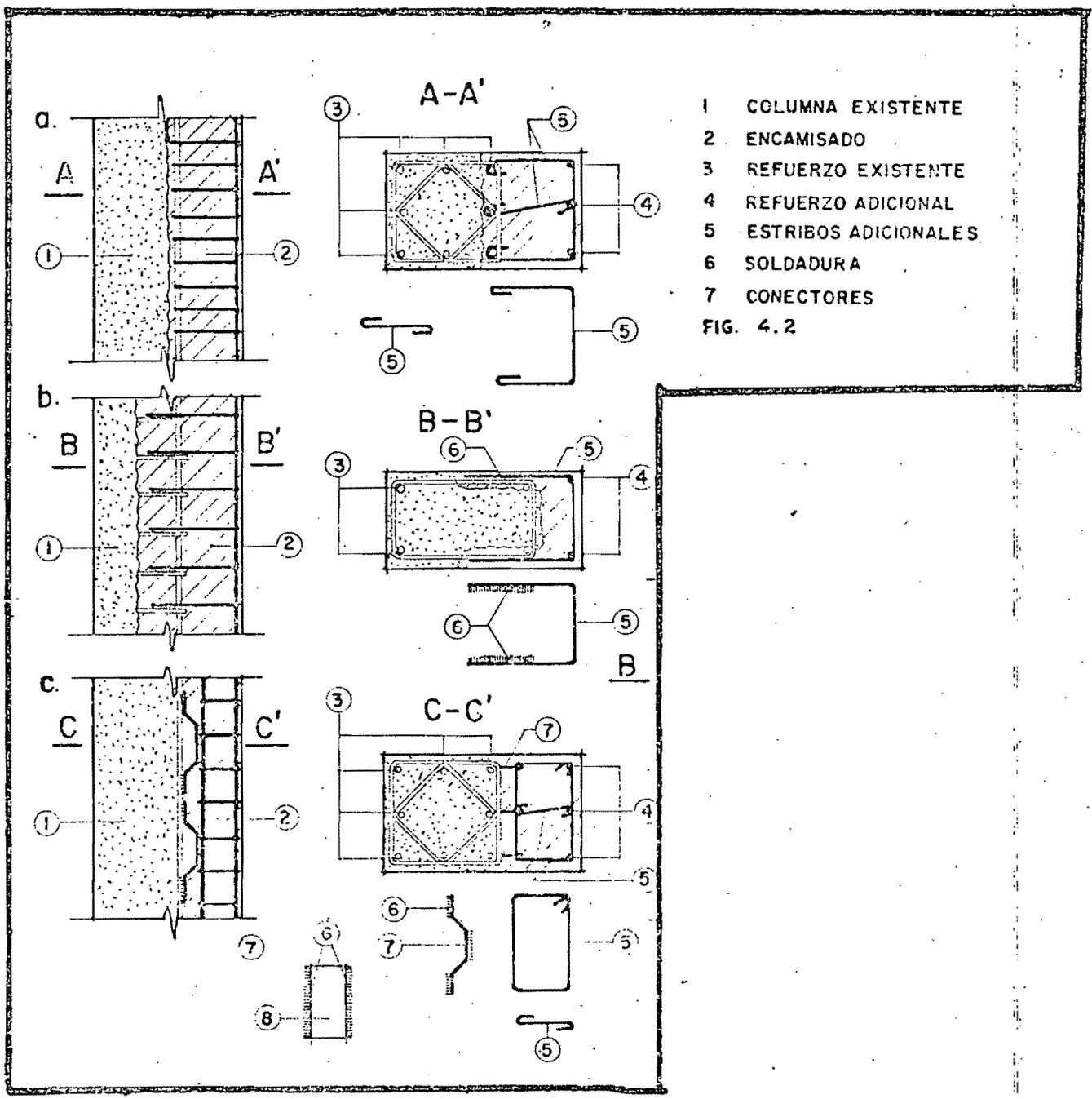
b.

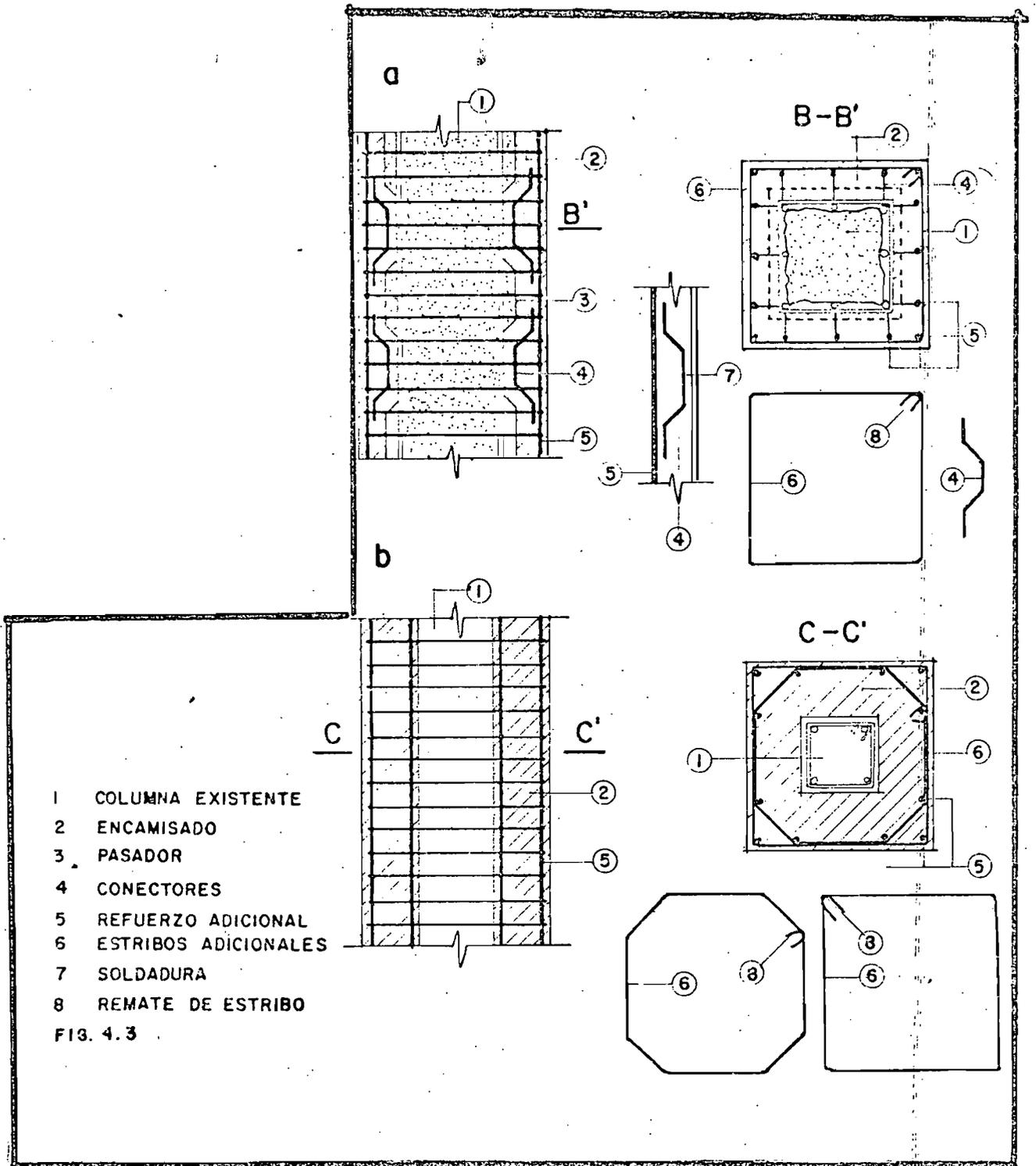


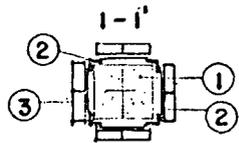
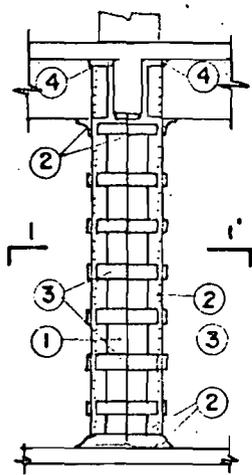
MEJORA LA
RESISTENCIA
A FLEXION
ORIGINAL

- 1 LOSA
- 2 VIGA
- 3 COLUMNA EXISTENTE
- 4 ENCAMISADO
- 5 REFUERZO ADICIONAL
- 6 ESTRIBOS ADICIONALES

FIG. 4.1

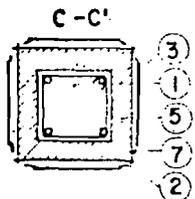
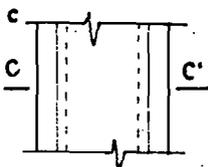
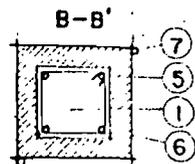
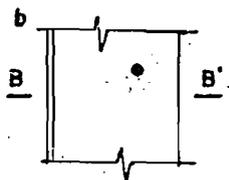
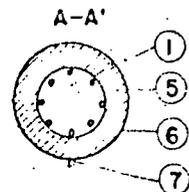
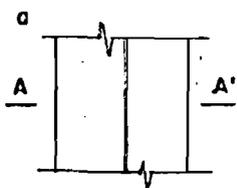




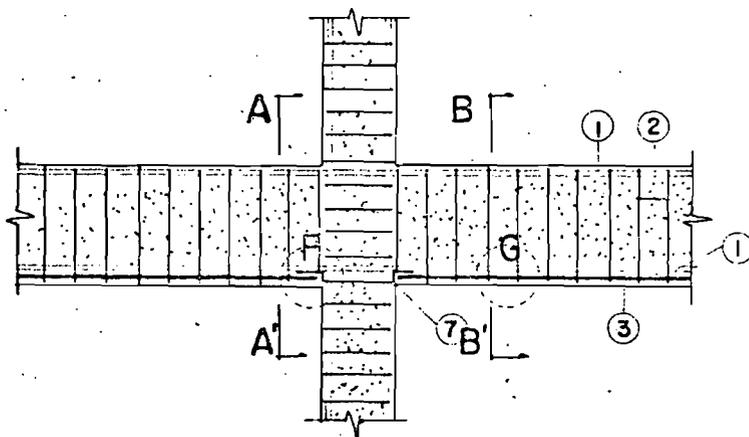


- 1 COLUMNA EXISTENTE
- 2 ANGULOS DE ACERO
- 3 PLACAS DE ACERO
- 4 PLACAS DE APOYO
- 5 CONCRETO NUEVO
- 6 ENCAMISADO CON PLACA
- 7 SOLDADURA

FIG. 4.4

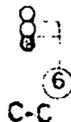
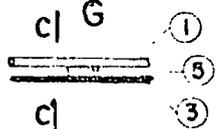
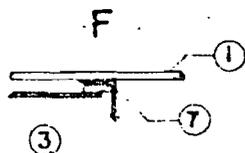
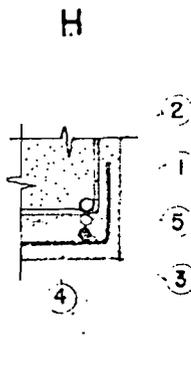
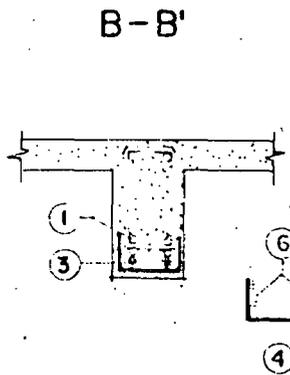
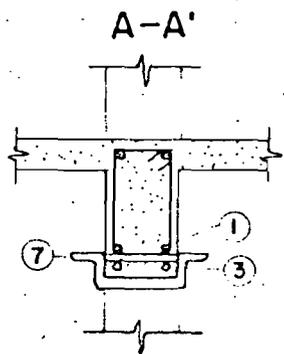


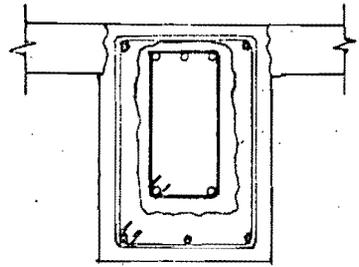
REFORMA DEL
REFUERZO
RESISTENCIA A FLEXION



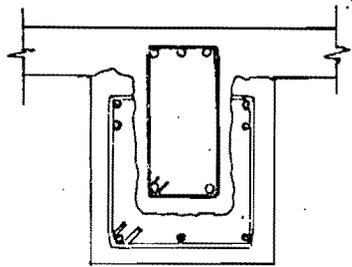
- 1 REFUERZO EXISTENTE
- 2 ESTRIBOS EXISTENTES
- 3 REFUERZO ADICIONAL
- 4 ESTRIBOS ADICIONALES
- 5 BARRAS DE UNION SOLDADAS
- 6 SOLDADURA
- 7 COLLAR DE ANGULOS

FIG. 4.5

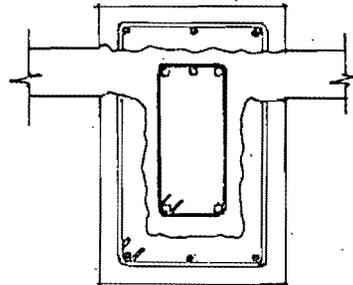




A

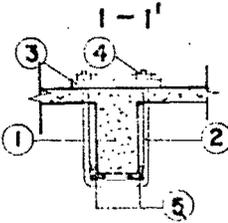
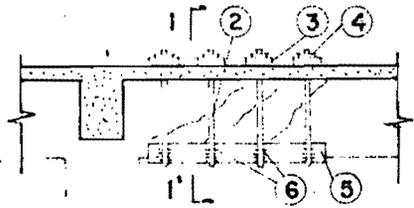


B

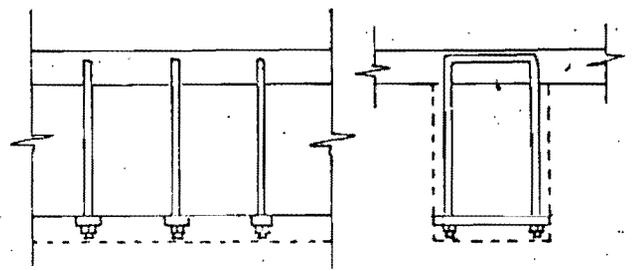


C

ENCAMISADO POR FLEXION Y CORTANTE EN VIGAS CON
CONCRETO REFORZADO FIG. 4.6

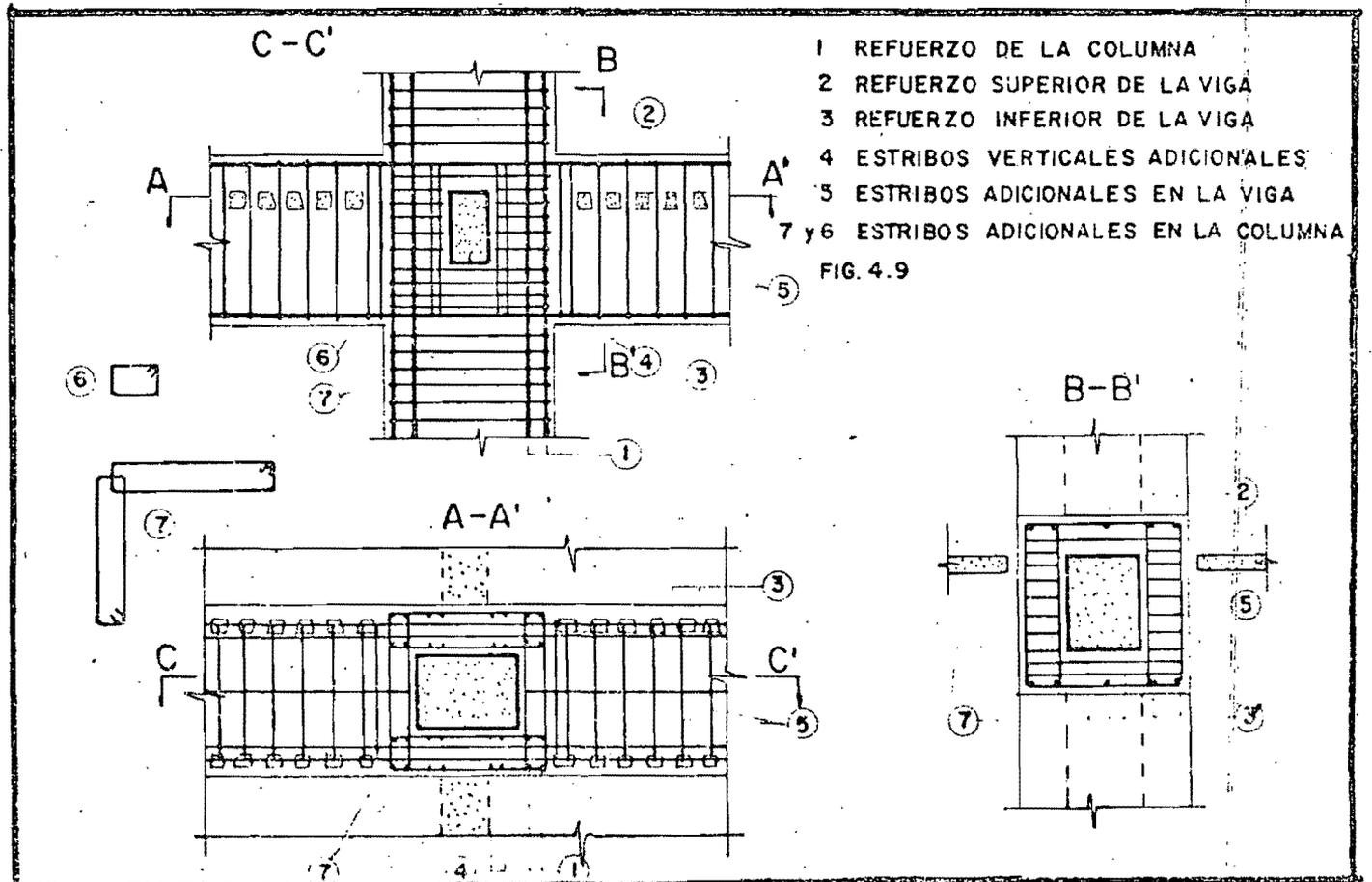
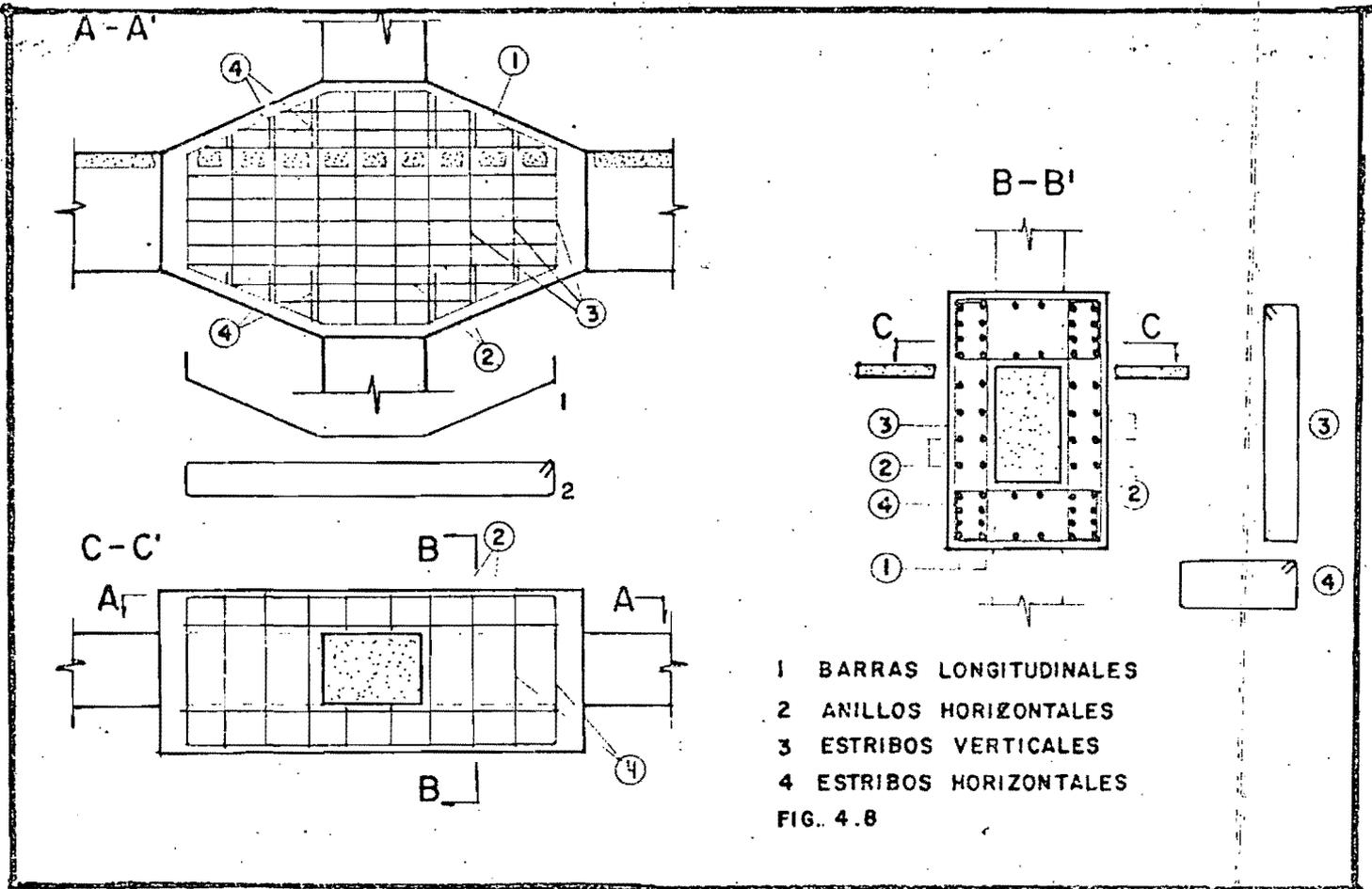


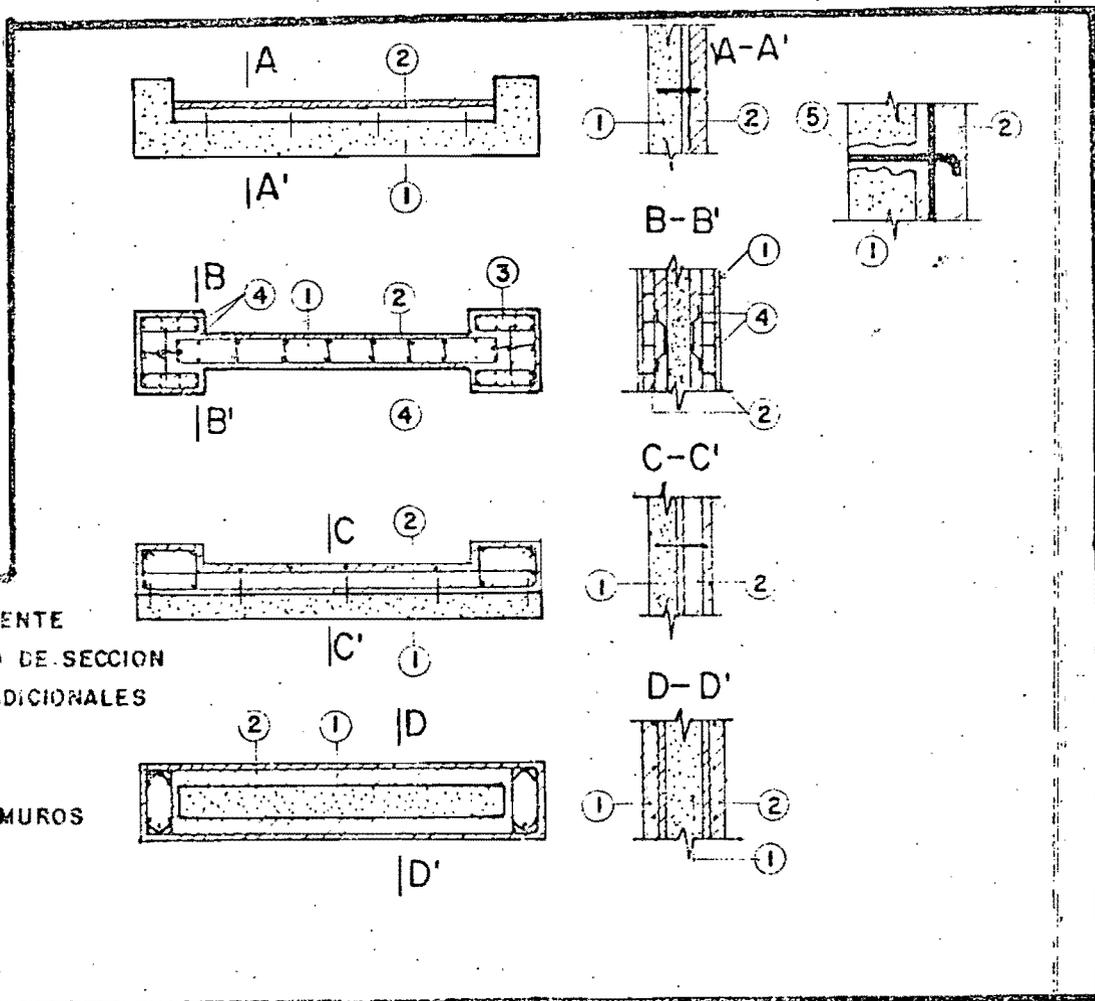
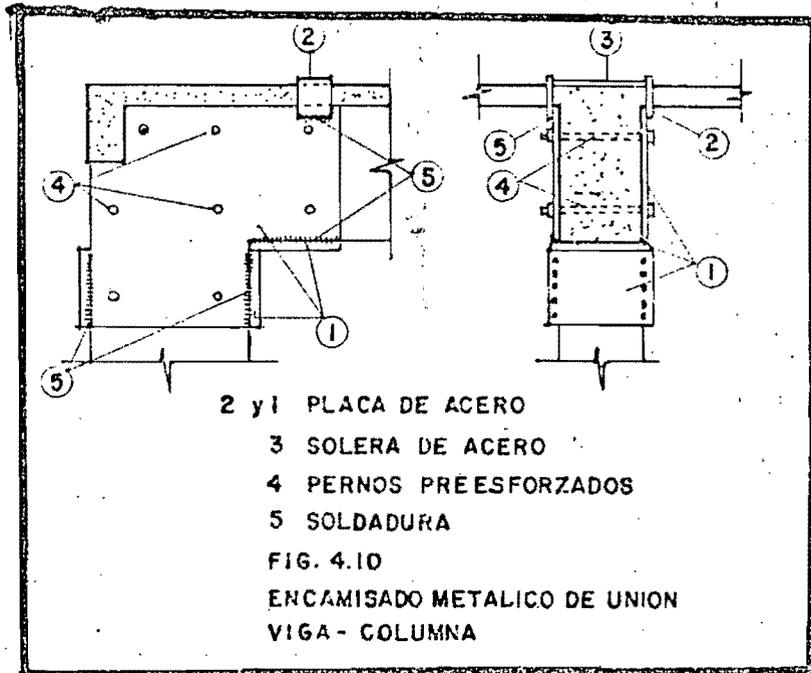
- 1 VIGA EXISTENTE
- 2 ESTRIBO
- 3 PLACA
- 4 TUERCA
- 5 ANGULO METALICO
- 6 SOLDADURA



REFUERZO DE VIGAS CON ESTRIBOS

POSTENSADOS FIG. 4.7





C A P I T U L O 5

REPARACION Y REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA

5.1 INTRODUCCION. (Ref. 6)

Cuando una construcción ha sufrido daño por efecto de un sismo, no es suficiente normalmente con repararla (reintegrar su resistencia original), sino que es necesaria reforzarla, o sea incrementar su resistencia con respecto a la que tenía antes de la ocurrencia del daño, para que este no ocurra nuevamente si se presenta la misma sollicitación.

Los procedimientos de refuerzo implican casi siempre una reestructuración de la construcción mediante la adición de nuevos elementos resistentes, o la rigidización, el confinamiento, el anclaje y el refuerzo de los elementos existentes. El reforzamiento de construcciones de mampostería implica operaciones bastante laboriosas como el colado de dalas y castillos y su anclaje con la cimentación y con los sistemas de techo y de piso. Aquí se tratarán únicamente los procedimientos para reparar o reforzar los muros de mampostería.

En un muro se tienen en general 3 formas de agrietamiento: la debida a flexión se caracteriza porque es una grieta sobre una junta del mortero cerca de la base del muro; la falla por cortante corre alternadamente por las juntas verticales y horizontales y la falla por tensión diagonal atraviesa indistintamente piezas y mortero.

Las piezas usadas en la construcción de muros de mampostería son:

- Tabique de barro recocido.
- Tabique de barro extruido de diferentes características geométricas, tanto macizo como con perforaciones verticales u horizontales.
- Bloque hueco de concreto.
- Tabique macizo de concreto (tabicón).
- Tabique sílico-calcareo.
- Piedra.

5.2 REPARACION DE MUROS.

5.2.1 Inyección de grietas.

Las grietas con una anchura que exceden los 0.3 mm pero que son menores de 3.0 mm, deben ser reparadas por medio de una inyección usando un fluido mortero de cemento. En casos especiales, pueden ser usados materiales epóxicos.

(Ref. 15)

El procedimiento usado para la inyección de grietas es semejante al utilizado para elementos de concreto explicado en el Capítulo 4.

5.2.2 Reparación de grietas grandes. (Ref. 15)

Cuando las grietas son mayores de 10 mm de ancho o cuando una pieza esta suelta junto a una grieta, debe ser usado un método más amplio que la inyección. El procedimiento de reparación seleccionado puede naturalmente involucrar el reforzamiento del muro.

Grietas que son aproximadamente verticales pueden ser reparadas quitando las piezas flojas cercanas a la grieta y colocando barras de acero con concreto o rellenando las grietas usando un grout (cemento, aditivos y arenas seleccionadas) (fig. 5.1).

Otro método puede ser quitar las piezas en un ancho aproximado de 15 a 20 cm a lo largo de la grieta y la pared puede ser reconstruida usando ladrillos o piedras más largas adheridas con un mortero rico (fig. 5.2), todas las piezas flojas deben ser quitadas. Otra alternativa que es mejor, es llenar el espacio con concreto, pudiendolo reforzar con acero, creando así un castillo o columna.

Para muros con grandes grietas inclinadas el procedimiento de inyección no puede ser utilizado porque los esfuerzos de tensión no pueden ser adecuadamente transmitidos y el costo de esta reparación sería muy alto, por lo tanto, una zona de amarres puede ser adicional para reforzar el muro en la zona del agrietamiento.

Las piezas del muro son quitadas en un ancho de 15 a 20 cm y una profundidad de 10 a 15 cm y la cavidad así formada es llenada con concreto y adicionada generalmente con varillas (fig. 5.3).

Cuando el acero vertical es difícil o imposible de colocar dentro del muro, se deben seleccionar una serie de puntos e introducir un par de varillas, no importante que este castillo formado tenga que sobresalir del muro (fig. 5.3). Una buena conexión es apropiada en ese par de varillas, teniendo que pasar los estribos através del muro.

En paredes relativamente delgadas, las zonas de amarre se pueden extender a lo ancho del muro formando castillos (fig 5.4).

5.2.3 Muros con grave daño. (Ref. 15)

Un grave daño ocurre a los muros cuando una porción de este ha sido desplazado lateralmente. En tales casos es importante proporcionar un soporte temporal al piso inmediato superior.

Cuando una parte de la mampostería ha sido desplazada lateralmente (fig. 5.5) la pared debe ser totalmente demolida. Si el muro solo se ha desplazado en una sola cara, puede ser posible la reconstrucción si la cara vertical es lo suficientemente estable para ser usada como cimbra después que las piezas desplazadas han sido quitadas (fig. 5.6)

5.3 REFORZAMIENTO DE MUROS. (Ref. 15)

5.3.1 Reforzamiento de muros por medio de encamisado.

Para muros que presentan serios daños y/o cuando hay necesidad de reforzar el edificio ante un sistema de fuerzas laterales, el reforzamiento de los muros existentes por medio de un encamisado es un procedimiento adecuado. La aplicación se recomienda que sea por medio de mortero lanzado aunque por el método convencional también es correcto. ES deseable que el encamisado se realice por ambos lados del muro, con conectores de acero, no obstante, en algunos casos el encamisado por un solo lado da un adecuado reforzamiento, teniendo que ser anclado por taquetes. El encamisado se puede realizar ya sea con barras de acero o con malla electro-soldada.

Cuando el daño en el muro es severo, es necesario proporcionar un sistema adecuado de soporte provisional (ver Capítulo 3), posteriormente es necesario retirar todos los acabados que están en la zona por reparar. Todas las piezas flojas deben ser quitadas y se debe realizar una limpieza de la zona por medio de aire o agua a presión; posteriormente se procede a reparar la grieta como se indicó en el inciso 5.2.

La figura 5.7 muestra el procedimiento para el encamisado de muros de mampostería. Los agujeros son taladrados a intervalos de 50 a 60 cm, tanto horizontal como verticalmente pasando los conectores a través del muro y rematándolo del otro lado. También se pueden usar clavos de 4" a inter-

valos de 20-30 cm aproximadamente.

El menor espesor del nuevo mortero debe ser de 3 a 4 cm. Si el mortero es colado por medio de mortero lanzado, el espesor mínimo del encamisado debe ser de por lo menos 10 cm.

Varias modificaciones al sistema de encamisado deben ser aplicadas en circunstancias especiales. En la figura 5.8 se aprecia el encamisado en el cerramiento de una puerta, donde se recomienda que el encamisado se continúe 100 cm a cada lado de la puerta. En la figura 5.9 se aprecia el encamisado junto a un par de ventanas, donde se recomienda que el encamisado se prolonge 50 cm después del extremo de la ventana.

Una estimación del costo de reparación y/o reforzamiento por medio de encamisado indica que esta es del orden de una tercera parte del costo que implicaría reconstruir el muro original.

5.4 RECOMENDACIONES GENERALES EN CONSTRUCCIONES DE MAMPOSTERÍA. (Ref. 6)

Las recomendaciones siguientes se refieren a la estructuración de las construcciones, a los materiales y el refuerzo, a los detalles y procedimientos constructivos.

Debe proporcionarse un sistema resistente en dos direcciones ortogonales, este requisito obvio no siempre se cumple; especialmente en casas habitación es frecuente que los elementos resistentes están en una dirección y que en la normal a ella exista un número muy reducido de muros con grandes aberturas para puertas y ventanas. En cada dirección deberá proveerse una densidad adecuada de elementos para resistir las fuerzas sísmicas.

La distribución de elementos resistentes debe ser aproximadamente simétrica para evitar problemas de torsiones en planta que aumenten las fuerzas laterales en los muros; esto debe cuidarse especialmente en las construcciones de varios niveles.

Los sistemas de techo y entrepiso deben ser capaces de transmitir las fuerzas laterales a los elementos que tengan resistencia en la dirección de la acción sísmica. Esta condición no se cumple en techos de vigas o armaduras no contraventeadas en su plano, las cuales empujan directamente sobre los muros transversales y provocan fuerzas importantes perpendiculares a los planos de dichos muros, causando frecuentemente su falla por volteamiento. El contraventeo del

techo, la colocación de una dala de remate perimetral, la liga entre muros transversales y el anclaje de los muros en su cimentación son factores que eliminan este problema.

La falla por efecto del sismo actuando sobre la masa misma del muro en dirección normal en su plano ocurre en bardas y muros pesados no restringidos en su extremo superior. Es importante por lo tanto proporcionar un anclaje apropiado a la cimentación y elementos verticales resistentes. En muros apoyados en sus cuatro extremos, la falla por empuje normal al plano es poco frecuente, pero puede presentarse si se emplean morteros muy pobres (por ejemplo, los morteros a base de lodo para pegar adobes) o si se llenan solo parcialmente las juntas (como es usual en algunos lugares para bloques de concreto).

La presencia de aberturas en los muros provoca concentraciones de esfuerzos que favorecen la formación de las grietas diagonales. Es conveniente que exista un refuerzo continuo en la periferia de los huecos. Debe evitarse el empleo de piezas con altos porcentajes de huecos y paredes delgadas porque esto propicia fallas y deterioros graves y muy rápidos.

5.5 NUEVAS FORMAS CONSTRUCTIVAS PARA LA MAMPOSTERIA. (Ref. 6)

Se han desarrollado recientemente, o están en la etapa de desarrollo, nuevas técnicas para la construcción y refuerzo de los muros que presentan algunas ventajas sobre las tradicionales. En algunos casos se trata de sistemas radicalmente diferentes a los usuales, en otros, de pequeñas modificaciones que pretenden mejorar el comportamiento estructural de los muros. Algunas de las alternativas más interesantes se describen a continuación.

5.5.1 Refuerzos especiales en la mampostería convencional.

Con el fin de mejorar la ductilidad de los muros y reducir el deterioro de su rigidez y resistencia ante el efecto de cargas alternadas se están estudiando detalles de refuerzo aplicables ya sea a muros confinados con castillos o a muros con refuerzo interior o a ambos.

La adición de barras de refuerzo de pequeño diámetro ($\phi = 4$ mm) y de alta resistencia en las juntas horizontales aumenta ligeramente la resistencia, restringe la propagación del agrietamiento del muro y reduce el deterioro ante la repetición de cargas. Este refuerzo puede colocarse también en muros de piezas macizas con castillos, produciendo una distribución más uniforme de los esfuerzos cortantes en toda la longitud del muro y evitando las altas concentraciones de esfuerzos que se producen en los extremos de los

castillos cuando el muro se agrieta diagonalmente. Cuando no se coloque este refuerzo en las juntas, resulta muy conveniente que los castillos tengan refuerzo especial en sus extremos para evitar su falla por cortante después de que el muro se agrieta diagonalmente.

En muros con refuerzo interior también resulta muy conveniente confinar el refuerzo vertical en los extremos de los muros, ligando por medio de estribos, placas o mallas.

5.5.2 Mampostería con junta seca y con refuerzo en las caras exteriores.

La mampostería con junta seca consiste en colocar las piezas sin mortero en las juntas, formando el muro por la simple sobreposición de las piezas. La liga estructural del muro puede lograrse mediante el empleo de piezas machihembradas en las que se produzca un anclaje mecánico de las piezas, o mediante un aplanado en las caras del muro que proporcione continuidad al conjunto. La principal ventaja que se aduce para estos procedimientos es la rapidez de la construcción.

En lo que respecta al comportamiento sísmico para la mampostería de piezas machihembradas no se cuenta con información experimental. Para asegurar que se desarrolle la tracción mecánica parece necesario que los muros estén confinados por dadas y castillos, lo cual elimina en parte las ventajas de la rapidez de construcción. En este procedimiento

ta se requiere que las piezas tengan dimensiones muy uniformes para poder construir el muro a plomo y a nivel sin la ayuda de las juntas de mortero que absorben las diferencias geométricas. Se requiere además que las piezas tengan buena estabilidad volumétrica. Se han empleado para este procedimiento piezas de suelo-cemento, de concreto ligero y de barro macizas o huecas. Las piezas huecas machiembradas permiten la colocación de refuerzo en los huecos verticales, lo cual aunado a la trabazón mecánica de las piezas posiblemente dé lugar a un sistema constructivo conveniente en zonas sísmicas. Se requiere, sin embargo, estudios adicionales para encontrar las formas, materiales y procedimientos constructivos convenientes para las piezas y para comprobar experimentalmente el comportamiento sísmico. Desde el punto de vista del comportamiento sísmico parece conveniente, y amerita estudio, el empleo de piezas machihembradas con junta de mortero, con lo cual al anclaje mecánico de las piezas se suma a la adherencia del mortero para mejorar la resistencia al cortante.

Recientemente se ha introducido comercialmente un mortero a base de cemento, aditivos que proporcionan alta adhesividad y fibra de vidrio, el cual colocado como aplanado en muros con junta seca, les proporciona una alta resistencia en tensión. Se han realizado diversos ensayos para estudiar el comportamiento estructural de este material, aplicado principalmente a muros de bloque de concreto. Se ha observado que, con respecto al de un muro del mismo mate-

rial junteado con mortero, la resistencia a carga axial de los muros así contruidos es ligeramente menor, la resistencia a cargas normales al plano del muro es varias veces superior, la resistencia a fuerza cortante es ligeramente mayor así como la ductilidad para las mismas condiciones de confinamiento. Si se coloca algún refuerzo interior en los huecos extremos para proporcionar liga entre los muros y para mejorar la ductilidad, se considera que este procedimiento da lugar a una seguridad aceptable contra sismo en construcciones de uno a dos niveles. El costo del producto patentado para el aplanado es relativamente alto; sin embargo, se requieren espesores muy pequeños para los aplanados (3 mm). Se afirma que el costo total es competitivo con el de un muro convencional con aplanado de yeso en ambas caras.

Parece prometedor el estudio de otros materiales para proporcionar al muro continuidad y resistencia en tensión por medio de un aplanado, aplicado ya sea a las piezas colocadas con mortero o con junta seca. El uso de fibras minerales o vegetales (henequén, bambú, etc.) más económicas que las de vidrio y la sustitución del cemento por el azufre son alternativas que se han sugerido pero que no han sido suficientemente estudiadas.

Un procedimiento de este tipo que ha sido ampliamente usado y que resulta muy eficiente es el de reforzar los muros con una malla de acero (electrosoldada o tela de gallinero) anclada perfectamente al muro y recubierta por un aplanado de mortero cemento. Este procedimiento se ha empleado

esencialmente para refuerzo de muros agrietados.

5.5.3 Mampostería con morteros de alta adherencia.

Cuando se emplean piezas de buena calidad (tabique ex - truido y bloques de concreto tipo pesado) la resistencia - al cortante del muro está regida por la adherencia entre el mortero y las piezas en las juntas; si se mejora dicha adhe - rencia se puede alcanzar la máxima resistencia del muro que está regida por la falla en tensión de las piezas.

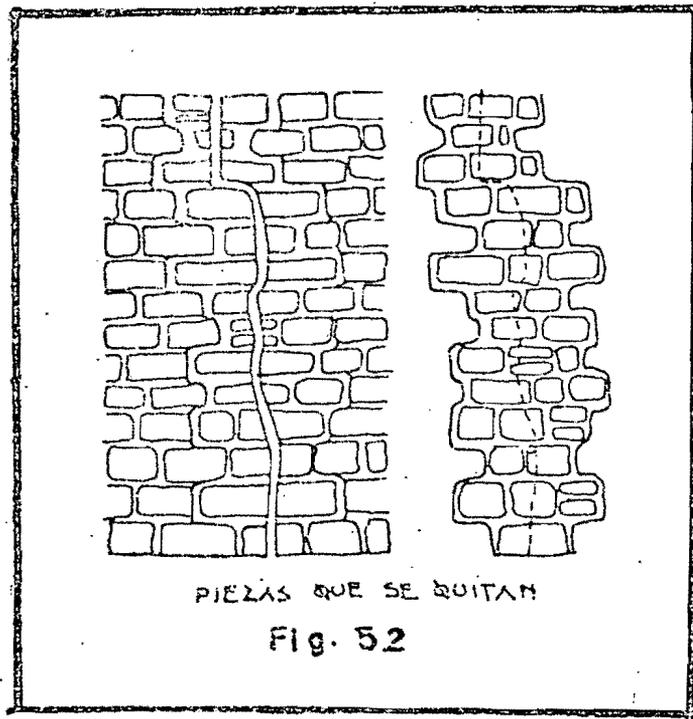
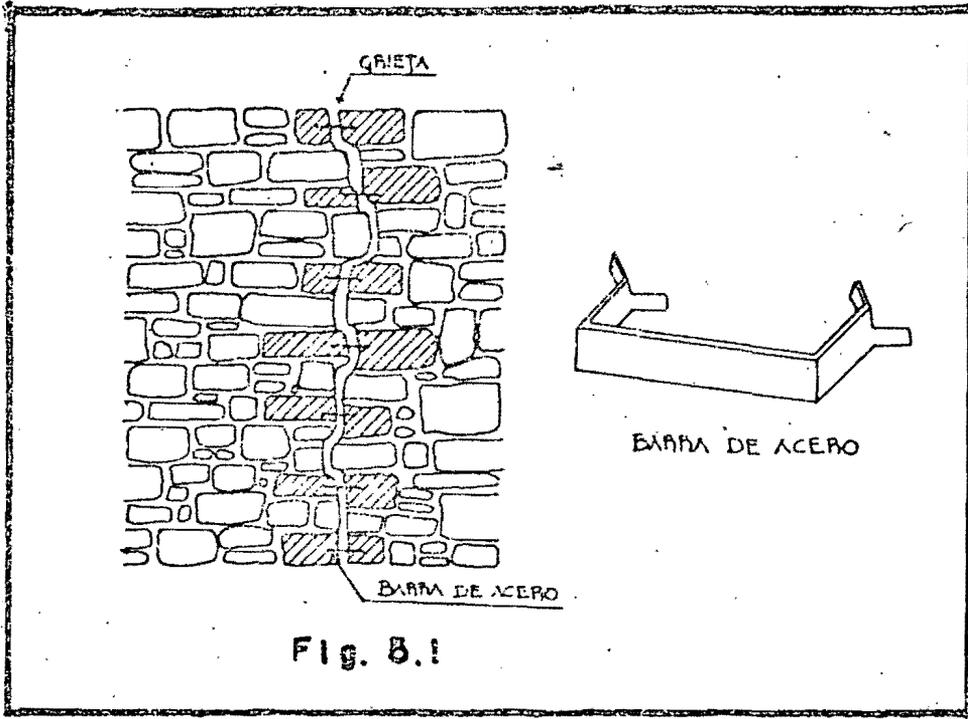
Se han estudiado diversos aditivos para el mortero a base principalmente de resinas epóxicas y se han obtenido - incrementos muy sustanciales en la adherencia, en algunos - países estos morteros de alta adherencia se producen comer - cialmente, pero su empleo aumenta radicalmente el costo de los muros.

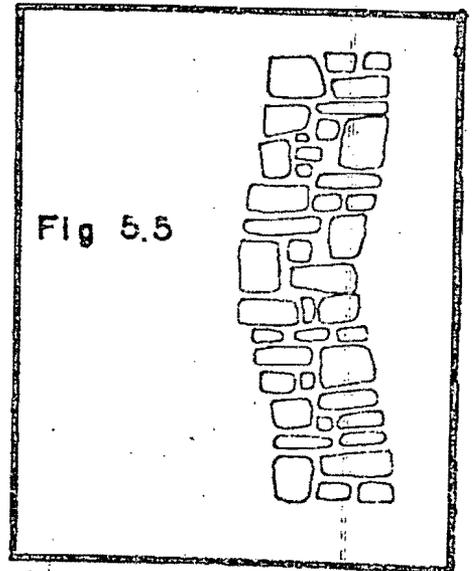
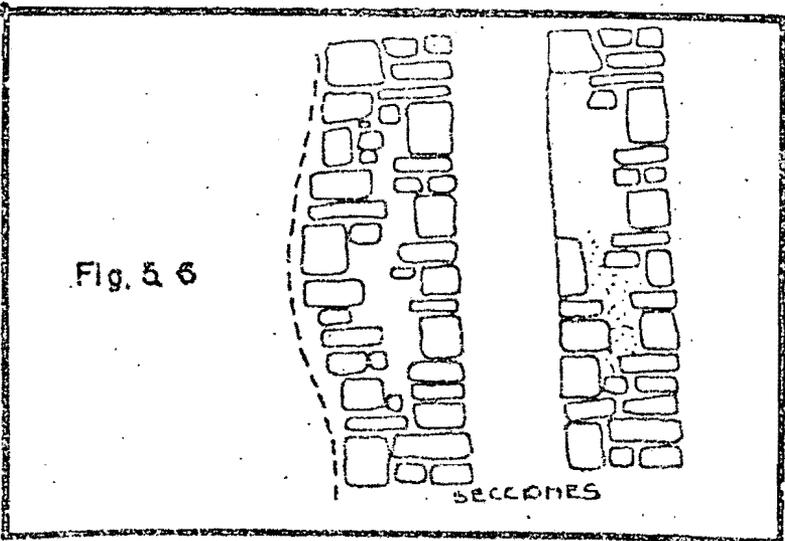
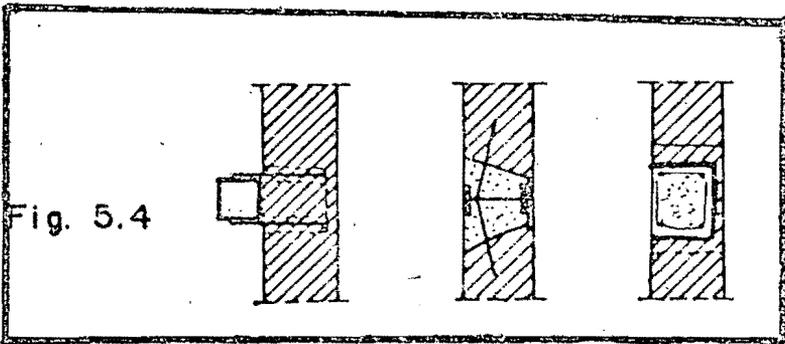
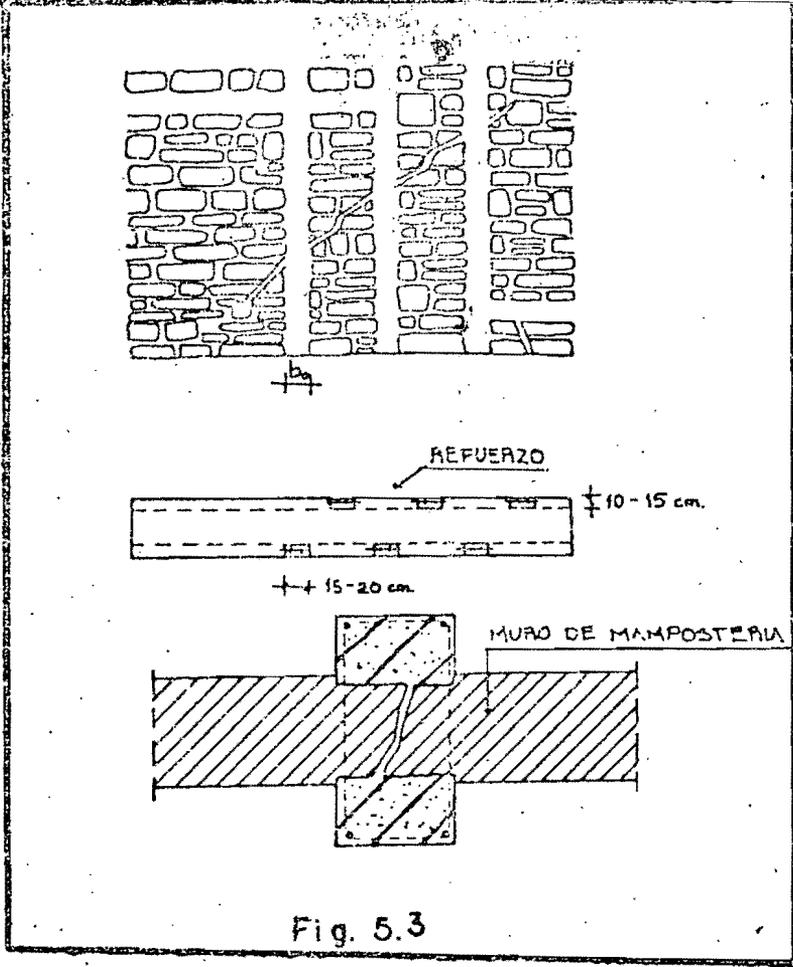
5.5.4 Mampostería postensada.

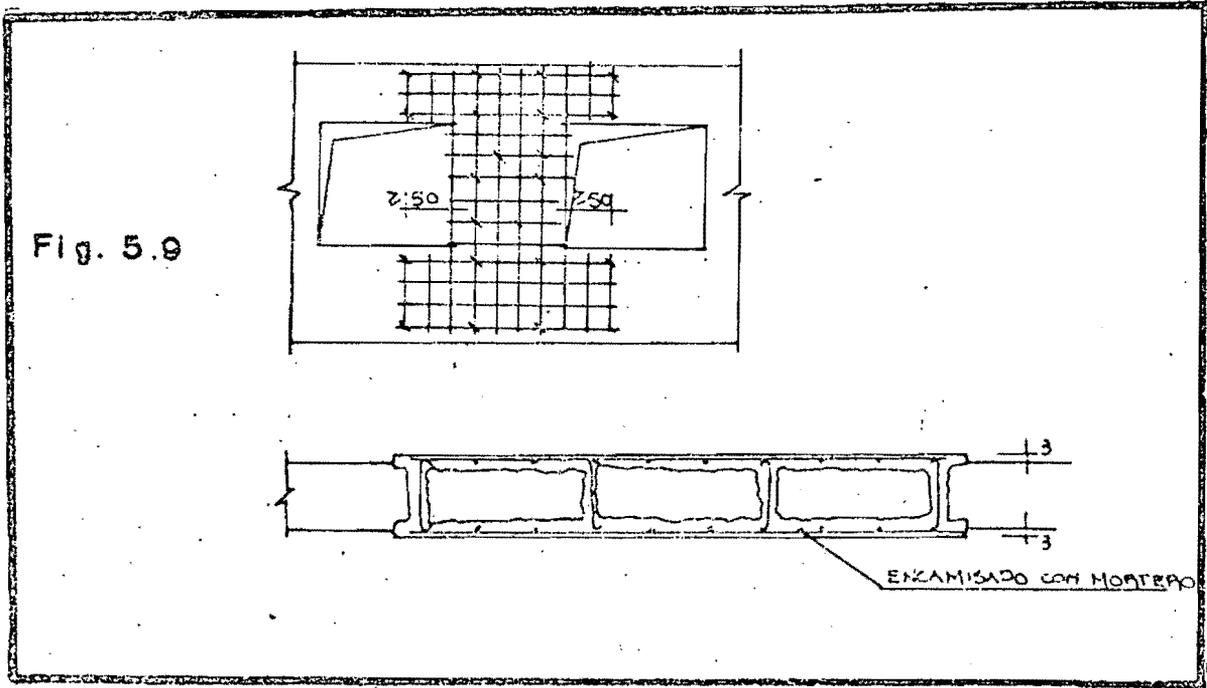
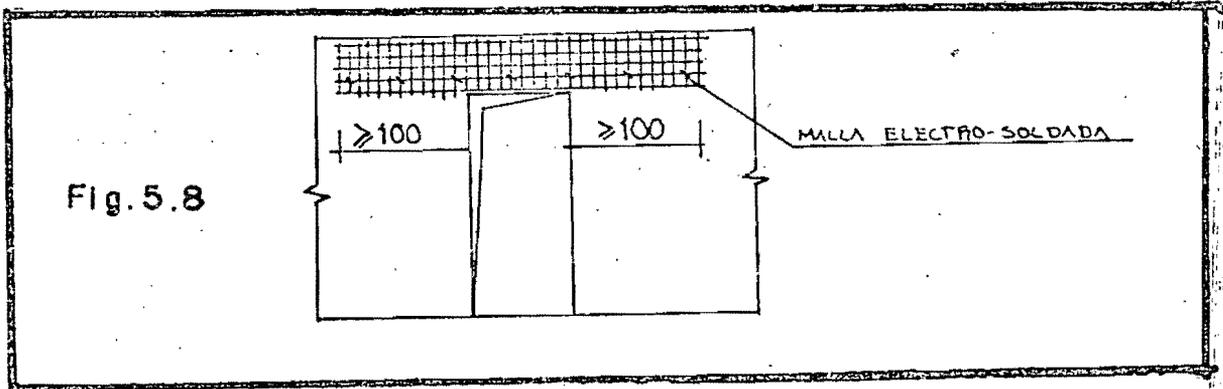
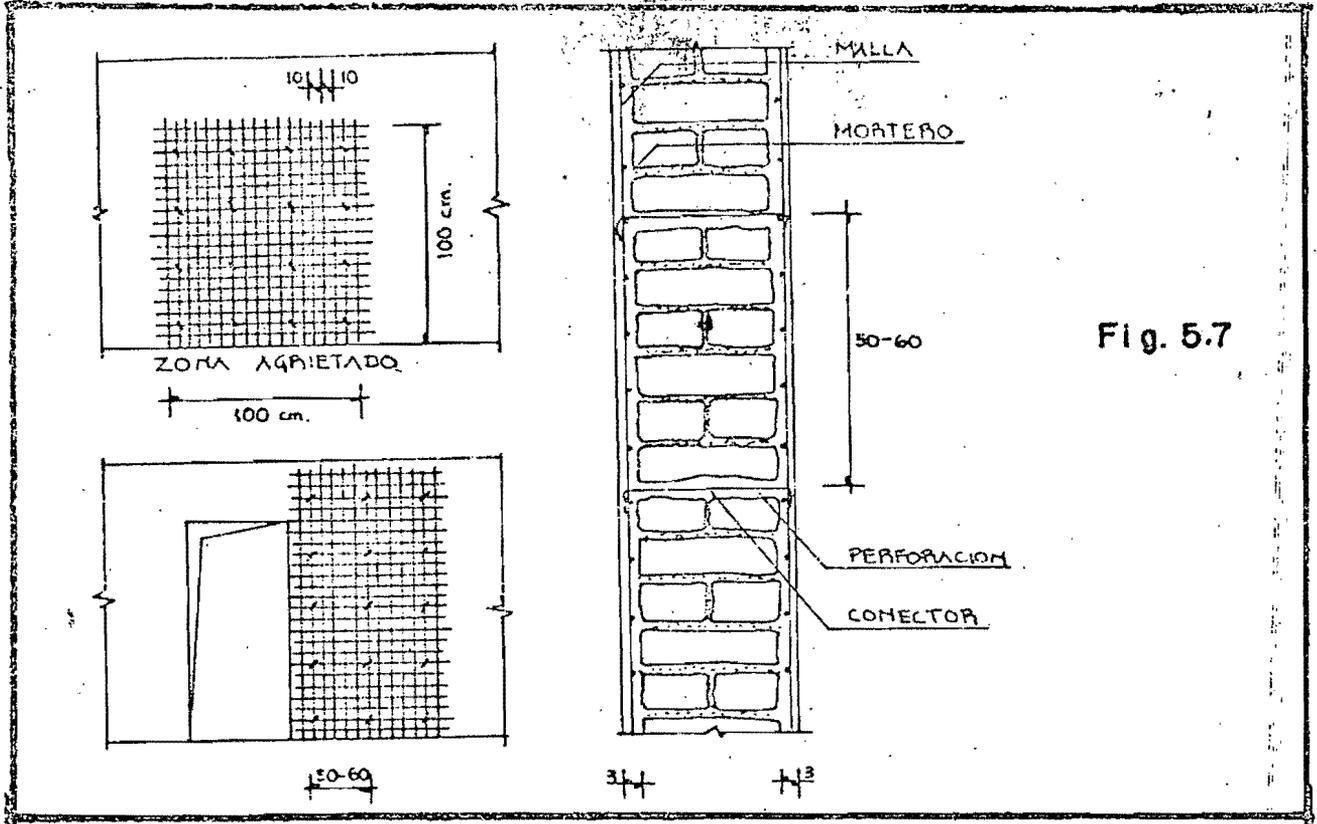
La capacidad de carga de muros de mampostería está li - mitada por su baja resistencia a esfuerzos de tensión produ - cidos por flexión o fuerzas cortantes. La resistencia a es - tos efectos puede mejorarse sustancialmente si se introdu - cen en los muros esfuerzos de compresión mediante técnicas de postensado. Aunque el postensado reduce la capacidad ú - til de los muros a carga axial, esta rara vez es crítica en zonas sísmicas y normalmente son mucho más importante las - ventajas que el presfuerzo proporciona, que son las siguien - tes:

se evita el agrietamiento por flexión en muros, se incrementa la resistencia a fuerza cortante porque se reducen los esfuerzos de tensión diagonal y se logra una distribución de carga más uniforme en la cimentación. El postensado ha sido poco usado hasta la fecha principalmente por el desconocimiento de las pérdidas de presfuerzo que se pueden tener y por las dificultades del procedimiento.

Algunos ensayos realizados en el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. , han demostrado que las pérdidas de presfuerzo son del mismo orden de las que se obtienen en estructuras de concreto (entre 10 y 20 %) y son menores en piezas de barra que en bloques de concreto, que deben evitarse los sistemas de anclaje a base de cuñas y que resulta conveniente el empleo de un sistema de postensado en el que los cables puedan tensarse en etapas de acuerdo con el proceso constructivo, reduciendo así, o eliminando, las pérdidas de presfuerzo.







C A P I T U L O 6

EJEMPLOS DE REPARACION, REFUERZO Y REESTRUCTURACION DE ALGUNAS ESTRUCTURAS (PROCEDIMIENTO).

6.1 EJEMPLO DE REPARACION Y REFORZAMIENTO DE UN EDIFICIO EN BULGARIA. (Ref. 15)

La descripción del edificio es el siguiente. La estructura tiene 9 pisos, el edificio dañado tiene muros de cortante de concreto. La estructura en planta es rectangular con dimensiones de 14.00 mts por 58.40 mts. La localización de los muros de cortante se muestra en la figura 6.1, indicando una excentricidad entre el centro de rigidez y el centro de masa para la dirección longitudinal. El edificio es de uso habitacional.

De acuerdo al proceso constructivo las paredes son primero construidas con cimbra deslizante. Las losas entonces son colocadas y sujetas a los muros por conectores (targos) especialmente diseñados. La losa puede servir como un diafragma rígido transfiriendo las fuerzas sísmicas al muro de cortante.

Como resultado del sismo del 4 de marzo de 1977, las columnas localizadas a lo largo del eje C (fig. 6.1) sufrieron graves daños en los pisos de abajo. Se presentó aplastamiento del concreto y doblamiento del refuerzo. En los pisos superiores esas columnas sufrieron solamente daños ligeros. Ligeras grietas fueron observadas en el yeso.

Con base en una inspección de la estructura se vió que el daño fue debido principalmente a una mala realización -- del proceso constructivo motivada por una insuficiente densidad del concreto. Los movimientos de torsión fueron el resultado de una excentricidad entre el centro de masa y el centro de rigidez. No obstante, es razonable asumir que los muros transversales de cortante fueron capaces de resistir adecuadamente el movimiento torsionante.

Considerando las características geométricas de los -- elementos estructurales y de las propiedades del material, la capacidad de carga debido al daño estructural fue analizado dando como resultado que tiene la capacidad suficiente para resistir cargas verticales, no obstante para fuerzas sísmicas las cargas de diseño fueron encontradas inadecuadas.

Con base en un análisis se decidió construir 5 marcos a-di-ci-o-n-a-l-e-s unidos a los existentes a lo largo del eje C (fig. 6.2). La localización de los marcos en el exterior de la e-s-t-r-u-c-t-u-r-a elimina la necesidad de evacuación de las personas que viven en el edificio. El tamaño de los nuevos elementos de los marcos fueron diseñados tan grandes como fue posible tomando en cuenta la rigidez del marco comparada con la r-i-g-i-d-e-z de los muros de cortante existentes en el edificio y tratando de reducir o eliminar las excentricidades entre el centro de masa y el centro de rigidez del edificio. El n-u-e-v-o esquema de los nuevos marcos y sus dimensiones g-e-o-m-e-t-r-i-c-a-s son mostradas en la figura 6.2.

El reforzamiento del edificio fue diseñado de acuerdo al Código Búlgaro para Construcciones en Regiones Sísmicas y el Código Búlgaro de Diseño de Estructuras de Concreto. De acuerdo a estos códigos, las fuerzas internas de los nuevos marcos reforzados son calculados por combinación de acciones de los elementos existentes y los nuevos. Las fuerzas sísmicas son distribuidas entre los muros de cortante y los nuevos marcos dando un rígido diafragma de piso. Los marcos a lo largo del eje C toman aproximadamente 30% del total de la fuerza sísmica en esa dirección. Las conexiones entre la estructura existente y los nuevos elementos proporcionan resistencia ante carga viva y fuerza sísmica.

El procedimiento de reparación y reforzamiento seguido fue el siguiente. De acuerdo al daño y a los resultados del análisis de la estructura, los daños en las columnas fueron reparados antes de la construcción de los nuevos marcos. El daño local del concreto fue removido y el acero fue reemplzado por un nuevo refuerzo, que fue soldado a las barras existentes (fig 6.3).

La conexión entre los nuevos elementos y los existentes se realizó de la siguiente manera: se martelinó la superficie del elemento existente dejando una superficie rugosa; se ancló el nuevo refuerzo al existente por medio de estribos y pernos ancla donde fue necesario, de esta manera, se realiza la interacción entre la nueva estructura y la existente.

La construcción seguida paso por paso comenzando desde el primer piso. El reforzamiento de la sección de vigas y columnas de los marcos son mostrados en las figuras 6.4 y 6.5 respectivamente.

El costo aproximado del reforzamiento de la estructura es aproximadamente del 4% del costo del reemplazo del edificio.

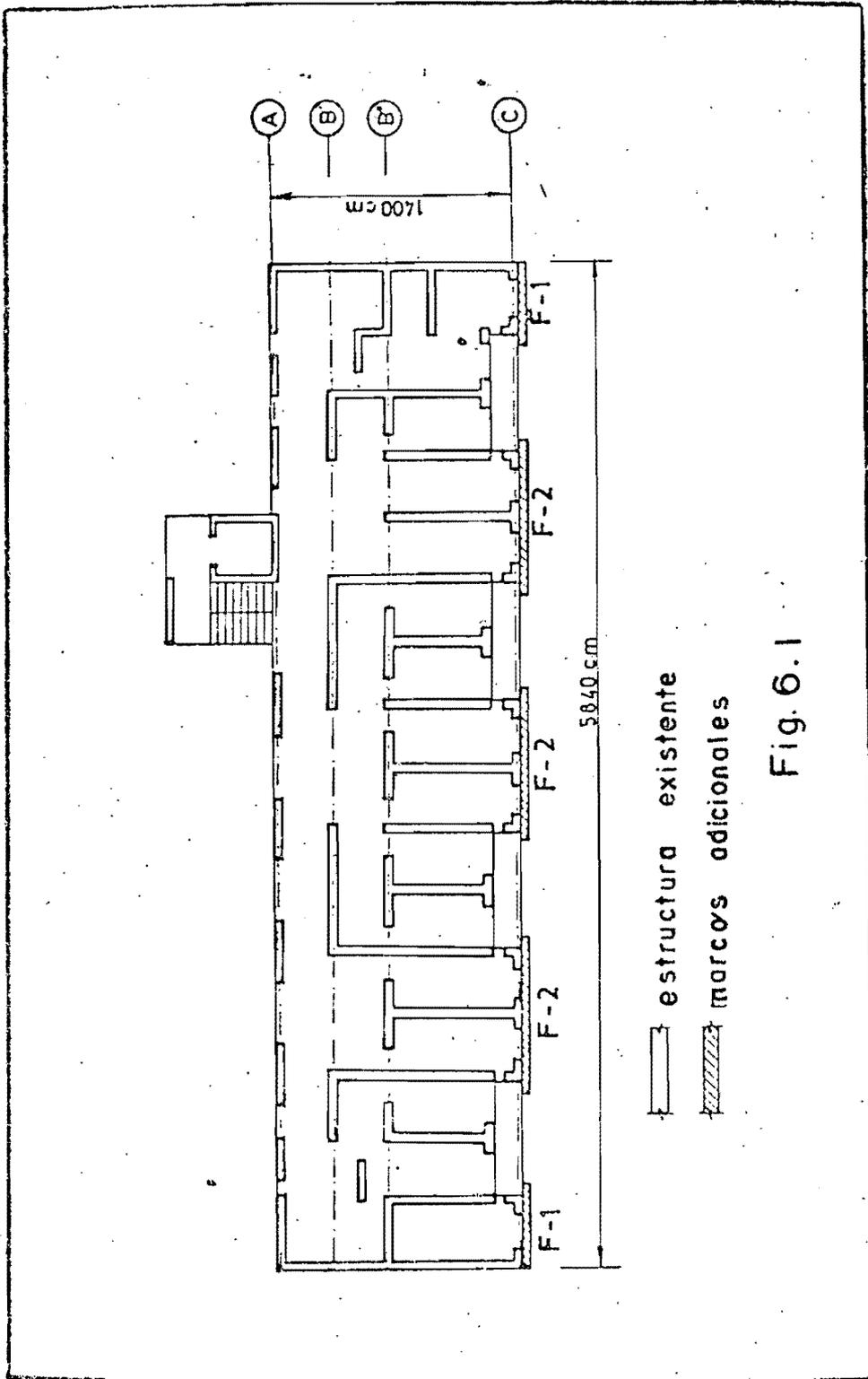


Fig. 6.1

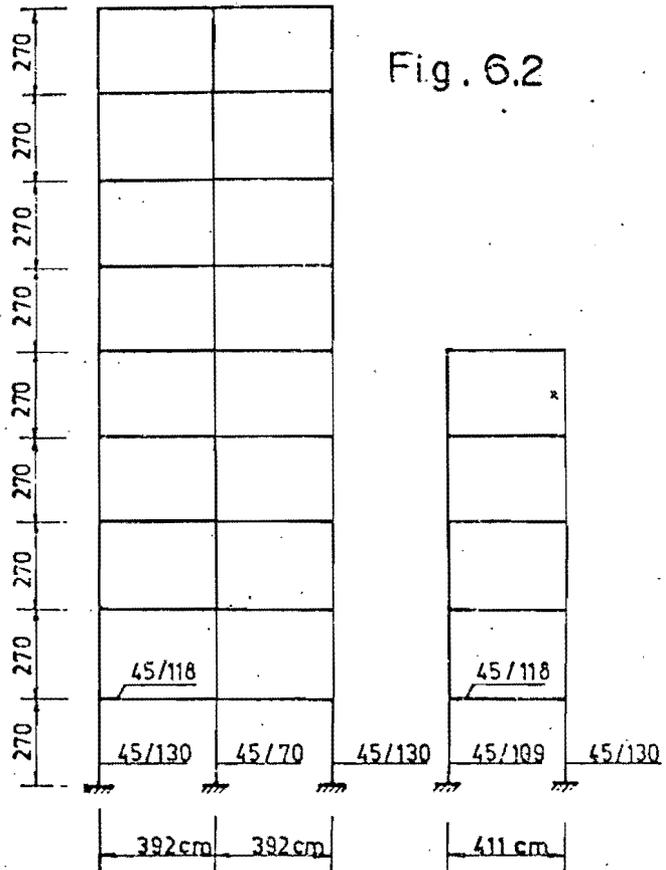


Fig. 6.2

Marco tipo F-2
número 3

Marco tipo F-1
número 2

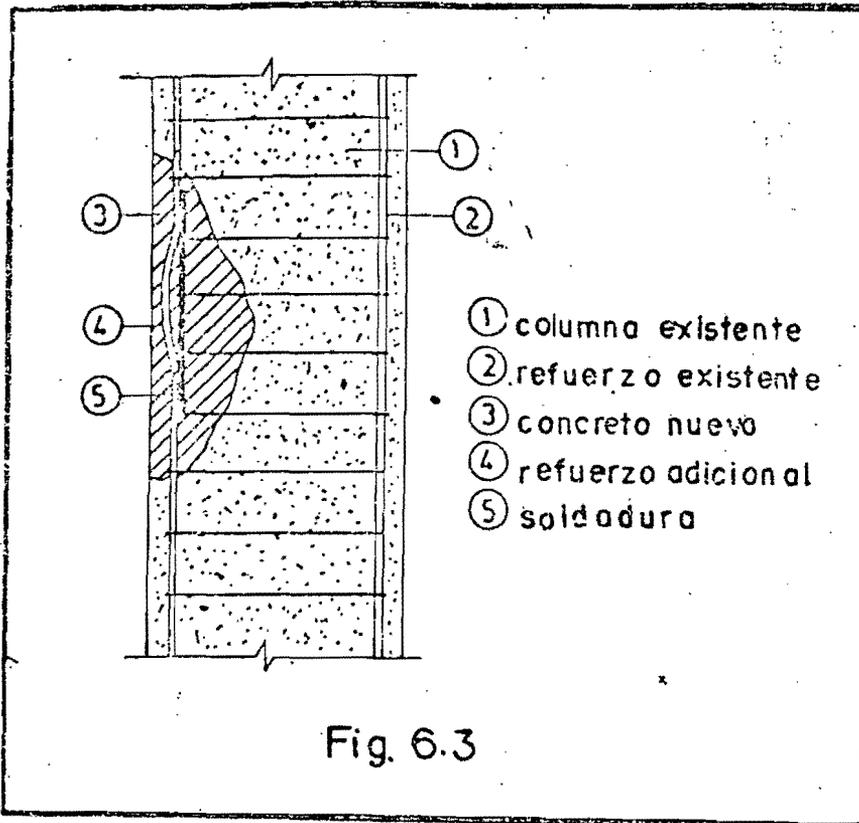


Fig. 6.3

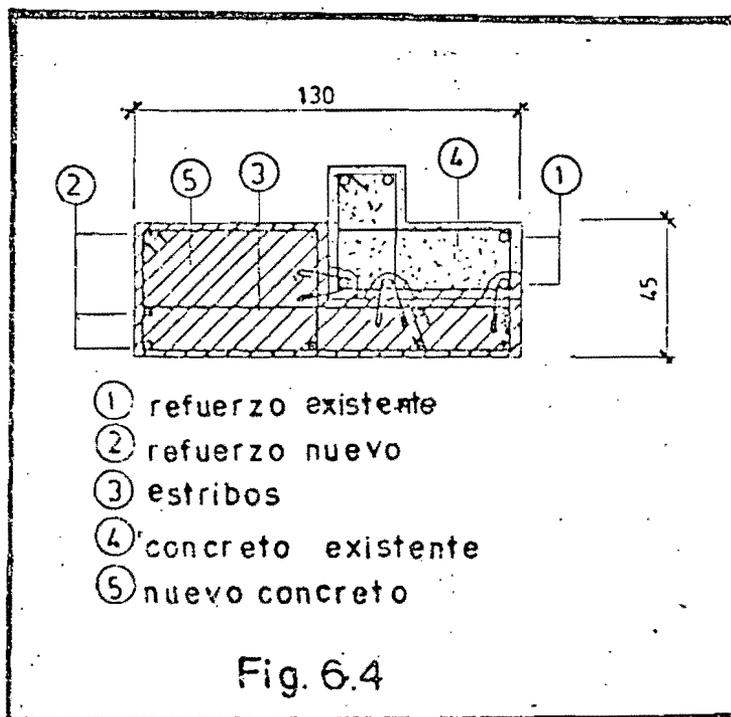
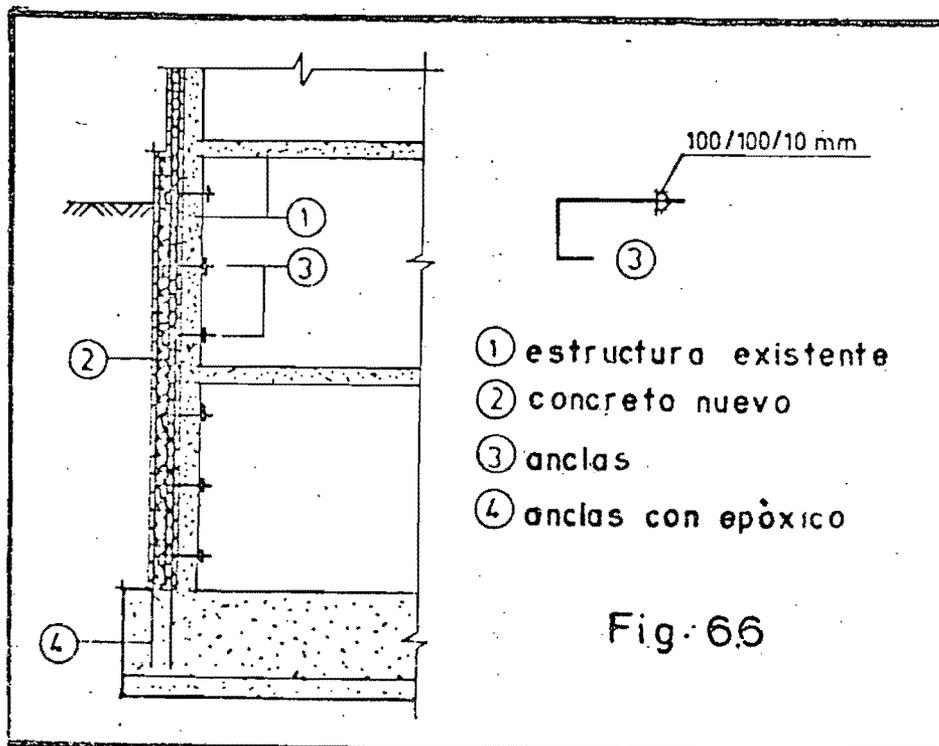
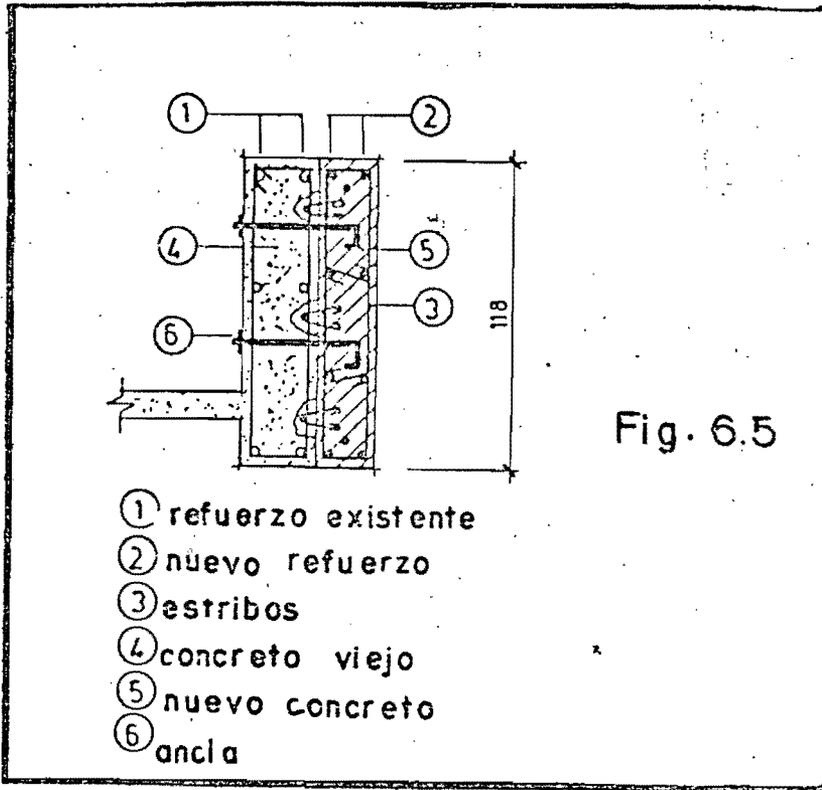


Fig. 6.4



6.2 EJEMPLOS DE REPARACION Y REFORZAMIENTOS DE UN PAR DE EDIFICIOS EN LA CIUDAD DE MEXICO. (Ref. 2)

EJEMPLO No.1

El edificio es un hospital localizado en una zona de máximos daños. con varios colapsos totales en un radio de 100 m. El edificio tiene ocho pisos y sótano (figs. 6.7, 6.8 6.9). La estructura original era a base de marcos de concreto reforzados y muros de concreto en algunas crujiás, por lo que era relativamente rígido comparado con las propiedades del suelo; sin embargo, hubo fallas importantes en las columnas del sótano causadas por golpes contra la losa del piso de un estacionamiento anexo cuyo nivel era aproximadamente 50 cm abajo del nivel de piso dentro del edificio (fig. 6.8); el edificio estaba apoyado en pilotes de control, siendo necesario cambiar la mayoría de los puentes que transmiten la carga a los pilotes, pues se dañaron a causa del golpeteo. En el resto del edificio los daños fueron menores, con algunas losas del piso agrietadas, lo que se atribuyó a efectos de fuerza cortante.

Las normas de emergencia publicadas el 18 de octubre de 1985, que se emplearon para la reparación, pedían la reestructuración de cualquier edificio que hubiere sufrido daños mayores. El nuevo coeficiente sísmico era 67% mayor que el del reglamento en vigor antes del sismo, por lo que, para

lograr que la estructura cumpliera con las nuevas normas - fue necesario reforzar también los niveles superiores del - edificio. Las columnas del sótano fueron encamisadas y algu - nos tramos del muro de retención que no llegaban hasta el - nivel de planta baja para dar iluminación al sótano fueron cerrados para tener mayor capacidad resistente. Se agrega - ron también varios muros de concreto reforzado en los pisos superiores para satisfacer las demandas de resistencia de - las normas de emergencia, estos muros se anclaron a los mar - cos empleando tramos de varillas que se alojaban en taladros y se rellenaban con resinas epoxy (fig. 6.10).

Las grietas en las losas de niveles superiores fueron rellenadas con resinas epoxy, y para aumentar su resistencia al corte se aplicó presfuerzo a las losas en la dirección lon - gitudinal (fig. 6.11). No fue necesario incrementar el núme - ro de pilotes de la cimentación. La losa de estacionamiento que causó el problema se demolió a lo largo de su contacto con el edificio, dejando una trinchera para absorber movi - mientos futuros.

Se midieron los periodos de vibración, en condiciones - ambientales después de la reparación, obteniéndose valores de 0.62 seg. en dirección transversal y 0.53 seg. en direc - ción longitudinal. Estos valores concuerdan razonablemente con los calculados.

Se considera que estos periodos garantizan que el edificio tendrá una respuesta baja en movimientos futuros ya que están suficientemente lejos de los periodos dominantes del movimiento del suelo en ese lugar; asimismo, la causa principal del daño (la losa del estacionamiento) fue eliminada.

EJEMPLO No. 2.

Este es un edificio del servicio postal, el cual tiene dos cuerpos separados por una junta constructiva, uno de 5 niveles (con sótano) y el otro con 10 niveles (incluyendo 2 sótanos); la altura de ambos cuerpos es igual, ya que los entrepisos del primero tienen 7.20 m de alto, mientras que los del segundo cuerpo tienen solo 3.6 m. La separación entre los cuerpos es del nivel de planta baja a azótea (fig. 6.12), pues están unidos en planta baja y sótano. El primer cuerpo tiene planta rectangular de 90 m por 40 m, con dos claros de 5m y otro de 10 m en la dirección larga y dos claros de 8 m y dos de 12 m en dirección corta, fig. 6.12 La estructura es de concreto reforzado, con losas planas aligeradas de 50 cm de espesor total, formando marcos equivalentes con las columnas.

El problema fundamental en este cuerpo fue provocado por una gran marquesina en voladizo alojada a la mitad de la altura del segundo entrepiso en el marco longitudinal norte, la que estaba apoyada en una viga de torsión que reducía la altura de las columnas de este marco (fig. 6.13) incrementando notablemente su rigidez comparada con la de los otros marcos longitudinales. Esto atrajo cortantes muy elevados hacia el marco norte durante el sismo de 1985 y provocó efectos torsionantes importantes. Cabe señalar que aparentemente la marquesina no estaba incluida en el proyecto original, habiendo sido añadida tal vez, como modificación durante la construcción, pero sin tomar en cuenta los efectos desfavorables que provocaría en la respuesta sísmica del edificio. Casi todas las columnas del segundo piso en el marco norte fallaron durante el sismo de 1985.

El otro cuerpo tiene planta más pequeña pero es irregular en los primeros niveles y tiene un atrio de planta baja a azotea en otra zona, lo que provocó problemas importantes por asimetría. Este cuerpo había sido dañado por un sismo previo y se habían adicionado dos muros de rigidez de concreto; sin embargo, este refuerzo no fue suficiente y el sismo de 1985 provocó daños importantes, con fallas en vigas y columnas en la zona del atrio y daño en muros no estructurales. Hubo golpeteo entre ambos cuerpos.

Se decidió reestructurar ambos cuerpos, usando elementos diagonales de acero. Las figs. 6.14 a 6.16 muestran la planta y elevación de la solución propuesta para el cuerpo grande. Se recomendó eliminar la marquesina y la viga de torsión que la soportaba.

Se contraventearon ocho crujiás de 10 m en la dirección longitudinal, acopladas en parejas, en los marcos de fachada norte y sur y en la dirección corta se contraventearon doce crujiás de 6 marcos interiores. La rigidez se incrementó notablemente en ambas direcciones. Los periodos del modo fundamental calculados para la estructura original son 2.86 seg y 3.13 seg en las direcciones longitudinal y transversal respectivamente; con los contravientos se reducen a 0.79 y 0.97 seg. Se considera que los problemas en este edificio no pueden atribuirse a condiciones cercanas a la resonancia ya que los periodos originales eran suficientemente largos y están en la rama descendente del espectro de respuesta. Los nuevos periodos garantizan una respuesta moderada.

Las columnas que enmarcan las crujiás contraventeadas se reforzaron con ángulos de acero y celosías, ya que las cargas axiales que deben soportar son mayores que las que actuaban en ellas antes de la rigidización. Las conexiones entre la estructura original y los elementos de contraventeo son a base de placas y pernos de anclaje. No se requirió reforzar la cimentación con pilotes adicionales ya que

el diseño original fue hecho para cargas vivas elevadas -
(del orden de 1 ton/m²) y el nuevo proyecto considera car -
gas vivas para oficinas únicamente.

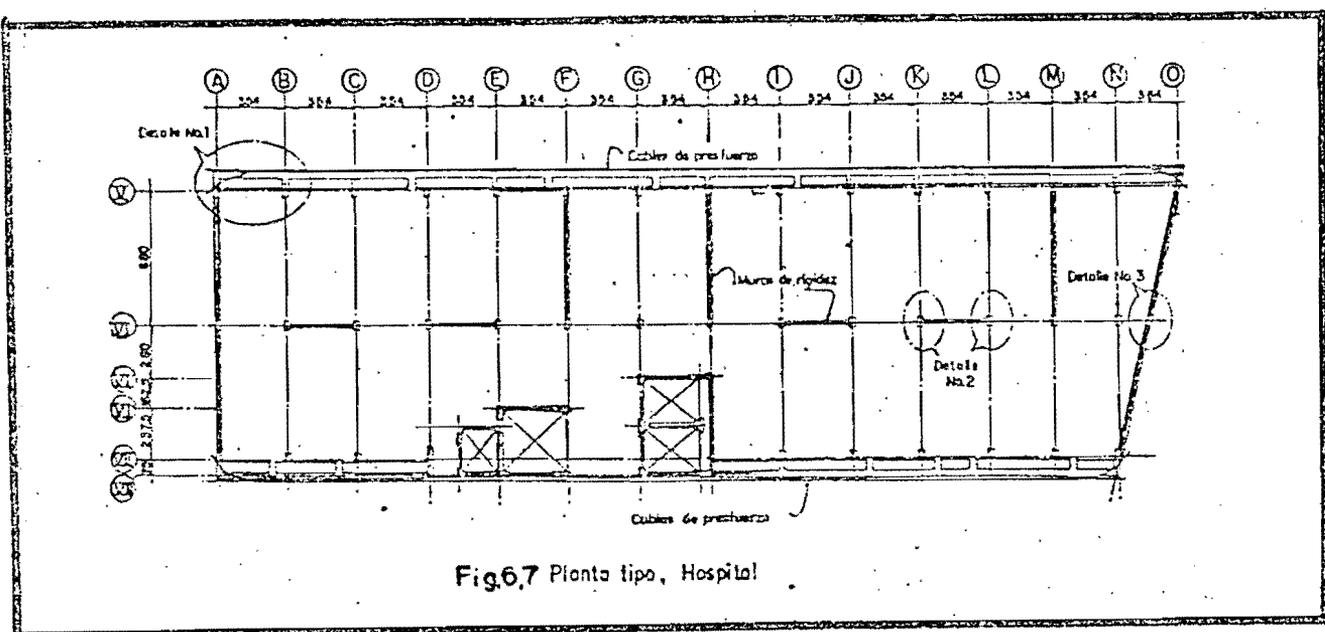


Fig.6.7 Planta tipo, Hospital

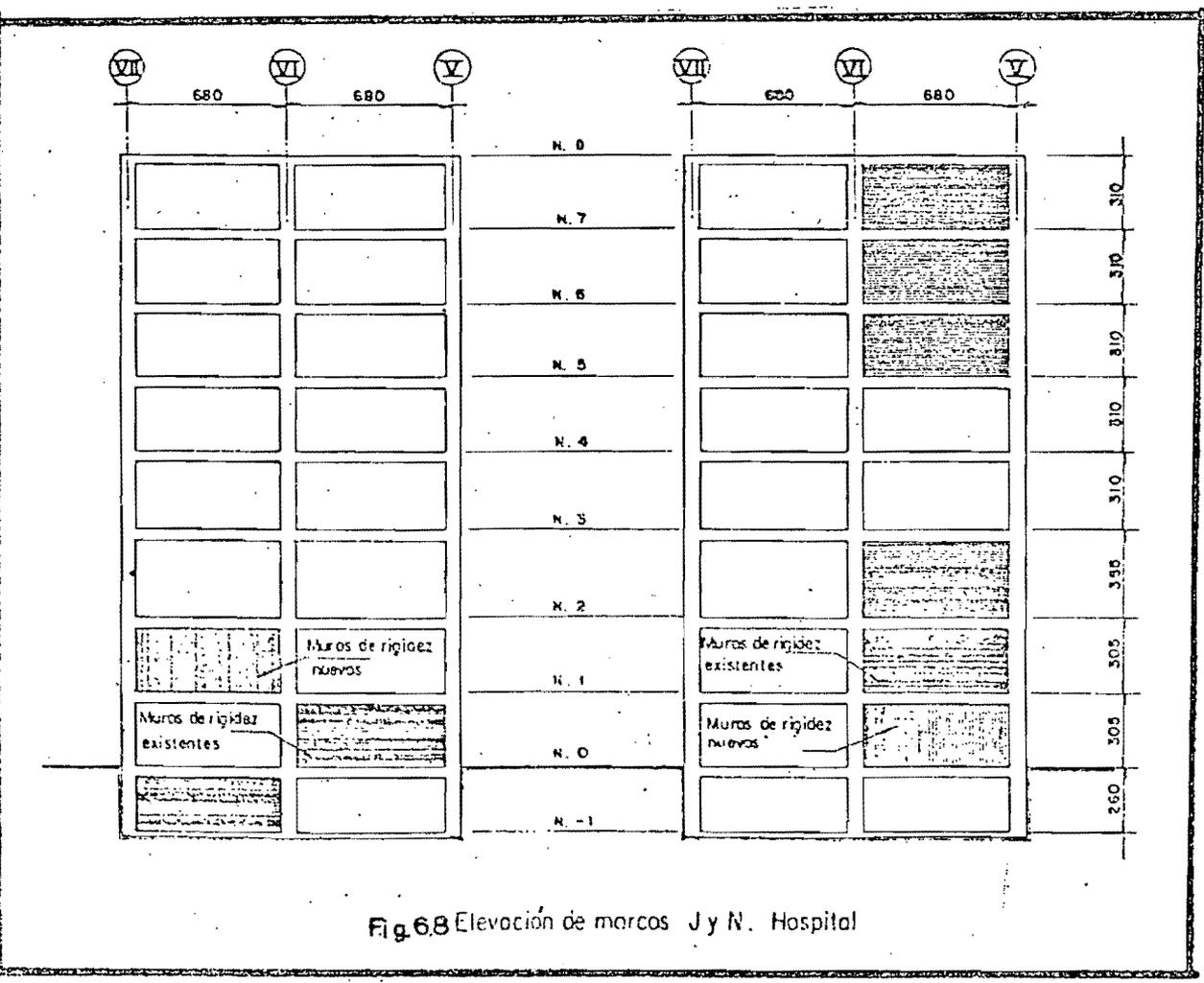


Fig.6.8 Elevación de marcos J y N, Hospital

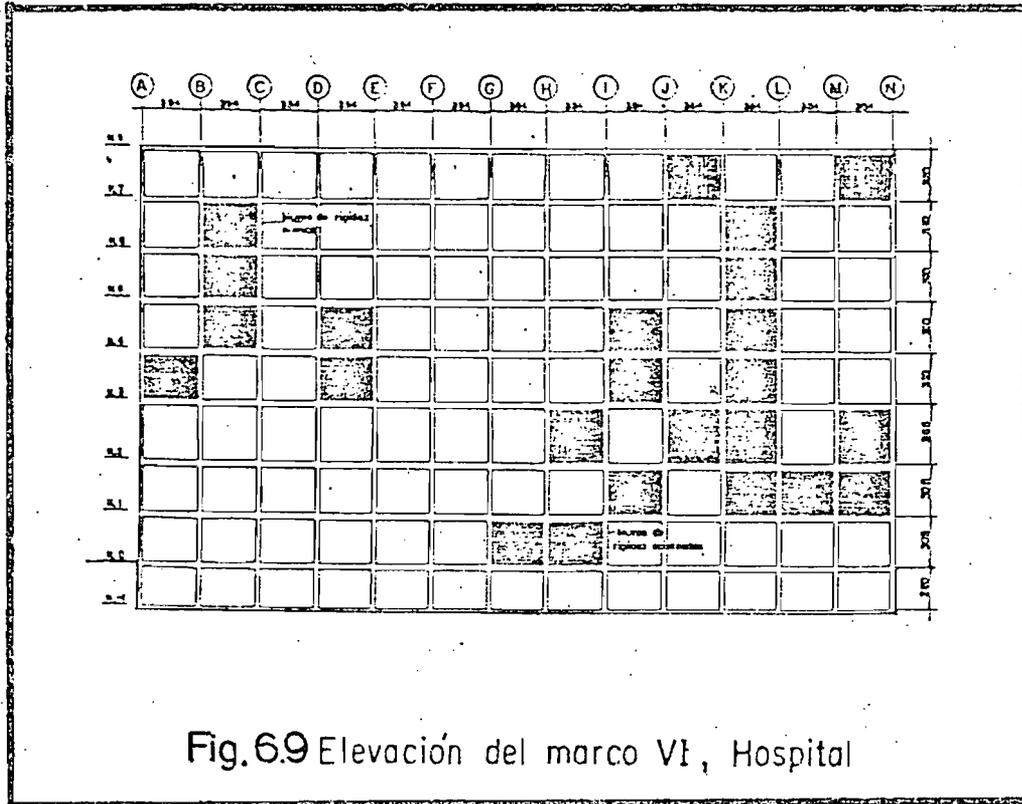


Fig. 69 Elevación del marco VI, Hospital

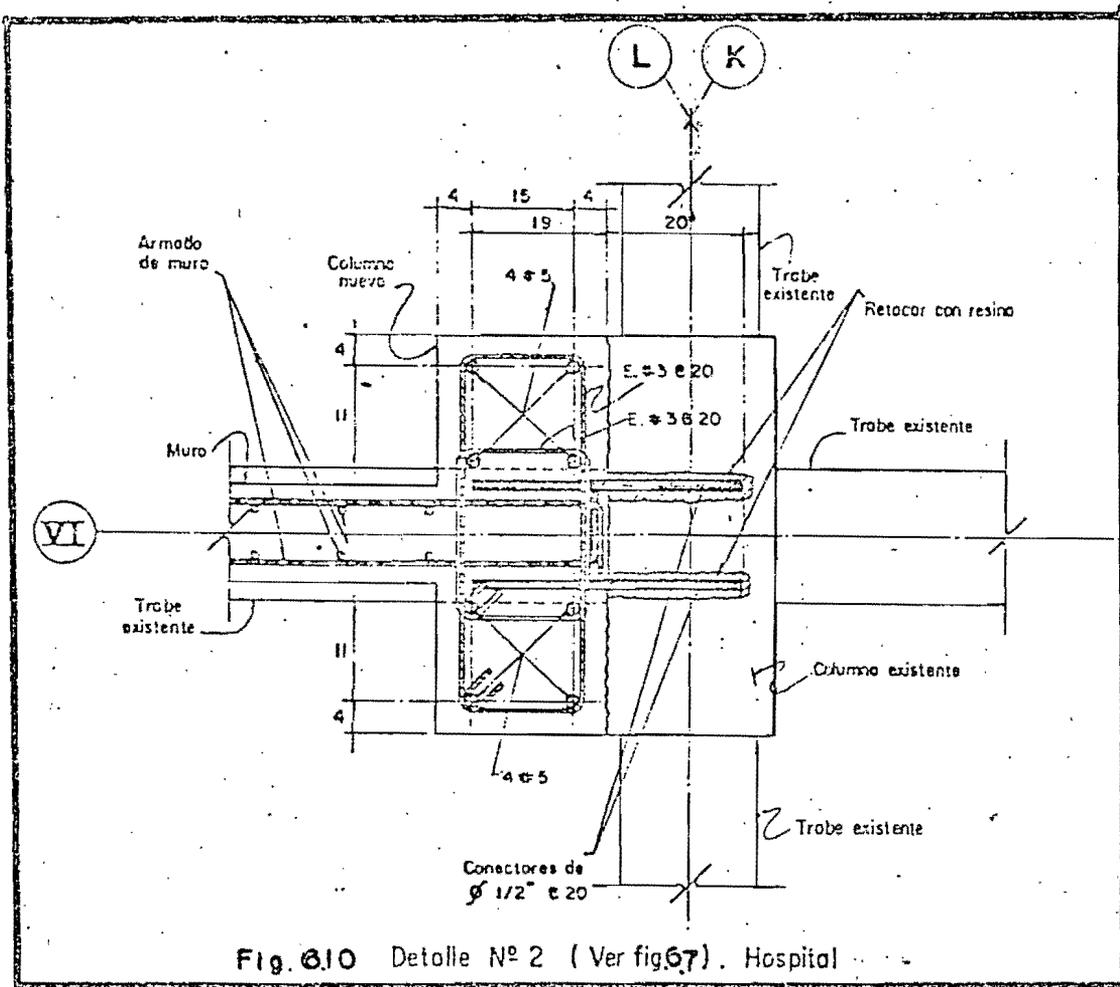


Fig. 6.10 Detalle Nº 2 (Ver fig 6.7). Hospital

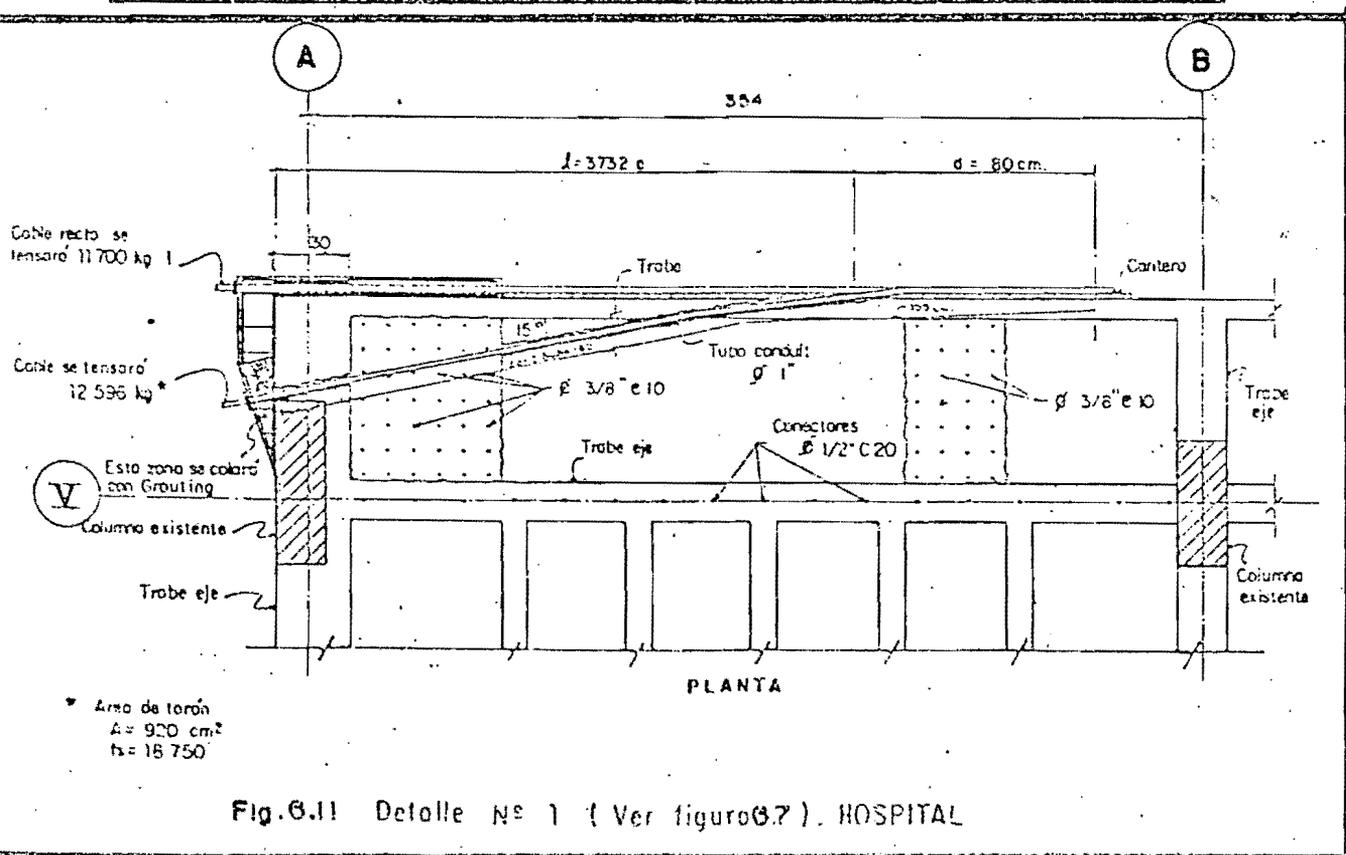
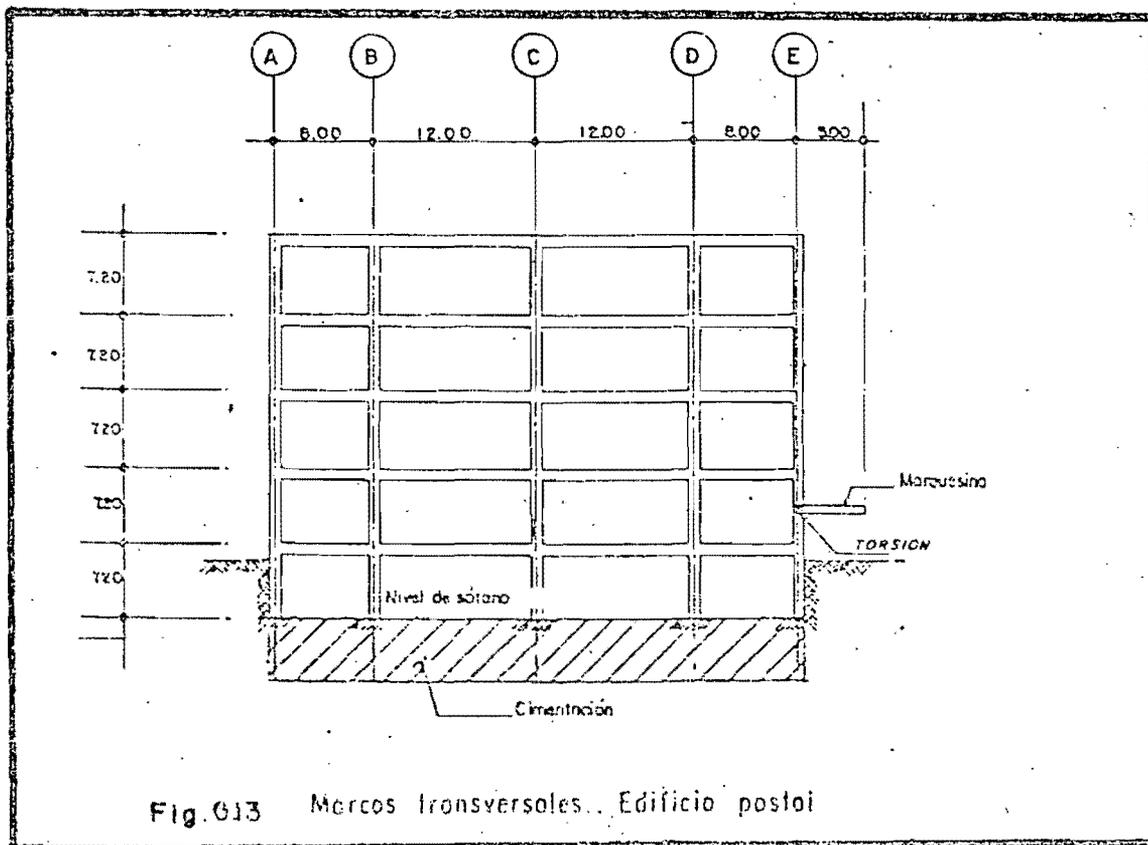
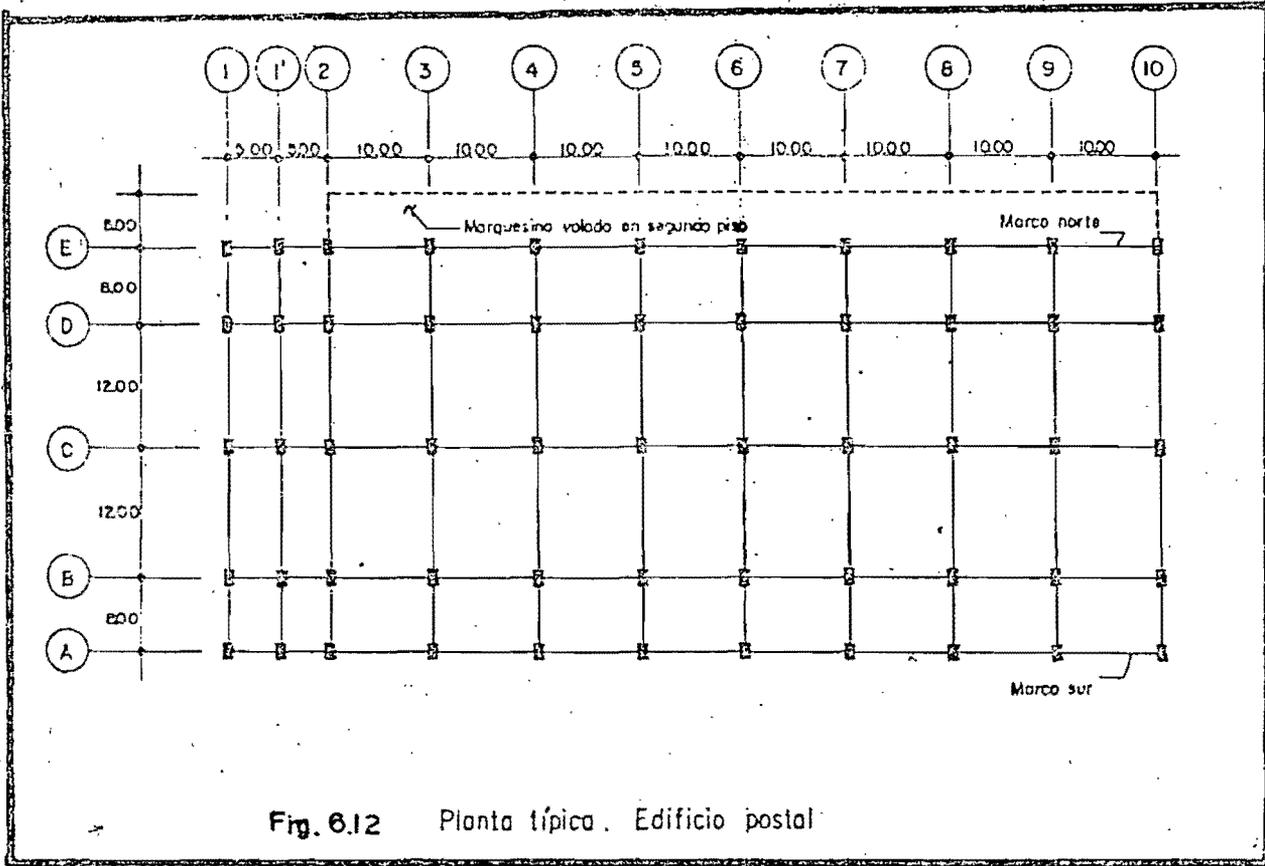


Fig. 6.11 Detalle Nº 1 (Ver figura 6.7). HOSPITAL



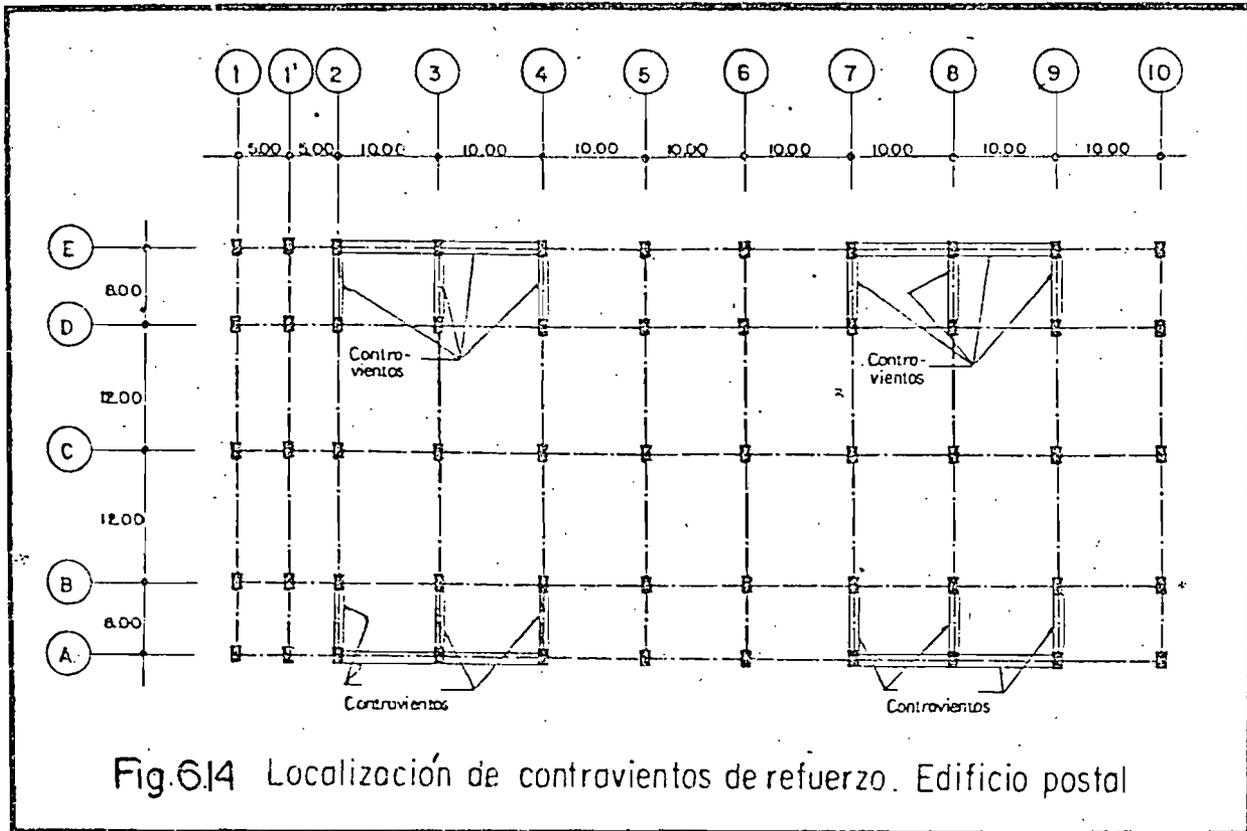
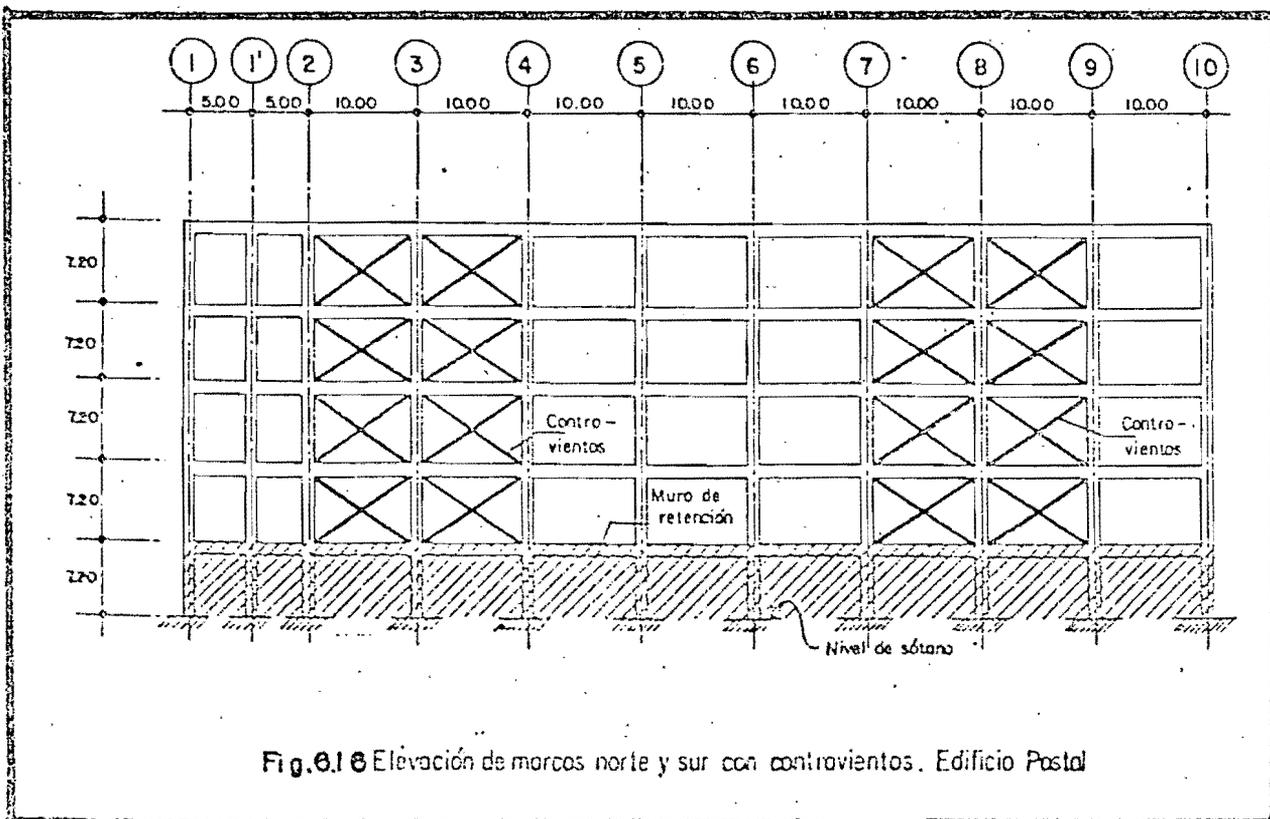
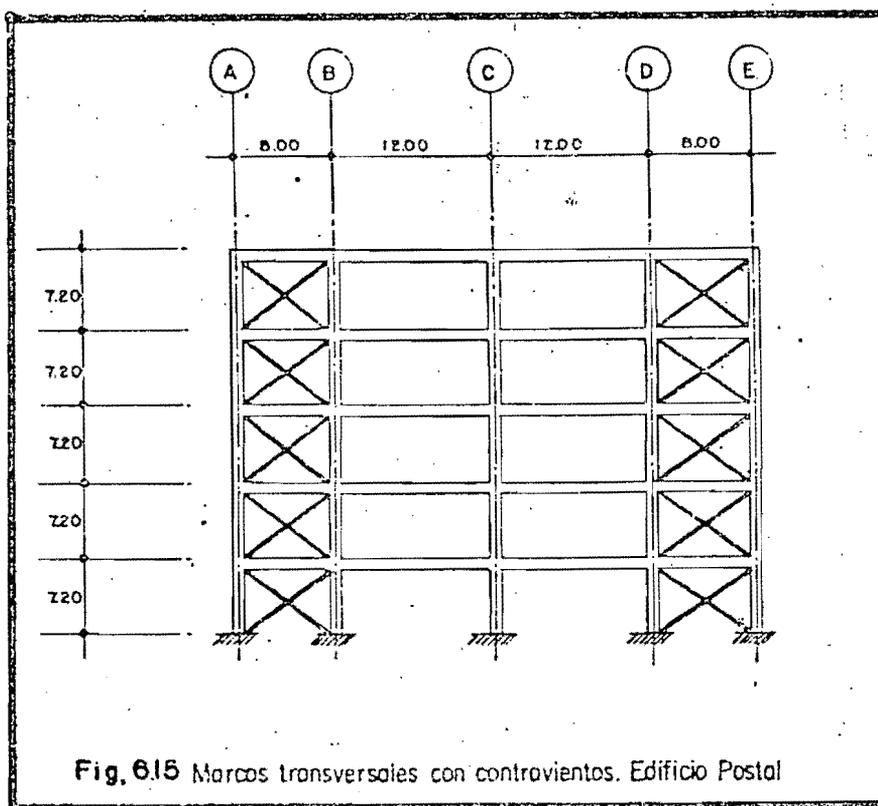


Fig.6.14 Localización de contravientos de refuerzo. Edificio postal



6.3 EJEMPLOS DE REPARACION Y REFORZAMIENTO DE UN PAR DE EDIFICIOS EN LOS ESTADOS UNIDOS. (Ref. 17)

ELEMPLO No. 1.

El edificio existente es una estructura de concreto reforzado de tres niveles y $3,364 \text{ m}^2$ en planta como se muestra en la figura 6.17. Se trata de un edificio de oficinas. La planta baja consiste en una losa apoyada sobre el terreno, mientras que los dos pisos superiores son losas reticulares de concreto (losas con nervaduras en dos direcciones). El techo es una estructura de acero con cubierta metálica y relleno. El sistema resistente a fuerzas laterales de los dos pisos superiores está formado por muros de cortante en las esquinas de los claros y en cada nivel, como se indica en la figura 6.18. En la planta baja no hay muros de cortante y todas las fuerzas laterales tienen que ser resistidas por marcos de concreto que carecen de detallado para ductilidad. El edificio sufrió descascaramiento de las columnas en la planta baja ante movimientos menores del terreno, en particular en los marcos exteriores rigidizados y en las columnas adyacentes a algunos muros interiores de mampostería no estructurales.

Además de reparar los daños observados, se decidió reforzar la estructura, pues se consideró que el edificio podría derrumbarse en sismos fuertes debido a la falta de rigidez y ductilidad de la planta baja. No había normas gubernamentales que exigieran que el edificio se reforzara,

pero el propietario decidió hacerlo voluntariamente para -
proteger a los ocupantes y empleados. Además, debido a una
considerable inversión en equipos de laboratorio y computa
doras dentro del edificio, el propietario eligió reforzar -
el edificio contra las fuerzas laterales, de acuerdo con el
reglamento de construcción vigente (edición de 1979 del Uni
form Building Code) en lugar de prolongar simplemente los mu
ros de cortante de los pisos superiores hasta el tercero -
(lo cual significaría aplicar un reglamento anterior en que
fuerzas laterales menores constituían el criterio de di
seño).

La solución de reforzamiento se presenta en las figuras 6.18
y 6.19. Se añadieron muros de cortante de 40 cm de espesor en
la planta baja, debajo de los muros de cortante existentes de
20 cm de espesor de los pisos superiores. Estos muros se --
prolongaron hacia arriba en el segundo nivel añadiendo 50 -
cm de espesor, con lo que se logró el reforzamiento de este
piso y se proporcionó una conexión muy efectiva entre el -
muro nuevo y el viejo. Fue necesario el muro de mayor espe-
sor en el segundo nivel, con objeto de pasar el refuerzo. -
vertical más allá de la trabe existente del segundo nivel.
Los muros existentes de 20 cm de espesor se consideraron a
decuados para el último piso, debido básicamente a la masa
reducida de la estructura de techo. La conexión con el se--
gundo nivel y el tercero se logró eliminando la losa delga-
da entre las nervaduras para pasar el refuerzo del muro y
colar el concreto.

Se agregaron cimientos para proporcionar soporte a la cimentación, junto con las zapatas existentes, tanto para las fuerzas gravitacionales adicionales como para las muy aumentadas fuerzas de volteo.

Se estima aproximadamente que el trabajo de reforzamiento cuesta un 8% del costo de reposición del edificio.

EJEMPLO No. 2.

El edificio existente es un edificio de dormitorios de 8 niveles de 57.6x17 m en planta, como se observa en la figura 6.21. La estructura es de concreto reforzado con trabes abajo del nivel de losa y losas que no se muestran en la figura 6.21 para efectos de claridad. Hay cuatro pares de muros de cortante de concreto reforzado, como se ve también en la figura 6.21, aunque varios de éstos no continúan hasta la planta baja. Los dos largos tienen marcos con columnas cuadradas de 60 cm por lado y trabes principales o perimetrales de concreto reforzado de 2 m de peralte, que se extienden desde la parte superior de la ventana de un piso hasta el ente pecho de la ventana del piso de arriba. Las columnas son zunchadas con anillos a cada 45 cm. El edificio no ha estado sujeto a sismos fuertes, pero el propietario ha solicitado una evaluación de su comportamiento sísmico potencial y algunas recomendaciones para tomar medidas de mitigación si son apropiadas.

La evaluación reveló que el edificio tiene suficientes muros de cortante en la dirección norte-sur para lograr un contraventeo adecuado del edificio en esa dirección, pero los muros de cortante discontinuos de la planta baja provocan que las fuerzas de volteo sean resistidas por columnas nominalmente zunchadas, que siempre han mostrado falta de ductilidad en presencia de sismos. En la dirección este-oeste o longitudinal, los dos marcos exteriores resisten virtualmente todas las fuerzas laterales debido a su rigidez, y las trabes perimetrales peraltadas, más fuertes que las columnas, forzarán la inevitable respuesta inelástica de las columnas. Las columnas zunchadas casi no tienen ductilidad, y su respuesta inelástica potencial dará como resultado severos daños y tal vez pérdidas de capacidad y colapso parcial o total. Esta evaluación originó estudios posteriores dirigidos a determinar soluciones de reforzamiento, para mitigar el deficiente comportamiento potencial ante movimientos del suelo por sismos.

El edificio fue diseñado y construido a principios de los sesenta y se decidió utilizar el reglamento de construcción de la época del diseño (edición de 1961 del Uniform Building Code) para los coeficientes de fuerza lateral y las cargas de diseño, combinado con el reglamento vigente (edición de 1979 del Uniform Building Code) para los requisitos de ductilidad. Este criterio requiere reforzamiento de las columnas nominalmente zunchadas bajo los muros de cortan

te discontinuos y conversión de los marcos longitudinales - exteriores a un sistema tipo muros de cortante o a un sistema de marco dúctil , donde las columnas sean más resistentes que las trabes y ambas muestren características dúctiles de su detallado del refuerzo. Este criterio permite absorber mayores daños en un sismo importante, mientras que proporciona seguridad aceptable para los ocupantes de la estructura.

Se estudiaron muchas soluciones de reforzamiento y se presentaron dos opciones básicas para consideración del propietario. Ambas soluciones consideraban la adición de nuevos muros de cortante de concreto reforzado en la planta baja donde los muros de cortante eran discontinuos, con aberturas para vanos de puerta adecuadamente reforzadas a fin de permitir el uso funcional. El proyecto A incluía la adición de secciones de concreto reforzado en cada lado de las columnas exteriores, para crear un sistema de muros de cortante entre las nuevas secciones de concreto reforzado y las trabes perimetrales existentes. Este proyecto se ilustra en la fig. 6.22 . El proyecto B consiste en la inclusión de contravientos de acero estructural expuestos en los dos lados largos, como se muestra en la figura 6.23, para resistir todas las fuerzas laterales en la dirección longitudinal.

En el proyecto B se cortarían el refuerzo superior para momento negativo de las trabes perimetrales, para debilitar el marco exterior rígido de concreto y proteger a las columnas de concreto de un daño extenso. En el proyecto B también se considera que sería necesario cierto agrietamiento del marco de concreto en un sismo, antes de que el concreto existente se vuelva lo suficientemente flexible para permitir que el contraviento de acero resista las fuerzas laterales.

El proyecto A exige la evacuación parcial del edificio para permitir que el trabajo prosiga y dé como resultado una disminución del número de ventanas para la luz natural. Este proyecto es quizás agradable estéticamente y su costo se calcula en un 35% del costo de reposición del edificio. El proyecto B permite que la mayor parte de los trabajos se realicen en el exterior del edificio sin que sea necesario evacuarlo, con la excepción de algunas partes de la planta baja necesarias para permitir los trabajos de los muros de cortante. El marco de acero expuesto no origina reducción de la cantidad de ventanas. Se calcula el costo del proyecto B en un 25% del costo de reposición del edificio.

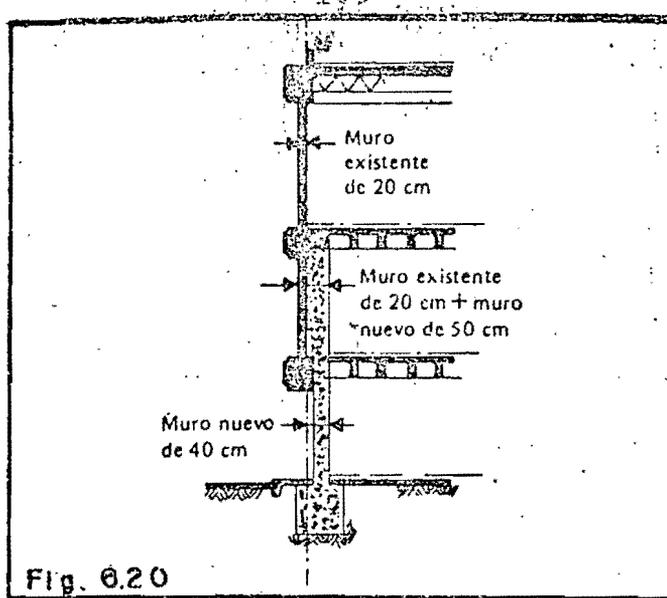


Fig. 6.20

Corte del muro reforzado del ejemplo 1.

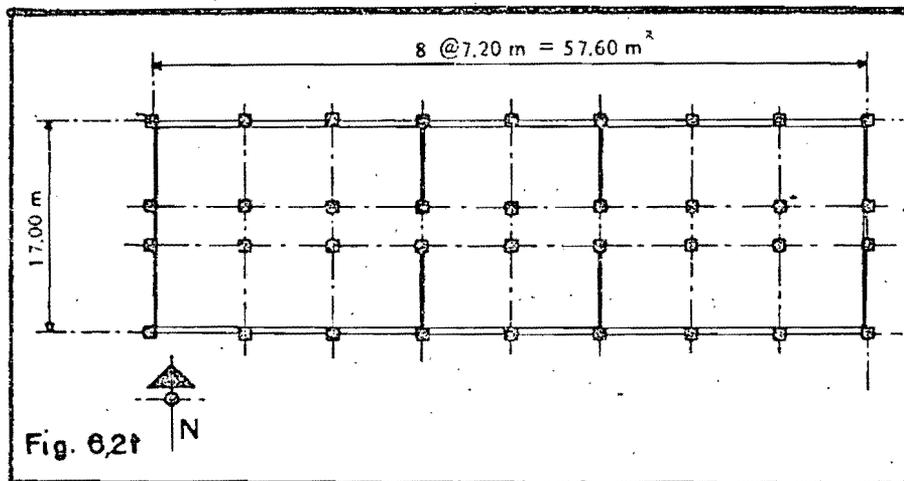
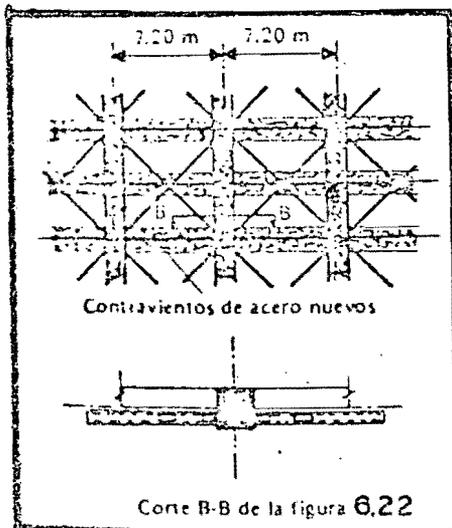


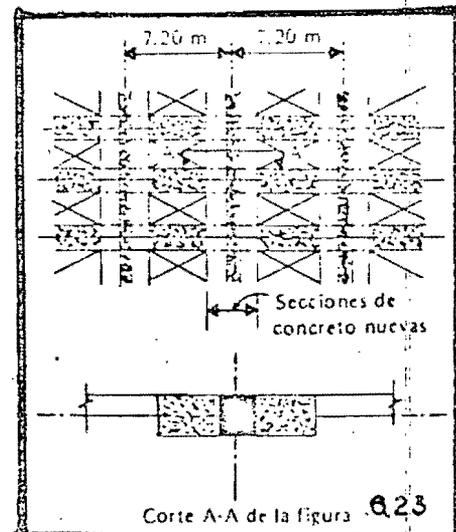
Fig. 6.21

Planta típica del edificio de dormitorios de ocho niveles. Algunos muros sobresalen en la planta baja.



Corte B-B de la figura 6.22

En el proyecto B de reforzamiento se agregan contravientos de acero al marco existente en los muros laterales.



Corte A-A de la figura 6.23

En el proyecto A de reforzamiento se agregan secciones de concreto a las columnas existentes, para crear un sistema de contravientos por medio de muros de cortante en los muros laterales.

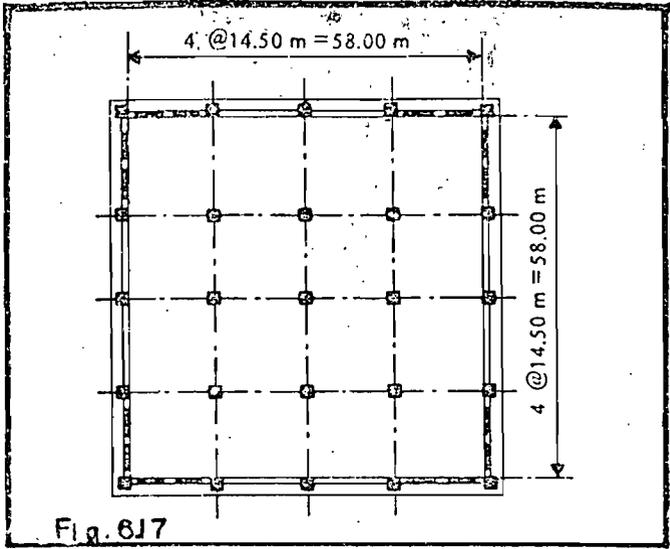


Fig. 6.17

Planta típica del edificio de oficinas de tres niveles del ejemplo 1. Existen muros solamente en los dos pisos superiores.

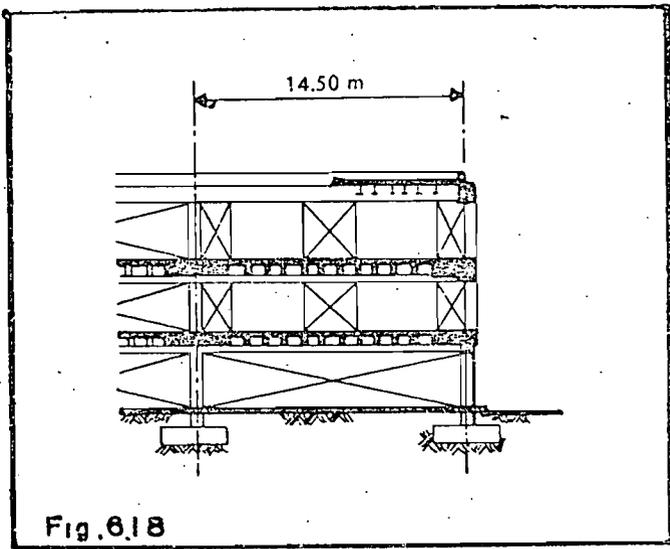


Fig. 6.18

Elevación parcial del marco exterior que muestra la longitud de los muros existentes del ejemplo 1.

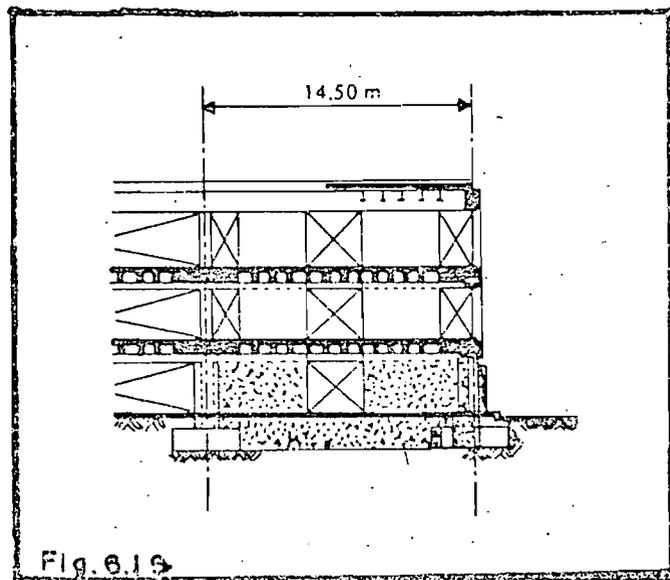


Fig. 6.19

Elevación parcial del sistema de muros reforzados del ejemplo 1.

6.4 EJEMPLO DE REPARACION Y REFORZAMIENTO DE UN EDIFICIO EN SAN SALVADOR. (Ref. 5).

El daño que sufrió este edificio fue a consecuencia del sismo del 3 de mayo de 1965 en la Cd. de San Salvador, El Salvador. Este edificio consta de planta baja y dos pisos - destinados a comedores, dormitorios y salas de labores para mujeres (figs. 6.24-6.26). La estructura es de concreto y su cimentación está constituida por zapatas aisladas con da las de liga.

En la dirección transversal la estructura consta de - marcos rígidos con algunos tableros de muros de tabique en - marcados por las columnas y trabes. En la dirección longitu - dinal los marcos son muy flexibles ya que las trabes no es - tán ligadas a las losas (fig. 6.27) y su sección es pequeña; en esta dirección existen muretes de tabique de 1.6 m de al - tura que restringen la deformación de las columnas.

Los daños sufridos por este edificio se deben principal - mente a la pre - sencia de elementos rígidos (muros y muretes de tabique en ambas direcciones) omitidos en el diseño ori - ginal, lo que contribuyó a concentraciones de rigidez en al - gunos elementos de la estructura, concentraciones que provo - caron las fallas mencionadas. Otras causas que pueden haber contribuido a aumentar los daños son los procedimientos cons - tructivos usados y la calidad de los materiales empleados.

Fue necesario desalojar y apuntalar el inmueble ya que la magnitud de los daños en las columnas ponian en peligro su estabilidad.

Se hizo una verificación respecto a los planos estructurales de las secciones existentes de los diferentes elementos de la estructura así como la cuantificación de las cargas reales permanentes que obran en ella.

Se estimaron los esfuerzos provocados por sismo apogándose a las Normas de Emergencia de Diseño Sísmico elaboradas como parte del programa de ayuda técnica; con éstos esfuerzos y las resultantes de las cargas verticales se revisaron los diferentes elementos que constituyen la estructura.

El refuerzo en la dirección longitudinal consistió en aumentar de sección las columnas y trabes en todos los niveles, ya que con las dimensiones originales la estructura sufre desplazamientos del orden de dos y media veces los permisibles y las secciones no son capaces de resistir los esfuerzos resultantes del análisis de carga vertical y sismo. Se desechó la solución consistente en adicionar muros rígidos, ya que el funcionamiento del edificio se hubiera visto afectado por ser indispensable la ventilación cruzada. Los muretes de tabique en esta dirección se desligaron para permitir que las columnas se deformen libremente.

En la dirección transversal se efectuó un análisis previo para determinar si los marcos existentes eran capaces de soportar los esfuerzos adecuadamente sin la necesidad de aumentar su resistencia. Se dedujo que las trabes están capacitadas para absorber los esfuerzos originados por cargas verticales, pero al considerar los esfuerzos provocados por el sismo se hacía necesario aumentar las secciones de trabes y columnas en todos los niveles. Esta solución es obviamente muy cara por lo cual se desechó, tratando de encontrar una solución combinada de muros rígidos y marcos en la cual el refuerzo en marcos fuera el mínimo. La solución adoptada en la figura 6.28; esta solución permite reforzar únicamente las columnas lo cual, como se ha mencionado, es indispensable en la dirección longitudinal.

Para análisis en ambas direcciones se supusieron articulaciones en las columnas de planta baja para reducir el refuerzo en las zapatas; ya que éstas se encuentran en condiciones adecuadas ante cargas estáticas.

El empleo de muros con contravientos diagonales (fig. 6.29) como elementos para tomar fuerza cortante obedece a razones económicas, a la escasez de equipo y a que la mano de obra disponible está poco especializada. Por lo que respecta al aumento de secciones en trabes y columnas se ha recurrido a concreto reforzado (figs. 6.30 y 6.32) empleando cimbra para su colado ya que no era aconsejable, por razones económicas y de calidad de mano de obra acudir a otros sistemas.

Debido a que las losas de las escaleras están diseñadas apoyadas únicamente en su dirección longitudinal, fue posible desligarlos de los muros laterales, para evitar las fisuras que se presentarían en la unión de losas y muros provocadas por sismos futuros.

En concreto nuevo el uso de aditivos fue muy limitado ya que en el país no se producen estas sustancias por lo que su costo es excesivo.

El sistema de apuntalamiento empleado debía de absorber esfuerzos por carga vertical y ser capaz de resistir los debidos a un sismo intenso que pudiera presentarse, por lo cual fue necesario usar puntales de madera verticales y diagonales ligados entre sí en forma adecuada y fuertemente tróquelados contra la estructura.

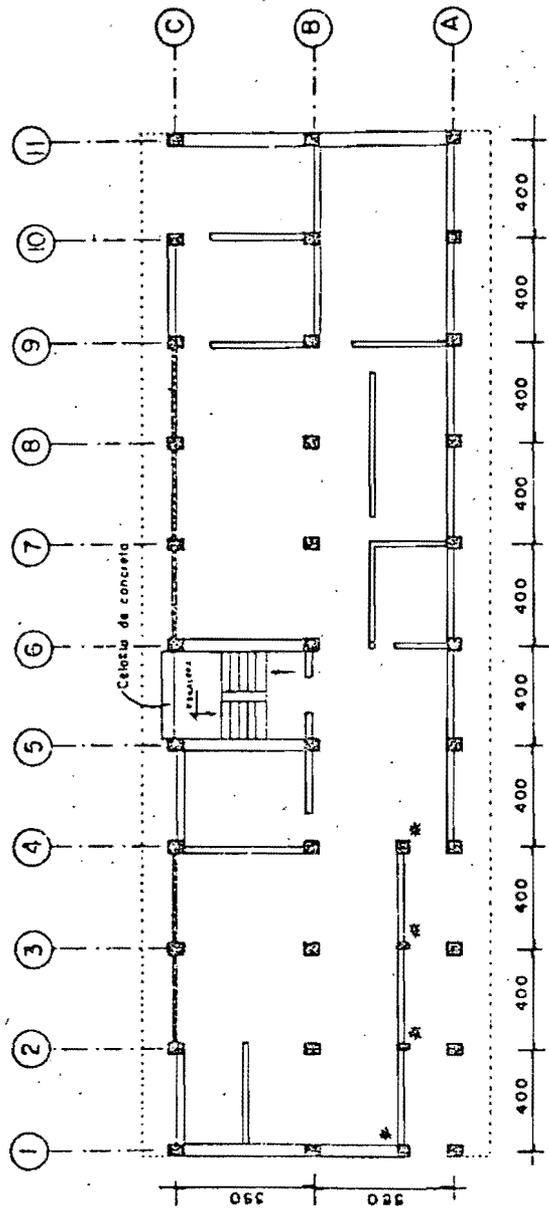
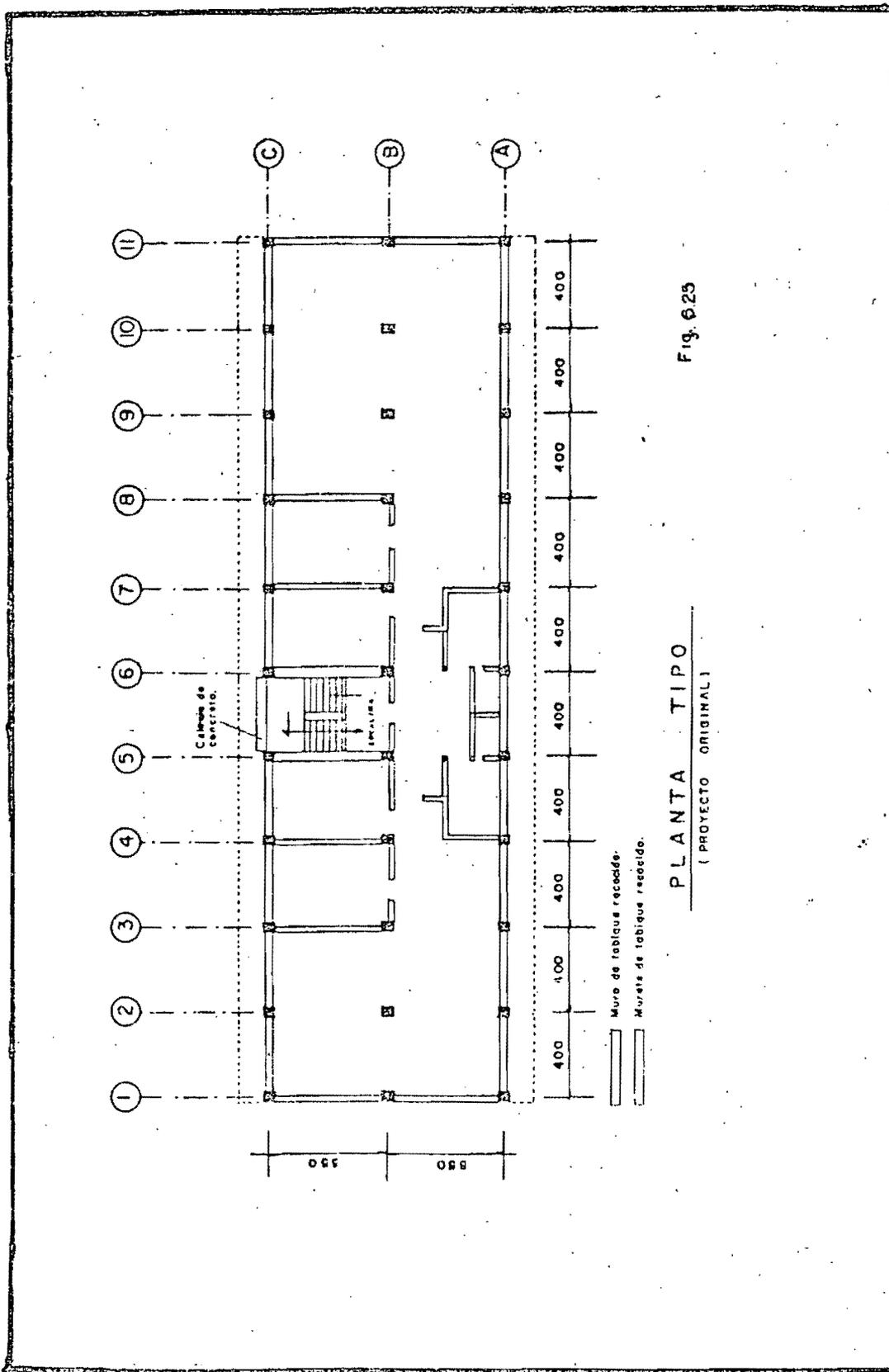


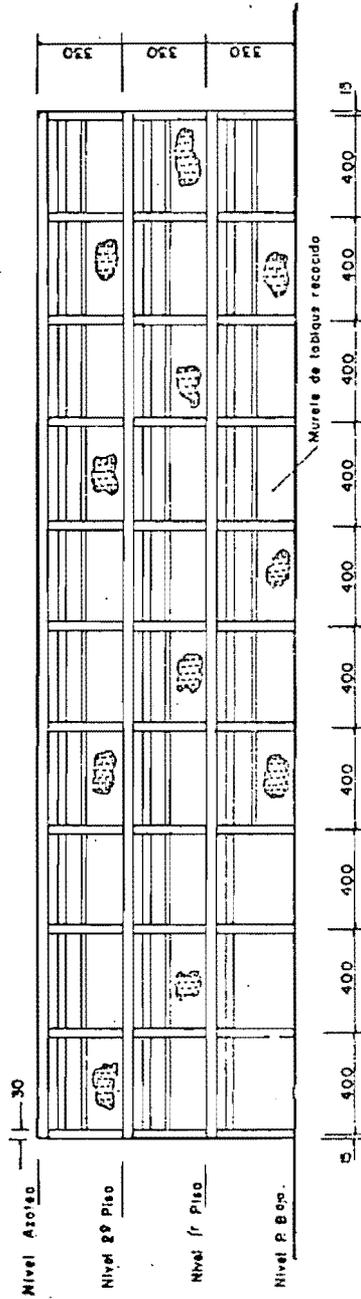
Fig. 6.24

PLANTA BAJA
(PROYECTO ORIGINAL)

- Muro de labique recocido.
- - - Mureta de labique recocido.
- ||||| Concreto de madero.

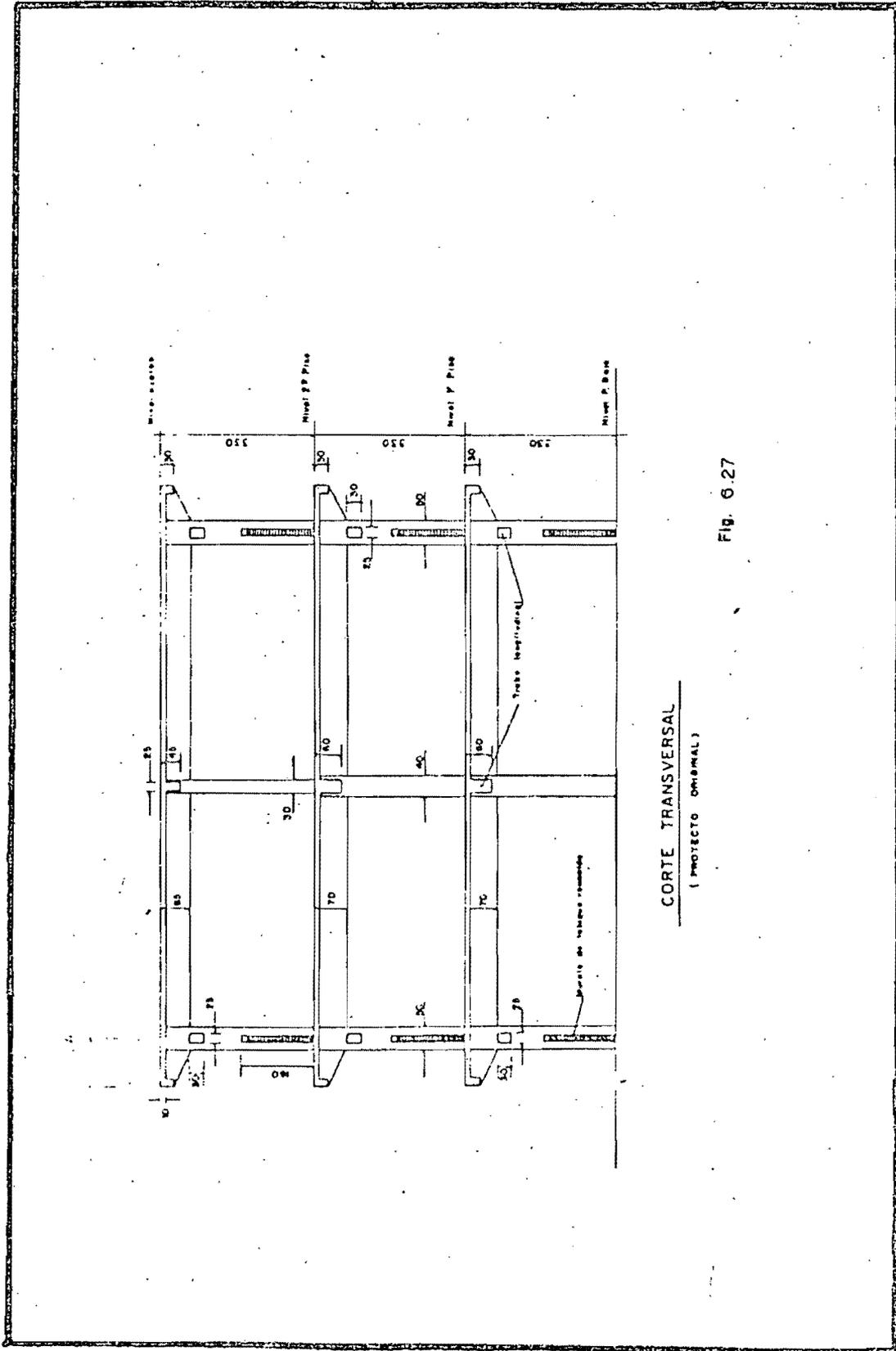
* Columnas existentes no consideradas en el Proyecto Estructural original.





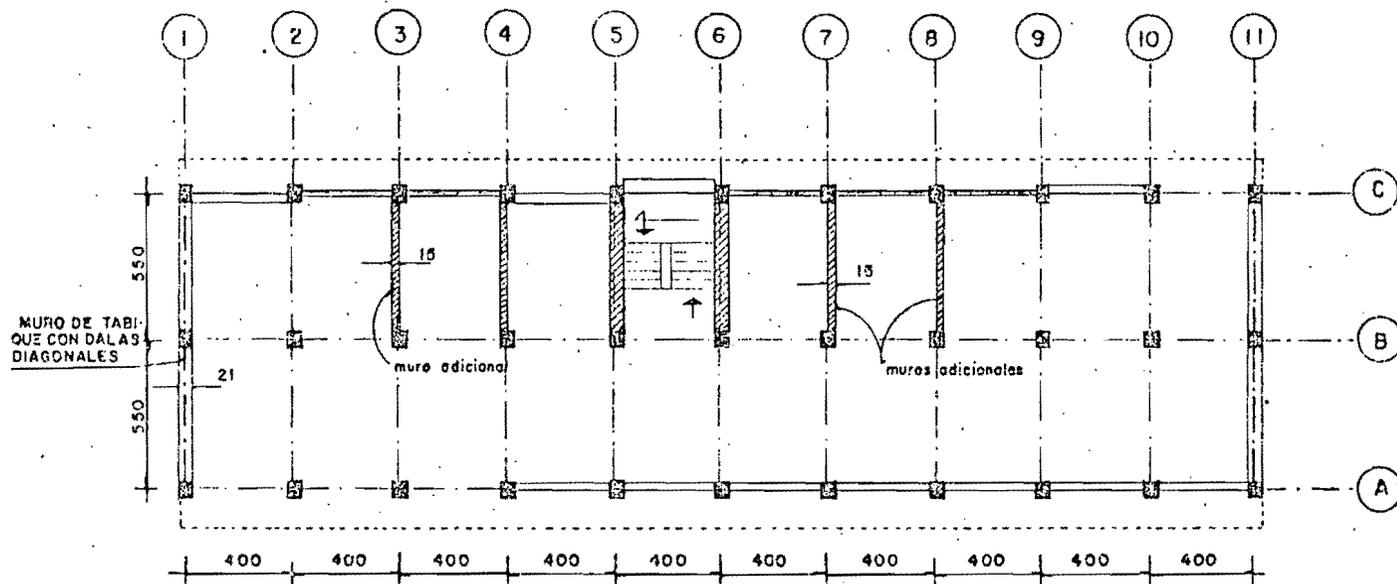
FACHADA PRINCIPAL
(PROYECTO ORIGINAL)

Fig. 6.26

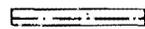
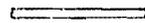


CORTE TRANSVERSAL
(PROYECTO ORIGINAL)

Fig. 6.27



SIGNOS CONVENCIONALES:

-  MURO DE TABIQUE RECOCIDO CON DALAS DIAGONALES.
-  MURO DE TABIQUE RECOCIDO.
-  MURETE DE TABIQUE RECOCIDO DESLIGADO

PLANTA BAJA

Fig. 6.25

2159-

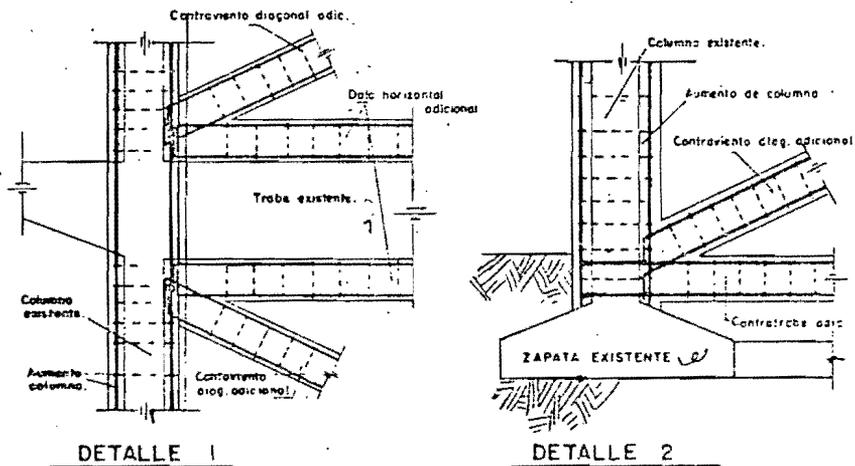
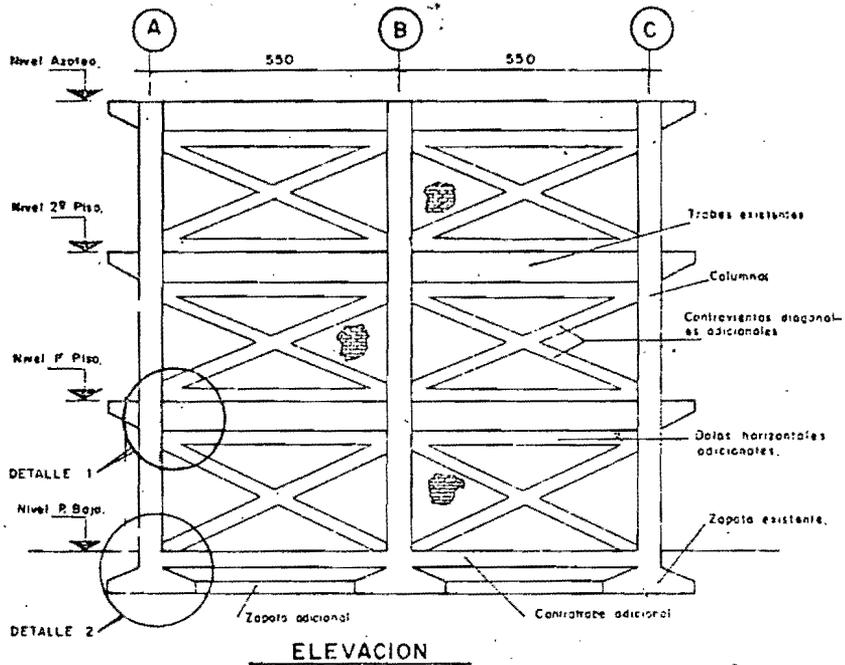
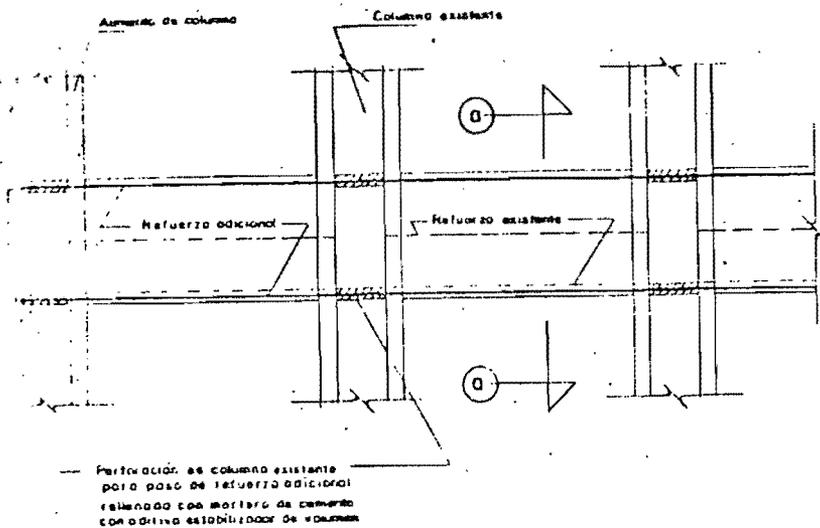
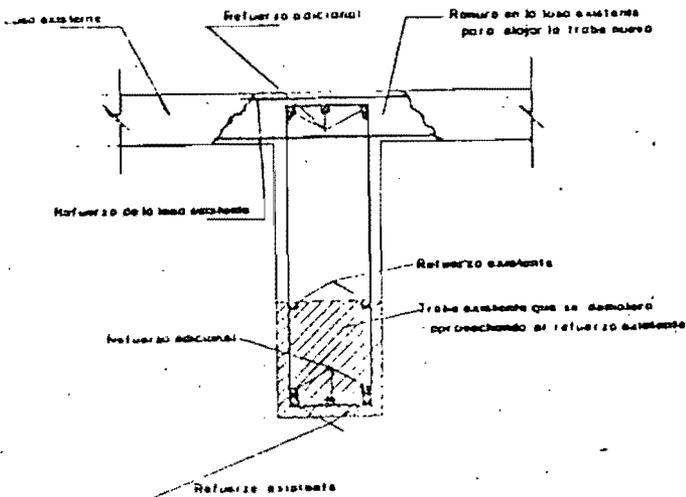


Fig. 629

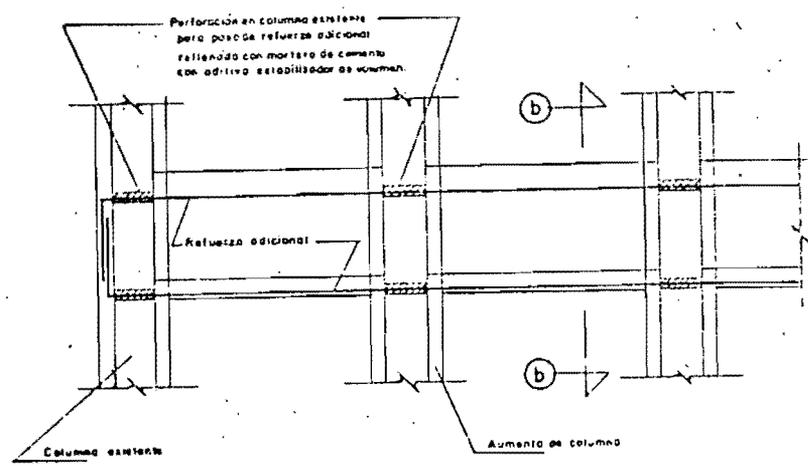


REFUERZO TIPICO TRABES EJES A y C

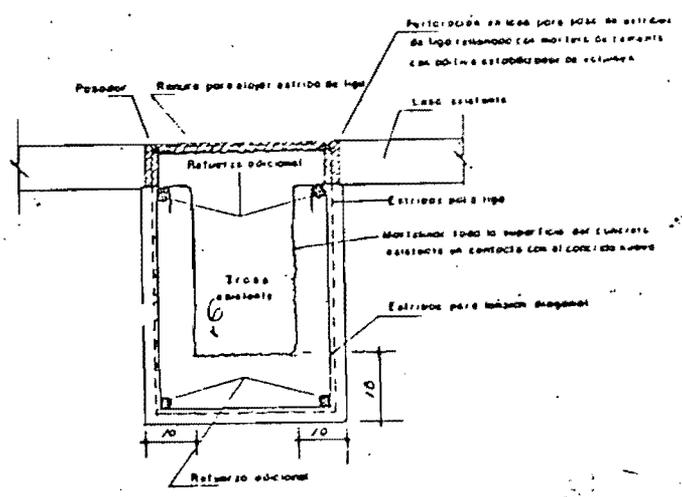


SECCION a - a

Fig. 630



REFUERZO TIPO TRABE EJE B



SECCION b-b

Fig. 6.31

C A P I T U L O 7

COMENTARIOS FINALES, RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.

7.1 COMENTARIOS FINALES.

A lo largo de este trabajo se describieron cuales son los principales procedimientos que se siguen para reparar y/o reforzar la superestructura de edificios dañados por sismo.

Hay que tener presente que en algunos casos reconstruir puede ser una buena inversión.

Debido al aumento acelerado de los costos de construcción, se abre a los inversionistas una nueva faceta del mundo de los bienes raíces, que es la posibilidad de renovar estructuras existentes. En efecto, renovar es un buen negocio ya que:

1) No es posible utilizar la estructura dañada, por lo tanto su valor real en la situación que guarda es nulo. Demolerla significaría un costo elevado e inútil.

2) El terreno sobre el que se encuentra la estructura puede demeritarse si ésta es demolida, pues sería un terreno lleno de cimentaciones anteriores, limitando mucho su nuevo uso. (Ref. 7).

Aprovechando terreno y estructura, y con una inversión (con precios de enero de 1987) que varía de \$ 60,000.00 por m² a \$ 90,000.00 por m² (dependiendo de la gravedad de los daños), podemos obtener un inmueble que nos represente un valor comercial de entre \$ 250,000.00 por m² y \$ 300,000.00 por m², en un plazo que podrá variar de 8 a 16 meses, dependiendo del tipo de daños de la estructura en cuestión.

(Ref. 7).

El propietario deberá asegurarse de que se cumpla un binomio muy necesario para la reestructuración de su obra, con lo cual se logra una doble supervisión:

1) Que el diseño de la reestructuración lo realicen ingenieros especialistas en diseño estructural, con amplia experiencia en reconstrucciones.

2) Que el director de Reconstrucción de la obra sea un ingeniero constructor con amplia experiencia. (Ref. 7)

Sólo así, a través del diálogo entre ambas disciplinas, se pueda llegar a tener un óptimo resultado en cuanto a eliminación de irregularidades o deficiencias, que pudieran implicar riesgos futuros o costos innecesarios. (Ref. 7)

Como asevera Loring A. Myllie Jr. en su artículo "Seismic Design for Existing Structures", "El propietario debe participar en esta decisión de criterio y entender que su inversión en el reforzamiento es una forma de asegurarse, pero no una garantía de que el edificio quede libre de daños. El ingeniero debe explicar con claridad todas las opciones y externar su opinión sobre el comportamiento previsto para que el propietario pueda participar inteligentemente en la decisión con los profesionales, así como compartir las consecuencias". (Ref. 7)

La relación del ingeniero encargado de reestructurar edificios con el propietario del inmueble, debe realizarse contemplando el punto de vista financiero de la inversión. Sobre un antepresupuesto del costo de reestructuración, el propietario se da cuenta de que el reestaurar su edificio le dará mayor redituabilidad o capacidad de venderlo y recuperar el capital con creces; al convencerse, la labor del ingeniero se facilita, pues la combinación tiempo-dinero-recuperación llegará a ser óptima. (Ref. 7)

7.2 RECOMENDACIONES.

Una serie de recomendaciones para mejorar el comportamiento de estructuras construidas en zonas sísmicas se puede resumir en los siguientes puntos:

- a) Poco peso.
- b) Sencillez, simetría y regularidad tanto en planta como en elevación.
- c) Plantas poco alargadas y elevaciones de esbeltez reducida.
- d) Uniformidad en la distribución de resistencia, rigidez y ductilidad.
- e) Hiperestaticidad y líneas escalonadas de defensa estructural.
- f) Formación de articulaciones plásticas en elementos horizontales más que en los verticales.
- g) Propiedades dinámicas adecuadas al terreno en que se desplanta la estructura.
- h) Congruencia entre lo proyectado y lo construido.

(Ref. 3)

Es muy común que el ingeniero estructurista detalle de manera más o menos clara todo lo que consideró estructural, pero olvide detallar claramente cuáles elementos no son estructurales, de acuerdo con su hipótesis de cálculo, y la forma en que deben construirse estos elementos. Esto es particularmente importante en el caso de muros de relleno, divisorios o de colindancia, construidos con mampostería de

tabique, pues suelen tener bastante rigidez y, si no se desligan adecuadamente de la estructura, alteran en forma tan radical el modelo matemático empleado, que a veces no hay congruencia entre lo calculado y lo construido. Cuando se llega a este límite, el comportamiento de la estructura resulta difícil de predecir, ya que cambia totalmente la forma en que las fuerzas son resistidas y el modo en que se desplaza la estructura. En el mejor de los casos la colaboración de elementos teóricamente "no estructurales", pero mal desligados de la estructura, evita el colapso o los daños importantes en un edificio; sin embargo en otras ocasiones, dicha colaboración es la causa de fallas graves o derrumbe total o parcial de la estructura. Por ejemplo, la colaboración de los muros de colindancia en edificios situados en esquina suele causar serios problemas por las torsiones que se generan. (Ref. 3)

Por consiguiente, debe vigilarse que las construcciones respeten las hipótesis de cálculo y que se notifique al calculista si se modifica el proyecto en cuanto se refiere a la posición de las columnas y los muros, a las dimensiones de los elementos estructurales, a las resistencias especificadas para los materiales y al uso al que se va a destinar la construcción. (Ref. 3)

Será necesario el mejor detallado de las estructuras de concreto, especialmente en lo relativo a las uniones viga-columna, a las juntas traslapadas y al diámetro y separación del refuerzo transversal en vigas y columnas. Estos aspectos, especialmente los dos primeros, habían estado recibiendo relativamente poca atención, a causa de dos razones principales:

a) Falta de una supervisión adecuada por la carencia de supervisores expertos.

b) Debido a que los honorarios del ingeniero estructurista son los más bajos de todas las profesiones; lo cual, aunado a la premura con que tradicionalmente se tienen que ejecutar los proyectos estructurales, han impedido que los planos de diseño contengan todos los datos necesarios para la ejecución correcta de las obras. (ref. 11)

También es importante que los programas de ejecución de obra sean lógicos, para que las empresas constructoras no se vean presionadas por el tiempo y esto sirva como pretexto para que realicen su trabajo con rapidez y mala calidad.

Por otra parte, también es necesario que desde el principio de la proyección arquitectónica, el proyectista cuente con la asesoría del ingeniero estructurista, para que éste aconseje al arquitecto en lo relativo a ciertos aspectos que en los sismos tienen significación especial en las fallas y en los colapsos: edificios con plantas irregulares, dimensiones en las columnas y trabes, cambios bruscos de rigidez, plantas en forma de L que originan torsiones indeseables, concentración de masas en los entresijos superiores, aislamiento de los elementos no estructurales, así como el llamado efecto de "columna corta". En éste la dimensión libre de la columna queda reducida cuando en un mismo plano se estrangula a ésta por medio de muros, antepechos o parapetos, que reducen la longitud supuesta en el diseño estructural y que incrementan considerablemente la rigidez de la columna, sin aumentar su capacidad. Este incremento de la rigidez da lugar a una concentración de las fuerzas sísmicas en esos elementos. (Ref. 11)

Es preciso vigilar que se respeten las disposiciones reglamentarias relativas a la separación entre edificios. Muchos derrumbes son ocasionados por el choque entre construcciones vecinas, que se debe tanto a la intensidad y duración del temblor como a la separación inadecuada que hay entre ellas. Cabe señalar que la escasa separación en algunos casos es debido a desplomes previos por un mal comportamiento de la cimentación. (Ref. 3).

También es necesario que la estructura tenga el uso para la que fue proyectada.

En no pocos casos, edificios con entrepisos diseñados para soportar cargas medianas fueron utilizados como bodegas o para alojar pesados archivos, con lo cual, las cargas de diseño fueron sobrepasadas en una cantidad importante y los resultados no se hicieron esperar.

Hay que tener presente que toda estructura tiene una vida útil y es responsabilidad del propietario darle un mantenimiento adecuado para evitar que ante movimientos sísmicos sufra daños. (Ref. 14)

Se recomienda que los recubrimientos sean ligeros y que su desprendimiento no pueda causar daños a personas o, en caso contrario, de que éstos se fijen eficazmente a la estructura. (Ref. 10)

Se debe dar especial atención a los factores no estructurales, como la necesidad de ocupar parcialmente el edificio durante la reconstrucción, ya que éstos pueden regir el proyecto real de reforzamiento. (Ref. 18)

Cualquier proyecto de reforzamiento y/o reparación que se seleccione por razones técnicas debe ser compatible con la estética, el ambiente del edificio y su funcionalidad. En un sentido técnico, el proyecto no debe proporcionar resistencia solamente en áreas aisladas, mientras transfiera daño potencial severo a otros puntos débiles de la estructura. (Ref. 18)

La reparación y/o el reforzamiento sísmico es una tarea complicada y multidisciplinaria, que implica la máxima dedicación y atención por parte de los profesionales del diseño. (Ref. 18)

7.3 CONCLUSIONES.

Decir que los métodos expuestos en páginas anteriores son los únicos estaríamos cayendo en un grave error, puesto que los procedimientos de refuerzo y/o reparación son tan variados como tanto ingenio tenga la o las personas que se propongan realizarlo.

Para evitar futuros daños en las edificaciones es conveniente que:

a) Los autores del proyecto arquitectónico deban ser menos audaces en cuanto a asimetrías y soluciones complejas.

b) Los propietarios deban asegurarse de que tanto proyectistas como constructores estén caracterizados por la mayor seriedad profesional en currículum y práctica.

c) El diseñador estructural deba realizar los estudios y verificaciones para asegurar un buen proyecto.

d) El contratista deba anteponer la calidad de los materiales, los procedimientos de obra y de la propia estructura a cualquier otro factor de carácter económico o temporal.

e) El supervisor (cuya existencia es siempre recomendable, e indispensable en estructuras importantes) detecte y notifique todas las irregularidades o deficiencias que pudieran implicar riesgos futuros, y cumplir y hacer cumplir escrupulosamente las técnicas más avanzadas de edificación; por supuesto deberá tener la preparación idónea para ello.

f) Las autoridades deben ser lo suficientemente responsables y rigurosas para exigir el cumplimiento estricto de los reglamentos en los términos que estos se establezcan.

g) Los investigadores deben estrechar su vinculación con instituciones académicas, consultoras y constructoras para dar mayor fecundidad a sus esfuerzos.

h) Los catedráticos redoblen sin duda su trabajo para generar mejores educandos y mejores constructores.

i) Los propietarios de inmuebles terminados deban tener conciencia de que cambios irresponsables de uso pueden generar pérdidas materiales, y sobre todo humanas, irreparables. (Ref. 13).

Es importante que las personas que están en contacto con la reparación y el reforzamiento de estructuras dejen un documento que explique las causas que a su juicio motivaron el daño y que procedimiento siguieron para lograr el éxito en la obra, puesto que así, se estaría contribuyendo a que nuevas generaciones eviten al máximo que ocurran daños similares en las construcciones y los que por alguna razón se presentan sean superadas satisfactoriamente.

Finalmente en la medida en que cada una de las personas que participamos tanto directa como indirectamente en la ejecución de una obra pongamos nuestro máximo esfuerzo tendremos obras más eficientes, seguras, agradables y de menor costo para la sociedad.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- "Cuatro pasos sencillos para reparar concreto", Revista IMCYC, vol. 21, núm. 145, México, mayo de 1983.
- 2.-Del Valle, E., "Criterios de reparación de algunos edificios afectados por el sismo del 19 de septiembre de 1985 en la Cd. de México. Ejemplos de aplicación", Sexto Congreso Anual sobre Estructuras de la Asociación Americana de Ingenieros Civiles (ASCE), Orlando Florida, agosto de 1986.
- 3.-Del Valle, E., "Recomendaciones para el diseño sísmico con base en la experiencia de los sismos de septiembre de 1985", Revista IMCYC, vol. 23, núm. 176, diciembre-enero 1986.
- 4.- Duque, R., "Después de los sismos de 1985", Revista IMCYC, vol. 24, núm. 184, septiembre 1986.
- 5.-Guerrero, G., "Reparación y refuerzo de edificios dañados por el sismo del 3 de mayo de 1965 en la ciudad de San Salvador", Primer Congreso de Ingeniería Sísmica, Guadalajara Jalisco, noviembre de 1965.
- 6.-Hernández, O., "Comportamiento de elementos de mampostería", XII Curso Internacional de Ingeniería Sísmica, U.N.A.M 1986.

- 7.-Holtz, H., "La mejor inversión reconstruir", Revista IMCYC, vol. 25, núm. 196, septiembre de 1987.
- 8.- Iglesias J., J. et al; "Reparación de estructuras de concreto y mampostería", U.A.M, México, noviembre de 1985.
- 9.-Jiménez, M. A., "Procedimientos para la reparación de daños ocasionados por sismos, con productos químicos", Revista IMCYC, vol. 23, núm. 176, México, diciembre-enero de 1986.
- 10.-Meli, R., "Seguridad estructural de las construcciones", Revista IMCYC, vol. 25, núm. 198, noviembre 1987.
- 11.-Pavón, V., "Algunas lecciones derivadas de los sismos de septiembre de 1985", Revista IMCYC, vol. 23, núm. 176, diciembre-enero 1986.
- 12.-Pérez, C., "Criterios para la evaluación de daños", Revista IMCYC, vol. 23, núm. 176, México, diciembre-enero de 1986.
- 13.-Pérez, C., "Guía práctica para la evaluación estructural de edificios dañados", Revista IMCYC, vol. 24, núm. 184, México, septiembre de 1986.
- 14.-"Reglamento de construcciones para el distrito federal", Editores Mexicanos Unidos, S. A., 1987.

15.-"Repair and strengthening of reinforced concrete, stone and brick-masonry building". Proc. Building Construction Under Seismic Condition in the Balkan Region, vol. 5, United Nations Development Programme, Vienna 1983.

16.-"Reparación de edificios dañados por sismo", Departamento de asuntos económicos y sociales, Nueva York, 1977.

17.-Wyllie, L., "Procedimientos para reforzamiento sísmico de estructuras existentes", Revista IMCYC, vol. 24, núm. 184 México, septiembre 1986.

18.-Wyllie, L., "Reforzamiento de edificios existentes de concreto y mampostería para resistencia sísmica", Revista IMCYC, vol. 24, núm. 184, México, septiembre 1986.