

63
rej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

FALLAS TECNICAS EN LA CONSTRUCCION DE OBRAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

ALBERTO GOMEZ IBARRA



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 está 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.

C O N T E N I D O

Prólogo	1
-------------------	---

C A P I T U L O I

DEFINICION DE FALLA	3
-------------------------------	---

I.1 Introducción	3
I.2 Definición de falla	4
I.3 Conceptos Fundamentales	6

C A P I T U L O II

CAUSAS DE FALLA	9
---------------------------	---

II.1 Error de Diseño	9
II.2 Cambio de Uso	10
II.3 Modificaciones o Alteraciones de Estructuras	10
II.4 Fallas de Cimentación	11
II.5 Mala Calidad o Degradación de los Materiales	12

C A P I T U L O III

DEFICIENCIAS EN EL PROYECTO	22
---------------------------------------	----

III.1 Definición de Proyecto	22
III.2 Planeación General de la Obra	23
III.3 Definición de Sistema Estructural	24
III.4 Realización del Proyecto Definitivo	25
III.5 Recomendaciones Finales	27

C A P I T U L O I V

DEFICIENCIAS EN EL PERIODO CONSTRUCTIVO 29

IV.1 Negligencia del Constructor.	29
IV.2 Ignorancia o Incompetencia	30
IV.3 Reglamentos de Diseño en la Construcción	32
IV.4 Deficiencias de Ejecución y Falta de Supervisión	35
IV.5 Control de Materiales.	36
IV.6 Descimbrado Prematuro.	37
IV.7 Deficiencias en Muros de relleno y Acabados.	38
IV.8 Juntas Constructivas Inoperantes	39
IV.9 El Objeto del Proceso de Construcción.	40
IV.10 El Equipo del Proceso de Construcción	42
IV.11 Responsabilidad Legal durante la Fase de Construcción .	45

C A P I T U L O V

DESASTRES NATURALES Y ORIGINADOS POR EL HOMBRE 48

V.1 Derrumbes durante la Demolición.	50
V.2 Derrumbes por Sobrecarga	52
V.3 Derrumbes por Modificaciones	53
V.4 Daños ocasionados por Incendios.	54
V.5 Derrumbes por Sismo.	55
V.5.1 Particularidades del Diseño Sísmico.	56
V.5.2 Importancia de la Ductilidad en Obras de Concreto Ref. .	57
V.5.3 Conservación de la Ductilidad durante un Sismo	59
V.5.4 Importancia del Acero de Refuerzo Transversal.	62
V.6 Daños ocasionados por el Viento.	63

C A P I T U L O VI

CLASIFICACION DE DAÑOS Y PERJUICIOS	65
-------------------------------------	----

VI.1 Daños por Vicios de Construcción.	65
VI.2 Daños y Accidentes a Personas físicas	67
VI.3 Daños a Estructuras Colindantes	68
VI.4 Daños por Apuntalamiento.	69
VI.5 Daños por Hundimientos Diferenciales.	70
VI.6 Daños por Cambios de Temperatura.	71

C A P I T U L O VII

CONCLUSIONES	72
--------------	----

REFERENCIAS	75
-------------	----

P R E A M B U L O .

Es probablemente la Ingeniería, la profesión que más ayuda proporciona al hombre en la educación y desarrollo de su mentalidad creativa.

Dado los variados y amplios campos de aplicación que los métodos científicos abarcan, es posible en la actualidad, e indudablemente más con el tiempo, que la humanidad disfrute un progreso de bienestar moral y físico.

Así, el deseo de saber más y más, es en el hombre, la natural consecuencia de su instinto creativo, de este modo, observa, estudia, analiza, cuantifica y resuelve los problemas que se le presentan encontrando y aplicando los métodos más eficaces, seguros, económicos y estéticos de hacer las cosas.

El proceso científico, antes de que pueda formular leyes con bases de éxito, pasa invariablemente por distintas etapas del evento. Si el fenómeno que ocurre es natural, lo observa y supone la causa consecuentemente a los resultados, esto es, la hipótesis del problema permite una explicación lógica del resultado y analíticamente clasifica y reporta esta investigación permitiendo con ello el desarrollo científico. Si el problema es creativo y carece de la base anterior, el método consistirá, por regla común, en suposiciones que permitan por inducción la generalización preliminar del problema y supuestas consecuencias cuyos resultados repetidamente observados producirán en cada caso la validez de la hipótesis hasta convertirla en una teoría aplicable por una época más o menos larga, - esto es, las etapas creativas nunca terminan y sus leyes pronto serán invalidadas por otras leyes como producto de nuevas

teorías que actualizadas marchen acordes con el progreso.

En la tesis que aquí desarrollo:

"FALLAS TÉCNICAS EN LA CONSTRUCCION DE OBRAS", emprendo un trabajo con el espíritu de proporcionar un granito de arena más, que ayude al conocimiento de un problema grave que, aunque muy difundido y frecuente, carece de una estadística confiable; no existen experiencias exactas a las premisas.

Como se sabe, vivimos en un país con un alto riesgo sísmico en cada una de sus zonas para la seguridad de obras importantes de ingeniería civil, por lo tanto, en la tesis que aquí presento, se analiza el proyecto, diseño y construcción de las estructuras en zonas sísmicas.

Con el entusiasmo de lograr algo útil, he puesto en esta labor mis mejores intenciones y conocimientos esperando cumplir, en mi medida, con una actuación de honesta verdad que ayude socialmente a una necesidad vital de nuestra época.

Concluiré este preámbulo con un pensamiento de Ortega y Gasset:

"Por lo mismo que es imposible conocer directamente la plenitud de lo real, no tenemos más remedio que construir arbitrariamente una realidad, suponer que las cosas son de cierta manera. Esto nos proporciona un esquema, es decir, un concepto o enrejado de conceptos. Con él, como a través de una cuadrícula, miramos luego la efectiva realidad, y entonces, solo entonces, conseguimos una visión aproximada de ella. En esto consiste el método científico. Más aún: en esto consiste todo uso del intelecto".

ALBERTO GOMEZ IBARRA.

C A P I T U L O I

DEFINICION DE FALLA

3

Introducción:

Las estructuras se crean para satisfacer un propósito definido. El objeto puede ser circundar un espacio, salvar un claro, o bien contener o retener diversos materiales.

Para que una estructura cumpla con su misión, deben especificarse y satisfacerse varios objetivos de proyecto relativos a la seguridad, funcionalidad y factibilidad; para satisfacer estos y otros objetivos del proyecto, debemos tener un conocimiento básico del comportamiento de los materiales de construcción cuando se les somete a esfuerzos.

Entre los objetivos más importantes del diseño de una obra, está el de lograr su estructura segura contra los derrumbes, la inestabilidad y torceduras severas, o la falla general de un sistema estructural ya que estos incidentes son inaceptables en la mayor parte de los casos, porque las fallas de este tipo pueden producir grandes pérdidas económicas y en vidas humanas -- (que son invaluable).

Además de su seguridad contra la falla, las estructuras deben tener una utilidad adecuada. Esto quiere decir, que todos los aspectos de su comportamiento deben ser aceptables para el uso a que se le destina. Las deformaciones y el agrietamiento deben limitarse de manera que sean prácticamente invisibles para el lego; y con esto, se dice que la estructura es funcional.

Una estructura puede ser segura y tener la funcionalidad adecuada, pero todo esto resulta inútil, a menos que la estructura sea factible. La factibilidad implica una medida económica muy importante en la industria de la construcción porque muchas decisiones para el diseño dependen de los métodos de construcción y el ingeniero debe estar familiarizado con éstos. Además, el ingeniero civil es un profesional y legalmente responsable del comportamiento satisfactorio de sus obras.

Una vez construida cualquier estructura tiene su único modo de comportamiento cuando se le sujeta a la acción de cargas. Este comportamiento es una función de la geometría, de las propiedades de los materiales, de las cargas aplicadas y de los efectos ambientales.

Una comprensión sólida del comportamiento estructural permite al ingeniero cubrir su responsabilidad al proyectar, diseñar y construir una obra que resista con seguridad y en forma económica tanto las cargas normales como las anormales, durante toda su vida útil.

Definición de Falla:

Definición: Falla es la discrepancia entre los resultados esperados de un proyecto y los que en realidad se obtienen de una estructura, es decir, es el comportamiento estructural de una obra que no cumple con las especificaciones de estabilidad de diseño.

Para conocer detalladamente los procesos de una falla, es que un material al que se le aplican esfuerzos más allá de la región del comportamiento elástico, o sea, fuera del límite de proporcionalidad puede absorberse una gran cantidad de energía;

esto significa que una buena parte de la energía total de un mismo, o producida por otras causas sobre la estructura, se absorbe en las últimas etapas de deformación estructural antes del colapso.

La falla puede presentarse de varias maneras y en todo tipo de estructuras: grandes o pequeñas; altas o bajas; mínimas o monumentales; formando marcos o sencillamente soportadas sobre muros; y de cualquier material básico como madera, acero, concreto armado, y el ingeniero deberá entender todas ellas.

Quando se descubre una falla de cualquier magnitud en una estructura, siempre aparecen litigios prolongados y costosos, durante los cuales los ingenieros responsables son exhaustivamente interrogados por los abogados de sus clientes y los abogados de las partes contrarias en sus intentos de llegar a establecer la "causa determinante" de la falla o del incidente (como si la fricción legal de que la responsabilidad se deriva de una causa única y bien definida) pudiera hacer posible la determinación exacta de dicha causa por medio de una simple observación. Es cierto que en algunas ocasiones sí existe una sola causa o explicación de la falla, pero por regla general, ésta tiene su origen en una combinación de circunstancias; como errores, descuidos, malas interpretaciones, ignorancia, incompetencia y aún deshonestidad; pero nunca puede atribuirse a ninguno de estos factores en particular la categoría de causa inmediata de la falla.

Volviendo al caso de la seguridad de una estructura contra la falla, es necesario señalar algunos conceptos fundamentales, ya que éstos permitirán entender a fondo las causas y los efectos de dichas fallas en la construcción de obras.

Conceptos Fundamentales:

Toda obra de ingeniería civil debe soportar una serie de acciones externas que le ocasionan deformaciones, desplazamientos y, ocasionalmente, daños; todos estos constituyen su respuesta a dichas acciones. Este concepto se representa en la Fig. I.1.



Fig. I.1.

Por acciones se entiende lo que generalmente se denominan -- cargas, pero esta acepción más general incluye a todos los agentes externos que inducen en la estructura fuerzas internas, esfuerzos y deformaciones. Por tanto, además de las cargas propia mente dichas, se incluyen las deformaciones impuestas, como los hundimientos de la cimentación y los cambios volumétricos, así como efectos ambientales de viento, temperatura, corrosión, etc.

La respuesta de la estructura está representada por el conjunto de parámetros físicos que describen su comportamiento ante las acciones que le son aplicadas.

Para que la construcción cumpla con las funciones para las que está siendo proyectada, es necesario que la respuesta de la estructura se mantenga dentro de límites que no afecten su correcto funcionamiento, ni su estabilidad. Debe definirse por tanto,

cuáles son en cada caso los límites admisibles de la respuesta estructural; éstos dependen del tipo de construcción y de su destino y están definidos para las obras más comunes en los códigos de diseño. Ver Fig. I.2.

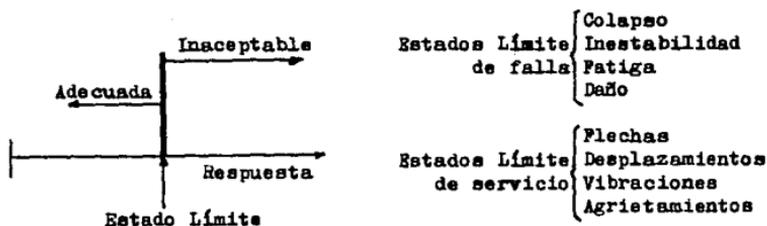


Fig. I.2.

Se llama estado límite de una estructura a cualquier etapa de su comportamiento a partir de la cual su respuesta se considera inaceptable. Se distinguen dos tipos de estados límite. Aquellos relacionados con la seguridad, se denominan estados límite de falla y corresponden a situaciones en las que la estructura sufre una falla total o parcial, o simplemente presenta daños que afectan su capacidad para resistir nuevas acciones. La falla de una sección por cortante, flexión, torsión, carga axial o cualquier combinación de estos efectos, que se llaman fuerzas internas, constituyen un estado límite de falla así como la inestabilidad o la falta de equilibrio global de la estructura, el pandeo de uno de sus miembros, el pandeo local de una sección y la falla por fatiga.

El otro tipo de estados límite se relaciona con aquellas situaciones que, aún sin poner en juego la seguridad de la estructura, afectan el correcto funcionamiento de la construcción. Estos se denominan estados límite de servicio y comprenden las deflexiones, agrietamientos y vibraciones excesivos, así como el daño en elementos no estructurales de la construcción.

El ingeniero debe procurar que no se presenten estados lími
te de falla ni de servicio, debidos no solo a las acciones que
ocurren durante la operación normal de la obra, sino también a
las acciones correspondientes a condiciones excepcionales.

Finalmente, para uso y provecho de los actuales y futuros -
profesionales del campo de la ingeniería civil y arquitectura,
la industria de la construcción tiene el deber de registrar to
das las experiencias que no han dado los resultados esperados,
con toda la información posible, para poder explicar detallada
mente en qué puntos se desobedecieron las leyes naturales y -
dónde se opuso una resistencia inadecuada a las fuerzas inter-
nas y externas en acción.

C A P I T U L O I I

CAUSAS DE FALLA

9

Es muy importante que las causas de las fallas sean difundidas ampliamente para poder evitarlas en el futuro. Esto es cierto particularmente en las épocas en que comienzan a utilizarse un gran número de ideas, métodos y materiales novedosos.

Sin pretender una clasificación exhaustiva, las fallas estructurales observadas se deben principalmente a errores humanos de los siguientes tipos:

- 1.- Error de Diseño: Muchas fallas ocurren por torsión, especialmente en edificios de esquina irregulares o en cuchilla, donde la falta de simetría estructural favorece el fenómeno de la torsión sísmica.

Los requisitos de las Normas de Emergencia y del Reglamento, tienden a que se limiten y a que se tomen en cuenta en el análisis las excentricidades en las rigideces de los elementos resistentes, las que corresponden al intervalo de comportamiento lineal de la estructura.

Es deseable, además, procurar que no haya asimetrías excesivas de la capacidad a la falla de los elementos que más contribuyen a resistir las torsiones, ya que si así fuera se presentarían excentricidades importantes cuando la estructura rebasara su intervalo de comportamiento lineal.

2.- Cambio de Uso: Por lo que respecta a cambio de destino de edificios, es evidente que aquellos proyectados y construidos para fines de oficinas o departamentos (residenciales) y que se destinaron a bodegas, a archivos de documentos, a talleres o a fábricas, tuvieron, o tienen en el momento de un sismo, cargas vivas muy superiores a las de diseño; por tanto, esta situación, por sí sola, es motivo de daños y colapsos en edificios. En especial, el uso como bodega puede ocasionar cargas vivas en los niveles inferiores varias veces más grandes que las consideradas en el proyecto para otros fines, pues además de que la carga por metro cuadrado es mayor en bodegas que en oficinas o en departamentos, la probabilidad de ocurrencia de carga viva de proyecto simultánea de varios pisos es mucho mayor en bodegas que en otros fines de ocupación.

3.- Modificaciones o Alteraciones de Estructuras: Muchas fallas se deben a modificaciones estructurales importantes, que son realizadas por los propietarios de los inmuebles, en fechas posteriores a la construcción original, sin la licencia correspondiente. Las modificaciones estructurales muchas veces comienzan con la construcción misma, por ejemplo con la adición de pesadas cargas muertas no previstas en los planos.

Por otra parte, ha sido práctica común que, por reducir los costos del proyecto estructural, no se prevean y detallen los espacios, ductos, pasos y soportes de las instalaciones, como son la plomería, la calefacción o el aire acondicionado, las instalaciones eléctricas especiales, los ductos para equipo de comunicación, etc. Como la estructura es lo primero que se construye, y es normal que los constructores de la "obra negra" ya hayan terminado su labor cuando se inician las instalaciones, es

común que para alojar éstas, se rompa el concreto, se desplacen o corten varillas y se afecten en forma grave piezas estructurales; de esto queda poca o ninguna constancia en los planos estructurales, pero sí queda huella permanente de debilitamiento en la estructura. Es evidente que, como medida preventiva, deben proporcionarse al proyectista de la estructura todos los datos de las instalaciones que tendrá para que, desde el proyecto de la estructura, se prevean esas instalaciones, se detallen en los planos constructivos, y en obra misma se dejen ahogados los ductos, se prevean los pasos "encamisados", se consideren las salidas de servicios, etc.

- 4.- Fallas de Cimentación: La pérdida de adherencia en pilotes de fricción y los asentamientos diferenciales bajo edificios, sugieren fallas en las arcillas, tal vez ocasionadas por la extracción del agua, que en arcillas de tipo montmorilonítico pueden reducirlas a la consistencia de un polvón. Tal vez la ejecución a cielo abierto de grandes obras con extracción constante de enormes volúmenes de agua, para trabajar en seco, y afecte esas arcillas.

Un axioma universalmente aceptado en ingeniería es la necesidad de una cimentación adecuada para toda estructura. Todas las cargas se deben transmitir al terreno, de tal manera que los asentamientos resultantes puedan ser tolerados por la estructura y ésta tenga estabilidad durante todo el período de su vida útil.

La introducción de una cimentación en la masa del terreno produce un nuevo conjunto de condiciones físicas. La subsiguiente adición de cargas durante la construcción y después de e-

lla, así como la construcción de cimentación en las zonas adyacentes pueden modificar las condiciones físicas y afectar la capacidad existente de carga del terreno.

- 5.- Mala Calidad o Degradación de los Materiales: En lo relativo a la mala calidad de los materiales, en México no debe pasar inadvertido el uso incontrolado y el abuso del "alambroñ recocido" de 1/4". Este material que por la gran facilidad que presenta para doblarlo, hacer estribos o anillos y cortarlo a tamaño, se ha usado indiscriminadamente en las construcciones de este País, no tiene un límite elástico definido dada la forma, por lo regular sin control, en que se hace el recocido. Este material tiene una resistencia que varía de 600 a 2,000 Kg/cm², pero en general se encuentra el valor más cerca del primero que del segundo. Por tanto, la capacidad de este material es a menudo muy baja, y lo que es peor, generalmente menor que la considerada por los proyectistas en los cálculos y análisis estructurales.

Por otra parte, la fabricación comercial de acero de refuerzo de 5/16" de diámetro (7.9mm) ha dado lugar a confusión con el acero de refuerzo de 3/8" de diámetro (9.5mm), pues es frecuente que los planos especifiquen refuerzo de 3/8" y en la obra se coloque de 5/16" por la dificultad de identificar en sitio el diámetro real de la barra.

En lo relativo a resistencia del concreto, es poco probable que el proveniente de dosificadoras y plantas mezcladoras comerciales responsables tenga una resistencia menor que la correspondiente al pedido, aún cuando, en algunos casos, los módulos de elasticidad del concreto han resultado muy bajos.

Pero lo más grave en las obras es que usualmente el concreto requerido en pequeños volúmenes se fabrique en la obra misma, con un control nulo y a veces sin usar mezcladoras mecánicas; - tal es el caso del concreto requerido en las columnas de edificios de oficinas o departamentales, que suelen colarse una a la vez en la altura de entrepiso, siendo estos elementos los de máxima importancia para la resistencia del edificio. Es indudable que este vicio, que en general ocasiona bajas resistencias del concreto, contribuye a provocar fallas o colapsos en las estructuras, porque se presenta precisamente en miembros de gran importancia y muy vulnerables a los efectos de los sismos intensos.

Existen edificios mixtos en los que, en una de las dos direcciones horizontales, las fuerzas sísmicas se transmiten mediante la estructura reticular, y en la dirección perpendicular mediante muros o diagonales de cortante. tal es el caso en terrenos pequeños, intermedios en la manzana, en los que dos muros "de lindero" son cerrados y en consecuencia, trabajan como muros de cortante si tienen la resistencia necesaria; en tanto - que, en la dirección perpendicular (que suele ser paralela a la calle de ubicación del predio) el trabajo para resistir las - fuerzas generadas por los sismos se hace por medio de las retículas estructurales (marcos) paralelas a la calle.

Sin embargo, cuando los muros o diagonales de cortante no - tienen la resistencia necesaria (como ocurrió en muchos edificios dañados o que tuvieron colapso en los últimos sismos), a los primeros impulsos del sismo se fracturaron los muros y una vez que hubieron perdido casi toda su resistencia, la estructura reticular tomó la mayor parte de las fuerzas cortantes que, posteriormente a la fractura de los muros, generó el

sismo. En este sistema de trabajo estructural, las fuerzas cortantes horizontales que genera el sismo, se transmiten por los marcos rígidos de la estructura reticular (vigas o losas y columnas).

También existen edificios de estructuración mixta, con muros de cortante y estructura reticular (marcos rígidos) en los cuales los muros de cortante no cubren toda la altura del edificio, o bien, en unos niveles se localizan en un plano y, por requisitos arquitectónicos, en otros pisos o niveles se localizan en un plano vertical distinto. La eficacia de este sistema merece un análisis muy cuidadoso, pues con tal disposición es muy posible que ocurran excentricidades de torsión diferentes en los distintos pisos, y grandes concentraciones locales de esfuerzos, especialmente de los cortantes de sismos. Este es un segundo sistema de trabajo estructural en que las fuerzas cortantes se transmiten primordialmente por medio de muros o diagonales de "cortante".

En el análisis siguiente sólo se considerará el primer sistema de trabajo estructural. Para el segundo sistema (muros o diagonales de "cortante") es muy importante que, además de la baja ductilidad, en el análisis se tomen en cuenta las excentricidades de los muros en planta; pues cuando el "efecto de torsión" es significativo (debido a que no coinciden el "centro de torsión" en planta con el eje o centro de las cargas gravitacionales del edificio), se producen grandes esfuerzos en los propios muros o, lo que es peor, a veces en los marcos de los edificios. Tal es el caso de edificios construidos sobre terrenos en esquina, en los cuales se construyen muros "ciegos" en las dos colindancias con los terrenos vecinos, y sólo la estructura reticular en las fachadas de las calles de ubicación del predio. La solución es muy simple y consiste en agre-

gar por lo menos un tercer muro, paralelo a uno de los otros dos y perpendicular al segundo, de las dimensiones y resistencia apropiados, que permita que el centro de torsión coincida sensiblemente con el eje centro de gravedad.

El mismo problema ocurre a veces con las rampas de las escaleras o de los estacionamientos de automóviles, las que triangulan la estructura en elevación y a veces permiten que las cargas horizontales, generadas por los sismos en los pisos superiores, se transmitan hasta la cimentación.

El diagrama de la figura II.1 muestra una estructura reticular rígida deformada por fuerzas horizontales. Este diagrama es válido ya sea que se trate de un sistema estructural convencional de entrepiso de vigas con losas y columnas, o de un sistema de losa plana rígidamente unida a las columnas. Como podrá observarse, tanto las columnas como los elementos horizontales, ya sean vigas o losas, tienen sentidos de curvatura opuestos a cada lado del nudo o nodo. En consecuencia los esfuerzos de tensión en una cara pasan a ser de compresión en la misma cara del lado opuesto del nodo y viceversa. Este cambio brusco debe desarrollarse en el interior del nodo.

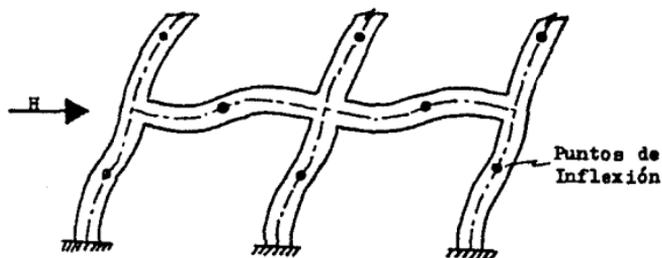


Figura II.1

Si se trata de una estructura de concreto reforzado, el cambio de sentido de los esfuerzos en el acero de refuerzo debe producirse por un anclaje mecánico y total del refuerzo, o bien por medio de la usual adherencia entre el concreto y las barras de acero. Cuando la estructura se diseñó por el método de "resistencia", para que pueda desarrollarse la capacidad total de las barras de acero de refuerzo es necesario que las barras queden ancladas dentro del nodo y en una forma compatible con las deformaciones.

Si el anclaje se hace por adherencia, que es lo común, la longitud de la barra dentro del nodo debe ser suficiente para lograr que los esfuerzos pasen del máximo de tensión a cero, y de cero al máximo de compresión. Para lograr esto, se requiere un nodo de grandes proporciones, tanto horizontales (para que se produzca el cambio de sentido de los esfuerzos en el refuerzo de las vigas o losas) como verticales (para lograr el cambio de esfuerzos en las barras de las columnas).

Lo anterior implica, en el sentido vertical, un gran espesor del entrepiso. Tratándose de una estructuración a base de vigas, se dispone del peralte de la viga en su unión con la columna; pero en el caso de losas planas sin ábacos, el espesor está dado por el peralte de la losa, el cual es por lo general muy pequeño. En la misma forma, en las direcciones horizontales el tamaño del nodo queda fijado por las dimensiones horizontales de la columna.

En lo que toca a los niveles inferiores de edificios de muchos pisos, las columnas generalmente son de dimensiones significativas; pero en los pisos superiores, las columnas, que soportan cargas verticales pequeñas, resultan de dimensiones re-

ducidas, lo cual se traduce en un nodo con dimensiones horizontales también pequeñas.

Para tener una idea de las proporciones y elaborar un ejemplo que permita llegar a dimensiones tangibles, analizaremos lo que resulta de aplicar la última versión del Reglamento del American Concrete Institute (ACI 318-83). Debe aclararse que, en las últimas ediciones de este Reglamento, no se consideran "esfuerzos de adherencia", sino "longitudes de desarrollo"; pero en el fondo, es lo mismo. Si se aplica el Reglamento de Construcciones para el D. F. 1976, los resultados son evidentemente los mismos.

Conforme al reglamento ACI, la longitud de desarrollo, para barras de refuerzo a tensión del No. 11 o menores, está dada por la siguiente fórmula:

$$L_d = 0.06A_s f_y / (f_c')^{1/2}$$

Tratándose de acero de refuerzo con límite elástico o de fluencia $f_y = 4,200 \text{ Kg/cm}^2$ (60,000 lb/pulg²), y concreto con una resistencia $f_c' = 350 \text{ Kg/cm}^2$ (5,000 lb/pulg²), las longitudes de desarrollo a tensión, sin aplicar coeficientes de casos desfavorables, resultan las de la tabla siguiente:

Barra No.	5	6	7	8	10
Longitud de desarrollo en cm. (a tensión)	27	38	52	68	107

De la misma manera, la longitud de desarrollo para barras a compresión está dada por la fórmula siguiente:

$$L_c = 0.08 D_b f_y / (f_c')^{1/2}$$

Para los parámetros anteriores, las longitudes de desarrollo a compresión resultan las siguientes:

Barra No.	5	6	7	8	10
Longitud de desarrollo en cm. (a comp.)	29	34	40	46	57

La suma de las longitudes de desarrollo, y en consecuencia el tamaño mínimo del nodo horizontal y vertical, resulta:

Barra No.	5	6	7	8	10
Longitud de desarrollo total en cm.	56	72	92	114	164

Todos los valores anteriores son mucho mayores que los espesores comunes de entrepisos de losas planas (por lo regular de 20 a 40 cm.), y que las dimensiones normales de columnas de pisos superiores de edificios (generalmente de 25 a 40 cm.).

Este razonamiento por sí solo pone de manifiesto la causa de muchas de las fallas y colapsos observados, toda vez que ni el espesor de los entrepisos, ni el tamaño de las columnas en los pisos superiores, son de las dimensiones requeridas.

Además de los problemas señalados, debe tomarse en cuenta que en general el efecto de los sismos es recíproco, por lo que los esfuerzos en muchos miembros cambian alternadamente de tensión a compresión y viceversa, lo cual es mucho más desfavorable que cuando ocurren esfuerzos siempre del mismo signo. También hay que considerar que las condiciones son todavía más severas cuando, por el gran número de impulsos de un sismo, se presentan los problemas de "fatiga" de los materiales, especialmente el concreto.

Sin embargo, las condiciones anteriores no son las únicas graves en el caso de la estructuración de losas planas sujetas a la acción de marco rígido con cargas horizontales.

En efecto, para cargas verticales, toda la losa es efectiva para tomar los momentos flexionantes, porque la curvatura tiene concavidad hacia abajo a ambos lados de la columna, así como se muestra en la figura II.2.

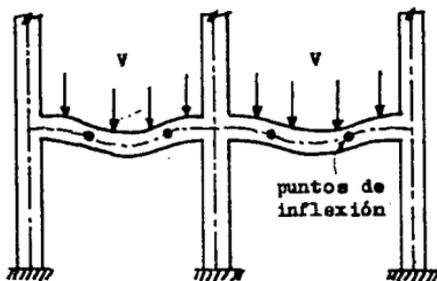


Figura II.2

El Reglamento de construcciones para el D. F. 1976 recomienda que el momento negativo en apoyos intermedios sea resistido en un 76% , por la "franja de columna" y en un 24% , por la "franja central o intermedia".

Las condiciones son totalmente diferentes tratándose de momentos flexionantes producidos por fuerzas horizontales; mientras que, para fuerzas verticales no hay cambios bruscos de curvatura, para fuerzas horizontales se produce el cambio de concavidad con sentidos opuestos a ambos lados de la columna, lo cual es solamente posible por la acción de la propia columna.

La única forma en que la losa puede transmitir a la columna

los momentos que le producen las fuerzas horizontales es a flexión, por medio de una pequeña franja de losa con ancho igual al de la columna, y a torsión, por los lados de la columna; sin embargo, la transmisión de momentos de la losa a la columna por medio de la torsión es pequeña, cuando no existe un ábaco o aperaltamiento local de la losa.

Todavía más, sólo las barras de refuerzo de la losa que atraviesan o penetran en la columna, o las inmediatas a ella, son las únicas verdaderamente eficaces en la transmisión de los momentos provocados por un sismo, y casi siempre el número de estas barras es muy pequeño en comparación con el número total de barras que refuerzan la losa; esto se refiere en cuanto a las condiciones de flexión de marco rígido de la estructura.

No obstante, en el caso de losas planas, aligeradas o macizas, sin aperaltamiento locales en las columnas, los esfuerzos cortantes están cercanos a los máximos permisibles por los reglamentos. Como en el caso de las losas planas es muy difícil y poco práctico reforzar esas losas para resistir esfuerzos cortantes que son en realidad tensiones diagonales, cuando los esfuerzos cortantes exceden los que puede resistir el concreto, puede producirse una falla frágil, y como en este caso no hay manera de que se redistribuyan los esfuerzos toda vez que este tipo de fallas son súbitas, es probable que ocurra el colapso.

Se concluye que el trabajo "de marco" de las losas planas usuales es, para fines prácticos, incompatible con las fuerzas horizontales que generan los sismos; por lo tanto, no es conveniente emplear este tipo de estructuración en zonas sísmicas, a menos que se tengan muros o diagonales de cortante o que, en casos especiales, se proyecten ábacos de losas junto a columna.

Proyectar es una de las actividades fundamentales de la ingeniería, puesto que es la etapa que más se ajusta al objetivo de la misma, de manera económica, a los recursos naturales para el uso del hombre.

En este capítulo se recalca la importancia de que el proyecto estructural contenga la descripción detallada de todas las características de la estructura y de que no se deje a la interpretación del constructor la forma de resolver aspectos que son esenciales en el comportamiento integral de la estructura, como la disposición exacta del acero de refuerzo, sus anclajes y -- traslapes; las conexiones entre vigas y columnas, así como una simetría en la concepción arquitectónica de la obra.

Definición de Proyecto:

En Ingeniería se dice que un proyecto es el conjunto de cálculos, especificaciones y dibujos, en el que se conjugan la habilidad matemática y la experimentación para poder transformar los recursos naturales en mecanismos y sistemas estructurales -- que satisfagan las necesidades humanas.

Ha habido deficiencias en los proyectos de las obras, esto -- es, deficiencias en la estructuración, en los detalles y en las especificaciones que no deberían repetirse. Estas deficiencias son consecuencia de una mala concepción arquitectónica en la sí

metría de la estructura, escasa cantidad de acero de refuerzo en puntos de momentos máximos, poca atención al detalle cuidado de las uniones entre vigas y columnas, o bien, las dimensiones son incorrectas de las secciones de cargas normales.

Existe un axioma de ingeniería que se puede simbolizar en las palabras siguientes:

"Si Entra Basura
Sale Basura".

Esto quiere decir, que los resultados que se obtienen son tan válidos como la información que se utilizó para obtener los resultados. Si la calidad de la información es muy baja - los resultados de cualquier proceso serán, consecuentemente, de calidad igualmente baja. Esto sucederá a pesar de que sean muy complejas las manipulaciones que se hagan para llegar al resultado deseado. Es por lo tanto, muy necesario tener una fuente de información válida para poder solucionar un problema. Por lo anteriormente dicho, proyectar es crear soluciones a problemas pertinentes al campo de la ingeniería.

Planeación General de la Obra:

Un proyecto de ingeniería comienza cuando se identifican - las necesidades y se determinan los objetos de diseño. Luego se establece la finalidad general de las instalaciones necesarias para satisfacer los requisitos. Finalmente, se investiga el financiamiento del proyecto y se enjuicia la justificación de la obra que se planea.

La justificación económica de una obra que debe financiarse con dinero prestado es una empresa compleja y decisiva. Se deben establecer los costos de la obra y el valor monetario de los beneficios que ésta aporte. Si la relación costo-beneficio no es favorable, puede cancelarse toda la empresa.

Definición de Sistema Estructural:

Se define como sistema estructural en Ingeniería Civil, la parte de la estructura que debe resistir las cargas aplicadas, y el objetivo último de dicho sistema estructural es el de transmitir las fuerzas a través del espacio, desde la fuente de la carga hasta la cimentación.

Generalmente el espacio está definido y limitado por medio de un sistema arquitectónico superpuesto a un sistema estructural. De aquí la importancia de trabajar en combinación con otros ingenieros y arquitectos, ya que éstos investigan las necesidades del cliente y desarrollan el proyecto de espacio y ambiente que satisfaga las necesidades requeridas.

Un proyecto adecuado es aquel en que el ingeniero especializado en estructuras crea un sistema estructural que se ajuste a cada una de las alternativas del proyecto arquitectónico y con una transmisión eficiente de las cargas de los elementos estructurales de la obra.

Realización del Proyecto Definitivo:

Las dimensiones obtenidas en la fase preliminar del proyecto pueden ser adecuadas como dimensiones definitivas, si no lo son, se utilizan como punto de partida para el proyecto final.

Conforme el ingeniero proyectista va elaborando sus cálculos, especificaciones, diseños y croquis, presenta sus resultados al dibujante, quien prepara los planos de todo el sistema estructural, incluyendo sus miembros y conexiones las cuales son vitales para asegurar la integridad de dicho sistema estructural.

Es necesario que exista una coordinación estrecha entre el ingeniero proyectista y el dibujante para la seguridad de obtener un juego apropiado de planos del diseño definitivo de los elementos estructurales que integran la obra, y evitar así, toda posibilidad de deficiencias en el proyecto de ingeniería civil. Esto es muy importante señalarlo, porque generalmente los errores de dibujo y de detallado originan fallas locales en la estructura - que se corrigen en el campo, pero a menudo a costa de grandes gastos y pérdidas de tiempo.

Los croquis y planos constituyen un canal de comunicación absolutamente indispensable entre el ingeniero proyectista y el ingeniero constructor para la fabricación (manufactura) de muchos componentes de la estructura y para el proceso de construcción en sí.

El proyectista es el responsable de comprobar la precisión de los planos de fabricación y en ciertas ocasiones, de la comprobación de los planos especiales preparados por el constructor.

Los planos se complementan con las especificaciones escritas, que describen en detalle la finalidad de la obra, los materiales que deben usarse, la calidad necesaria de la mano de obra, los reglamentos estándar aplicables, etc. Asimismo el proyectista, - puede juzgar necesario preparar revisiones del diseño a medida - que en la fase de construcción se encuentre nueva información - respecto a la situación del proyecto. Esto sucede con frecuencia en el diseño de cimentaciones, ya que es imposible conocer todos los aspectos que presenta el subsuelo local o la roca sino hasta que se completan las excavaciones.

Actualmente el proyectista cuenta para apoyar su intuición - principalmente con tres tipos de ayudas: los métodos analíticos, las normas y manuales y la experimentación. Deben considerarse - éstas como herramientas que ayudan y facilitan el proceso mental a través del cual se desarrolla el diseño de la estructura y no como la esencia del diseño mismo que puede sustituir el proceso creativo, el razonamiento lógico y el examen crítico del problema.

Recomendaciones Finales:

Es necesario incrementar los coeficientes de fuerza horizontal y someter a análisis dinámico las estructuras importantes, para que sean capaces de soportar un gran número de repeticiones de carga con suficiente ductilidad. El Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, considera muy importante recomendar la observación de cuatro aspectos en el proyecto, diseño, y construcción de estructuras de concreto en zona sísmica: la simetría en la concepción arquitectónica de los edificios, el confinamiento del concreto en las columnas y vigas, el diseño cuidadoso de las uniones entre elementos y el detalle constructivo de estas uniones, los cuales, se indican:

- 1.- Simetría en la concepción arquitectónica: Es fundamental - reducir al mínimo la torsión, causante de muchas fallas en los recientes terremotos. Para esto se requiere la simetría a de la planta estructural, cuando menos en dos direcciones ortogonales y en lo posible una distribución simétrica de la carga viva. Cuando esto no sea posible, es preciso reforzar en forma adecuada los elementos que estarán sujetos a torsión sísmica.
- 2.- Confinamiento del Concreto: Es muy importante colocar un número suficiente de estribos o zunchos con espaciamiento mínimo en las porciones de vigas y columnas contiguas a las uniones, especialmente en aquellos elementos que se diseñan para trabajar como columnas cortas y en los que los muros de relleno y las mochetas los obligarán a este tipo de trabajo.

3.- Diseño de las Uniones de Elementos Estructurales: Resulta inútil un diseño estructural muy sofisticado, aún con computadora, en el que se consideren cargas dinámicas, ciclos repetidos y comportamiento dúctil de las vigas y las columnas, si las uniones no son diseñadas para resistir los enormes esfuerzos cortantes que se generan. Las uniones deberán diseñarse para resistir una fuerza cortante, cuando menos igual a la que se produzca por la suma de esfuerzos de fluencia en el acero de los elementos que concurren en dicha unión, ya que de lo contrario los elementos podrían comportarse con ductilidad pero fallarían las juntas, como ocurrió en un sinnúmero de casos en los terremotos recientes (19 y 20 de septiembre de 1985).

4.- Detalle Minucioso y Supervisión Cuidadosa de las Uniones: Ha sido práctica común que en los planos estructurales no se dé la debida atención al detalle cuidadoso de las uniones entre vigas y columnas, al de las juntas entre diversos cuerpos de un edificio y al de las uniones entre elementos estructurales y muros de relleno. Es muy importante que se vigile rigurosamente la ejecución de esas juntas y no se deje al criterio del maestro de obra.

Es importante que los detalles de los planos estructurales sigan una norma reconocida, y que los proyectistas utilicen símbolos suficientemente claros.

Por último, un proyecto adecuado es aquel que contiene diseños y especificaciones competentes en todas sus fases de detalle arquitectónico y de ingeniería para proporcionar seguridad contra la falla de la estructura u obra.

C A P I T U L O I V

DEFICIENCIAS EN EL PERIODO CONSTRUCTIVO

29

De nada sirve un análisis completo y un detallado adecuado de los planos, si la construcción no se ejecuta siguiendo cuidadosamente lo indicado en esos planos y en las especificaciones, y como consecuencia de esto, han ocurrido fallas en el período constructivo de las obras. La falta de tales cuidados puede ocasionar serios problemas y atrasar el trabajo a un costo considerable y borrar la economía del proyecto.

Negligencia del Constructor:

Una persona es negligente si no hace lo que debe hacer, dejando fuera de consideración el beneficio obvio de ver posteriormente las omisiones obvias. Las fallas o deficiencias en el período constructivo se deben por negligencia cuando el contratista no se le puede comprobar la ignorancia o la incompetencia.

Demos por descontado que la gran mayoría de los ingenieros civiles son honrados, y sanas sus intenciones. Reconozcamos que no cometen errores involuntarios a cada paso que dan; el incumplimiento de los reglamentos por ejemplo, se debe en muchos casos a negligencia por parte del constructor.

Se encuentra negligencia a menudo en la preparación de los documentos de contrato, particularmente en la falta de coordinación entre los planos y las condiciones del lugar, y entre los planos y las especificaciones.

La negligencia comprobada por parte de un profesional, lleva como resultado, por lo general, a la revocación o suspensión - temporal de su licencia para ejercer. A discreción del estado, en sus funciones como vigilante, se revoca una licencia no como castigo, sino como confirmación de que si la persona que posee la licencia está adecuadamente calificada para continuar en su profesión.

Por ejemplo: en el caso de estructuras de concreto de losa - plana, muchos contratistas están convencidos de que si las columnas se cuelan tan pronto como se instala la cubierta y antes de que se coloque el refuerzo de la losa, se logra un ahorro en la reducción de la mano de obra del colado de las columnas, al no tener que hacerlo a través del enjambre de varillas que se concentra en las columnas, y en el control más fácil del "sangrado" que reduce el tiempo y los costos del acabado. Al mismo tiempo se permite que las columnas desarrollen su contracción, procedimiento que generalmente se especifica en el proyecto, pero a menudo no se obedece.

Ignorancia o Incompetencia:

La ignorancia, o sea, el estado de no estar informado de que se requiere, siempre incluye la incompetencia, es decir, la incapacidad de hacer lo que se requiere, sea que uno sepa o no. Es indudable que la experiencia es la mejor maestra para el constructor experimentado y que un sentido extra de previsión de peligro inminente es un atributo valioso.

Las secuencias de construcción de una obra requieren de cierta evaluación técnica en cuanto a seguridad y suficiencia, por-

que durante la construcción de la estructura, las fuerzas que ocasionan la falla no son de la misma magnitud, ni aún de la misma dirección, y esto se debe a que la estructura pasa por una serie de etapas críticas durante el período de ensamble de sus componentes. Existe poca diferencia en este contexto, en cuanto a si la estructura falla durante su erección, por ignorancia o por incompetencia por parte del ingeniero constructor responsable.

Se ha observado que, por ignorancia, los edificios se han sobrecargado o se han destinado para otros usos diferentes para los que fueron diseñados. Al respecto, se deberá exigir anunciar en lugar visible el uso autorizado, las cargas admisibles y el tipo de ocupación; se requerirá una vigilancia constante para evitar alteraciones.

México necesita que sus sociedades profesionales implanten - campañas intensas y efectivas de capacitación. En este mismo sentido, las escuelas del País, y muy señaladamente la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México dado su liderazgo nacional, tienen un importantísimo papel que desempeñar y que no están cumpliendo en el grado que sería deseable.

Reglamentos de Diseño en la Construcción:

Es necesario resaltar la importancia de los reglamentos de diseño en la etapa constructiva de la obra civil, ya que una aplicación correcta de éstos, constituye un medio de protección para el constructor desde el punto de vista legal.

El primer reglamento que apareció para controlar la construcción fue una parte del Código de Hammurabi Rey de Babilonia, y fué escrito aproximadamente en el año 2,400 A. de C.

Aunque el Código de Hammurabi es un documento típico de los reglamentos antiguos, es evidente que muy pocos ingenieros constructores tuvieron la oportunidad de aprender algo derivado de sus propios errores. A continuación se transcriben las cinco reglas básicas referentes a fallas de las construcciones:

- 1.- Si un constructor hace una casa para un hombre y no realiza bien su trabajo, y si esa casa que construyó se cae, causando la muerte del amo de la casa, el constructor debe ser condenado a muerte.
- 2.- Si causa la muerte del hijo del amo de la casa, se condenará a muerte a un hijo del constructor.
- 3.- Si causa la muerte de un esclavo del amo de la casa, el constructor le dará al propietario un esclavo de igual valor.
- 4.- Si destruye una propiedad, el constructor le repondrá lo que haya destruido, y si por no hacerla bien la casa se derrumbaba, deberá construir de su propio peculio la casa que se ha caído.

5.- Si un constructor que ha hecho una casa a un hombre no hace su trabajo perfecto y una pared se padea, el constructor reparará la pared por su propia cuenta.

Obviamente, no se sabe si estas disposiciones pusieron fin a las fallas, pero indudablemente fueron un freno en las prácticas viciadas de la construcción ya que eliminó la posibilidad de la repetición de los errores. Aquí es necesario hacer notar que el símbolo de "constructor" es la representación de la estructura de una casa y consiste en una columna principal central con cuatro columnas de esquina, todas unidas por las vigas del techo, siendo un hombre el símbolo de la columna principal.

Es interesante hacer notar que el reglamento de Hammurabi era un reglamento de comportamiento, porque solamente se refería a los resultados y no menciona los detalles o métodos de construcción.

Los reglamentos para el diseño de estructuras son documentos legales que tienen como función proteger a la sociedad contra el colapso o mal funcionamiento estructural de las construcciones; el grado de protección que puede lograrse no es absoluto, sino que debe ser óptimo en el sentido de que sea congruente con las consecuencias de las posibles fallas y con el costo de incrementar la seguridad.

Los reglamentos de diseño generalmente son elaborados por comités de especialistas en la materia y revisados por personas e instituciones interesadas, como los representantes de los constructores, de los productores de materiales de construcción, de las sociedades de profesionales, de los centros de investigación y de las autoridades competentes.

Los reglamentos actuales que tienen carácter legal, contienen todos sanciones para los infractores aunque, afortunadamente, no tan drásticas. Cualquiera que sea el tipo de reglamento, toca siempre a sus redactores la responsabilidad de fijar los niveles de seguridad adecuados para los distintos tipos de estructuras.

También es responsabilidad de los redactores de reglamentos - hacer estos documentos suficientemente claros, teniendo en cuenta la preparación de quienes hayan de aplicarlos. De poco sirve que se marquen métodos idóneos de análisis, diseño, construcción y mantenimiento en normas y reglamentos oficiales si la mayoría de los ingenieros civiles no tienen la preparación que se necesita para entenderlos.

Un reglamento no debe pretender suplir deficiencias en conocimientos fundamentales sobre estática, dinámica, resistencia de materiales, mecánica de suelos y procedimientos constructivos; no se trata de una enciclopedia de la ingeniería. Quienes participan en su elaboración adquieren la responsabilidad de dar a conocer los antecedentes del documento, su significado y sus implicaciones y para ello darán conferencias, intervendrán en mesas redondas, publicarán folletos, etc.

Deficiencias de Ejecución y falta de Supervisión:

Las deficiencias de ejecución y falta de supervisión en las obras son las causas de muchas fallas o colapsos, y en nuestro medio las más abundantes consisten en:

- a).- mala colocación del acero de refuerzo,
- b).- anclajes insuficientes,
- c).- juntas de colado con material extraño como papel o madera,
- d).- traslapes insuficientes,
- e).- pésima soldadura de unión en las varillas de mayor diámetro,
- f).- concretos mal vibrados o segregados durante el colado y
- g).- malas conexiones de los muros de relleno.

En edificios de concreto reforzado debe señalarse el problema constructivo que se presenta en el colado de los "nodos" de edificios reticulares: como en estos puntos se intersectan elementos horizontales en dos direcciones con las columnas, existe una gran cantidad y variedad de refuerzo; por lo que a veces el concreto resulta difícil de colocar y de vibrar y con frecuencia quedan oquedades que la mayor parte de las veces no se detectan en la obra terminada.

En otras ocasiones por la misma dificultad de colado de los "nodos", resulta que en estos sitios, en forma totalmente irresponsable se remueven barras de acero de refuerzo del mudo indicadas en los planos, las que son indispensables para el trabajo estructural. Por desgracia, la falta de las barras pasa inadvertida para todos, excepto para las personas que hacen el trabajo de manera directa y que procuran acortar su pecado con el colado del miembro.

Al ocurrir el sismo o cualquier otro fenómeno, la omisión de las barras puede ser la causa de daños o colapsos y desafortunadamente rara vez llega a saberse la verdad. Por lo anterior, existe un vicio generalizado en las construcciones en México: la falta de una supervisión permanente, cuidadosa y altamente responsable.

El costo de la supervisión, que por desgracia la escatiman los propietarios y a veces la eluden los constructores, se paga con creces en la calidad y seguridad del edificio construido con una supervisión estricta y eficiente.

Control de Materiales:

En lo relativo a las pruebas de los materiales de construcción, además de las que hacen los propios fabricantes y de las que se especifican para la adquisición de esos materiales, en los casos de obras importantes y costosas, puede resultar conveniente disponer de alguna máquina de prueba de materiales en la propia obra; esto permitirá tener un gran control de la calidad de los materiales sin que resulte oneroso para la construcción.

Por otro lado, se ha observado que son insuficientes los laboratorios de control de calidad del concreto fresco, y existen serias dudas en cuanto a la calidad de los agregados y su posible reacción desfavorable con los cementos.

Descimbrado Prematuro:

Una cimbra es un molde para vaciar una mezcla húmeda de concreto que ha de endurecerse y convertirse en autosoportada con el transcurso del tiempo, y el apoyo de la cimbra no debe quitarse sino hasta que el concreto pueda soportarse por sí mismo. Aún después de fraguar, o de endurecerse, el flujo plástico y el deslizamiento pueden modificar seriamente la forma, y debe proporcionársele apoyo durante el tiempo que sea necesario para que tome el concreto su forma permanente definitiva.

La falla ocasionada por descimbrado prematuro se presenta muy a menudo, pero con una supervisión responsable se puede evitar prácticamente este error.

Los contratistas, los ingenieros supervisores y demás personas relacionadas con la seguridad en la construcción, no deben permitir que los ciegue el acelerado paso de la misma, respecto a estos importantes detalles de la seguridad.

Uno o dos puntales defectuosos de reapuntalado que se deslicen, que se asienten o que se pandeen al recibir la carga; otra de las causas que producen una falla seria de la estructura.

Deficiencias en Muros de Relleno y Acabados:

En muchas ocasiones también se ha comprobado que el constructor de un edificio presta poca atención a la calidad del tabique o del block utilizado en los muros de relleno, sin embargo gasta de manera exagerada en materiales de recubrimiento, sobre todo en granitos, mármoles o terrazos de buena calidad, los cuales son los primeros en desprenderse de la estructura y destruirse en un movimiento sísmico.

Conviene señalar que, tratándose de edificios destinados a habitación o a oficinas, el costo de la estructura constituye de un 30 a un 40% del costo total del edificio, y el 60 ó 70% restante es el costo de las instalaciones y los acabados. Por lo tanto, no es razonable hacer economías en la estructura, porque una falla de ésta hace fallar a todo el edificio (con sus instalaciones y sus acabados), en tanto que estas instalaciones o acabados pueden repararse, renovarse o cambiarse sin afectar el resto del edificio.

Todavía más, lo que es en verdad importante es que las fallas estructurales por lo general van aparejadas de pérdidas de vidas (que son invaluable), en tanto que los problemas de las instalaciones y los acabados sólo representan problemas económicos.

Juntas Constructivas Inoperantes:

Este fenómeno se presenta en muchos casos en que dos cuerpos de un edificio, diseñados para moverse independientemente en caso de sismo, o elementos que por diseño deben trabajar en forma independiente, son obligados por fallas en la construcción de la obra a actuar juntos, provocándose daños mutuamente por efectos de torsión o por actuar como puntales.

El Objeto del Proceso de Construcción:

El proceso de construcción se inicia con el usuario o cliente, porque el objetivo principal es satisfacer sus necesidades y termina con el usuario mismo, porque el proyecto es para su beneficio.

El objeto del proceso de construcción de una estructura u obra, básicamente comprende los factores siguientes; por lo que la obra podrá:

- 1.- Ser adecuada para su propósito, esto es, que desempeñará el trabajo que se desea y que proporcionará todas las instalaciones que se requieran; siendo esta tarea del ingeniero proyectista.
- 2.- Estar apropiadamente construida, es decir, que será diseñada y construida de acuerdo con las normas de construcción, empleando materiales, productos, componentes y estándares de mano de obra adecuados.
- 3.- Comportarse en forma satisfactoria durante su uso, esto es, será resistente y estructuralmente sólida; resistirá al fuego, terremotos, inundaciones y otros riesgos naturales; será durable, resistente a la intemperie, y deberá retener su apariencia con bajos costos de mantenimiento. Esta característica corresponde al diseñador y al contratista.
- 4.- Dar valor al dinero, o sea, proporcionar una utilidad razonable sobre la inversión inicial del capital y costos de reparaciones y de mantenimiento subsecuentes durante toda

la vida planeada de la estructura. Esto está a cargo de la responsabilidad de todo el equipo de construcción.

En la mayoría de los casos se le proporciona al usuario una estructura "recién terminada", diseñada y construida de acuerdo con las normas de construcción. El que la estructura "recién terminada" se comporte en forma satisfactoria en la práctica y rinda un valor económico depende del desempeño apropiado de las responsabilidades separadas de cada una de las partes involucradas.

El Equipo del Proceso de Construcción:

La figura IV.1 muestra gráficamente las cinco etapas principales, o factores del proceso de construcción. Las cinco partes involucradas tienen cada una su propia responsabilidad.

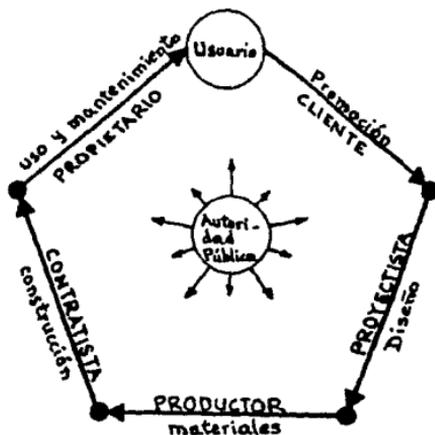


Figura IV.1.

Control de Cumplimiento en estos puntos: ●

Control de Producción a lo largo de estas líneas: —

Supervisión gubernamental durante todo el proceso: ←

- b). la operación de criterios de cumplimiento por parte del proyectista, sin tomar en cuenta en forma adecuada la información disponible de las pruebas para control de producción.
- c). la necesidad de mejorar los métodos de prueba, para eliminar cualquier duda respecto a la validez de los resultados de las pruebas.
- d). la importancia de la elaboración de un informe claro de los cursos de acción que deben seguirse cuando se descubre que los materiales o los componentes no cumplen con las especificaciones.
- 4.- Contratista: Inevitablemente la etapa de construcción es un proceso intermitente que comprende muchas operaciones y personas diferentes, y es aquí donde es más difícil aplicar los sistemas para la garantía de la calidad. Puesto que, durante la ejecución del proyecto, es el contratista quien tiene el mayor riesgo financiero, él asume la responsabilidad de llevar a cabo los controles tanto de producción como de cumplimiento; en la práctica, el control de cumplimiento es el deber principal del administrador de la obra en construcción. Los problemas que se presentan con más frecuencia ya se mencionaron en otras secciones de este capítulo.
- 5.- Propietario o Usuario: En el uso de un edificio o de una estructura son dos las partes involucradas: el propietario y el usuario. Como poseedor de la estructura en sentido legal, muchas veces el propietario es también el usuario. Es esencial la formulación de reglamentos sobre uso y mantenimiento; estos reglamentos deben hacer referencia a:
- a). la práctica de inspecciones periódicas para determinar la necesidad de reparaciones y mantenimiento, y para verificar que no hayan cambios en el uso de la estructura.

Responsabilidad Legal Durante la Fase de Construcción:

Todo incidente en el que se producen daños a la vida o a la propiedad, va seguido de un intento para asignar la responsabilidad a alguien. Si no se determina primero la causa de la falla, la búsqueda de la persona responsable es un esfuerzo que se traduce por demandas, contrademandas y faltas de ética.

Aún habiendo determinado la causa, a menudo existe un desacuerdo completo en cuanto a la asignación de la responsabilidad.

Para establecer responsabilidad legal debe de existir un hecho consumado erróneo activo, es decir, negligencia por parte del contratista; la simple negligencia no es suficiente para hacer responsable al contratista hacia terceras personas.

Es necesario establecer la división de la responsabilidad entre los distintos aspectos de una operación de la construcción para lograr una ejecución correcta de una obra; considerando los factores siguientes:

- 1.- El contratista y sus subcontratistas y proveedores deben tener la capacidad necesaria para leer los planos, y deben leer las especificaciones antes de iniciar el trabajo, y deben tener el deseo de seguir al pie de la letra los requisitos del contrato y el deseo de hacer un buen trabajo.
- 2.- Debe tenerse un supervisor o alguien que cuide que el contratista cumpla las funciones para las que se contrató, pero no puede esperarse que el supervisor haga imposibles; él no puede hacer nada para compensar la incompetencia ni la

falta de interés de las demás personas que forman el equipo.

Si cada uno de los miembros del equipo hace bien su trabajo y evita el hacer el trabajo de los demás, la construcción de la obra tendrá éxito. La responsabilidad legal se asigna, se subdivide y se fragmenta interminablemente.

El contratista general es responsable de los métodos, técnicas, prácticas y procedimientos de construcción; éste contrata a los diversos subcontratistas, cada uno de los cuales es especialista en su ramo, para realizar las diversas porciones del trabajo de construcción de la estructura, y asume (mediante su contrato) la responsabilidad legal sobre el trabajo de dichos subcontratistas.

Siempre debe tenerse presente que un ingeniero o un arquitecto, no es ni un fabricante ni un vendedor de producto alguno. Es un profesionista, no hace otra cosa que prestar sus servicios puramente profesionales. Por tanto, a no ser que expresamente garantice un resultado específico, su responsabilidad legal sea por negligencia o por práctica deficiente.

El constructor de la estructura si ha seguido las prácticas normales aceptadas, no es legalmente responsable por un resultado desafortunado. Solamente cuando se aparta de la buena práctica, y al hacerlo resultan daños a la propiedad o a las personas, el constructor se responsabiliza personalmente por los daños ocurridos.

Normalmente el constructor o contratista queda completamente protegido si sigue los planos y las especificaciones del proyectista de la estructura, pero cae su manto protector si los planos son muy defectuosos, que cualquier contratista de destreza media y prudencia ordinaria no los hubiera seguido ciegamente. La práctica común consiste en que el contratista lleve a reconsideración al diseñador cualquier porción de los planos que parezca deficiente o inadecuada.

La responsabilidad legal nunca se despiaza de los contratistas, o de los constructores, quienes emprenden la realización de los que, a menudo, son proyectos de obras de fuertes inversiones, con la esperanza de que de alguna manera han de salir con éxito de su empresa.

Por lo tanto, cuando ocurren fallas en la construcción, es el diseñador o el contratista y no el propietario, quien carga finalmente con la responsabilidad legal de las fallas y quien tiene que responder por los daños.

C A P I T U L O V

DESASTRES NATURALES Y ORIGINADOS POR EL HOMBRE

48

El ciclo natural de la evolución origina el continuo envejecimiento y desintegración de todos los conjuntos en sus elementos primordiales que se combinan después, bajo ciertas condiciones climatológicas y cambios sísmicos, para formar nuevas agrupaciones.

El hombre, con su inteligencia, acelera tanto la generación como la degeneración de los ciclos. La naturaleza constantemente interrumpe la secuela normal de las transformaciones con vientos y tormentas devastadoras, rayos, inundaciones y terremotos. Las condiciones y diseños elaborados por los ingenieros civiles deben proporcionar los elementos adecuados para resistir las grandes cargas dinámicas y estáticas que acompañan siempre a esos "actos de Dios".

Toda discontinuidad, toda debilidad, toda incompatibilidad en las deformaciones se vuelve un foco en potencia de fallas estructurales, con detrimento de la capacidad total de carga y disminución evidente de la resistencia disponible.

La falta de precauciones para enfrentarse a situaciones normales ya esperadas, por lo general derivadas de una carencia en las funciones de control, puede ocasionar fallas catastróficas como ha sucedido en los procesos de demolición de estructuras antiguas o dañadas, cuando se quitan de un lugar los apoyos clave sin apegarlos a la secuela lógica de las actividades, o cuan-

do se inducen cambios y sobrecargas durante las modificaciones a las propias estructuras o, en fin, cuando se permite el encender hogueras incontroladas o cuando se registran explosiones a consecuencia, por ejemplo, de choques entre una unidad móvil y una estructura estática. Estas fallas originan complicados juicios legales y hasta acciones penales por negligencia y que no son inevitables: son simplemente desastres originados por el hombre.

Las construcciones efectuadas sobre la superficie del terre no son tan susceptibles de fallas como las aparentemente más peligrosas construcciones subterráneas. Es probable que la explicación se encuentre en el hecho de que por lo general las empresas constructoras u organizaciones que emprenden el diseño y construcción de obras bajo tierra son mucho más experimentadas.

Como corolario se sigue que las construcciones sobre la superficie del terreno requieren hoy en día una supervisión más efectiva y mayor comprensión de los peligros inherentes.

Derrumbes durante la Demolición:

Las estructuras en el proceso de montaje con frecuencia son menos resistentes que cuando ya se encuentran terminadas. De la misma manera, durante la demolición pasan por varias etapas críticas, particularmente si su margen de seguridad es reducido y el deterioro y las modificaciones sufridas han debilitado algunos de sus elementos. Así pues, la demolición de una construcción cualquiera, debe planearse considerando esas dos condiciones.

Muy a menudo, los miembros de contraventeo y los muros de carga se eliminan indiscriminadamente cuando se retiran los equipos de la construcción dejando el cascarón en grave peligro de derrumbarse, pues los muros restantes quedan sometidos a cargas excéntricas y de mayor magnitud que las originales.

Las fallas por flambéo de muros sin apuntalar, es un peligro que se ignora con frecuencia en los trabajos de demolición.

Por lo anterior, es necesario incluir en los reglamentos de construcción una disposición mediante la cual se prohíbe la expedición de permisos para demolición si no se comprueba fehacientemente que el demolidor ha estudiado los antecedentes de la construcción y examinado el inmueble para determinar la naturaleza de los apoyos estructurales existentes.

Se exige la presentación de un plan general en el que se indique la secuencia de las operaciones y suficiente apoyo seguro en cada paso; además, las solicitudes y declaraciones al respe

to, deben ir certificadas por el ingeniero o arquitecto registrados.

Así como las autoridades ordenan la desocupación (evacuación) y la demolición inmediata de construcciones seriamente dañadas y que presentan evidente peligro si se continúan ocupando, también pueden ordenar, en la medida de sus posibilidades y las del país en general, la formulación de dictámenes y recomendaciones sobre la seguridad ante derrumbes de las construcciones importantes localizadas en nuestro territorio

En la medida en que los dictámenes lo señalen y siempre en un plan democrático y justo, para los casos de riesgo grave las autoridades pueden ordenar, dentro de un plazo razonable, refuerzo o la modificación de las construcciones que lo requieran o la demolición de ellas en su caso.

Esta solución no sería radical y que, por algún tiempo por lo menos, los ocupantes de estos edificios seguirían corriendo un riesgo grave; pero, por otra parte, ésta es la única manera de reducir, aunque en forma gradual, el grave riesgo que corren gran número de habitantes de las ciudades de morir aplastados por los derrumbes de las construcciones dañadas durante el proceso de demolición.

Derrumbes por Sobrecarga:

La colocación de placas que indiquen las cargas máximas permisibles en un área dada, ya es una práctica común en casi todas las ciudades; su necesidad se hace evidente al examinar los archivos en que aparecen relaciones de accidentes por fallas ocasionadas por sobrecargas que han sobrepasado el valor último de la capacidad de carga de las estructuras.

Si se sobrecargan, los edificios con pisos de madera tendidos sobre vigas del mismo material, insertadas en muros de ladrillo y mortero de cal y arena, están en peligro de resentir esfuerzos de torsión causados por las vigas curvadas que pueden flambeo los muros y ocasionar un derrumbe intempestivo.

El factor de seguridad normalmente incorporado al calcular los elementos de una estructura permite desde luego una sobrecarga razonable, pero muchas veces esa misma sobrecarga nos revela que en la obra no hubo apego a los planos de construcción puesto que el margen real, actual, apenas resulta suficiente para impedir el derrumbe bajo las cargas de diseño.

Para información de los usuarios, deben fijarse en la estructura placas con una indicación de la carga máxima autorizada y que, durante la vida útil de la estructura, el usuario está obligado a verificar que esta carga máxima no vaya a ser excedida. También el usuario debe ser responsable de observar las reglas del propietario y las condiciones de uso del inmueble.

Derrumbes por Modificaciones:

Los continuos cambios experimentados en todas las actividades humanas, con el correr del tiempo frecuentemente exigen modificaciones de las condiciones físicas de los edificios y, a veces, hasta de los puentes.

Las modificaciones en las estructuras muchas veces existen en el proceso de construcción de la obra, por ejemplo, introduciendo cargas muertas de magnitud considerable, y que no están previstas en los planos.

Muchos de los reglamentos de construcción especifican con claridad que las personas interesadas tienen la obligación de obtener permisos especiales cuando se trata de efectuar en los inmuebles cambios o arreglos que impliquen la remoción o la modificación de cualquier elemento estructural.

Daños ocasionados por Incendios:

Los incendios no se anuncian, por lo que la necesidad de protección contra el fuego se aprende a costa de experiencias muy dolorosas en casos en los que con frecuencia ocasionan pérdidas enormes de bienes materiales y, a veces, hasta de vidas humanas. Las recomendaciones de las compañías de seguros siempre han contado con una gran publicidad y son muy fáciles de obtener: han sido incorporadas prácticamente a todos los reglamentos de construcción.

Sin embargo, los daños ocasionados por incendios constituyen un renglón importante entre los factores negativos de la economía; su frecuencia se debe principalmente al menosprecio de las personas hacia las precauciones aconsejables para evitar los incendios, o bien al optimismo con que se considera el hecho de que un recinto más o menos resistente al fuego reduce, necesariamente, la inflamabilidad de las cosas y materiales contenidos en su interior.

Las altas temperaturas desarrolladas durante la combustión de muebles, enseres y otros diversos materiales inflamables, ocasionan invariablemente daños muy serios, aún a las construcciones protegidas "a prueba de incendios".

Todo lo anterior, constituye una advertencia muy seria de la necesidad que existe de verificar una reevaluación de los reglamentos que ordenan la implantación de medidas y procedimientos de protección contra los incendios y, al mismo tiempo, una estimación de los volúmenes de materiales inflamables contenidos en un determinado inmueble.

Derrumbes por Sismo:

Los sismos han destruido la vida y los bienes materiales de de que el hombre habita la tierra. Los efectos geológicos de un sismo son generalmente dramáticos.

Dentro del campo de la ingeniería civil, los efectos de los sismos se observan principalmente en edificaciones y en instalaciones públicas.

El sismo sacude el suelo subyacente en todas direcciones, y la inercia del edificio resiste el movimiento. Si el edificio es bastante resistente y flexible, se moverá junto con el suelo. Las fuerzas de inercia lo deformarán y posiblemente lo dañarán, pero el edificio se sostendrá. Si el edificio carece de suficiente resistencia o ductilidad puede ser seriamente dañado o aún destruido.

La aceleración del suelo es la medida más importante del movimiento sísmico desde el punto de vista de la ingeniería civil ya que se relaciona directamente con la fuerza sísmica transmitida a la estructura.

Para medir grandes aceleraciones del suelo, existen instrumentos llamados acelerógrafos, los cuales se colocan en una zona de movimientos intensos antes de que ocurra un sismo.

Hubo una serie de características peculiares en el movimiento sísmico de los terremotos de septiembre de 1985 y en la respuesta dinámica de los suelos y de las estructuras, que requieren un replanteamiento general de los métodos de construcción, y de nuestros reglamentos, así como la creación de mecanismos -

más estrictos de supervisión y control de calidad en la ejecución de las construcciones.

Particularidades del Diseño Sísmico:

En general las estructuras se diseñan para cargas especificadas por el reglamento, con la confianza de que pueden cumplir su función soportando repetidamente sus cargas de servicio sin sufrir el más ligero daño estructural.

El diseño sísmico es diferente al reglamento de diseño. Las fuerzas reales de inercia impuestas a la estructura por un fuerte sismo pueden exceder en mucho a las fuerzas laterales de diseño especificadas por el reglamento sísmico.

La intención del reglamento sísmico es lograr una estructura que soporte un sismo menor sin daño alguno, un sismo moderado con daño estructural despreciable, y un sismo mayor sin peligro alguno para la vida humana.

En la obra de construcción casi nunca se alcanza una perfección completa, y en lugares en donde la mano de obra es escasa y la época de construcción es bastante corta, tal perfección no debe esperarse jamás. Por lo tanto, los detalles del diseño sísmico deben elaborarse de tal manera que la continuidad de la estructura, las uniones y resistencia al esfuerzo cortante no resultan de gradadas por las prácticas locales de construcción.

Importancia de la Ductilidad en obras de Concreto Reforzado:

El concreto reforzado tiene algunas características que mejoran su capacidad para resistir fuerzas sísmicas, y otras que son perjudiciales. El diseñador capacitado tomará ventaja de las buenas y minimizará aquellas que son inconvenientes.

Tal vez la mayor ventaja de la construcción a base de concreto reforzado es la continuidad. Si un componente falla, la carga es transferida a otros componentes y la estructura se sostiene.

Para aprovechar los beneficios ofrecidos por la continuidad, una estructura debe tener ductilidad. El término ductilidad se utiliza mucho, pero a menudo se emplea mal o se interpreta mal.

Ductilidad significa la capacidad de los elementos individuales de una estructura para deformarse en forma permanente sin sufrir una pérdida importante de resistencia. La inversión fortuita de las fuerzas laterales de inercia que se desarrollan en una estructura durante un sismo producen inversión de la fuerza y de la deformación en los elementos estructurales. Por lo tanto, para ser clasificada como dúctil en el diseño de estructuras resistentes a sismos, la definición anterior se debe ampliar para incluir la inversión de la deformación.

El comportamiento dúctil se obtiene más comúnmente en los elementos de concreto reforzado al diseñarlos de tal modo que cedan por flexión durante condiciones de sobrecarga. En general, los porcentajes del refuerzo se mantienen muy abajo del porcentaje de refuerzo balanceado, así que pueden ocurrir grandes ro-

taciones por flexión y se puede lograr una redistribución importante de cargas dentro de la estructura sin causar trituration del concreto en la zona de compresión por flexión.

Las fallas frágiles, esencialmente opuestas al comportamiento dúctil, se deben evitar. Los modos de falla frágil más comunes son el cortante, trituration por compresión o una combinación de ambos.

Si un diseñador pretende obtener una estructura dúctil es necesaria una cuidadosa planeación. Ciertamente es posible, y algunas veces conveniente, diseñar una estructura que contenga tanto elementos dúctiles como frágiles. Los elementos frágiles que tienen dimensiones y rigidez apropiadas se podrían utilizar para reducir los desplazamientos laterales de la estructura durante sismos pequeños y moderados.

Al considerar un sismo mayor, el diseñador de una estructura deberá suponer que sus elementos frágiles fallarán. Por lo tanto, sus elementos dúctiles se deben diseñar de tal manera que se evite el colapso total de la estructura.

Conservación de la Ductilidad durante un Sismo:

Lograr y mantener el comportamiento dúctil de una estructura durante un sismo no siempre es fácil. Algunas veces los elementos que fueron diseñados para ser dúctiles se vuelven frágiles debido a la adición de elementos no estructurales. Un clásico ejemplo es el de crear una columna corta por la adición de muros no estructurales, tal como se muestra en la Fig. V.1. Tales muros se utilizan comúnmente como muros perimetrales.

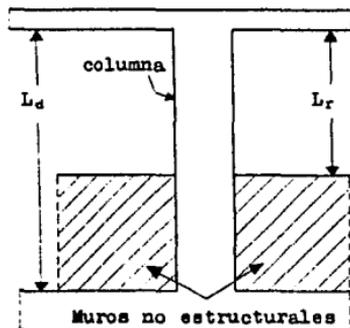


Fig. V.1.

$$\text{Cortante de diseño} = \frac{M_{sc} + M_{bc}}{L_d} \dots A$$

$$\text{Cortante real} = \frac{M_{sc} + M_{sm}}{L_r} \dots B$$

en donde:

M_{sc} = Momento en la parte superior de la columna

M_{bc} = Momento en la base de la columna

M_{sm} = Momento en la parte superior del muro

L_d = Longitud de diseño

L_r = Longitud real.

El cortante de diseño de la columna normalmente se determina ría mediante la suposición de la formación de articulaciones de flexión en la parte superior y en la base de la columna (expresión "A" de la figura V.1). Sin embargo, la adición de muros esencialmente acorta la columna, y las articulaciones de flexión se aproximan más una a otra. Por lo tanto, el cortante real requerido para generar el mecanismo de flexión (expresión "B" de la figura V.1) puede exceder la capacidad de resistencia al cortante de la columna y puede ocurrir una falla frágil.

En general, el diseñar articulaciones de flexión en columnas no es un procedimiento aconsejable. La mayoría de los reglamentos de construcción recomiendan una filosofía de diseño de "columna fuerte-viga débil". Esto significa que las vigas deben ceder y producir articulaciones de flexión antes de que las columnas cedan. El mecanismo de colapso potencial preferido sería similar al indicado en la figura V.2.

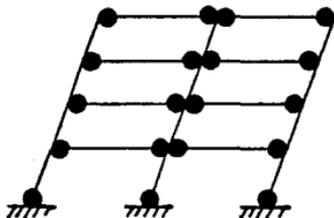


Fig. V.2.

Sin embargo, debido a los efectos dinámicos, el efecto de articulación en la columna no puede ser eliminado por completo y se debe considerar anticipadamente en la base de las columnas del primer nivel.

Si se permite el efecto de articulación en la columna, se puede crear un mecanismo de piso, así como se ve en la Fig. V.3.

En este caso toda la energía debe ser absorbida por relativamente pocos elementos, lo contrario a la participación de varios elementos si se desarrolla un efecto de articulación de viga. Un ejemplo del mecanismo de piso es el concepto de diseño de "primer nivel de piso blando".

La idea era que toda la actividad inelástica estaría limitada al primer nivel de piso, y la parte superior de la estructura estaría esencialmente aislada de las fuerzas de inercia grandes. Si se quiere que este concepto tenga éxito, las columnas del primer nivel de piso necesitan ser muy dúctiles.

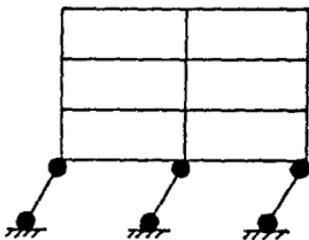


Figura V.3.

Importancia del acero de refuerzo transversal:

La experiencia puntualiza dos hallazgos importantes. Primero, si se utiliza el concepto de primer nivel de piso blando, son probables grandes desplazamientos permanentes durante sismos mayores. Segundo, cuando el efecto de articulación de flexión se anticipa en columnas o vigas, se requiere un refuerzo transversal poco espaciado y apropiadamente dimensionado que son los anillos o estribos, espirales para conservar las capacidades para soportar la carga axial y de cortante de un elemento.

Los requisitos del reglamento de construcciones para acero de refuerzo transversal poco espaciado en zonas en que se prevé el efecto de articulación de flexión, a menudo originan problemas de construcción. El ejemplo más claro sería una conexión viga-columna en un marco resistente a momento.

En la conexión se requiere un gran porcentaje de acero de refuerzo transversal para que cumpla tres funciones:

- 1.- Debe confinar el acero longitudinal de la columna y el núcleo de concreto para permitir la transmisión de la carga axial de la columna de piso a piso.
- 2.- Debe ayudar a resistir las grandes fuerzas cortantes que se produzcan en la conexión.
- 3.- Debe confinar el concreto de la unión y crear las condiciones necesarias para el surgimiento de los altos esfuerzos de adherencia que actúan a lo largo de las varillas longitudinales de la viga y la columna.

Daños ocasionados por el viento:

Es de esperarse que en ciertos casos las tormentas que alcanzan intensidad de huracán, tornado o tifón causen daños considerables a las estructuras, a pesar de que éstas pueden diseñarse por procedimientos bien conocidos, para resistir perfectamente las fuerzas desarrolladas en esos fenómenos, excepto, tal vez, cuando se trata de un impacto directo.

De cualquier manera, las presiones normales del viento no debieran ser causa de este tipo de incidentes, que, además, se repiten con demasiada frecuencia. Muchos edificios, principalmente entre los de peso ligero, así como puentes y torres han fallado bajo vientos de velocidad normal en las zonas de su ubicación.

El estudio de la resistencia para cargas producidas por el viento, requiere muy especialmente la consideración del hecho de que las fuerzas producidas por éste, no son presiones horizontales uniformes. La succión, el levantamiento y la torsión son la causa principal de la mayoría de los daños.

La presión del viento es una carga de proyecto muy importante en el caso de las estructuras altas. La magnitud, frecuencia y distribución de las cargas de viento depende de varios factores y solamente hasta hace pocos años se ha obtenido una información detallada.

La variación de la velocidad del viento con respecto a la altura depende de lo accidentado del terreno que rodea la estruc-

tura y de la temperatura de las masas de aire que actúan. Varios techos y muros ligeros han fallado a causa de la succión o presión producida por el viento.

El volteo producido por el viento es un fenómeno interesante; si una estructura esbelta, como una chimenea, no se ancla correctamente, puede volcarse. Como las ráfagas fuertes actúan solamente durante períodos de tiempo muy cortos, parece que la causa de volteo no se debe a las ráfagas, sino a las presiones constantes del viento de duración suficiente. Por tanto, se usa un factor de seguridad relativamente pequeño contra el volteo de la estructura. Parece que es suficiente asegurar que el momento de volteo no exceda aproximadamente de un 70 por ciento del momento estabilizador debida a la carga muerta.

Es muy posible diseñar y construir estructuras lo suficientemente fuertes como para resistir las fuerzas de los huracanes, tifones y tornados, pero, salvo en lo referente a ciertos tipos de construcción crítica, no es económicamente recomendable. Sin embargo, la magnitud de los daños se puede reducir cuanto se quiera, mediante análisis o estudios empíricos de algunos de los resultados de esas fuerzas naturales.

Un estudio paralelo de los daños causados por vientos fuertes que sí se pueden evitar, podría señalar los errores de diseño y de construcción, lo que reduciría en forma considerable tanto la magnitud de los daños como los riesgos que corren las compañías de seguros y además sería una guía muy efectiva en la prevención de fallas y accidentes.

Cada uno de los accidentes o colapsos de las estructuras es una seria y directa acusación en contra de la capacidad de diseño y de construcción de las personas que intervinieron en el caso. Por ejemplo, las fallas de las cimentaciones sólo tienen un rasgo común: que a menudo las estructuras vecinas bien construidas resultan afectadas provocando litigios engorrosos y demandas costosísimas por daños y perjuicios.

En este capítulo, se analizan brevemente algunos daños y -perjuicios más frecuentes en las obras de ingeniería civil. Primeramente hay que decir que un daño en obra es la deformación o mal comportamiento que presenta una estructura ya construida o en el período constructivo, mientras que un perjuicio es el efecto o resultado del daño.

Daños por vicios de Construcción:

En nuestro país, en el aspecto de ejecución de la industria de la construcción las causas más probables de daños son por un ambiente generalizado de vicios de construcción. En algunos casos los daños se deben a una combinación de diseños apenas suficientes y una ejecución poca cuidadosa de la obra.

Los daños por vicios de construcción más frecuentes son:

- 1.- Modificaciones hechas en la obra sobre los planos de contrato,
- 2.- Desviaciones del contenido de planos y especificaciones de

- diseño de la estructura por parte del contratista,
- 3.- Supervisión y ejecución defectuosas y
 - 4.- Rediseños estructurales hechos por el constructor para ahorrar materiales.

Estos hechos reflejan la deshonestidad y negligencia del contratista, utilizando por consiguiente, materiales de mala calidad que no cumplen con las especificaciones de diseño. Ya en el capítulo II se describió el uso y abuso del "alambrón recocido" de un cuarto de pulgada, que por su fácil habilitación, se ha usado indiscriminadamente en las construcciones de este país.

En el terreno de la construcción especulativa, en algunos casos se ha comprobado que, los planos estructurales son elaborados por los dibujantes del arquitecto partiendo de croquis proporcionados por el ingeniero, quien los firma sin verificar los dibujos o planos estructurales terminados.

Por otra parte, la resistencia especificada de diseño del concreto (f'_c), no sea la indicada, por falta de un control riguroso en plantas mezcladoras comerciales y dosificadoras, quienes por lo regular proporcionan un concreto cuya resistencia es menor que la de diseño.

En cuanto al colado y vibrado del concreto en los "nodos" de edificios reticulares, a veces resulta difícil colocarlo en forma adecuada, por lo que quedan oquedades que muchas veces no se detectan en la obra terminada.

Por la dificultad de colado y vibrado del concreto en los "nodos", se remueven o se quitan barras de acero de refuerzo en

forma totalmente irresponsable por personas no calificadas, quienes ocultan las deficiencias con el colado de estos puntos, y que pasan inadvertidas para todos, excepto para estas personas que hacen el trabajo directamente.

Todo lo anterior, implica la existencia de un vicio generalizado en las construcciones en México: la falta de una supervisión permanente, estricta, y altamente responsable.

Daños y Accidentes a personas físicas:

Para evitar daños y accidentes a personas físicas, el director responsable de obra tomará las precauciones necesarias y racionales y así, proteger la vida y la salud de los trabajadores y de cualquier otra persona física a la que pueda causarse daño, directa o indirectamente con la ejecución de la obra.

Al efectuarse la excavación de las colindancias de un predio deberán tomarse las precauciones que sean necesarias para evitar el volteo de los cimientos adyacentes, así como para no modificar el comportamiento de las estructuras colindantes; y para proteger a los transeúntes.

Daños a Estructuras Colindantes:

Ha sido muy elevado el número de casos en que los choques entre edificios colindantes han producido daños, generalmente locales o en los revestimientos, pero que en ocasiones han dado lugar a debilitamiento de la estructura o a la falla de uno o más pisos, e al colapso completo.

En un gran número de edificios no se respetaron los requisitos de separación con respecto a la colindancia, del artículo 244 del Reglamento del D. F. En otros, el espacio entre edificios se encuentra ocupado por materiales de construcción como pedazos de madera, ladrillos y piedras, que propician choques y daños locales a las estructuras vecinas.

En este tipo de daños a estructuras colindantes se han observado casos muy graves por la absoluta falta de uniformidad en la altura de entrepisos y el muy escaso espaciamiento en las colindancias entre las estructuras.

En construcciones nuevas es imperativa la observancia del requisito de separación. Las fuerzas laterales más elevadas para las que deben ahora calcularse los desplazamientos conducen a que las estructuras sean más rígidas.

En construcciones existentes el cumplimiento de los requisitos de separación puede lograrse con una rigidización significativa que reduzca drásticamente los desplazamientos laterales. En otros casos podrá ser suficiente tomar precauciones para que los choques no produzcan daños, por ejemplo con materiales que amortigüen el impacto o con refuerzo local en las zonas de posible contacto. Para disminuir la probabilidad de estos eventos, los estudios y análisis no deben limitarse a la extensión del predio en que se va a construir sino extenderse a las cimenta--

ciones vecinas.

Debe prestarse mayor atención que la que ha sido usual a la compatibilidad de los sistemas de cimentación de construcciones colindantes. Los movimientos debidos a interacciones entre sistemas incompatibles debilitaron numerosas construcciones o redujeron la separación entre las mismas ocasionando daños estructurales importantes por impacto.

Daños por Apuntalamiento:

Al proveer apuntalamiento alrededor de una columna o muro dañados, hay que considerar los esfuerzos que se transmiten en el apoyo de los puntales y que pueden provocar la falla o daños todavía más graves por cortante de las vigas y losas que los reciben. Por ello, en general se debe repartir la carga de estos elementos estructurales en varios pisos y de preferencia llevarla hasta la cimentación.

Daños por Hundimientos Diferenciales:

En estructuras hiperestáticas los hundimientos diferenciales introducen fuerzas internas que pueden sumarse a las producidas por los efectos sísmicos; por tanto, una construcción que haya sufrido hundimientos diferenciales significativos puede ver afectada su capacidad para resistir los efectos sísmicos.

En caso de estructuras relativamente frágiles como la mampostería con poco o nulo refuerzo, el agrietamiento diagonal debido al hundimiento, puede reducir significativamente la resistencia a cargas laterales. En caso de estructuras de comportamiento más dúctil el efecto más perjudicial de los hundimientos diferenciales es la reducción de la capacidad de rotación inelástica de la estructura, y por tanto de la posibilidad de disipar la energía del sismo mediante deformaciones inelásticas.

Es necesario evaluar el grado en que los hundimientos puedan haber afectado sea la resistencia a cargas laterales o la ductilidad al proyectar el refuerzo, y tomar medidas en la cimentación para evitar que el daño por este factor se agrave.

Particular atención debe prestarse a los efectos que la inclinación de un edificio debida a hundimientos tienen en la respuesta ante sismos. Se incrementan tanto las fuerzas laterales y se reduce la ductilidad debido a que se acumulan las deformaciones inelásticas en los ciclos sucesivos de vibración.

Debe prestarse atención especial a las heterogeneidades del subsuelo que pueden dar lugar a asentamientos diferenciales que debilitan considerablemente la capacidad de carga del terreno de cimentación y provocar graves daños a las construcciones ante sollicitaciones sísmicas.

Daños por cambios de temperatura:

Todas las estructuras cambian de dimensiones al variar la temperatura, por lo que los factores térmicos siempre se deben considerar al proyectar, diseñar y construir obras de ingeniería civil.

Las dilataciones de los elementos estructurales y arquitectónicos no son iguales, por lo que al usar sujeciones rígidas se producen cuarteaduras que dañan la funcionalidad de la estructura.

Para evitar las grietas provocadas por los cambios térmicos, se pueden usar juntas de dilatación con selladores que sean compatibles con las deformaciones de los materiales con los que va a estar en contacto.

El uso del acero de refuerzo para cambios de temperatura en estructuras de concreto, también es indispensable, porque el concreto no resiste los esfuerzos de tensión originados por la dilatación, y porque la dilatación térmica es prácticamente igual en el acero y el concreto.

También se desarrollan esfuerzos por cambios de temperatura si se unen entre sí materiales con coeficientes de dilatación muy diferentes (por ejemplo, acero suave y acero inoxidable). En los proyectos de grandes estructuras se acostumbra diseñar juntas de dilatación que permitan que la estructura "respire" cuando haya variaciones de temperatura o de las contracciones, sin deformar ni agrietar la estructura.

C A P I T U L O V I I

CONCLUSIONES

72

Corresponde a las autoridades del Distrito Federal, a las estatales, las federales, y a los institutos de investigación sobre materiales de ingeniería, tomar medidas y dictar disposiciones, elaborar los estudios y las investigaciones, y divulgar estos conocimientos y resultados, para reducir al mínimo los perjuicios de desastres naturales y originados por el hombre y aprovechar las lecciones que éstos nos han aportado.

Es importantísimo que se realicen las publicaciones sobre los daños y los colapsos sufridos por edificaciones, y que no se proceda a demoler o a reparar edificios dañados si no se ha hecho una investigación cuidadosa de los daños, la que debe que dar registrada en un archivo permanente y accesible, dedicado a estos fines.

Me parece lógico afirmar que no todos los trabajos se planean con la misma meticulosidad y que cualquier indicación acerca de las causas de falla de algunos de ellos, debe prevenirnos para evitar situaciones semejantes.

Tanto en lo legal como en lo puramente económico, los altos costos de los accidentes en las obras han contribuido en gran medida a lograr una mejor planeación, pero aún hay mucho por hacer en lo que respecta al adiestramiento del personal para planear y ejecutar las obras correctamente.

Debemos recordar que los proyectistas y también los constructores tienen que meditar y razonar con todo cuidado sobre el comportamiento estructural, la transmisión de cargas y las acciones y reacciones de los materiales en las obras que proyectan y construyen.

El uso de sistemas simples o complejos, y de manuales que ofrecen resultados ya listos para aplicarse, aunque reducen los costos y los tiempos de proyecto, pueden resultar peligrosos si no se analiza cuidadosamente la aplicabilidad de esos auxiliares del proyecto, y se tiene la seguridad de que corresponden en forma adecuada al caso que se está considerando.

Hasta la fecha, el orgullo nacional no es obstáculo para recurrir a técnicos de otros países cuando es necesario; y esto se aplica tanto a los países industrializados como a los subdesarrollados. Aquí cabe mencionar que, la decisión del rey Salomón de poner la dirección de la construcción del Templo de Jerusalén en manos extranjeras demuestra el hecho de que los antiguos reconocieran la necesidad de contar con personas de talento para la construcción de sus obras.

Por último, mis conclusiones finales sobre esta tesis son - las siguientes:

- 1.- Los particulares y las autoridades debemos tomar conciencia clara, definida y permanente de los graves riesgos de colapsos o daños que ocasionan los sismos u otras causas, y de las pérdidas de vidas y perjuicios a la economía que ellos provocan.

- 2.- Es urgente modificar de inmediato los reglamentos de construcción con base no sólo en las experiencias de los últimos sismos, sino en las recomendaciones de los estudios urbanísticos sobre densidad máxima de las construcciones, distribución de espacios, vialidades y transporte, y uso del suelo. Sin llegar a la arbitrariedad de las leyes retroactivas; las disposiciones deben tomar en cuenta tanto las construcciones ya en servicio como las que se edifiquen en el futuro.
- 3.- La estructuración de la losa plana, aligerada o maciza, no es adecuada en regiones sísmicas, a menos que se disponga de muros "de cortante", diseñados adecuadamente en su posición y en su resistencia; o bien, en algunos casos, que se cuente con ábacos del peralte adecuado, o con capiteles tronco-cónicos o tronco-piramidales de las columnas.
- 4.- Es necesario hacer más estricta la supervisión de la ejecución de las obras y eliminar a los "firmones", y para esto, es indispensable la actualización de licencias y del registro de directores responsables de obra.
- 5.- Conviene crear en el público en general, y en los profesionistas en particular, la conciencia de que los buenos proyectos, como las supervisiones adecuadas, son costosos; pero que, por los resultados posteriores, son mucho más costosos los malos proyectos y supervisiones y los de máximo costo son los que no se hacen en lo absoluto.

Porque la seguridad en una obra de ingeniería civil es algo más que la mera ausencia de fallas o derrumbes. Es un asunto que concierne a todos.

75 ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

R E F E R E N C I A S

- 1.- Jacob Feld.,
"Fallas Técnicas en la Construcción",
Editorial Limusa, S. A. 1978.
- 2.- Richard N. White, Peter Gergely, Robert G. Sexsmith,
"Ingeniería Estructural", Vol. 1 y 3,
Editorial Limusa, S. A. 1980.
- 3.- Roberto Meli Piralla,
"Diseño Estructural",
Editorial Limusa, S. A. 1985.
- 4.- "Revista INCYC", No. 170, Vol. 23, Junio de 1985.
- 5.- "Revista INCYC", No. 174, Vol. 23, Octubre de 1985.
- 6.- "Revista INCYC", No. 175, Vol. 23, Noviembre de 1985.
- 7.- "Revista INCYC", No. 178, Vol. 24, Marzo de 1986.
- 8.- "Revista INCYC", No. 179, Vol. 24, Abril de 1986.
- 9.- "Revista INCYC", No. 181, Vol. 24, Junio de 1986.