

55
2ej.



Universidad Nacional Autónoma de México

Escuela Nacional de Estudios Profesionales

" A R A G O N "

**ALGUNOS CRITERIOS PARA LA REPARACION
DE ESTRUCTURAS DAÑADAS DE
CONCRETO REFORZADO**

T E S I S

Que para obtener el Título de:

I N G E N I E R O C I V I L

P r e s e n t a:

MIGUEL RANGEL LOZA

San Juan de Aragón

1988



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.

I N T R O D U C C I O N

Debido a la importancia que ha adquirido la combinación de concreto con acero de refuerzo en la ingeniería estructural, así como el incremento y la diversidad de sus aplicaciones, se han generado una variedad muy grande de problemas con los elementos de concreto reforzado, que van desde una pequeña fisura hasta el colapso total de una estructura.

En este trabajo se propone realizar una presentación de los daños más comunes que se presentan en los elementos de concreto, sus características y su forma de reparación, para lo cual, se clasificarán como daños estructurales, los problemas del concreto, que no ponen en peligro la estabilidad de un elemento o de una estructura en su conjunto y como una falla estructural los problemas que ponen en peligro de colapso a la estructura o alguno de sus elementos.

En el primer capítulo se presentan las variables que intervienen en las diversas etapas para la elaboración de un proyecto tales como; análisis de acciones, análisis estructural, diseño estructural, acciones accidentales

y los problemas inherentes al proyecto arquitectónico y la etapa de construcción.

Así como una reseña de los fundamentos e hipótesis en que se basa cada una de las actividades del proyecto, se hace énfasis en el carácter aleatorio de muchas variables, como las cargas vivas, los efectos de sismo, viento y de hundimientos diferenciales, así como también, la relativa imprecisión para determinar la resistencia de los elementos a momento flexionante, fuerza cortante y torsión, tomándolos como las acciones internas más importantes de los elementos estructurales y considerándolos cada una por separada.

En el segundo capítulo se hace un análisis detallado de los daños en los diferentes elementos estableciendo su posible causa, su forma de manifestarse y los problemas que ocasiona a la estructura. En el tercer capítulo se expone las soluciones para los daños presentados en el segundo capítulo, su forma de reparación, los materiales, y la maquinaria o herramienta necesaria para efectuar la aplicación de la reparación, y lo que se espera de ella.

En el cuarto capítulo se presentan las reparaciones más usuales en las fallas estructurales, que por sus características ponen en peligro la estabilidad la estructura; reparación de trabes, columnas, zapatas, losas, cimentaciones, nivelaciones, estructuraciones para resistir fuerzas sísmicas, -

etc., su forma de aplicación y sus ventajas y desventajas, se analiza también los resultados que se pretenden obtener de -- una reparación, la forma de analizarse y los problemas inherentes a la reparación.

Finalmente se concluye con algunas recomendaciones generales para disminuir el riesgos de falla, empleando es estructuras regulares, bien definidas y haciendo énfasis en lograr en la construcción las consideraciones hechas durante el diseño, como son elementos y estructuras cuya comportamiento se su pone ductil.

INDICE

INTRODUCCION

CAPITULO I.- CAUSAS DE LA FALLA DE LAS ESTRUCTURAS.

1.1 Introducción	10
1.2 Diseño.....	11
1.3 Cargas muertas.....	12
1.4 Cargas vivas.....	13
1.5 Cargas accidentales.....	18
1.6 Resistencia de los elementos.....	26
1.6.10 Construcción.....	43

CAPITULO II.- DAÑOS EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO.

2.1 Introducción.....	54
2.1.1 Expansión alcali-agregado.....	54
2.1.8 Daños debidos al fuego.....	60
2.1.14 Explosiones.....	64

CAPITULO III.- FORMAS RECOMENDABLES DE REPARACION DE DAÑOS.

3.1 Técnicas de la reparación.....	65
3.2 Materiales de reparación.....	72

CAPITULO IV.- REPARACION DE FALLAS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES.

4.1 Introducción.....	81
4.2 Tipos de reparación de estructuras de concreto reforzado.....	89
4.3 Reparaciones generales.....	105
Conclusiones.....	119
Bibliografía.....	125

CAPITULO 1. CAUSAS DE FALLAS EN LAS ESTRUCTURAS

1.1 INTRODUCCION.

Para efectuar cualquier proyecto estructural es necesario realizar determinadas actividades que se podrían resumir en dos fundamentalmente: el diseño y la construcción.

A la vez, en el diseño intervienen otras actividades diferentes substancialmente entre sí; la evaluación de las acciones, el análisis del comportamiento de la estructura ante la aplicación de las acciones y el dimensionamiento de los elementos que la constituyen.

Se expone a continuación las características particulares de cada etapa, así como la manera en que pueden influir en una estructura para que fallara, se define la naturaleza del diseño, algunos errores comunes al evaluar las cargas muertas y las cargas vivas, la incertidumbre al considerar los valores de las cargas accidentales, por otra parte se mencionan las hipótesis principales para la evaluación de la resistencia de los elementos por momento flexionantes, fuerza cortante y torsión. Todo esto como las partes integrantes del diseño estructural.

El otro punto de influencia determinante en la posible falla de una estructura, es la construcción; se presentan algunos de los errores en los que se puede incurrir debido principalmente a la cantidad de factores de características diferentes que intervienen en dicho proceso.

1.2 DISEÑO.

Quando se elabora un proyecto de diseño estructural el objetivo es producir estructuras que brinden el mejor rendimiento, esto es que sea racional, que se apoye en una evolución cuantitativa de los costos y las consecuencias de una eventual falla, así como los parámetros que rigen el comportamiento estructural y los límites de seguridad. Esto implica un conocimiento de la causa y del proceso de como actúa dicha causa sobre una estructura (cargas, deformaciones impuestas, desgaste, etc.) y respecto a las que rigen las respuestas de las estructuras de concreto reforzado. (Resistencia del concreto, esfuerzo de cedencia del refuerzo, capacidad a la tensión diagonal).

La resistencia y las acciones que intervienen en el diseño son variables aleatorias y es imposible fijar un límite inferior a la resistencia y un límite superior a la mayoría de las perturbaciones. En consecuencia la probabilidad de que una estructura falle durante un determinado período de tiempo es mayor que alguna cantidad finita, de lo que se deduce que toda estructura fallará al menos que se derribe intencionalmente por lo que el objetivo del diseño no es evitar la falla sino darle seguridad en un período de tiempo. El estudio de ruinas y estructuras que existen indica que la vida media de las estructuras es de siglos, y por lo tanto, suficientemente corza para tomar en cuenta la certidumbre de la falla en el diseño.

Quando se trabaja sobre un diseño se intenta optimizar resultados tomando en cuenta los beneficios que se van a obtener mientras sobrevive la estructura, los costos de mantenimiento y las probabilidades de que la estructura sufra daños o fallas en función del tiempo, a su vez, las consecuencias del daño y de la falla incluyen factores invaluable, como la pérdida de vidas humanas o en algunos casos pérdida de prestigio. Desde luego se ha visto que la falla estructural no es solo

una posibilidad sino en cierto sentido una certidumbre, las causas de falla ocasionadas por el diseño encuentran su origen en la incertidumbre de dos parámetros importantes, las cargas o acciones y la resistencia de los materiales. Veremos ahora como pueden influir las cargas estáticas y cargas accidentales en un diseño.

1.3 CARGAS MUERTAS.

Existe la creencia muy difundida de que las cargas muertas se calcularon por lo general con un alto grado de presión en las estructuras, esto es erróneo, las razones más comunes para que se produzcan excesos en las cargas muertas reales con relación a sus valores calculados son:

- a) Los espesores reales casi siempre exceden sistemáticamente sus valores nominales. Esto se debe a que es más sencillo añadir que quitar material cuando hay que compensar defectos, factores como la capa de mortero que se usa a menudo antes de colocar los pisos para compensar las irregularidades debidas al acabado superficial, flechas o inclinación, normalmente producen aumentos en los espesores. En un caso se observó un aumento quíntuple con respecto a los valores especificados y aún con buena mano de obra, no son raros los aumentos en 2 cm. en promedio sobre los espesores especificados de 4 cm. y esto mismo ocurre en los enyesados.
- b) Es casi seguro que el diseñador no tome en cuenta porciones menores de elementos estructurales y no estructurales, un ejemplo típico es el mortero que cae dentro de los ladrillos huecos y bloques cuando se esta construyendo aproximadamente con 40 Kg/m² en muros y tabiques con espesores nominales de 12 cm.

- c) Presentandolos como una ventaja de sus productos algunos fabricantes pretenden que sus pesos unitarios son menores que los promedios reales y los pesos que dan solo se obtienen por muestras secadas al horno.
- d) Generalmente durante un diseño se hacen algunos cambios arquitectónicos que provocan grandes discrepancias en las cargas reales y las de diseño.

Hay casos en que una deficiencia en la estimación de la carga muerta puede poner en peligro la funcionalidad o la estabilidad de la estructura. El manejo de la probabilidad sería una herramienta importante para reducir riesgo, o más bien para establecer intervalos confiables. Por ejemplo si diseñamos para un valor de carga determinado tendríamos que realizar una doble revisión, uno para una carga muerta mayor y otro para una carga muerta menor, sería más conveniente analizar los valores "característicos" que los porcentajes de aumento o disminución, es decir, valores que dependan de las funciones de distribución de probabilidades de la carga muerta, tal como el 95% de los límites de confianza. El coeficiente de variación de las cargas muertas puede expresarse por medio de los datos publicados sobre dimensiones lineales y pesos unitarios.

1.4 CARGAS VIVAS.

1.4.1 Cargas vivas en edificios de oficinas y departamentos.

Se ha dado especial atención a las cargas vivas de los edificios de departamentos, hospitales y oficinas. De los datos que se dispone se han deducido las reglas siguientes para evaluar las cargas:

- a) Cuando no se considera la posibilidad de reuniones sociales en las que se baile.

$$W_d = W_o (1 + cf A)$$

donde W_d , es la carga viva de diseño por área unitaria, W_o es una carga viva que depende del uso, f es un coeficiente que tiene unidades de longitud y depende del tipo de uso y de la probabilidad de falla admisible y A es el área de la superficie donde las ordenadas de la superficie son más considerables, y c depende de la forma de la superficie.

- b) Cuando se toma en consideración la posibilidad de que se baile W_d no debe ser menor que el valor dado por la ecuación anterior ni menor que una carga viva por unidad de área, digamos W_1 , independiente de A .

Si se toma A como el área tributaria en el sentido usual se encuentra que c está entre 1.0 y 1.2 en la mayor parte de los casos de interés práctico, resulta adecuado suponer $C = 1.2$.

En el caso de que una condición de carga menos favorable sea la ausencia de carga viva sobre parte del área, se debe tomar dicha condición en el diseño, ya que la probabilidad de que la carga viva sea cero durante cualquier período de tiempo y sobre cualquier área es mucho mayor que la probabilidad de que una carga grande exceda en dicha área en el mismo período. Es adecuado en vigas continuas sometidas a carga viva considerar los distintos efectos por el cambio de posición de la carga a lo largo de la viga. Por lo tanto hay que dimensionar las vigas a partir de la envolvente de elementos mecánicos, correspondientes a las distintas condiciones que se pueden presentar.

También en las losas reforzadas en 2 direcciones cuando la relación de carga viva a carga muerta es elevada, se pueden producir momentos flexionantes negativos cerca del centro del tablero, esto se presenta principalmente en tableros alargados que tienen una carga viva grande.

Se justifica una reducción de la carga viva cuando se diseñan las estructuras contra sismo ya que la probabilidad de que suceda un sismo de máxima intensidad y que la carga viva sea máxima en ese instante es pequeña, lo mismo para viento, También cuando en suelo se consolida lentamente porque lo afecta más la carga promedio que una carga máxima con el paso del tiempo

1.4.2 Cargas vivas en los techos.

El diseño de los techos esta regido por los sismos, el viento, las personas y ocasionalmente el almacenamiento de materiales, la lluvia o el granizo. Según el reglamento de construcciones del Departamento del Distrito Federal las cargas vivas en los techos horizontales no debe ser menor que 100 Kg/m², ni menores que una carga uniforme que exprese la posibilidad de obstruir el drenaje del techo o cuando se siguen ciertas técnicas de construcción.

En lugares donde hay nevadas abundantes las cargas de nieve o de granizo en su caso rigen el diseño pero los datos estadísticos respecto a los espesores de las precipitaciones pueden conducir a graves errores en el diseño de las cubiertas.

1.4.3 Cargas vivas en auditorios, escaleras y corredores.

Las cargas vivas especificadas para teatros, auditorios y otros lugares donde pueden reunirse grandes grupos de gente se basan en una información menos extensa. En el reglamento de construcción del Departamento del Distrito Federal se especifica una carga viva máxima de --- 300 Kg/m².

Generalmente se usan cargas vivas muy altas y en estos lugares, solo pocas veces se encuentran esas cargas, casi siempre la carga viva es cero o muy pequeña, cuando se olvida esto y se usan las altas carga especificadas para el diseño estructural, cuando se calculan asentamientos o cimentaciones el resultado puede ser grave, por ejemplo en 2 salas de cine donde se han producido grandes diferencias de asentamientos, quedando el centro a mayor elevación que la periferia y produciéndose grandes daños estructurales.

1.4.4 Cargas para bodegas.

Existe la tendencia a almacenar las cargas más pesadas en los pisos inferiores y al determinar las cargas de diseño con el supuesto uso al que están destinados, se considera del 80 al 100% de la carga viva máxima posible, en función del peso unitario nominal de los materiales que se van a almacenar y del volúmen nominal de almacenamiento, aunque este procedimiento es razonable no debe perderse de vista que existen patios de almacenamiento sin techo o con techo tan elevado que es improbable que lleguen a estar llenos, puede almacenarse un material diferente del que se supuso en el diseño, y lo mismo pasa en algunos tanques del almacenamiento donde el líquido es más pesado que el que se pensó en el diseño. Se aconseja diseñar con cargas mayores que las deducidas por los análisis tradicionales y proyectar

una obra que advierta en forma adecuada la posibilidad de una eventual falla.

1.4.5 Cargas vivas en estacionamientos.

Es común que los pisos para estacionamiento en edificios se diseñen con cargas vivas muy altas, se puede --- comprobar que el promedio de carga sobre una área --- grande no excede de 150 Kg/m^2 . Localmente un automóvil completamente cargado puede aplicar cargas casi - concentradas equivalentes, o quizá, 3 toneladas entre las cuatro ruedas, incluyendo el impacto, en proporción, las concentraciones producen momentos negativos menores y positivos mayores que una carga uniforme. - Para que una carga uniforme produzca los momentos positivos correctos debe ser relativamente alta, probablemente hasta de 350 Kg/m^2 . Se diseña más equilibrado con una carga uniforme pequeña digamos 100 Kg/m^2 , - más una fuerza concentrada de 1.5 T en el punto más - desfavorable.

1.4.6 Cargas vivas en puentes.

Se ha dedicado mucha atención a las cargas vivas en - los puentes, estudios teóricos simplificados de las - cargas sobre los puentes de caminos que suponen que - los vehículos de varios pesos tienen distribuciones - de Poisson independientes son adecuados cuando el --- tránsito es fluido y no es denso pero no son satisfactorias en otras condiciones, debido a la tendencia de los camiones más pesados a alinearse uno detrás del - otro. Mediante los estudios estadísticos del tránsito observado se puede asignar un peso a los puentes - de claros grandes, análogamente se procede para los - puentes de claros medios y se concluye que los momentos flexionantes y fuerzas cortantes tienen una distribución aproximadamente logarítmico normal, en claros cortos el diseño esta regido por la carga máxima de camiones admisible, aún cuando la carga

real máxima no pueda ser previsible con precisión, por lo tanto esta carga debe considerarse variable aleatoria, la combinación de cargas de dos o más carriles conduce de por sí a este tipo de tratamiento. Pero la mayor incertidumbre proviene de que es probable que -- aumente el peso de los vehículos en un futuro cercano, tanto en los puentes de ferrocarril como en los caminos de cualquier manera debe preverse este cambio de carga viva en los vehículos en el futuro.

1.4.7 Impacto.

Varias estructuras han sufrido colapso debido al efecto de impactos imprevistos en el diseño, aunque en los edificios es poco frecuente que suceda esto, en las fábricas o bodegas es más común, donde el impacto de las carretillas apiladoras contra las columnas es una posibilidad muy real, deben protegerse las columnas contra -- choques, rodeándolas con rieles.

En las estructuras especiales para recibir impacto como los cimientos de martillos de forja o en obras portuarias el ingeniero le da más importancia a la resistencia que a la capacidad de la estructura para absorber energía, especialmente cuando las cargas son repetidas, se deben seguir lineamientos en el diseño que produzcan una estructura que resista efectos análogos a -- los de un sismo.

1.5 Cargas accidentales.

Si hemos visto que se puede cometer errores considerables en la evaluación de las cargas muertas y de las cargas vivas, está menos determinado y sujeto a más incertidumbre la determinación de las cargas accidentales, debidas principalmente a sismo y viento. Expondremos ahora algunas de las circunstancias

más frecuentes por las que se puede incurrir en equivocaciones.

1.5.1 Cargas accidentales debidas a sismo.

En la mayoría de los reglamentos de construcción contemporáneos que tienen reglas para proteger las estructuras de los efectos de un sismo, se especifican criterios para calcular el coeficiente de corte en la base, que multiplicados por el peso del edificio de la relación de la fuerza de corte en la base de la estructura. Ésto en función del periodo fundamental de vibración. Este periodo se calcula en el mejor de los casos analíticamente o se estima sobre bases tan burdas como la forma geométrica externa del edificio o su número de pisos, ésto es para pequeñas oscilaciones. El amortiguamiento y la retroalimentación de energía en el terreno no se toman en cuenta, explícitamente, se supone que se consideran en los coeficientes de corte de la base, también está implícito en estos coeficientes el comportamiento plástico. El uso de estos criterios supone que el diseño se va a efectuar con suficiente atención en los detalles y a otros conceptos en los que es especialmente sensible el comportamiento dúctil, de manera que puedan realmente desarrollarse los factores de ductilidad que intervienen en los coeficientes de diseño. En la mayor parte de estos reglamentos se encuentran diferencias en los factores de ductilidad o en la capacidad de absorción de energía en relación con las soluciones estructurales, estas diferencias afectan los coeficientes usados en el diseño para la fuerza cortante en la base de la estructura.

La cuestión de las rigideces y especialmente la de las rigideces relativas es muy importante en un diseño, la rigidez es difícil de calcular con precisión en las estructuras de concreto reforzado puesto que son sensibles a la intensidad y a la historia de los esfuerzos, - por ejemplo, durante varios años y bajo la acción de

varios sismos menores, muchos edificios han aumentado su periodo de vibración fundamental.

Aún para oscilaciones pequeñas de estructuras no dañadas, a menudo se cometen errores serios al calcular sus periodos fundamentales principalmente por despre-
ciar la contribución de elementos no estructurales a la rigidez. En algunos edificios pequeños los daños estructurales han aumentado sus periodos fundamentales hasta en un 50%, luego reparaciones menores o la integración de fachadas provocan el regreso a sus periodos anteriores.

Si se sobrestima la rigidez, el error es de parte de la seguridad, y si se sobrestima debido a que no se considera la contribución de los elementos secundarios, el agrietamiento de estos elementos acercará el periodo a su valor calculado, pero los elementos secundarios resultarán dañados y habría que repararlos sin que volverían a aportar rigidez.

En el cálculo del centro de torsión deben esperarse -- errores en casi todas las estructuras reales pues existen elementos que incorporarán más torsión de la calculada normalmente, estos son, distribución asimétrica de las cargas vivas y muertas nominalmente simétricas, la amplificación dinámica, los componentes rotacionales del movimiento del terreno, para protegerse se puede especificar una torsión "accidental" añadiendola al valor calculado para cada piso.

El estado general del diseño sísmico asigna una mayor incertidumbre en lo que se refiere a la ocurrencia y características de los sismos futuros que sobre cualquier otra variable, pero reconoce que las propiedades dinámicas y el comportamiento de las estructuras reales están muy lejos de poder definirse determinísticamente.

Estas razones son suficientes para poner especial cuidado al detallar los elementos de concreto, algunos de talles que son discutibles bajo cargas estáticas se vuelven críticas bajo la acción de los sismos. Como en el caso del recorte del acero de tensión en las zonas de tensión, insuficiente traslape o anclaje, o la limpieza en las juntas de construcción.

En diseño sísmico generalmente es buena técnica dejar sobradas aquellas porciones de los elementos que se consideran más débiles o que pueden estar sujetos a esfuerzos mayores, y así se puede hacer participar una parte mayor del elemento en la disipación de la energía de deformación. Las zonas críticas donde es necesario tomar medidas incluyen los extremos de la mayor parte de los elementos estructurales debido a lo elevado que son allí los momentos flexionantes locales, donde se aconseja reducir la separación de estribos especialmente en el extremo superior de las columnas de concreto donde se reduce la resistencia, las regiones cercanas a los cortes del acero de tensión donde la capacidad a la tensión diagonal es un tanto reducida, es necesario ser más conservador que bajo carga estática, a su vez en los extremos de las varillas de tensión generalmente se realizan los traslapes o la vecindad de aberturas para alojar tuberías hidráulicas eléctricas o aparatos sanitarios, por estas causas se aconseja incrementar el refuerzo.

Otro aspecto importante es lo que se refiere a la naturaleza del movimiento sísmico, la conveniencia en adaptar otros detalles es función de las características del movimiento, así donde se esperan sismos con aceleraciones verticales, es importante verificar que el acero vertical de las columnas pueda soportar la tensión axial, algún porcentaje de la carga de la columna lo equilibra con carga estática pero otro porcentaje

pasa y es conveniente revisar esta condición.

Esto son algunos de los aspectos que pueden influir en el diseño de una estructura, esto y la indeterminación en el comportamiento de un sismo, puede ser un indicativo de las variables que intervienen en una solución.

1.5.2 Cargas accidentales debidas al viento.

Algunas porciones de los edificios, como los techos ligeros, ventanas o revestimientos pueden fallar bajo las cargas de viento que son esencialmente estáticas, debido a la frecuencia con que se aplican estas fuerzas y a la turbulencia del viento se deben diseñar estas partes bajo condiciones de fatiga a pocos ciclos, es decir, suponiendo que habrá decenas de ciclos de carga. Muchos de los criterios que hemos expuesto en relación con los sismos se pueden aplicar al diseño de estructuras resistentes al viento, aunque las cargas aplicadas ordinariamente no cambian de signo durante un solo vendaval, y debido a que el viento sopla más en ciertas direcciones, los efectos son más bien estáticas por lo que no es tan importante la ductilidad como en el caso del sismo.

La comodidad de los ocupantes y el daño a miembros no estructurales debido a las grandes oscilaciones son importantes principalmente en edificios altos, en estos el número de aplicaciones de la fuerza puede ser cuando menos de un orden de magnitud mayor, por lo que se debe considerar tanto fatiga propiamente dicha como fatiga en pocos ciclos de carga.

Por otro lado, en todos los casos debemos reconocer en el diseño la posibilidad de que las cargas sean menores que las nominales, ya que en ese caso aumenta la posibilidad de volcamiento o de producir cambios des-

favorable en las frecuencias naturales.

En forma análoga a la situación del sismo uno de los problemas más importantes es la variación en los resultados de las acciones respecto a los diferentes reglamentos.

1.5.3 Asentamientos.

Las deformaciones impuestas más grandes que encontramos en los elementos se deben a asentamientos, se distinguen tres tipos de asentamientos; asentamiento máximo, inclinación promedio y distorsión angular. Es imposible fijar límites absolutos bajo los cuales resulten aceptables estas deformaciones y sus consecuencias son muy variables.

a) Asentamiento máximo.

Es necesario limitar el asentamiento máximo en la periferia por los daños que puede provocar en las instalaciones públicas y en las estructuras adyacentes, dependiendo de su estado, un asentamiento insignificante -- puede ser suficiente para dañarlas seriamente, mientras que un asentamiento considerable puede no tener grandes consecuencias. Aún en la ausencia de instalaciones públicas y de estructuras adyacentes hay que limitar los asentamientos porque en los cálculos los asentamientos se hacen considerando que el subsuelo tiene una compresibilidad uniforme, cosa que no es real. --- existen distorsiones angulares e inclinaciones que aumentan directamente con el promedio del asentamiento y no aparecen en los cálculos ordinarios.

b) Inclinación.

La inclinación de los edificios se aprecia a simple vista cuando existen líneas de referencia. En una junta de construcción, son claramente visibles las peque--

Las inclinaciones en sentidos opuestos mientras que en un edificio aislado de 50 m de altura puede inclinarse hasta 0.7% fuera de la vertical, en una junta de construcción, el peligro de golpeteo puede determinar el límite de la inclinación.

Con ángulos de inclinación tan pequeños como el 2% pueden producirse daños en turbogeneradores, mientras que en otras unidades pueden escapar inmunes a inclinaciones muy grandes.

c) Cambios Angulares.

Los cambios angulares debidos a asentamientos diferenciales son las causas de muchos agrietamiento importantes en los edificios, sin embargo estamos muy lejos de disponer de un medio cuantitativo para predecir la extensión del agrietamiento y de otros daños por causa de hundimientos.

En el diseño debe ser importante la ductilidad y la velocidad de deformación. Un pequeño asentamiento diferencial es capaz de agotar la capacidad de deformación de una viga que haya estado a punto de fallar por tensión diagonal, especialmente cuando el movimiento se produce rápidamente, sin embargo, un cambio angular importante solo produce grietas no visibles a simple vista (por ser internas) en una estructura muy ductil y el agrietamiento será menos intenso si éste se produce lentamente.

Los ordenes de magnitud deducidos de la experiencia merecen confianza a pesar de todas las incertidumbres -- que existen, ningún diseñador con cierta experiencia supondría dificultades serias en un edificio cuyo asentamiento máximo es de 5 cm pero sería extremadamente cauto en uno donde se esperen mayores de 25 cm.

Es indispensable conocer las consecuencias de un hundimiento diferencial, las cimentaciones desempeñan 2 funciones principales:

- 1.- Distribuir la carga al terreno para evitar fallas de esfuerzo cortante y concentraciones excesivas.
- 2.- Limitar los asentamientos para evitar daño a la superestructura y a los elementos no estructurales. En una cimentación suficientemente rígida y por tanto con gran sensibilidad a los asentamientos, normalmente no tienen consecuencias pero en cimentaciones flexibles los daños en la superestructura pueden ser muy importantes. Una buena cimentación salva el edificio aún a costa de su propio daño.

1.5.4 Contracción del concreto.

El concreto se contrae cuando pierde humedad por evaporación. Las deformaciones por contracción son independientes del estado de esfuerzos del concreto, si se limitan las deformaciones por contracción pueden provocar el agrietamiento del concreto y por lo general ocasionan un aumento en las deflexiones de los miembros estructurales con el tiempo.

En la figura 1.5.1 se muestra la curva del aumento en la deformación por contracción con el tiempo, la deformación ocurre a una tasa decreciente, las deformaciones finales por contracción varían considerablemente por lo común de 0.0002 a 0.0006.

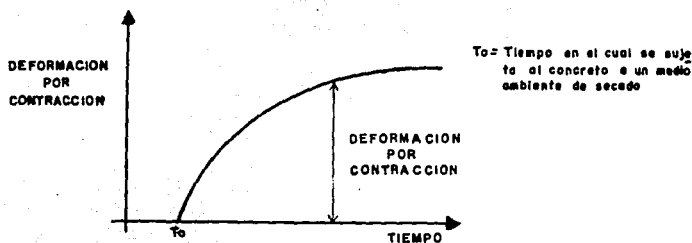


FIG. 1-5-1

En gran medida la contracción es un fenómeno reversible, si se satura el concreto con agua después de haberse contraído se dilatará casi a su volumen original. En consecuencia, las condiciones secas y húmedas alternadas provocan cambios alternativos en el volumen de concreto, este fenómeno es parcialmente responsable de las deflexiones fluctuantes en las estructuras como puentes de concreto expuestos a cambios de estaciones en el transcurso del año.

Como regla el concreto que exhibe un flujo plástico - elevado también exhibe una elevada contracción, la magnitud de las deformaciones por contracción depende de la composición del concreto y del medio ambiente.

1.6 Resistencia de los elementos.

La resistencia de los elementos de concreto reforzado esta en función directa de los métodos de cálculo, los métodos de diseño, la calidad de los materiales y la eficiencia de los métodos constructivos, todos estos al igual que las acciones -- tienen un carácter aleatorio que hace imposible fijar sus límites determinadamente. Esta incertidumbre que existe en -- las variables y parámetros que deben considerarse hacen que -

exista siempre una cierta probabilidad de que se presenten - combinaciones de valores tales que las solicitaciones sean su periores a las resistencias. En teoría esta probabilidad es muy pequeña y se reduce con los factores de seguridad y facto res de amplificación, pero la experiencia dice que llega a su ceder. A continuación expondremos brevemente las hipótesis - que se utilizan para establecer la resistencia de un elemento, la calidad de los materiales y algunos de los errores más comú nes en los métodos constructivos.

1.6.1 Acciones internas de los elementos.

La gran mayoría de los miembros estructurales de con creto reforzado no puede escapar de encontrarse bajo los efectos de determinadas acciones.

Para establecer un procedimiento razonable para el di-
mensionamiento de estos elementos se debe disponer de
medios para determinar con un grado de precisión satis
factorio la resistencia de un elemento a la acción de
cualquier combinación de momento flexionante, fuerza -
cortante, carga axial y momento torsionante. Esto es
difícil de resolver dado el estado actual de nuestros
conocimientos, por lo que se intenta resolverlo consi
derando solo una acción a la vez o combinaciones par
ciales de algunas acciones, como es el caso de las co
lumnas en donde se predice la resistencia bajo momen-
to flexionante y carga axial, pero se hace caso omiso
del cortante y de la torsión. Expondremos ahora las :
suposiciones básicas utilizadas para obtener la resis-
tencia de los elementos bajo estas acciones.

1.6.2 Momentos flexionantes.

Para desarrollar una teoría general de la resistencia
a flexión de los elementos de concreto reforzado se ha
hacen 4 suposiciones básicas:

- 1.- Las secciones planas antes de la flexión permanecen planas después de la flexión.
- 2.- Se conoce la curva esfuerzo-deformación para el acero.
- 3.- Se puede despreciar la resistencia a tensión del concreto.
- 4.- Se conoce la curva esfuerzo-deformación para el concreto que define la magnitud y distribución del esfuerzo a compresión.

La primera suposición implica que la deformación longitudinal del concreto y el acero en los distintos puntos a través de una sección es proporcional a la distancia al eje neutro. Numerosas pruebas han demostrado que esta suposición es bastante correcta en todas las etapas de carga hasta alcanzar la falla a flexión siempre y cuando exista una buena adherencia entre el concreto y el acero. Esto es exacto en la zona de compresión del concreto, pero una grieta en la zona de tensión implica que hubo un deslizamiento entre el acero y el concreto que lo rodea, indica que la suposición no se aplica en la vecindad de la grieta pero si se mide la deformación del concreto en una longitud calibrada que incluya varias grietas se encuentra que el principio es válido para la deformación promedio de tensión. La suposición de que las secciones planas permanecen planas es suficientemente exacta para fines de diseño aunque no es válida para vigas de gran peralte o en regiones de cortante elevado.

La segunda suposición significa que están bien definidas las propiedades esfuerzo-deformación del acero. Normalmente se supone una curva bilineal esfuerzo-deformación (ver figura 1.6.1.) en consecuencia se des

precia el endurecimiento por deformación. No sería sensato confiar en un aumento de resistencia debida al endurecimiento por deformación debido a que esto estaría asociado con deformaciones muy grandes de los elementos, además esto podría provocar una falla frágil por cortante en vez de una falla por flexión en el diseño sísmico.

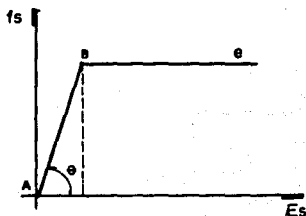


FIG. 1-6-1

La tercera suposición es casi exacta. Cualquier esfuerzo a tensión existe en el concreto debajo del eje neutro es pequeño y tiene también una pequeño brazo de palanca.

La cuarta suposición es necesaria para evaluar el verdadero comportamiento de la sección, ya que las deformaciones en el concreto comprimido son proporcionales a la distancia desde el eje neutro; la sección alcanza su resistencia máxima a flexión cuando la fuerza total a compresión en el concreto multiplicada por su brazo interno de palanca es máximo. Se encuentran bien definidas las propiedades del bloque de esfuerzo y es relativamente fácil obtener la resistencia máxima a flexión, de diferente manera según el reglamento que se use pero con los mismos principios, con el reglamento de construcciones del Departamento del Distrito Federal.

El Momento Resistente de una sección se obtiene de la siguiente manera. (ver figura 1.6.2)

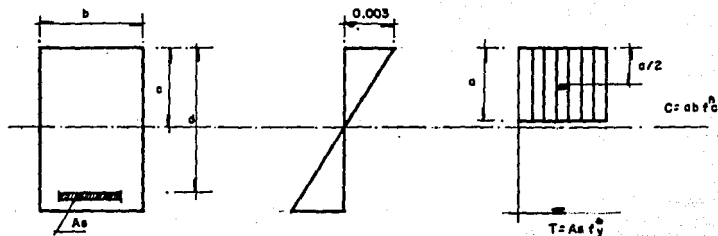


FIG. 1.6.2.

$f'c$ - resistencia del concreto afectado por un factor de reducción.

p - porcentaje de acero, respecto a la sección de concreto.

d - peralte efectivo de la fibra externa de la sección en compresión al centro del acero de refuerzo.

$$As = \rho bd$$

$$a = 0.8C$$

Por equilibrio de fuerzas

$$C = T$$

$$abf'c = Asfy^*$$

$$a + \frac{Asfy^*}{bf'c} = p \frac{bd fy^*}{bf'c}$$

Tomando momentos respecto a la resultante a compresión.

$$M = Asfy^* (d - a/2)$$

Tomando momentos respecto a la resultante a tensión.

$$M = C(d-a/2) = f'c'ba(d-a/2) =$$

substituyendo a

$$= \frac{\rho b d fy^*}{bf'c} f'c' b (d - a/2) =$$

$$\text{si hacemos } q = \rho \frac{fy^*}{f'c}$$

Resulta

$$M_u = q f'c bd^2 (1 - 0.5q)$$

1.6.3 Resistencia por cortante.

El amplio estudio del comportamiento de miembros a flexión ha aclarado el mecanismo de falla por flexión, el avance en la comprensión y evaluación cuantitativa del comportamiento de miembros sujetos a flexión y cortante ha sido sensiblemente menos espectacular, muchas publicaciones, la mayoría de ellas aparecidas en los últimos 25 años hablan de la complejidad del problema.

Además de identificar el efecto de las fuerzas cortantes que actúan por sí solas, es necesario examinar las interacciones posibles con las otras acciones estructurales. En los miembros de flexión en especial, los mecanismos que resisten el cortante interactúan con la adherencia entre el concreto, el refuerzo y el anclaje de éste.

La transmisión de cortante en las vigas se apoya fuertemente en la resistencia a tensión y compresión del concreto, en consecuencia una falla por cortante es en general no dúctil. Esta se debe eliminar principalmente en estructuras que requieren gran ductilidad como sucede en zonas sísmicas, por lo que el diseñador debe asegurarse de que nunca ocurra una falla por cortante, lo que implica que la resistencia a cortante del miembro debe ser mayor que la resistencia máxima a flexión que este pueda desarrollar.

Es conveniente aún utilizar los conceptos clásicos de esfuerzo cortante en los cuerpos homogéneos, isotrópicos y elásticos al tratar un miembro de concreto reforzado.

Modificada en forma adecuada la teoría elástica puede proporcionar predicciones aceptables con respecto a la resistencia y a la formación de grietas, sin embargo cuando estas aparecen se origina un patrón sumamente complejo de esfuerzos, al grado que en esta etapa muchas ecuaciones que actualmente se utilizan tienen en general poco que ver con el comportamiento real -- por lo que la forma de dimensionar los elementos sujetos a fuerza cortante se basan en el conocimiento experimental de su comportamiento.

La forma de evaluar las condiciones en que se encuentra un elemento, se basa en la suposición de un estado plano de esfuerzos. En un punto cualquiera de un elemento sujeto a este tipo de esfuerzos, los esfuerzos normales (flexión) y tangenciales (cortante) correspondientes a los distintos planos que pueden pasar por el punto, varían de magnitud al cambiar la orientación de un plano de referencia. El estado de esfuerzos de un punto queda definido cuando se conocen los esfuerzos normales y tangenciales según dos planos perpendiculares cualesquiera. Aquellos planos en donde solo existan esfuerzos normales se llaman -- planos principales y son perpendiculares entre sí.

Los esfuerzos normales longitudinales f_x , se pueden evaluar dentro del rango elástico como:

$$f_x = \frac{M}{I} Y$$

donde M es el momento flexionante que actúa en la sección considerada, "Y" es la distancia del eje neutro al nivel considerado e "I" es el momento de inercia de la sección transversal del elemento.

La distribución elástica de los esfuerzos tangenciales se calcula con la expresión VQ/bh en donde V es el cor

tante de la sección, Q es el momento estático respecto al eje neutro del área de la sección arriba del punto considerado, b es la base de la sección y h el peralte total. (ver figura 1.6.3)

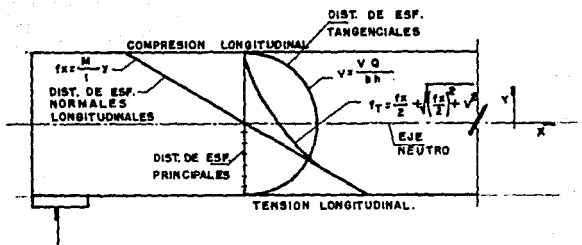


FIG. 1-6-3

Si el elemento es rectangular tendrá una distribución parabólica con un valor máximo en el eje neutro de $-3V/2bh$. Los esfuerzos principales se pueden calcular a partir de los esfuerzos tangenciales y los esfuerzos normales f_x como:

$$f_T = \frac{f_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{f_x}{2}\right)^2 + v^2}$$

La inclinación del plano correspondiente al esfuerzo principal máximo se obtiene con la expresión -----

$$\tan 2\theta = 2V / f_x$$

donde θ es el ángulo formado por el esfuerzo principal máximo con el eje de la pieza. Como resistencia del concreto a esfuerzos de tensión es baja comparada con su resistencia a esfuerzos de cortante propiamente di-

cho, un elemento de concreto tenderá a fallar según su per fici es per pen dicu la res a las di rec ci ón es de las ten sio nes pr in ci pa les. El efecto primordial cuando existe fuerza cortante es el desarrollo de esfuerzos de ten si ón in cli na dos con re sp e cto al e je del e le me nto.

1.6.4 Resistencia de elementos sujetos a torsión.

Los efectos de torsión a veces son secundarios en comparación con otras sollicitaciones y a veces suele despreciarse en el diseño, pero también puede ser la acción preponderante o al menos tener un efecto lo suficientemente importante para no poder ignorarla.

Se han desarrollado varias teorías para calcular la resistencia en torsión de elementos de concreto simple. A continuación se exponen tres de ellas, teoría elástica, teoría plástica y teoría de Hsu. En las dos primeras se supone al material perfectamente elástico o perfectamente plástico y se analizan con las teorías respectivas y la teoría que desarrolló Hsu a partir de la falla por flexión.

- a) Teoría elástica desarrollada por Saint Venant en 1855 - supone que al aplicar los momentos torsionantes las secciones transversales experimentan una rotación y un alabeo y demuestra que por condiciones de equilibrio los esfuerzos normales f_x , f_y , f_z y los esfuerzos cortantes V_{zy} y V_{xz} puede calcularse con $V_{xz} = -\frac{\partial \phi}{\partial z}$ y $V_{zy} = -\frac{\partial \phi}{\partial y}$ donde ϕ es una función de x y y y se denomina función de esfuerzos que debe satisfacer la función $\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 2G\theta$ en donde G es la elasticidad de cortante y es el ángulo que gira la barra por unidad de longitud. Determinada la función de esfuerzos, el momento resistente de la barra puede calcularse como:

$$T = \iint \tau \, dx \, dy$$

Plant señaló en 1902 la semejanza que existe entre la función de esfuerzos y la deflexión que sufre una membrana colocada en el interior de un tubo hueco al cual se aplica presión; si q es la presión por unidad de área de la membrana y s la tensión por unidad de longitud del

borde por condiciones de equilibrio tenemos:

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = -\frac{q}{Z}$$

Si se substituye z por ϕ y $q/Z = 2G\theta$ los valores de la función de esfuerzos puede obtenerse de las deflexiones de la membrana Z . el momento torsionante resistente sería $T = 2 \iint Z \, dx \, dy$ que es doble del volumen comprendido entre la membrana y el plano X-Y como se puede ver en la figura 1-6-4.

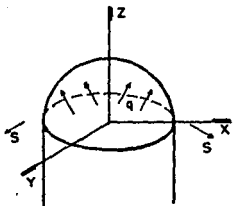


FIG. 1-6-4

Para el caso de secciones rectangulares la analogía de la membrana indica que el momento resistente puede calcularse como $T = K_e b^2 h v_{m\acute{a}x.}$ donde K_e es una coeficiente que depende de la forma de la sección transversal.

Como falla en elementos de concreto simple ocurre cuando el esfuerzo $v_{m\acute{a}x.}$ es igual a la resistencia en tensión del concreto f_{tu} se obtiene:

$$T E = h e b^2 h f_{tu}$$

Se ha visto que las resistencias experimentales de concreto simple son del orden del 50% mayores que las calculadas por esta ecuación.

b) Teoría Plástica.

Esta teoría se aplica a materiales elastoplásticos y plásticos. la resistencia en tensión puede calcularse con la analogía del montón de arena que es una extensión de la analogía de la membrana si el momento tensionante aplicado a un elemento se incrementa hasta que el material alcanza su limite de fluencia el esfuer

zo es constante en toda la zona que fluye, ya que el es fuerza en un punto cualquiera es igual a la pendiente - es constante en toda la zona en que el material fluye. Esto equivale a que la membrana se vaya inflando hasta alcanzar al posición límite indicada en línea punteada en la figura 1.6.5.

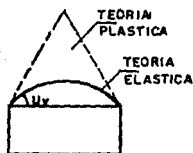


FIG. 1.6.5

ANALOGIA DEL MONTÓN DE ARENA la analogía.

Cuando el material fluye en toda la sección transversal la membrana se transforma en un montón de arena con pendiente uniforme, de aquí el nombre de

El montón torsionante resistente es el doble del volumen del montón de arena, si se substituye $2G\theta$ por q/s como en el caso de la teoría elástica. Si suponemos v máx. f_{tu} se puede obtener: $T = kpb^2 hftu$

El coeficiente K_p depende de la relación entre el lado mayor y el lado menor del rectángulo.

Las resistencias experimentales de elementos de concreto simple concuerdan mejor con la hipótesis de la teoría plástica, aunque un comportamiento plástico del material es de dudosa aplicabilidad al concreto simple sujeto a esfuerzos cortantes o de tensión.

c) Teoría de Hsu,

Esta teoría supone que en una viga de concreto simple, la falla ocurre súbitamente para valores pequeños de ángulo de giro, es una falla de tipo deflexión que se inicia al formarse una grieta inclinada a tensión en una de las caras mayores de las vigas. Esta grieta se abre rápidamente y se extiende a las caras menores de las --

vigas. La falla ocurre finalmente por aplastamiento del concreto en la cara mayor opuesta y es muy similar a la ocurrida por flexión, en la teoría la superficie de falla se idealiza como un plano inclinado a 45° respecto al eje longitudinal del elemento y se supone que la falla se produce por una componente de momento torsionante T_z que produce flexión en la sección de falla que puede calcularse a partir de su resistencia a flexión de la sección indicada, y se puede calcular con la fórmula de la escuadria.

$$M = f_r S$$

El momento M es la componente T_z que produce flexión en el plano inclinado, por tanto;

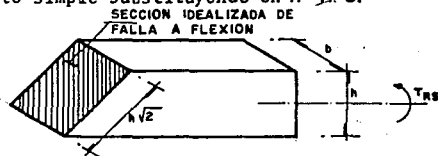
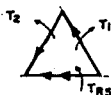
$$M = T_z = T_{rs} \cos 45^\circ = T_{rs} / \sqrt{2}$$

S es el módulo de sección del plano inclinado de falla. La base del plano es $h/\sqrt{2}$ y la altura es el lado menor b por lo que:

$$S = \frac{h\sqrt{2} b^2}{6}$$

es el módulo de ruptura o sea la resistencia a flexión del concreto simple substituyendo en $M = f_r S$.

$$T_{rs} = \frac{b^2 h}{3} f_r$$



Si tenemos $f_r = 2 \sqrt{f'c}$ se obtiene aproximadamente

$$T_{rs} = 0.6 b^2 h \sqrt{f'c}$$

Si comparamos los momentos calculados de esta ecuación con los datos experimentales la mayoría de los datos están entre $\pm 20\%$ del valor calculado, por lo que se condidera más satisfactoria.

Si se comparan los resultados de las tres teorías en términos de $\tau = K \mu^2 h f_{t0}$ en la teoría elástica y plástica el coeficiente en la teoría de Hsu. los resultados se muestran en la figura 1.6.7.

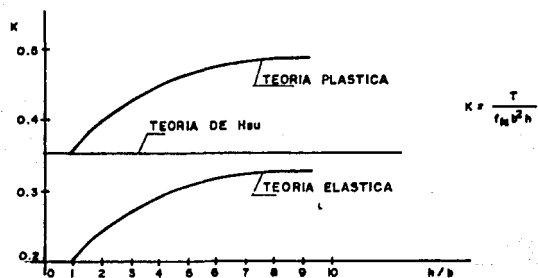


FIG. 1.6.7.

ANALISIS ESTRUCTURAL

El análisis estructural, define el comportamiento de la estructura bajo determinadas condiciones de diseño. En la ingeniería de estructuras, el análisis estructural forma con el análisis de esfuerzos y el diseño estructural las tres partes básicas y a pesar de estar interrelacionados -- son tan distintos que se estudian independientemente.

Para definir una estructura para el análisis se tiene que partir de su geometría y de sus propiedades físicas E , A , I que representan respectivamente el módulo de elasticidad, el área, y los momentos de inercia de sus elementos. A la estructura se le aplican los efectos externos (cargas vivas y cargas muertas) y mediante el análisis en las deflexiones de ciertos puntos, se obtienen los resultados que consisten en las fuerzas internas en los elementos o ambas cosas.

El análisis estructural no tiene que ver ni con los datos iniciales ni con el uso que se le da posteriormente a los resultados finales.

Hay diferentes métodos de análisis para llegar a los resultados deseados y se aplican según el comportamiento de la estructura a determinadas cargas, el material de lo que están hechas y los recursos del calculista, pero todos se aplican bajo la suposición de algunos principios básicos que son válidos o se supone que son válidos.

DEFLEXIONES

Teoría de las deflexiones pequeñas, se supone --

que una estructura no cambia apreciablemente bajo la aplicación de las cargas, esto se ilustra con la fig. 1.6.8. En cualquiera de las condiciones de carga la deflexión Δ producida se supone que es la misma. Esto es aceptable siempre que Δ sea pequeña y que P_2 no altere la flexión de la columna por ejemplo: el momento en el apoyo de la fig. 1.6.8.a se supone que es P_1L en vez de $P_1L + P_2\Delta$. En consecuencia se supone que $P_2\Delta$ es despreciable en comparación con P_1L

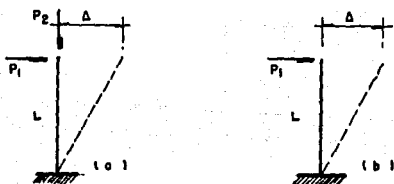


FIG. 1.6.8.

1.6.6. LINEALIDAD

Este principio supone que la relación carga-deflexión es lineal, esto es, si todas las cargas externas de la estructura son multiplicadas por un factor C , la deflexión en cualquier punto de la estructura será C veces la deflexión previa. Este principio está controlado por la teoría de las pequeñas deflexiones así como de las características del material.

Primero que todo, los materiales son elásticos o inelásticos, segundo, pueden ser lineales o no lineales en cuanto se refiere a la relación esfuerzo-deformación. El esfuerzo-deformación es válida sólo hasta cierto punto, no se con

sidera después de que la relación no es lineal. Por tanto el principio dice que bajo una condición de carga dada en ningún punto los esfuerzos o deformaciones deberán exceder -- los puntos de fluencia del material.

SUPERPOSICION

Este principio establece que la secuencia de la aplicación de carga no altera los resultados finales siempre que no se violen los dos principios anteriores.

1.6.7. EQUILIBRIO

Normalmente hay dos clases de equilibrio, equilibrio estático y equilibrio dinámico. Cuando las cargas se aplican en forma casi lineal (de cero al valor final de la carga gradualmente) la estructura se deforma hasta quedar en reposo en su forma final esta posición es el equilibrio estático.

Si las cargas se aplican súbitamente, la estructura alcanzara diferentes deformaciones en diferentes, instantes. Si cualquier partícula o porción de la estructura esta en equilibrio bajo la acción de cargas externas, fuerzas gravitacionales, fuerzas elásticas o fuerzas de inercia que actúan sobre ella, se dice que existe equilibrio dinámico.

El principio establece que la estructura, los nudos y los elementos se encuentran en equilibrio.

1.6.8 COMPATIBILIDAD.

Este principio supone que la deformación y consecuentemente el desplazamiento de cualquier punto particular de la estructura es continua y tiene un solo valor, los desplazamientos son unicos en los extremos de los elementos que concurren al nudo.

1.6.9 UNICIDAD DE LAS SOLUCIONES.

Este principio asegura que no son posibles soluciones alternativas a los problemas de análisis estructural. Para un conjunto dado de cargas externas, tanto la forma deformada de la estructura y las fuerzas internas -- así como las reacciones tienen un valor único.

1.6.10 CONSTRUCCION.

Las dificultades y problemas inherentes al proceso constructivo como la administración, el manejo del personal, la coordinación de actividades dentro y fuera de la obra, ocasionan situaciones propicias para incurrir en --- errores a veces de grandes consecuencias, como la pérdida - de tiempo, de material o en ocasiones de vidas humanas. Son muy frecuentes los errores en las obras durante la cons--- trucción debido a la cantidad de factores que intervienen, pero también causados en ocasiones por descuidos, prisas e ignorancia.

Comentaremos en forma breve algunos de los pro--

blemas más comunes que causan deterioro o fallas en los elementos de concreto reforzado, algunos de los cuales se hacen evidentes inmediatamente y otros que no se aprecian hasta que ha pasado algún tiempo.

1.6.11 CONCRETO.

En el uso del concreto pueden presentarse varios problemas, que pueden alterar su constitución o funcionamiento, que no son necesariamente causa de deterioros pero que en algún momento pueden influir.

EQUIPO DE MEZCLADO Y LUGAR DE DEPOSITO.

En ocasiones el equipo de mezclado no se encuentra limpio, tiene residuos de escoria o restos de la mezcla que no se descargo totalmente en el colado anterior.

Las cimbras deben estar adecuadamente revestidas y si hay contacto con mampostería estará humedecida.

La superficie del concreto endurecido deberá estar libre de finos ó material defectuoso.

Algunas veces no se logra el mezclado adecuado para tener una distribución uniforme de los componentes ó en el transporte del mezclador al sitio de descarga causan segregación o pérdida de materiales. También sucede que con la interrupción del abastecimiento haya pérdida de ---

plasticidad entre colados sucesivos, para evitar esto, el concreto debe depositarse lo más cerca de su ubicación final para evitar en lo posible el remanejo. El colado debe efectuarse a tal velocidad que conserve su estado plástico y fluya fácilmente dentro de los espacios de las varillas. En forma continua hasta terminar el colado de la sección previamente determinada.

En la compactación no se tiene especial cuidado en las esquinas de la cimbra o en congestionamiento del refuerzo y en las instalaciones ahogadas.

Cuando el vibrado para compactar es excesivo se ocasiona "sangrado" apareciendo una capa de agua en la superficie del colado.

Algunas veces después del decimbrado se encuentran oquedades o sitios sin colar y el constructor únicamente las rellena para dar un acabado semejante al del resto del elemento, sin verificar si la unión es adecuada o sin usar algún aditivo que garantice que el elemento quede monolíticamente colado.

En el momento de hacer la mezcla el concreto puede tener bajo contenido de cemento o tener demasiada agua o una mala dosificación de los aditivos o un curado incompleto, esto produce malos concretos que pueden ocasionar fallas o deterioros.

1.6.12 CIMBRAS.

La cimbra es el molde que dará la forma definitiva

al concreto, por lo que tiene que cumplir con la línea y dimensiones de los elementos especificados en los planos, debe estar apuntalada o ligada de tal manera que conserve su forma y posición durante y después del colado, en rigor la cimbra y sus apoyos deben diseñarse previamente, para que no dañen la estructura ya colada, esto generalmente no sucede. Y se confía la elección y definición de la cimbra al criterio del constructor. Las cimbras están sujetas a diferentes acciones, ocasionadas por la velocidad y los métodos de colocación del concreto, las cargas de construcción incluyendo cargas verticales, horizontales y de impacto, por lo que su elección debe ser cuidadosa.

Generalmente el tiempo a que debe decimbrarse, está definido por la resistencia que alcanza el concreto en determinado tiempo, esta resistencia se define con especímenes de prueba, curados en la obra o en base a la experiencia del constructor, es común que se encuentren elementos agrietados por decimbrar prematuramente, ocasionado con frecuencia por la urgencia del avance o término de la obra. Sucede también que se decimbra en el momento adecuado, pero aún no tiene la resistencia usada en el diseño estructural y si se usa para carga mayor que la carga viva y muerta para la que se diseño, el agrietamiento es inmediato, esto ocurre muy frecuentemente, pues la acumulación del material que se está empleando, el paso de maquinaria, la vibración o el impacto, son actividades comunes en las obras. En casos especiales como edificio altos, donde se impone un ritmo de construcción determinado y se propone el colado, por ejemplo, de una planta o nivel de losa cada 7 ó 10 días, en el momento de decimbrar un nivel, ya se está colocando sobre él, otra cimbra, donde se va habilitando el acero para el

próximo colado, cuando se decimbra todavía no tiene la resistencia completa y ya está soportando el peso de la cimbra y el colado del nivel del piso superior, causando deflexiones y agrietamientos prematuros.

1.6.13 ELEMENTOS AHOGADOS EN EL CONCRETO.

Existen limitaciones bien definidas para los casos donde se tengan que ahogar tubos o conductos de instalaciones en el concreto, por ejemplo, en una columna en la que se coloque un ducto éste no deberá desplazar, junto con sus conexiones, más del 4% del área de la sección transversal. En otros elementos como muros, vigas o pisos, los conductos o tuberías deberán de ser de un tamaño y una localización que no afecten significativamente la resistencia del elemento. Se especifican limitaciones para el diámetro, material y separación, también el uso de los conductos, la temperatura y la presión a las que van a estar sujetos.

Se limita el recubrimiento para los tubos y conductos, se requiere que sus conexiones sean soldadas y no se permiten atornilladas o las tuberías deberán fabricarse e instalarse de tal forma que el refuerzo no requiera cortes, dobleces o movimientos fuera de su colocación.

En la práctica suceden las cosas de forma diferente, en ocasiones no se define previamente la localización de las tuberías y conductos, otras veces las modificaciones arquitectónicas provocan también cambios en la localización de instalaciones. Hay situaciones en las que simplemente no le

gusta al arquitecto que los conductos se encuentren expuestos y los ahogan en los elementos sin el diseño anterior -- que se requiere.

Cuando la obra estructural se ha concluido y se empiezan a colocar los acabados e instalaciones, es común, que cerca de las columnas en la zona de capitel de las losas se haga un ducto, para pasar las tuberías de drenaje -- pluvial, la función de capitel es la de resistir las fuerzas cortantes y la penetración en las losas planas y tiene normalmente acero de refuerzo en dos direcciones y en ambos lechos, al hacer el ducto cortan el acero, colocan el ducto y rellenan con mortero, eliminando la continuidad del acero en dicha zona.

En casos más drásticos se han colocado los ductos dentro de elementos como columnas o a través de trabes o vigas disminuyendo arbitrariamente la sección en zona tan conflictivas como las uniones.

Otras veces se excluye el acero de refuerzo por temperatura entre el ducto y el recubrimiento quedando la zona muy susceptible al agrietamiento.

En los ductos en losas se debe colocar acero perimetral y en la dirección perpendicular a las posibles grietas.

1.6.14 JUNTAS CONSTRUCTIVAS

Las juntas de construcción deberían especificarse

en los planos, pero casi nunca sucede así y el constructor las coloca según su criterio, en losas, vigas o trabes la junta deberá localizarse en la mitad del claro siempre que no exista una intersección con una viga secundaria o una fuerza concentrada muy grande, en ese caso debe moverse la junta dos veces el ancho de la viga secundaria, y tomar precauciones para transmitir el cortante a través de la junta de construcción.

Cuando se diseñan las trabes, losas, ménsulas o capiteles se consideran como parte del sistema de piso por lo que deben colocarse monolíticamente con él.

Es importante que las juntas esten limpias, libres de finos y agua que permanescan encima, las juntas verticales también deberán humedecerse completamente y cubrirse con una lechada de cemento antes del nuevo colado.

1.6.15 ACERO DE REFUERZO.

El acero de refuerzo generalmente no tiene problemas de resistencia, debido al control de calidad en su fabricación, pero es necesario hacer determinadas pruebas para poder verificar si efectivamente cumple con lo especificado en resistencia, dimensiones o altura de las corrugaciones.

Las irregularidades que con más frecuencia se presentan, son en la limpieza y en la colocación, cuando se coloca el refuerzo debe estar libre de lodo, aceite u otros recubrimientos no metálicos que puedan afectar adversamente el desarrollo de la adherencia.

Es admisible una ligera oxidación en el acero, - que se neutraliza con el efecto alcalino del concreto.

En la colocación se presentan algunos problemas, pues el acero debe colocarse con precisión y estar apoyado adecuadamente sobre soportes antes de colar el concreto para evitar desplazamientos excesivos, algunas veces el acero no queda bien colocado y no cumple con los recubrimientos indicados, quedando el acero expuesto. En las conexiones frecuentemente concurren tres o cuatro trabes a la columna y el conglomerado de acero dificulta la colocación - llegando a omitirse parte del acero, a disminuir la longitud de anclaje o a pasar las varillas de la trabe por fuera del acero de la columna.

Cuando se intersectan una viga y una trabe el -- acero de una de ellas esta sobre la altura de recubrimiento y del acero de la viga que atraviesa, esto disminuye el peralte efectivo con el que se diseño el elemento, esto es sensible en trabes muy armadas o con varillas de diámetro muy grande.

Otro caso, se presenta cuando se substituyen varillas, estas no deben cambiarse por otras de diámetro muy -- grande, porque puede que no se cumpla con los requisitos - de adherencia. Cuando se substituyen por paquetes se debe de cuidar el traslape, porque debe ser el que se especifica para cada varilla y no deben traslaparse todas las varillas en un mismo punto.

En general, se deben evitar los traslapes en la - zona de momento máximo, si no es posible se debe asegurar -

que la junta soldada o el traslape tenga por lo menos el límite de fluencia de la vnrilla.

1.6.16 EL INGENIERO CONSTRUCTOR.

Existen otros problemas, generados por la inexperiencia del constructor o por la prisa para dar termino a la obra. Algunos de estos problemas se originan desde el momento de diseño, ya no de cálculo, sino en el momento de realizar los planos, muchas veces estos son incompletos, les faltan detalles y cortes, las dimensiones no coinciden con las del plano arquitectónico o con las de los mismos elementos, esto produce planos de difícil interpretación y errores o retrasos en la obra. Cuando esto sucede, muchas veces el constructor no se pone en contacto con el estructurista, para aclarar los puntos que no estén claros o que presenten algún problema de ejecución. Todavía más el constructor y el estructurista deberfan estar en contacto desde el momento en que se inicie el diseño para fijar lineamientos generales y detectar los puntos específicos que puedan presentar problemas de diseño o construcción y solucionarlos en conjunto, generalmente esos puntos conflictivos son los más susceptibles de daño si no se les presta la atención debida.

El ingeniero residente debe de conocer bien la obra que va a ejecutar, interpretar los planos arquitectónicos y estructurales hasta que se sienta seguro de lo que va a realizar.

En teoría, el ingeniero constructor debería tener nociones elementales del funcionamiento estructural de los elementos que va a construir, para entender porque se coloca el refuerzo en determinado lugar o como funcionan las conexiones. Estos problemas son relativamente fácil de solucionar si hay una comunicación continúa del ingeniero constructor y del estructurista.

CAPITULO 2

DAÑOS EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO.

2.1 INTRODUCCION

Como todos los materiales de concreto también se deteriora; por la acción del intemperismo, la exposición a elementos, a los efectos de desgaste de otros.

En ocasiones la causa del deterioro es fácil de determinar, pero con frecuencia esto no es así, por lo tanto para un problema en particular deberá consultarse a un experto o hacer ensayos de laboratorio.

Sí el daño es provocado por un fenómeno continuo debe tratarse el fenómeno o protegerse el concreto.

Por lo tanto, deben conocerse las causas del daño con el fin de determinar el tipo de reparación más adecuada.

Haremos una descripción general de las causas de daño que son frecuentes en la práctica y mencionaremos sus posibles soluciones.

TIPOS DE DAÑOS DEL CONCRETO

2.1.1 Expansión álcali-agregado.

Es provocada por una reacción química entre ciertos constituyentes de algunos agregados y los álcalis del cemento Portland.

El deterioro puede variar desde un ligero agrietamiento hasta un rompimiento completo de la masa del concreto, la expansión se puede iniciar al instante después de haber colocado el concreto o se puede retrasar varios años.

2.1.2 Expansión interna.

Esta, que ocurre entre la cara de la pasta y el agregado, -- dá por resultado un mapa de agrietamiento muy amplio en -- casos extremos las grietas exceden de 13 mm. de ancho, las grietas se rellenan con un material amorfo o del tipo de un gel, si se examinaran piezas desprendidas de concreto,

éstas aparecieran como yeso y son débiles, a través de un cristal de aumento, las áreas que rodean la superficie -- del agregado no parecieran como del interior del agregado o como el resto de la pasta de cemento endurecida.

Ocasionalmente, protegiendo el concreto del exceso de húmedad se detiene la expansión, sin embargo la única solución verdadera al problema, es reempalzar al concreto completamente utilizando agregados no reactivos y cemento de bajo álcali.

Generalmente el concreto agrietado es un síntoma más que una falla, entre las causas del agrietamiento está el diseño inadecuado de la mezcla de concreto, la sobre carga, la contracción excesiva, la expansión álcali agregado o el deficiente diseño estructural.

2.1.3 Cavitación.

Es la erosión del concreto provocado por un movimiento rápido de un líquido, como agua, que se mueve o que rodea -- una masa de concreto. La cavitación es especialmente severa cuando se cambia la superficie plana del concreto de tal forma que se altera éste flujo.

En áreas de alta turbulencia, se forman pequeñas burbújas de vapor, que pasan por debajo de la corriente y explotan por condensación, aunque las explosiones de las burbújas parecen no ser suficientes para deteriorar el concreto, el colapso de éstas burbújas produce presiones muy altas. Debe sospecharse la erosión típica por cavitación, cuando el astillamiento que rodea a las proyecciones de una superficie de concreto, se asemeja a la forma de un panal de abeja.

2.1.4 Corrosión.

El concreto está compuesto de cemento, arena y grava, a no ser que estén contaminados con sales, estos dos últimos son químicamente inertes.

La alcalinidad total del cemento (principalmente cal libre, óxido de sodio, óxido de potasio) y, por tanto, el valor del PH, es un factor que puede influir en la corrosión del acero de refuerzo ahogado. Este valor en la fase acuosa del cemento es de 12 a 13.5, pero se logra una protección completa del acero con valores de PH de 11.5- en ausencia de elementos agresivos como sales, pero debajo de este valor crítico del PH se observa alteración de la pasividad, que puede ocasionar la corrosión. Hay otros factores propicios de este fenómeno, tales como fallas en el concreto; desgarramientos, grietas, aglomeraciones de arena o esfuerzos de tensión o de fatiga.

La corrosión que ocurre en la práctica, generalmente está determinada por el tipo de sales agresivas presentes en el concreto y en menor grado por la estructura del acero.

Se ha observado que la presencia de sales, es más peligrosa cuando están contenidas en el agua de la mezcla, que cuando penetran del medio circundante.

Esto es porque el cemento Portland reacciona químicamente con los iones de las sales, tomando muchos de ellos de la solución, y las concentraciones de sales se reducen considerablemente.

Además, las sales disponibles se difunden por el medio ambiente y llega a la superficie del acero después de que ha perdido su actividad, generalmente una concentración elevada de elementos agresivos, origina más corrosión en el acero con película protectora inactiva, que en el metal descubierto. Asimismo cuando el agua de mezcla del concreto contiene cloruro o sales, el acero ahogado no es inactivo y la corrosión se origina inmediatamente.

Otro factor importante que podría propiciar la corrosión del acero de refuerzo, es la filtración continúa del agua salada a través de los elementos.

La corrosión se inicia por picaduras en la superficie del metal, provocando grietas en éste y aunque las picaduras no son necesariamente precursoras de la falla, las grietas aparecen, por ejemplo, en el caso de las columnas de concreto, paralelas al acero de refuerzo vertical y perpendicular al acero horizontal, esto concuerda con el hecho de que cuando cede el acero de refuerzo produce grietas en ángulo recto con el eje del acero por causa de la liberación de esfuerzos de tensión. Puede concluirse que el agrietamiento del recubrimiento de concreto circundante es, principalmente, resultado de muchos productos corrosivos formados sobre la superficie del acero de refuerzo, los cuales ejercen, como consecuencia, presiones internas suficientes para agrietar el recubrimiento de concreto.

2.1.5 Eflorescencia.

La eflorescencia en el concreto, es una mancha que afecta su aspecto y que se agrava cuando se depositan partículas de suciedad, las cuales provocan que la lluvia al correr

por la superficie del concreto, cause desagradables manchas de cal y suciedad, estos fenómenos no son más que defectos estéticos, pero difícilmente aceptados para fines arquitectónicos y visuales.

La eflorescencia se debe a la reacción química del bióxido de carbono de la atmósfera con el hidróxido de calcio de la pasta de cemento endurecida y con la presencia de agua para formar carbonato de calcio el cual es insoluble en agua.

El agua excedente que no esté ligada física o químicamente en la pasta de cemento se difunde a través de los poros capilares del concreto, de esta manera lleva consigo el hidróxido de calcio hasta la superficie, la acción del bióxido de carbono atmosférico, convierte el hidróxido de carbono en carbonato de calcio que permanece como eflorescencia sobre la superficie mientras el agua se evapora.

Los elementos de concreto expuestos a la intemperie, muestran diferencias pronunciadas en cuanto a la humedad o sequedad después de la lluvia, dichas diferencias junto con las partículas dan origen a manchas o rayas de suciedad o decoloraciones por la cal. Esto se evita con superficies repetidas al agua y a la suciedad que se obtiene sellando la superficie del concreto con tratamientos adecuados sin pigmentación de color.

También se somete el concreto a tratamiento térmico, calentándolo lentamente para que no se forme condensación.

Las formas prácticas de liberarse de la eflorescencia son físicos y químicos, el primero por medio de cepillado que

debe aplicarse poco después de la formación, pero debe ser un material abrasivo de fibra de vidrio y no de alambre -- que deja partículas libres sobre la superficie que se pueden convertir en manchas de oxidación.

Un enfoque más prometedor consiste en mejorar la superficie afectada, dejando que el agua actúe sobre la superficie durante varias horas y después levantarlas con ácido fosfórico diluido, finalmente las superficies deben enjuagarse con agua limpia para eliminar los restos del ácido.

2.1.6 Estrellamiento.

Las grietas por estrellamiento, son grietas relativamente delgadas que forman una configuración hexagonal, este fenómeno generalmente se presenta cuando el concreto aún se encuentra en estado plástico. Las grietas por estrellamiento resultan de la contracción de una superficie de -- concreto a una velocidad más rápida que el interior de la masa del concreto, también se provoca por una mezcla que está rica en exceso, por un alto revenimiento, por una operación de terminado inadecuado, un acabado excesivo; es es fuerzas por temperatura durante las edades iniciales del concreto; pérdida rápida de humedad por el mezclado ca---liente o en clima seco o con viento. Aunque las grietas por estrellamiento generalmente son inactivas, la exposición extrema puede dar como resultado un alargamiento progresivo de las grietas.

Cuando el agrietamiento es controlado, con juntas de expan

sión o contracción preformadas, comunmente no requiere reparación, este tipo de grietas se deja como está o se rellena con algún material. Este agrietamiento es el azar sin planos definidos de agrietamiento.

2.1.7 Polvo.

El polvo se produce en forma de desgaste, cuando la superficie de concreto se llega a hacer suave y se raspa rápidamente por abrasión o tránsito, este "raspado" es un material en polvo muy fino, el polvo se genera con frecuencia en pisos donde estos dos fenómenos son muy severos, Algunas veces se encuentran aún en muros y puede ser tan drástico que imposibilita la aplicación de pintura o revestimientos. Las causas comunes de polvo de concreto incluyen a las siguientes; mezclas de concreto que son demasiado húmedas, un trabajo prematuro o excesivo de su superficie; materiales orgánicos en los agregados o un curado inadecuado. Otra causa es la carbonatación de la superficie debido al uso de calentadores sin ventilación durante climas fríos, en ocasiones se logran ver pequeñas vetas de arena en la superficie que ha sufrido el daño.

2.1.8 Daños debidos al fuego

Los daños debidos al fuego, son relativamente fáciles de identificar. La superficie comúnmente se carboniza y se desprende. El concreto difiere considerablemente en sus grados individuales de resistencia al fuego.

Esta resistencia gira sobre tres factores.

- 1) La cantidad de agua químicamente combinada que se pierde.
- 2) Los cambios químicos que destruyen la adherencia entre la pasta de cemento y el agregado.
- 3) El deterioro gradual de la pasta de cemento endurecido.

Los agregados se expanden progresivamente cuando se calientan. La pasta de cemento endurecida se expande únicamente hasta cierto punto después comienza a contraerse. La expansión de los agregados combinado en la construcción de la matriz da como resultado un cemento débil susceptible de agrietamiento. El grado de humedad dentro del concreto en el momento de su exposición al fuego determina la cantidad de vapor que se genera dentro de la masa de concreto, y por consiguiente, la cantidad que se desprende.

El fuego severo también puede afectar la resistencia y la adherencia del acero de refuerzo del concreto. El refuerzo, por consiguiente debe ser investigado con cuidado antes de iniciar cualquier trabajo de reparación.

2.1.9 Costras.

La formación de costras, se presenta cuando se aplica aceite en la cimbra inadecuadamente, y no se llega a eliminar-

la adherencia entre la cara de la cimbra y el concreto. - En consecuencia el concreto se pega a la cimbra durante las operaciones de decimbrado. La superficie que resulta tiene áreas astilladas e irregulares. Esta condición fácilmente se identifica por la dificultad que se encuentra al retirar la cimbra y porque el concreto permanece pegado en la cara de contacto de la cimbra.

2.1.10 Agujeros Pequeños.

Los agujeros pequeños se diferencian de las grietas por su profundidad, la cual es mayor que su longitud y ancho. Cuando se corrigen pequeños agujeros el material de la reparación debe introducirse en la cavidad con mucho cuidado. Todos los agujeros deben recibir casi la misma atención, aunque existe la prueba especialmente cuando se trata de agujeros relativamente pequeños, de ser deficiente en la preparación de cada defecto. Si cada agujero no se pica y se limpia adecuadamente el revestimiento probablemente no se pegará y se separará.

2.1.11 Agujeros Grandes.

Los agujeros grandes en virtud de su tamaño probablemente deben recibir mayor preparación. Es importante reparar los agujeros lo más pronto que sea posible, especialmente los más grandes, la superficie de concreto si está directamente debajo de un agujero de anclaje, por ejemplo, puede llegar a destefirse si no se repara totalmente después de que se presente.

2.1.12 Superficie en forma de Panal.

La forma de panal, es una condición que resulta cuando el-

agregado grueso se coloca con una cantidad insuficiente de mortero. Se presenta porque la mezcla de concreto tiene poco contenido de arena o la técnica de colocación es pobre. Estas zonas se pueden reparar inyectando concreto dentro de los vacíos, o retirando todo el material suelto o inadecuadamente adherido y substituyendolo por concreto. El éxito de la acción correctiva depende de la firmeza con que se haya colocado el agregado grueso.

2.1.13 Permeabilidad.

La permeabilidad es un problema que resulta del agrietamiento, vacíos, densidad insuficiente de concreto, peralte insuficiente del elemento, deterioro general del concreto, o exposición a presiones hidrostáticas para las cuales no se haya diseñado el elemento. La permeabilidad realmente debe tratarse como un síntoma más que un daño y la razón de ella debe tratarse como un caso específico.

2.1.14 Explosiones.

Las explosiones hacia afuera son astillamientos provocados por la expansión de una partícula que se encuentra muy cerca de la superficie de concreto. Esto generalmente se presenta en losas horizontales. Los materiales que con mayor frecuencia los causan son ciertas pizarras, arcillas, lignitos, piedra caliza y en regiones tropicales los sulfitos de hierro ciertos agregados absorbentes que se expanden cuando se exponen a la congelación también pueden generar estas explosiones. En todos los casos debe existir la presencia de humedad para provocar que se expanda el material inestable a menos que se presente muy pronto después que el concreto haya endurecido, éstos no se pueden observar durante un año o más, después de que el concreto se haya colocado.

2.1.15 Vetas de Arena.

Las vetas de arena son vetas verticales que se presentan en la superficie del concreto y se observa más cuando se coloca la cimbra en franjas. Este fenómeno puede ocurrir cuando se utiliza una mezcla de concreto que tiene un alto contenido de agua o por una deficiencia con tamaños -- más finos de arena, en cimbras no impermeables, la arena y el agua se pueden forzar hacia las superficies dejando una sección de arena sobre la superficie de concreto.

2.1.16 Escamación.

La escamación es la separación de capas relativamente delgadas de la superficie de concreto. Esto puede ocurrir -- sobre una área limitada o puede ser un fenómeno continuo -- que se extiende gradualmente sobre la superficie total -- del concreto.

La escamación puede ser provocada por condiciones severas de congelación y deshielo, uso inadecuado de sales descongelantes, humedecimiento y secado repentino del concreto, prácticas pobres de terminado. aplicación incorrecta de -- pulido seco sobre pidos, ataque químico sobre el concreto ráfagas calientes y derramamiento de combustible de los a viones. El procedimiento para corregir la escamación depende de las diferentes causas que lo originaron.

CAPITULO 3.

FORMAS RECOMENDABLES DE REPARACION DE DAÑOS.

3.1 Técnicas de reparación.

Una vez que se han establecido las causas y el tipo de deterioro del concreto, debe determinarse la técnica de reparación más efectiva y económica posible.

Daremos a continuación una información breve de dichas técnicas debido a que con frecuencia estas dependen del producto de reparación que se use, sin embargo suficiente para evaluar la aplicabilidad de cada técnica a los problemas individuales.

3.1.1 Agua fuerte ácida.

El agua ácida algunas veces es suficiente por si misma para reparar los daños, por ejemplo, en casos de manchas y color no uniforme, pero también se combinan con otras técnicas para lograr una adherencia más duradera, pues retira los materiales extraños que podrían impedir la adherencia del material de remiendo con el concreto.

Se debe de tener cierta precaución al aplicar los ácidos, los operarios deben de tener ropa protectora, botas y guantes de seguridad durante el trabajo, pues pueden provocar quemaduras cuando se permite que se pongan en contacto con la piel, algunos ácidos también producen vapores nocivos.

La aplicación de la solución ácida generalmente debe acompañarse de un cepillado vigoroso con una escoba o cepillo rígido. Una vez que se haya alcanzado el grado de limpieza deseado la solución debe lavarse con un chorro de agua aplicado sobre la superficie.

3.1.2 Calafateado.

El calafateado consiste en llenar roturas estrechas con un compuesto plástico, éste se define como uno que no es fluido como las lechadas ni rígido como otras de aplicación en seco. La consistencia plástica del material elimina las dificultades de aplicación de los otros materiales fluidos y rígidos.

3.1.3 Revestimientos.

Los revestimientos se definen como materiales de consistencia líquida o plástica, que se aplican directamente sobre el concreto para protegerlo o para añadir características que no tienen en el concreto existente. Algunos de los materiales usados para revestir concreto son las resinas epóxicas, compuestos y productos bituminosos tales como aceite de linaza y preparaciones de silicio, los cuales proporcionan una película delgada sobre su superficie.

Los revestimientos como pinturas, se usan para decoloraciones o proporcionar resistencia a ciertos medio ambientes hostiles, ayudan a proteger el concreto del tránsito de algunos tipos de agentes químicos, y de infiltraciones de agua en el concreto agrietado o muy permeable.

El revestimiento proporciona una protección permanente o temporal y muchas veces se requiere de una aplicación periódica. Otro tipo de revestimiento en el que se puede usar concreto, mortero, lechada o resinas es el revestimiento delgado adherido a no adherido, si el problema es un fenómeno superficial, como desgaste por tránsito, astillamiento por intemperismo o formación de escamas,

el recubrimiento probablemente será adherido.

Si el problema involucra movimiento o agrietamiento estructural, la sobrecarga no debe adherirse, y tal vez requiera otro tipo de reparación.

Debido a que la parte superior en esta reparación es relativamente muy delgada, el material usado debe presentar poca contracción y además resistencia a las causas originarias del daño. Si se requiere protección o curado, éstos se consideran críticos debido a que el poco espesor de la capa puede generar una contracción rápida y diferencia de temperatura dentro del material.

3.1.4 Substitución del concreto.

En ocasiones, las condiciones del medio ambiente son tan adversas, que únicamente la sustitución completa del concreto existente resolverá el problema.

En un fuego severo, será necesario sustituir total o parcialmente el concreto dañado. También es aconsejable cuando otro tipo de reparación del concreto exceda su costo de sustitución o si no se puede alcanzar con otra reparación una durabilidad satisfactoria.

En obras considerables, es conveniente determinar primero el costo de sustitución del concreto. Esto sirve como guía al Ingeniero para evaluar todas las técnicas posibles de reparación.

3.1.5 Pulverizado.

El pulverizado es un método de reparación lento y costoso pero en ocasiones muy eficiente. Entre las aplicaciones más comunes, esta la nivelación de losas que tienen irregularidades, ya sea por defecto de colado o malgaste o por el retiro de concreto mal sano de superficies en preparación para algún otro tratamiento. El pulverizado también se usa para retirar concreto que este picado o dañado -- con pequeñas grietas. Antes de seleccionar el pulverizado se debe considerar el uso de grabado con ácido, o la técnica de martelinado para picar la superficie. Para de terminar cual de éstos métodos usar:

- 1.- Evaluar la profundidad de concreto que se debe retirar.
- 2.- Determinese la regularidad de la superficie plana necesaria después de que se haya retirado el concreto.
- 3.- Valórese las ventajas y desventajas de cada técnica, estimando los consecuentes problemas de cada técnica como el peligro de manejar ácido, la lentitud y ruido del martelinado y el ruido y polvo del pulverizado.

3.1.6 Envoltura.

La envoltura, es un proceso de aplicar y sujetar un material sobre el concreto, para que le proporcione ciertas características de funcionamiento. Los materiales usados son metales, hule plástico o concreto. Cuando la acción del agua y de algunos materiales han erosionando la pila de un puente, por ejemplo, el material restante se envuel

ve en una capa de concreto de alta resistencia. Esto establece valores estructurales, protege el refuerzo de la exposición de los elementos y mejora la apariencia del concreto.

Si el flujo del agua es demasiado rápida, la configuración del elemento conduce a una carvitación severa, puede ser necesaria una envoltura metálica o de hule.

Numerosos estucos cementantes de marcas conocidas o materiales como morteros, son usados para revestir concreto que este manchado o tenga una superficie astillada, los materiales de envoltura se pueden sujetar al concreto por medio de pernos, tornillos, clavos o adhesivos, por adherencia con el concreto existente y en algunas ocasiones por gravedad.

3.1.7 Mortero aplicado neumáticamente.

El mortero aplicado neumáticamente o a base de pistola, en la técnica de mortero disparado a presión por medio de una boquilla, directamente colocada en el vacío que se va a llenar. El mortero puede llegar a la boquilla ya sea mezclado o se puede bombear agua dentro de la manguera y mezclarse en la boquilla con los materiales secos.

Este método es rápido y conveniente, se puede usar para trabajos verticales y horizontales, la reparación de pilotes con esta técnica se ha comportado bien.

El mortero disparado es más adecuado, donde la reparación es relativamente pequeña, generalmente no más de 10 cm. de profundidad y es irregular en superficie y contorno, pero no es práctico ni económico para reparaciones pequeñas que se pueden hacer mejor a mano.

Para hacer una buena reparación con mortero lanzado, se re

quiere de un hombre experimentado y conciente operando la boquilla. Si se maneja inadecuadamente pueden ocurrir vacíos, los cuales repercuten en el área reparada. El curado también es crítico especialmente en trabajos aplicados neumáticamente para prevenir que la pasta de cemento se seque demasiado rápido.

3.1.8 Concreto pre-empacado

El concreto pre-empacado involucra una técnica en la cual el área por reparar se llena inicialmente con agregados de granulometría discontinua.

Los vacíos entre las partículas de los agregados se inundan con agua y después el agua se desplaza por un mortero bombeado en sitio. Ocasionalmente se usa una pasta de cemento puro en vez del mortero. El concreto pre-empacado se usa generalmente en áreas que son inaccesibles tales como bajo agua, así como para revestir concreto deteriorado. La técnica de pre-empacado es efectiva en estructuras recubiertas con muros de contención, presas, túneles, zapatas o pilas. Este método generalmente exhibe una contracción baja y buenas cualidades de adherencia, como la técnica requiere de equipo y operarios hábiles, este trabajo lo hacen compañías especializadas en ella. Algunas veces es necesario construir un prototipo para ensayar los métodos propuestos en la reparación.

Como los vacíos se pueden formar accidentalmente dentro de la masa del concreto pre-empacado deben extraer corazones después de que haya terminado la obra para confirmar la calidad de la mano de obra.

3.1.9 Chorro de arena.

El chorro de arena puede ser un método suficiente por sí mismo, para reparar algunos tipos de daños, pero generalmente se usa junto con otras técnicas. El chorro de arena generalmente se usa para retirar materiales extraños que podrían impedir la adherencia del material de reparación con el concreto.

3.1.10 Punteado.

El punteado con frecuencia es la técnica usada cuando se deben de reparar grietas grandes y se intenta establecer la acción estructural a través de ella.

En este tipo de reparación "los pernos de punto" (ligaduras de metal en forma de "U" con piernas cortas) se instalan a través de la grieta, ligandolos como si fueran dos piezas de tela que se cosen.

Los agujeros se taladran dentro del concreto en los lados de la grieta, se introducen los pernos y se anclan con una lechada, que se contraiga, esta técnica es poco utilizada, generalmente se procede a rellenar la grieta con un material adherente, pues normalmente los elementos tienen acero de refuerzo que tomaría los esfuerzos de tensión. Esta técnica es más usada en elementos de mampostería.

3.1.11 Relleno.

Quando aparecen grietas o agujeros, una forma común de reparación, es rellenarlos con un material que puede tener varias características, como mayor resistencia o ser expansivo, para rellenar bien el vacío, esta es una técnica muy utilizada y hay muchos materiales en el mercado que se pueden aplicar solos o al concreto para obtener esos resultados, en algunas ocasiones, cuando se extraen cora zonas de concreto para prueba, el hueco que se forma se rellena con concreto expansivo y de alta resistencia, pués ha sucedido que al extraer los corazones, se corten algunas varillas, principalmente si son de diámetro pe- queño y se substituye la resistencia con ese tipo de mate rial.

3.2 Materiales de reparación.

La selección del mejor material de reparación disponible, es un paso importante para una realización satisfactoria, la diversidad de materiales y sus diferentes caracterís ticas, así como la cantidad de fabricantes sería difícil de señalar, sin embargo se intentará presentar principa lmente información básica de algunos de los materiales de uso más común.

3.2.1 Selladores elásticos.

Los selladores elásticos se usan cuando se espera que las grietas permanescan activas durante algún tiempo. Bajo estas circunstan cias no es aconsejable introducir un ma terial rígido como mortero o cemento portland. Los se

lladores elásticos se caracterizan por su capacidad para recuperar rápidamente su forma original, después de la deformación. La mayoría de estos materiales mantienen una adherencia entre dos superficies aún cuando se sujetan a un gran estiramiento o fuerzas de torsión.

Existe una amplia variedad de materiales de base y formulaciones usadas en los selladores elásticos. Generalmente estos selladores caen dentro de dos clasificaciones: los aplicados en caliente y los aplicados en frío.

Para los materiales aplicados en caliente se usa hule o asfalto como base. Los compuestos aplicados en frío varían ampliamente en sus propiedades físicas y en los materiales de base. Para determinar las propiedades más importantes que son deseables en un sellador elástico, se considera: La cantidad y tipo de movimientos anticipados, la temperatura externa a la que estará expuesto, los factores del medio ambiente como tránsito o ácidos, y a la velocidad de deformación que puede ser tolerada por el material.

Debe investigarse completamente la resistencia al intemperismo del material.

3.2.2 Compuestos a base de resinas epóxicas.

Son materiales importantes para muchos tipos de reparaciones del concreto. Las resinas epóxicas son compuestos orgánicos, y cuando se mezclan con agentes endurecedores, desarrollan una resistencia excelente y grandes propiedada

des adhesivas. Las resinas epóxicas son resistentes a muchos agentes químicos, tienen muy buena estabilidad química y física, endurecen rápidamente y resisten la penetración de agua. Proporcionan una tenacidad que iguala a la durabilidad con la resistencia al agrietamiento. El tiempo de fraguado de este tipo de materiales es sensible a la temperatura ambiente, las epóxicas se pueden mezclar con varios agregados para reducir el costo unitario o para darles propiedades específicas como la resistencia al deslizamiento.

Los compuestos basados en resinas epóxicas son útiles bajo las siguientes condiciones normalmente:

- 1.- Cuando se necesita adherencia para pegar concreto plástico con concreto endurecido o para adherir materiales rígidos entre sí.
- 2.- Para remiendos en casi todos los tipos de daños en el concreto.
- 3.- Cuando se necesita un revestimiento sobre el concreto (especialmente un recubrimiento delgado) que proporcionará color y resistencia contra agentes químicos, abrasión o penetración de agua.

3.2.3 Revestimientos bituminosos.

Son materiales que se pueden procesar de asfalto o chapopote, pueden aplicarse ya sea delgados o de espesor considerable. Un revestimiento compuesto consiste en capas de fieltro impregnadas de asfalto con un acabado de brea o también de asfalto, una ventaja fundamental de estos materiales es su capacidad para resistir el paso del agua.

Por otro lado los recubrimientos bituminosos no requieren de cuidados pero son sensibles a la temperatura y tienden a deteriorarse cuando se arroja combustibles sobre ellos.

Si están expuestos a los rayos del sol y al aire, los revestimientos pueden hacerse frágiles y agrietarse, sin embargo en muchos casos producen excelentes resultados y a bajo costo.

Estos materiales también son frecuentemente usados para impermeabilizar muros, techos y pisos, y para reducir -- los efectos del intemperismo.

3.2.4 Bentonita.

La bentonita es una roca pulverizada que consiste en minerales de arcilla, que absorben 30 veces su propio peso en agua. A medida que absorbe el agua, la bentonita se expande como una masa gelatinosa la cual, cuando se con fina, bloquea efectivamente los pasos de agua, la bentonita se puede aplicar con capas delgadas y funciona bien para impermeabilizar tanques de agua, albercas, excavaciones para cimentaciones, cimentaciones de presas, recipientes de almacenamiento y diques para irrigación.

3.2.5 Morteros expandidos, lechadas y concretos.

Este tipo de materiales se han utilizado para ayudar a tratar los problemas de contracción, anteriormente se utilizaban dos técnicas. Una era incorporar una cantidad pequeña de polvo de aluminio dentro de la matriz. Por reacción química el polvo de aluminio produce hidrógeno que expande el mortero hasta llenar el espacio con finado, esto elimina la contracción inicial, aunque es probable que se presente una contracción considerable después del endurecimiento y el mortero resultante no es denso ni de alta resistencia.

El otro tipo de mortero expandido contiene agregados de fierro y un catalizar. El fierro se corroe provocando que el mortero se expanda y llene el vacío donde se coloca. El mortero con agregado de fierro desarrolla un producto resistente al agua y de alta resistencia mecánica, aunque debe protegerse la superficie para prevenir manchas producidas por la corrosión.

Hay otro método resistente y más eficaz, es un cemento que vence la contracción químicamente.

Los materiales de alta velocidad de fraguado endurecen y desarrollan resistencias en algunos minutos en lugar de horas o días. Los productos comerciales con estas características están disponibles, ya sea como aditivos o como materiales listos para usarse a los cuales solo se les agrega agua.

3.2.6 Materiales para envoltura.

Los materiales para envoltura se usan para proteger al concreto de las condiciones extremas de abración, impacto, cavitación o expansión a los agentes químicos.

Generalmente una envoltura se hace de acero, hule, plástico o concreto de alta resistencia.

Se pueden fijar al concreto con adhesivos (si la superficie del concreto es sana) sujetándolos al refuerzo, soldando insensaciones metálicas o usando hiladas alrededor de los estribos con alambre.

3.2.8 Concreto de latex.

El concreto de latex modificado, ha ganado una amplia aceptación para reparaciones de superficies, debido a sus buenas propiedades adhesivas, combinadas con amplia resistencia a tensión y a compresión. Este tipo de material de reparación también es flexible, resistente a los ácidos y a los ácidos diluidos, se puede biselar y tiene bajo poder de absorción de agua y buenas propiedades de resistencia al intemperismo.

Otra ventaja es su bajo costo especialmente si se compara con algunas resinas epóxicas. Las mezclas de latex se usan para recubrir pisos desgastados, cubiertos para puentes y lugares de tránsito pesado o donde puede ocurrir ataque de agentes químicos.

3.2.8 Aceite de linaza.

El aceite de linaza se utiliza generalmente, cuando ha ocurrido escamación sin perjuicio severo o para garantizar el gasto de un revestimiento con epóxicas, la solución real usada es 50% de aceite de linaza y 50% de extracto mineral o de petróleo (por volumen).

El aceite de linaza es particularmente efectivo en la protección del concreto nuevo, cuando se aplica antes de que el concreto sufra una exposición a temperaturas severas principalmente frías.

Penetra en las superficies a una profundidad de 3 mm. de dependiendo de la porosidad del concreto y de la cantidad de daños que tenga. Este material inhibe mayor daño, al formar una película que las soluciones de agua y sal no penetran rápidamente, su costo es bajo y no afecta la resistencia al desplazamiento de la superficie, aunque una vez aplicado debe seguirse aplicando periódicamente, la segunda vez al primer año y después de dos a cuatro años según el estado.

3.2.9 Cemento.

El cemento portland mezclado con agregados para formar concreto, ofrece numerosas ventajas como material de substitución en reparaciones, experimenta el movimiento térmico que el concreto con el cual se va a ligar, todos los operarios están familiarizados con él, es bajo en costo y siempre se encuentra disponible, se aplica casi para todos los elementos, pilas, traveses, columnas, muros, etc., también cuando se requieran que sean permeables.

El cemento utilizado como lechada frecuentemente se bombea dentro de lugares inaccesibles para trabajos de reparación donde se puede tolerar una contracción apreciable, pues se deforma bastante, la lechada también se usa cuando los espacios son extremadamente pequeños.

El mortero de cemento se puede colocar bombeado o a mano, pero el espesor de la reparación de mortero debe ser pequeño, no más de 4 cms.

Se debe compactar el mortero totalmente, en especial si es

ta rígido cuando se coloca. El mortero se usa para reparar agujeros, para revestir superficies manchadas o con agujeros pequeños y cuando no se puede usar concreto normal con agregados grandes, también, donde no se requiere la consistencia fluida de las lechadas de cemento.

3.2.10 Agregados especiales para pisos.

Los agregados especiales para pisos incrementan la resistencia a la abrasión de las losas.

Algunos de estos agregados son: esmeril, roca ígnea, granito, cuarzo, dióxido de sílicio, óxido de aluminio y metales.

Estos elementos, menos los metales tienen una calidad física de gran dureza, para resistir los efectos de la abrasión y el impacto.

Los agregados metálicos, son dúctiles y absorben el impacto y la abrasión por un proceso de deformación que se opone a resistirlo con la dureza. Durante el trabajo de reparación estos agregados se aplican como parte de una capa superior. Esto se hace sembrando el agregado sobre la superficie en la capa superior y alisando con una llana o incorporandolos mediante una mezcla especial para la capa superior antes de su aplicación.

3.2.11 Endurecedores de superficie.

La aplicación de estos materiales ayuda a retardar la formación de polvo en los pisos de servicio mediano o ligero. Estos productos tienen un fluosilicato (generalmente fluosilicato de magnesio) como base. Este agente químico reacciona con el dióxido de calcio y con el carbonato de

calcio encontrado en el polvo de los pisos de concreto - formando cristales duros que retardan la formación de polvo. Los endurecedores de superficie son baratos y se pueden aplicar rápidamente pero no deben aplicarse en pisos de servicio pesado, además, deben aplicarse en forma periódica.

CAPITULO 4.

REPARACION DE FALLAS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES.

4. Introducción.

Si en algún momento surge la incertidumbre acerca de la capacidad de carga o buen funcionamiento de una estructura, debido a que aparecen en ella algunas manifestaciones que hacen evidente algún tipo de falla, estas pueden ser alteraciones visibles que modifican de alguna manera su estado inicial, como deflexiones, manchas, agrietamientos, caída de recubrimientos, fallas en los acabados, en los muros divisorios, en las fachadas o algún otro tipo de daño, que requiera efectuar una revisión detallada para localizar los puntos que sufrieron daños y determinar si se necesita algún tipo de reparación.

Si después de la revisión el estado de la estructura indica la necesidad de una reparación, el problema más complicado se encuentra en establecer el grado de daño que ha sufrido, cuales fueron las causas que lo produjeron y desde luego definir y valorar el tipo de reparación.

Determinar la magnitud de las fallas encontradas, involucra necesariamente; el criterio de un ingeniero con experiencia, pruebas de laboratorio y la realización de un estudio detallado para determinar la clase de reparación que se debe efectuar.

Esta será condicionado por diversos factores; el costo, la factibilidad constructiva y el nuevo grado de seguridad que se quiera asignar .

Algunas veces muestra que es más seguro y económico demoler la estructura que repararla.

Al reparar una estructura el objeto principal es que recupere su funcionamiento y resistencia, aunque se intenta sobrepasar la resistencia original para evitar otro daño semejante por causas semejantes.

Uno de los mayores problemas es el procedimiento constructivo, pues en la mayoría de los casos la estructura

ya esta en funcionamiento, independientemente de la cantidad de problemas que involucra la reparación en sí. El procedimiento secuencial que se puede establecer para efectuar un trabajo de reparación, es como sigue:

- 1.- Inspección primaria.
- 2.- Medidas de emergencia.
- 3.- Inspección detallada.
- 4.- Análisis para establecer el estado actual.
- 5.- Decisión de tipo de reparación
- 6.- Rediseño de la estructura.
- 7.- Diseño de la reparación.
- 8.- Ejecución de la reparación.
- 9.- Evaluación de la eficiencia de la reparación.

1.- Inspección primaria.

En esta etapa se realizará una revisión a la estructura, por un ingeniero con la experiencia suficiente para poder establecer a priori, el estado general de la estructura y las características de la falla, se revisarán los puntos importantes que pueden afectar la estabilidad; el agrietamiento de los elementos como columnas, trabes, muros, capiteles, losas de piso, desplomes, las deflexiones importantes y en general todos los daños visibles. Así mismo se intentaría establecer una posible causa del daño, considerando la forma de falla y los elementos dañados, por ejemplo, con la forma y posición del agrietamiento se puede definir las causas de las fallas como; flexión, cor tante, construcción deficiente, hundimientos diferenciales, la acción de un sismo reciente o por daños acumulados a través del tiempo.

Es conveniente investigar con los usuarios ¿cuando? y ¿co-

mo? se presentaron las fallas, así reuniendo toda la información se podrá formar un juicio que ayude a definir las posibles causas de falla y establecer el tipo o pruebas que se realizarán posteriormente.

2.- Medidas de emergencia.

Se tomarán medidas de emergencia necesarias para brindar seguridad a los usuarios, a los equipos y a la estructura, esto se hará eliminando peso, apuntalando, o si es necesario desalojando la estructura, o aumentando carga en algún sitio si se considera que servirá de ayuda para incrementar el equilibrio.

Esta etapa es importante, pues tomar medidas de seguridad involucra un incremento del costo, pero si no se tomaran podrían ocurrir fallas que ocasionarían costos mucho mayores y quizá irreparables, esta decisión debe tomarla y especificarla el ingeniero encargado del diseño de la reparación.

3.- Inspección detallada.

La inspección detallada consiste en reunir todo el material informativo de que se disponga, esto es planos, memorias de cálculo, memorias descriptivas, estudios de mecánica de suelos, bitácoras de construcción, etc., así como la historia de la estructura, sus reparaciones o modificaciones, el uso para el que fué proyectada y el que se le da en el momento de la reparación, etc.

Posteriormente se efectuará el estudio de campo que implica medir las dimensiones de los elementos y verificar si es posible la cantidad y localización del acero de refuer

zo confrontándolos con las indicadas en los planos estructurales. También deberá verificarse la calidad de los materiales, obtener nivelaciones y medir los desplomes si es necesario.

El examen de campo debe ser completo, por ejemplo, si se requiere obtener corazones de concreto, deben tomarse suficientes muestras para obtener un promedio de índices de resistencia confiables (típicamente las pruebas de corazones dan una resistencia del 85% de las que se obtienen en cilindros curados en el laboratorio del mismo concreto). Pueden encontrarse problemas técnicos durante las verificaciones en el campo y el ingeniero a cargo definirá el procedimiento que se debe seguir.

Algunas veces se encuentran daños típicos con los que se puede determinar fácilmente la causa, por ejemplo una estructura dañada por un sismo, sus síntomas más comunes son:

- a) Daños en el sistema de piso de los marcos.
- b) Golpeteo entre las estructuras.
- c) Falla en las trabes por flexión o cortante.
- d) Daños en la mampostería.
- e) Torsión en los elementos estructurales, principalmente en muros y columnas.
- f) Daños en las conexiones de trabes y columnas.
- g) Fallas del suelo debidos a momentos de volteo o licuación del suelo.

Todo esto se detecta fácilmente y se puede establecer el tipo de reparación.

3.- Análisis para establecer el estado general.

Existen dos formas comunes de análisis para establecer el

el estado de una estructura, la primera es efectuar una revisión análitica apoyándose en la información obtenida en la investigación de la estructura, los planos y las memorias de cálculo, si se cuenta con ellas. El otro procedimiento es una prueba de carga que se utiliza cuando no se cuenta con información para poder analizar la estructura, sin embargo existen elementos como muros y columnas que son difíciles de cargar, además de los problemas que presentarán para interpretar los resultados, excepto cuando sufren daños graves o colapso.

Por cualquier método deberá demostrarse que la estructura cumple con los requisitos mínimos de seguridad del reglamento de construcciones de la localidad.

La intensión de los reglamentos es garantizar la seguridad pública. Los factores de carga y de reducción de las cargas de diseño, las idealizaciones en el análisis, defectos en el trabajo constructivo, variaciones de pesos y cantidades de los materiales, etc., que separados pueden estar dentro de las tolerancias, pero que en un momento podrían sumarse adversamente.

El objetivo general es conocer el estado de resistencia de la estructura para compararla con el diseño original o la requerida por el reglamento.

Una prueba de carga se debe realizar colocando en los elementos una carga viva semejante a la de diseño, la carga se pondrá gradualmente por capas. Es importante el uso de un micrómetro para medir las deflexiones de los elementos que trabajan a flexión. El micrómetro esta graduado en décimas y centésimas de milímetro, cada ciclo marca un milímetro de deflexión y cuenta también con un contador de ciclos. Se pueden colocar uno o varios según el área y los puntos donde se requiera obtener las deflexiones.

Al aplicar la primera capa de carga se medirá la deflexión en un intervalo por lo menos de una hora, después se aplica

la segunda capa de carga hasta ajustar la carga viva necesaria. Se deja cargado el elemento por lo menos 12 horas y se miden las deflexiones, posteriormente se descarga con el mismo procedimiento utilizado en la carga y se mide la recuperación de la deflexión, si el elemento no rebasa nunca los límites del reglamento, no muestra daños y recupera más o menos su forma original se aceptan las buenas condiciones del elemento.

Un criterio general para definir el comportamiento de un elemento bajo esta prueba, es que ésta no debe mostrar evidencia visible de falla, esto incluye; agrietamiento, desconchamiento o deflexión excesiva.

Al realizarse este tipo de pruebas deberán estar presentes un representante de la construcción, la supervisión, del diseño y del propietario del inmueble, para dar fé de los resultados.

Si ocurre un daño suficiente para considerar que el elemento ha fallado la prueba, no se permite volver a probarlo y no se podrá dar servicio ni siquiera a baja velocidad de aplicación de carga.

Sin embargo, debido a que estos criterios para juzgar los resultados de las pruebas, han sido bien establecidas por los reglamentos solo para miembros a flexión. Para otro tipo de elementos, es preferible utilizar el método analítico para evaluar su resistencia, pues la prueba de carga es un método alternativo cuando es factible.

5.- Decisión.

Tomando como base la información que se obtuvo de la inspección detallada, los resultados de las pruebas de carga y de los métodos analíticos se determinará totalmente el daño y estado general de la estructura y en consecuencia

la decisión del futuro de la estructura si se repara, se demuele o modifica su funcionamiento.

6.- Rediseño de la estructura.

El rediseño es una actividad análoga al diseño pues su objetivo es definir los elementos de una estructura con un grado de seguridad razonable y que en condiciones normales de servicio tenga un comportamiento adecuado, además, debe mantener el costo dentro de los límites económicos y satisfacer determinadas exigencias estéticas. Todo lo anterior, no está definido con límites exactos, el diseñador debe de hacer uso de su intuición y experiencia apoyado con el análisis y algunas veces con la experimentación. El problema no tiene solución única, sino más bien, una solución razonable, y solo de algo podemos estar seguros que la estructura ha fallado y que debemos reintegrar o aumentar su resistencia para que sea más segura.

7.- Diseño de la reparación.

Diseñar la reparación y el proceso constructivo es importante por las molestias y problemas que se ocasionan, debido a que normalmente el inmueble ya se encuentra en servicio y está ocupado por equipos o personas que algunas veces no es posible evacuar, se debe de buscar un procedimiento que evite en lo posible estas molestias, que proteja los equipos y que sea rápido de llevar a cabo.

No se debe descuidar la estabilidad de la estructura, definiendo en que partes y con que sucesión se realizará la reparación, especificando los sitios y el material para apuntalar o reforzar los elementos durante el proceso cons

tructivo.

En términos generales, la secuela constructiva de una reparación requiere las siguientes etapas:

- a).- Apuntalamiento.
- b).- Preparación de superficies.
- c).- Colocación del refuerzo.
- d).- Solución de anclajes.
- e).- Saturación de las superficies o colocación de aditivos para ligar concretos existentes a los nuevos.
- f).- Colocación de la cimbra.
- g).- Colocación del concreto.
- h).- Curado en su caso.

El concreto que se usa en el colado deberá contener agregados de menor tamaño, y una fluidez que garantice la penetración en los espacios reducidos que generalmente se manejan.

8.- Ejecución de la reparación.

Se deberá establecer un programa para realizar la construcción de la reparación, para definir los frentes de ataque y la forma más sencilla de hacerlo, siguiendo el procedimiento establecido por el calculista y las especificaciones de los planos, protegiendo la estabilidad de los elementos y la seguridad de los usuarios. Se deberá contar con todos los materiales, maquinaria y equipo humano para lograr que la construcción sea continua hasta el final, se puede realizar en los días u horas en las que está fuera de servicio el inmueble o cuando cause menos molestias.

9.- Evaluación de la eficiencia de la reparación.

Esta etapa es en general definida tiempo después de haber realizado la reparación, pues no se podrá valorar hasta que esté otra vez en servicio, vuelvan a presentarse los elementos que generaron el daño y se compruebe si fué efectiva la reparación, por ejemplo si una estructura se repara por sismo, hasta que no se presente un sismo de la misma intensidad o mayor se podrá evaluar su comportamiento, con una revisión visual o midiendo sus desplazamientos o periodos naturales de vibración para comprobar su comportamiento.

4.2 Tipos de reparación de estructuras de concreto reforzado.

Los elementos estructurales de concreto reforzado más comúnmente dañados son: columnas, trabes, losas, muros y algunos elementos de cimentación, para su reparación generalmente se propone alguna de las siguientes soluciones: aumento de sección, aumento de refuerzo, postensado, adición de elementos metálicos, resanes superficiales, inyección de mortero, demolición total y reposición.

Cuando el problema es de la estructura en general, existen además de reparar sus elementos otras opciones como; aumentar el número de columnas y trabes, reforzar con marcos de estructura metálica, aumentar muros de concreto, desligar estructuras o lastar las cimentaciones.

Es importante señalar que en muchas ocasiones, las reparaciones tienen que realizarse durante la etapa constructiva, debido a que los defectos se manifiestan en el momento de descimbrar o bien durante la construcción.

Ya mencionamos que los criterios o hipótesis de diseño, son los que se emplean en estructuras nuevas, sin embargo al pretender restituir o aumentar la capacidad de resistencia de un miembro de concreto, es importante identificar el tipo de esfuerzo al que trabajará. Si este esfuerzo es de compresión, se podrá incluir la sección total de concreto, no importa si éste se encuentra agrietado, pero debe proporcionarse suficiente refuerzo de confinamiento en forma de estribos o zunchos. En cambio, si se prevee la existencia de esfuerzos de flexión o fuerza cortante, el acero de refuerzo deberá de ser capaz de tomar la totalidad de los esfuerzos, despreciando totalmente la contribución del concreto.

Si el elemento estructural no se encuentra agrietado y el refuerzo existente no muestra corrosión, podrá incluirse en el diseño la contribución de éste, de no ser así, los esfuerzos deberán de ser tomados por refuerzo adicional. Otro aspecto que es importante y que deberá revisarse -- cuando se diseña una reparación, es el esfuerzo cortante, existente por fricción que deberá desarrollarse entre el concreto y el nuevo, pues en los casos en que de desee mejorar la capacidad del miembro por medio de un aumento de peralte o de sección es fundamental este concepto. De no ser suficiente la fuerza que se genera por fricción, para que trabaje, en conjunto el elemento se adicionarán anclas para que reciban el esfuerzo excedente.

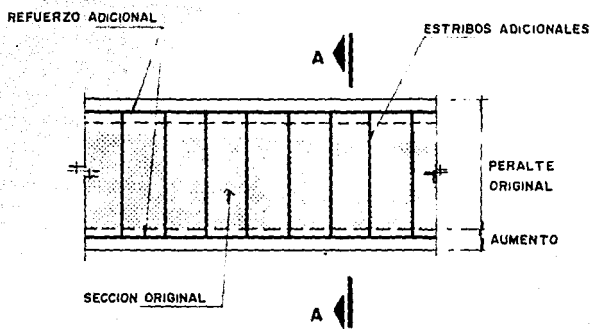
Otro detalle fundamental en el refuerzo de las columnas, es detallar bien la intersección de la trabe con la columna, ya que esta zona reviste vital importancia especialmente si la estructura va a estar sujeta a efectos de sismo. No se debe descuidar la longitud de anclaje y la longitud de desarrollo para el acero de refuerzo en las reparaciones.

Mostraremos algunos de los detalles típicos que se utilizan en reparaciones:

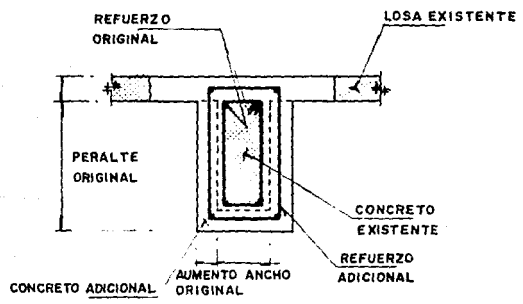
4.2.1 Trabes.

Para reparar trabes o vigas por falla de flexión y/o cortante existen varias alternativas:

- 1.- Aumento de sección.- En este tipo de reparación se pretende aumentar la resistencia a flexión y cortante de la trabe y también su rigidez, para realizar esta reparación se debe demoler la losa de piso para lograr el colado de la sección nueva, es una reparación eficiente siempre y cuando se de el anclaje al acero de flexión (ver figura 4.2.1).
- 2.- Refuerzo con estribos postensados.- Por medio de ángulos, placas y varillas lisas a una sección que ha fallado por cortante se le cierran las grietas apretando los estribos (ver figura 4.2.2.) se confina el concreto y además las varillas lisas se utilizan para resistir la tensión diagonal, sin embargo con el tiempo los estribos pueden perder la presión de apriete o son afectados por los efectos ambientales, además de que le adicionarán esfuerzos al concreto.
- 3.- Refuerzo con cables postensado.- Esta reparación es de dudosa eficiencia, por medio de cables y placas se intenta cerrar las grietas de flexión y cortante de una trabe (ver figura 4.2.3.), para lograr esto se requiere regresar la viga a su posición original y después aplicar el postensado, esta reparación es sencilla pero involucra problemas adicionales como la posible falla por pandeo o los esfuerzos adicionales que se aplican al concreto en la zona de compresión debido al postensado, en general no se recomienda este tipo de reparación, aunque se ha utilizado.

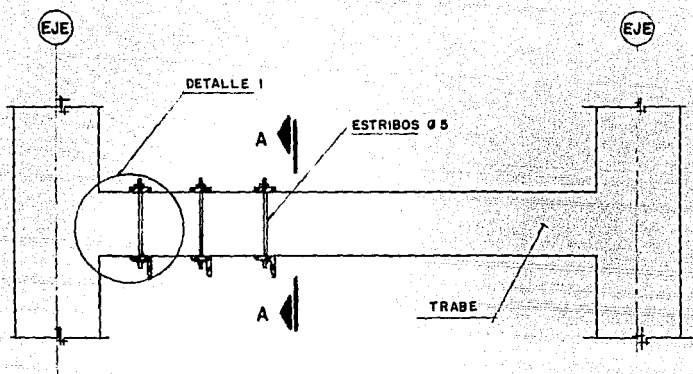


VISTA LATERAL

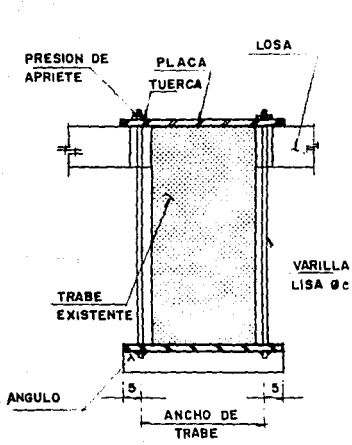


CORTE A—A

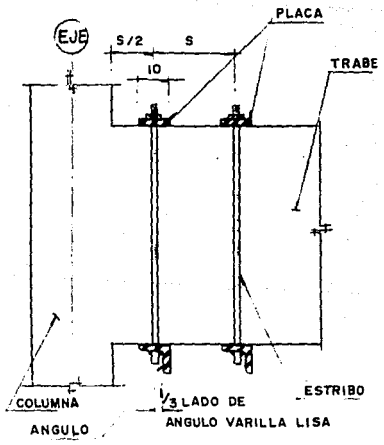
FIGURA 4—2—1



VISTA LATERAL

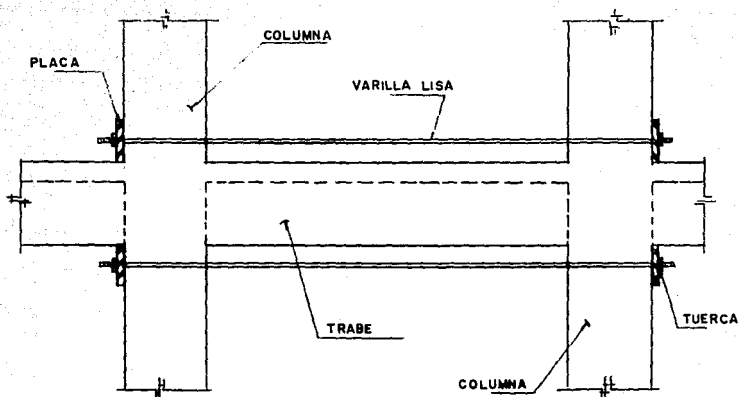


CORTE A-A



DETALLE 1

FIGURA 4-2-2



VISTA LATERAL

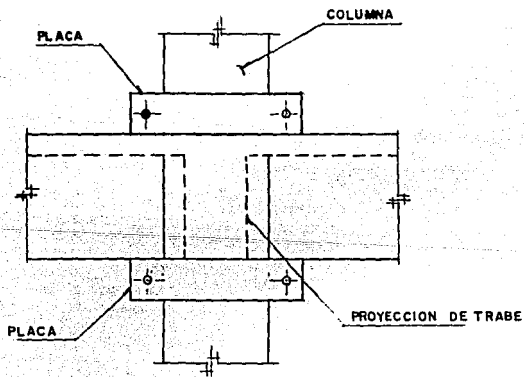
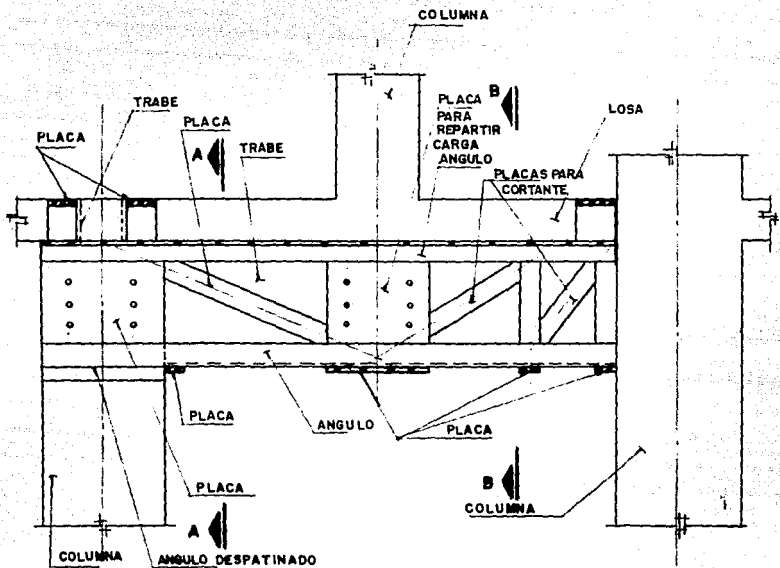
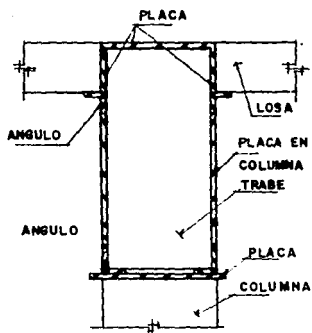


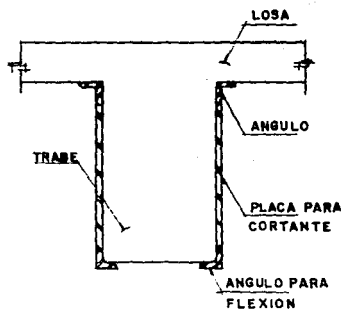
FIGURA 4-2-3



VISTA LATERAL



CORTE A-A



CORTE B-B

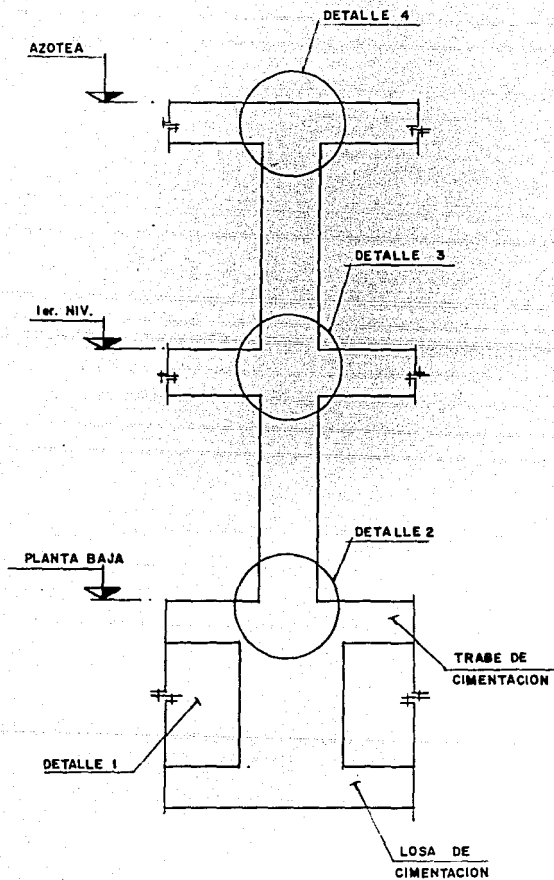
FIGURA 4-2-4

- 4.- Recubrir la trabe con estructura metálica.- En la figura 4.2.4 se muestra una trabe puente que soporta a una columna para librar el paso de automóviles en un estacionamiento, la trabe falló por flexión y corte, la solución a la reparación fue el reforzamiento a flexión por medio de ángulos y por medio de placas para los esfuerzos cortantes, semejando a una armadura, la conexión se hizo a la columna por medio de placas, barrenos y anclas, esta reparación es eficiente cuando la trabe esta sujeta a esfuerzos muy grandes o cuando no se quiere aumentar en exceso la sección de la trabe, por otra parte la reparación es fácil de realizar porque no requiere demolición ni colado, pero si involucra un aumento de costo con respecto a el aumento de sección con colado adicional.

4.2.2. Columnas.

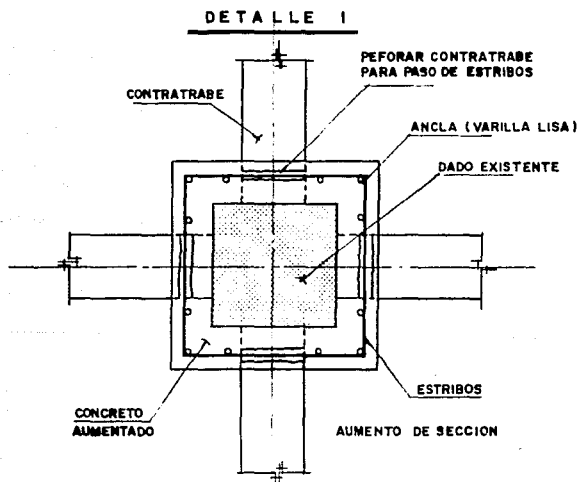
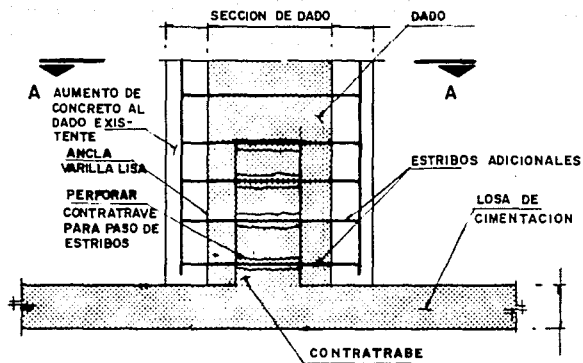
Para la reparación de una columna existen dos criterios principales, reforzar con elementos metálicos y aumentando sección con concreto y acero de refuerzo.

- 1.- Reforzando con elementos metálicos.- Esta reparación es muy eficiente, pero solo para aumentar la resistencia flexocompresión de la columna pues la sección no se modifica, por lo que no se obtiene mayor rigidez, de la figura 4.2.5. a la 4.2.9. se muestran los detalles típicos para reforzar una columna en la cimentación, los entrepisos y la azotea respectivamente. Su construcción es sencilla y solo se requiere demoler u colar una nueva sección en el dado de la cimentación para anclar los elementos adicionales, el resto de la reparación se realiza soldando



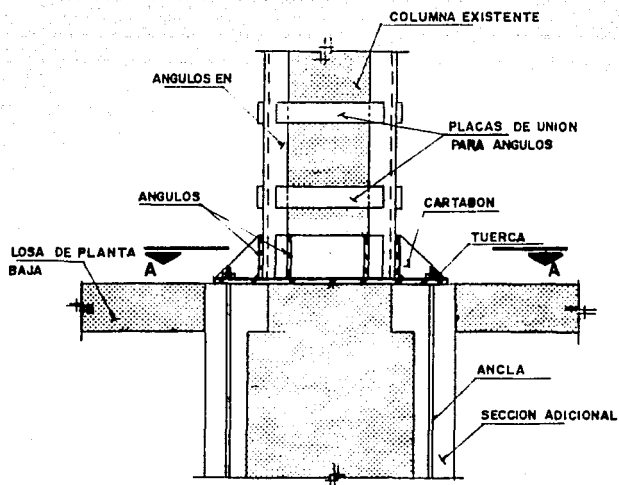
REFUERZO DE UNA COLUMNA

FIGURA 4-2-5

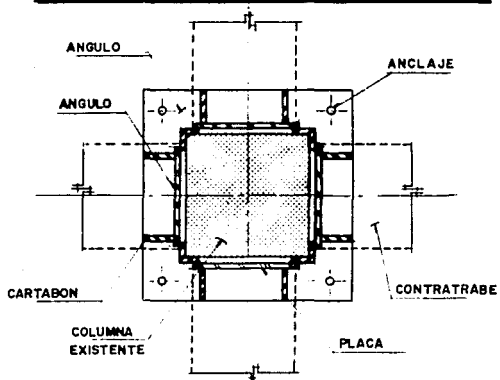


CORTE A-A

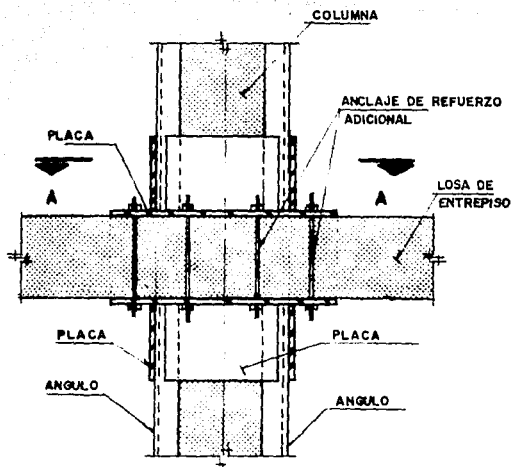
FIGURA 4-2-6



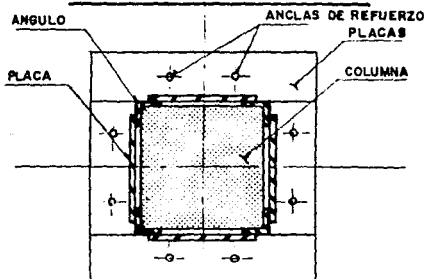
DETALLE 2
CONEXION DE COLUMNA EN CIMENTACION



CORTE A - A
FIGURA 4-2-7

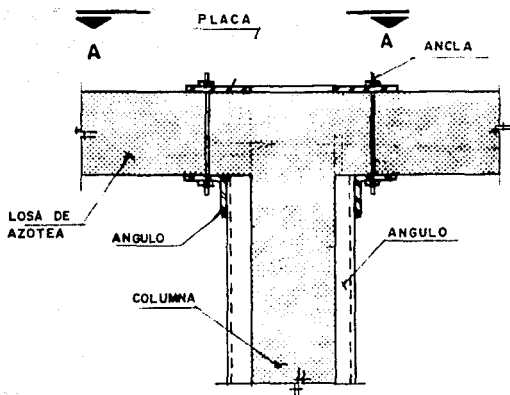


DETALE 3
CONEXION DE REFUERZO ENTRE
COLUMNAS Y LOSA DE ENTREPISO

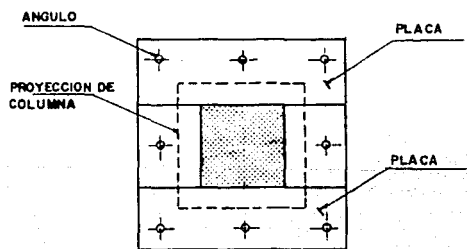


CORTE A — A

FIGURA 4-2-8



DETALLE 4
CONEXION DE REFUERZO DE COLUMNA
CON LOSA DE AZOTEA



CORTE A-A
FIGURA 4-2-9

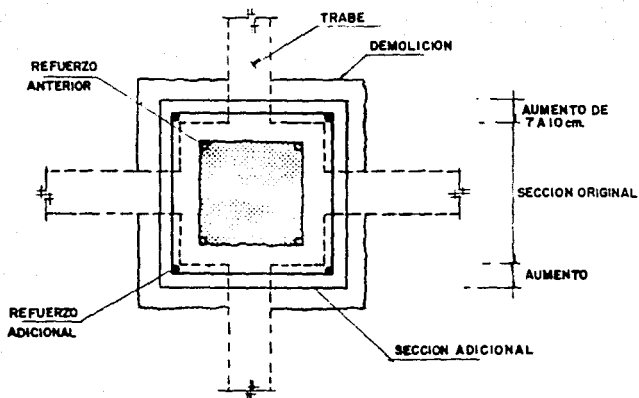
placas y ángulos, y haciendo barrenos con taladro para las uniones.

- 2.- Aumento de sección.- Esta reparación es eficiente -- cuando se quiere aumentar la rigidez de la sección además de su resistencia, en la figura 4.2.10 podemos observar un detalle típico de ésta reparación. El problema que presenta es constructivo, ya que re quiere demoler el recubrimiento de la columna y la losa adyacente, para después hacer un colado de toda la sección.

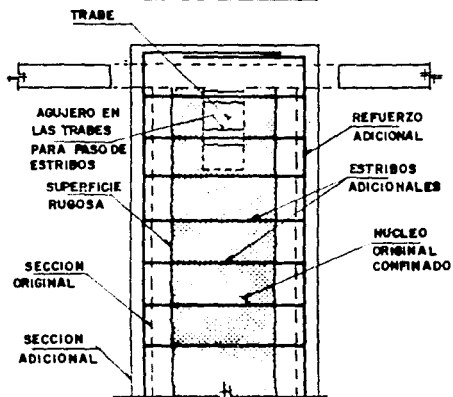
Existen otras formas de reforzar columnas, por ejemplo una combinación de aumento de sección y refuerzo con estructura metálica como en la figura 4.2.11, esta forma de reparación no se recomienda, pues si se in tenta aumentar la rigidez incrementando la sección, es mejor con concreto y acero de refuerzo pero si el acero de refuerzo no es suficiente y se requiere colo car ángulos, significa que la columna estaba muy mal diseñada o esta muy dañada por lo que es mejor optar por otra solución. Otra opción de reparación de co lumna es demoler toda la columna apuntalando muy bien y colando una nueva sección aunque es común optar por éstas dos soluciones.

4.2.3 Otros elementos.

Además de reparar traveses y columnas es necesario reparar otros elementos como losas, muros, zapatas, contratraveses, etc., en la figura 4.2.12 y 4.2.13 se observa la reparación de una losa y un muro de contención respectivamente, la reparación de una losa no es frecuente porque cuando se detecta algún problema es porque ya falló, y reintegrarla a su estado original, es decir, cerrar las grietas y eliminar

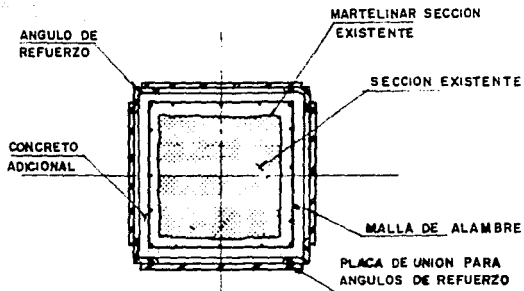


PLANTA

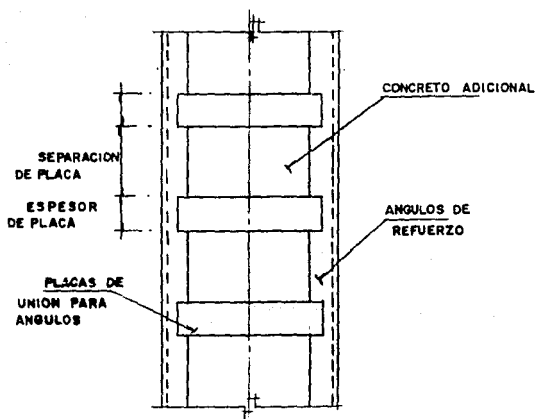


ELEVACION

FIGURA 4-2-10



PLANTA
REFUERZO DE COLUMNA CON AUMENTO
DE SECCION Y ELEMENTOS METALICOS



ELEVACION

FIGURA 4-2-11

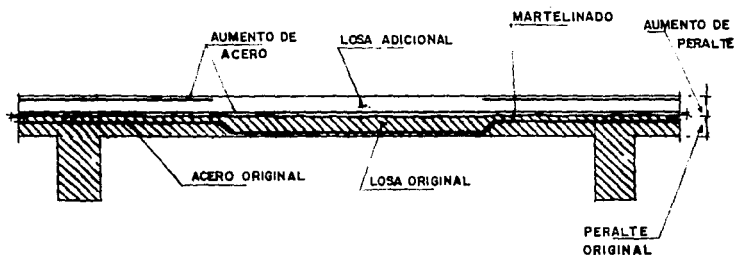
las deflexiones es muy difícil. Es muy frecuente adicionar una viga para hacer los claros de la losa más pequeños, ya sea de concreto o con una viga metálica, ésto provoca cambios arquitectónicos y también la necesidad de un apoyo para la nueva viga, a veces es necesario aumentar una columna en lugares donde no se había previsto, otra forma de reparación es aumentando la sección de la losa - como en la figura 4.2.12.

Si se realiza la reparación y ésta no es buena, su acción es negativa pues provoca más carga, cuando se repara una losa, la intensión inicial, es aumentarle el peralte para reducir las deflexiones y después reforzarla por flexión en los puntos que se requiera, generalmente no hay problema por cortante, se debe procurar una superficie rugosa entre el concreto existente y el concreto adicional para procurar que trabaje conjuntamente.

Cuando se repara una zapata se le aumenta el peralte, como en la fig. 4.2.13, con ésto se refuerza para cortante y con el aumento de peso se contraresta un poco, además del acero que se adiciona por flexión, también es necesario hacer el colado nuevo sobre una superficie rugosa para transmitir el cortante, sí esta fuerza de fricción no es suficiente es necesario colocar algunos conectores para tansmitir la fuerza excedente, el criterio de reparación es el mismo en general para todos los elementos y aunque todos los problemas son distintos la aplicación de las soluciones es función del criterio del ingeniero.

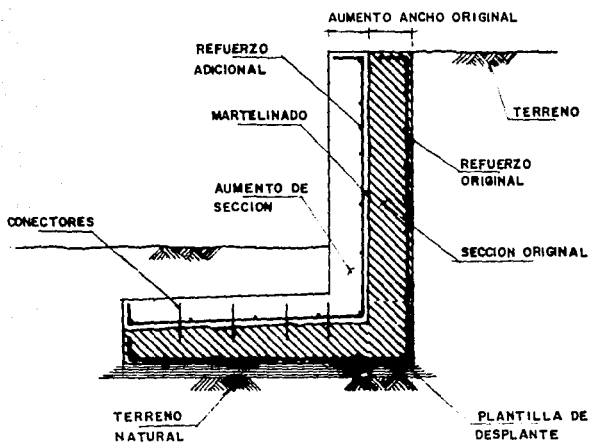
4.3 Reparaciones generales.

Existe otro tipo de reparaciones que no se enfoca a los -- elementos estructurales en particular, sino más bien se orientan al comportamiento general del conjunto.



REFUERZO PARA LOSAS

FIGURA 4-2-12



REFUERZO DE MUROS

FIGURA 4-2-13

Cuando ocurre un sismo o algún hundimiento diferencial significativo, toda la estructura tiene que trabajar en conjunto y la cimentación adquiere una importancia determinante, debido a la naturaleza y dirección de los esfuerzos que actúan. Este tipo de problemas es muy frecuente, en ocasiones no aparece hasta 10 o 15 años después de construida la estructura, por asentamientos o por la acción de un sismo de regular intensidad, comentaremos algunas soluciones que se dan a la estructura cuando padecen esta clase de daños.

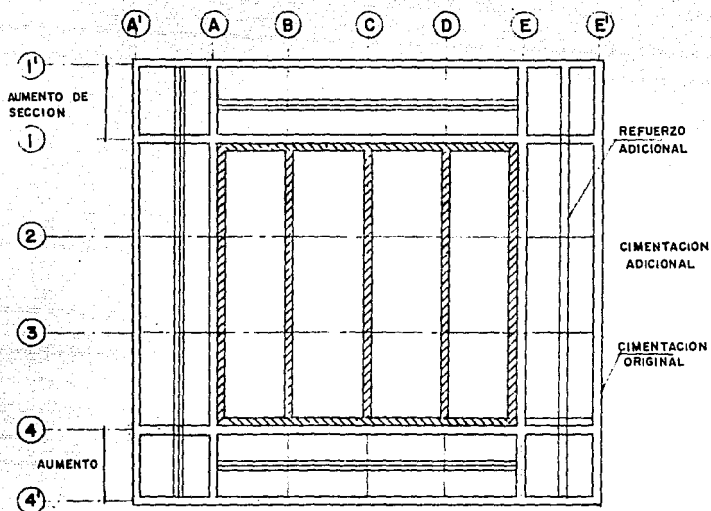
- 4.3.1 Lastre en cimentaciones.- Algunas cimentaciones están diseñadas con losa de cimentación en suelos compresibles, divididas en celdas de manera que estas se puedan lastrar para poder controlar el desarrollo de los hundimientos, esto es, más que una reparación, una forma de mantenimiento, sin embargo, hay otros casos de edificios con losa de cimentación y pilotes de fricción que sufren hundimientos diferenciales y los lastran, ya no como mantenimiento sino como reparación, esta medida preventiva es eficiente pues algunas veces se ha logrado nivelar completamente el edificio aunque en algunos casos el lastre excesivo provoca otros hundimientos y a veces se sobrepasa el esfuerzo resistente del suelo ocasionando otros problemas que podrían provocar una falla de resistencia del suelo o desequilibrio de la estructura.

- 4.3.2 Aumento de sección en las cimentaciones.- Otra solución al problema de hundimientos o para disminuir el esfuerzo actuante sobre suelo, es un aumento de sección en las cimentaciones, por ejemplo al aumentar el área de una losa de cimentación se disminuyen los hundimientos debido al au

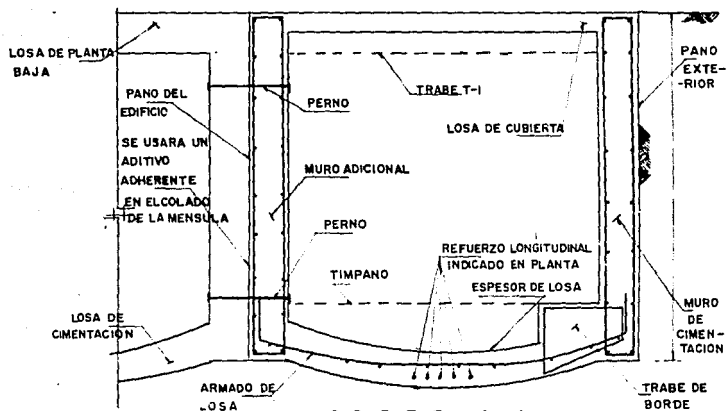
mento de área de contacto de la estructura y el suelo, -- existe el problema de dar continuidad a la cimentación -- original con la adicional, ésto se soluciona por medio de conectores entre los muros de la cimentación y el muro - adicional (ver figura 4.3.1). Se aplica también un aditivo adherente entre los dos muros, en ocasiones se refuerza adicionalmente la nueva losa de cimentación para resistir los empujes del suelo, se forman celdas por si es necesario lastrar para nivelar la estructura.

4.3.3 Aumento de pilotes.

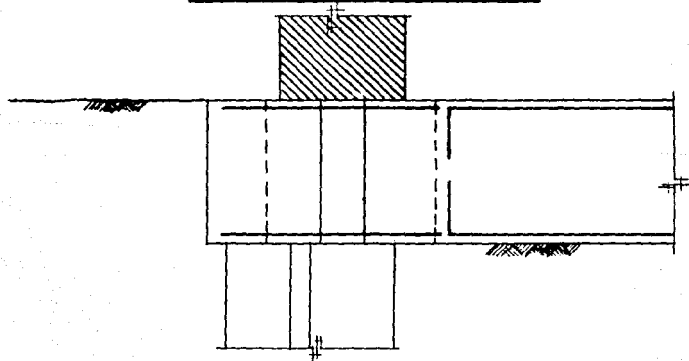
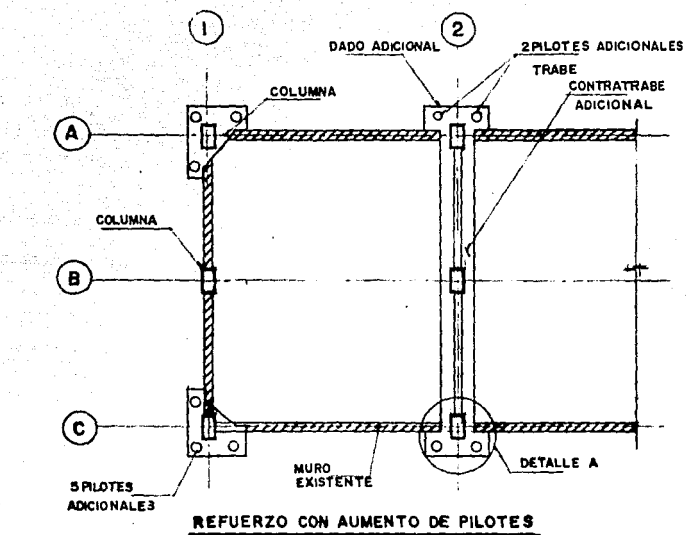
Frecuentemente la cimentación de algunos edificios es la combinación de losa de cimentación, que toma una parte de la carga de la estructura y pilotes que toman el resto de la carga, cuando una estructura con este tipo de cimentación sufre alteraciones, una opción de reparación es adicionarle sección a la losa o el aumento de número de pilotes, éstos pueden ser adicionados en el aumento de losa de cimentación o bien a la cimentación ya existente, los nuevos pilotes se colocan en las esquinas o a los lados, por la parte exterior del edificio donde los hundimientos o emergimientos son más grandes, en algunos casos se construyen contratraveses o se aumentan sus secciones atravesando la estructura hasta conectar los pilotes en los extremos, éstos se conectan a la estructura original por medio de ménsulas que trabajan a cortante directo, en este caso también es muy importante que la estructura original y la reparación trabajen conjuntamente, se muestra un ejemplo de esta reparación en la figura 4.3.2.



REPARACION DE CIMENTACION CON AUMENTO DE SECCION

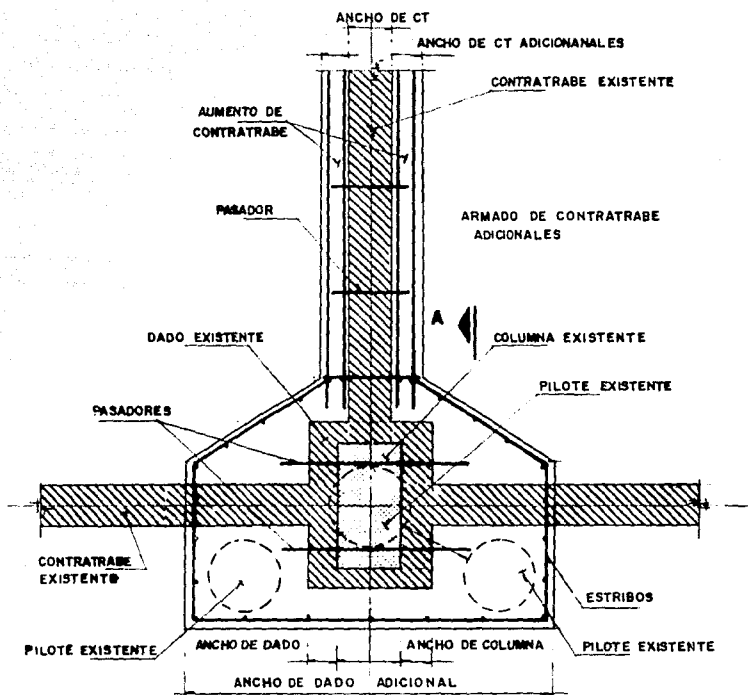


CORTE A-A
FIGURA 4-3-1



DETALLE A

FIGURA 4-3-2



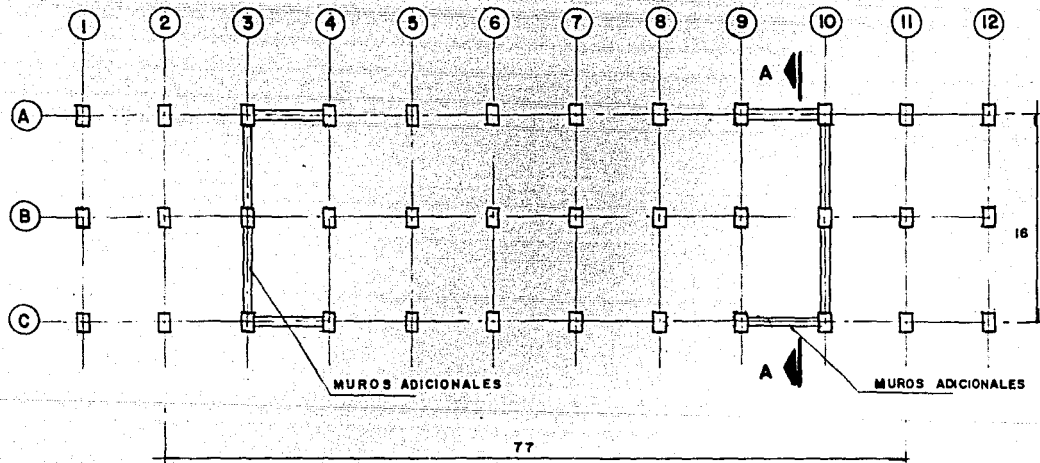
A
DETALLE A

4.3.4 Reparaciones con muros de cortante.

Es reconocida la utilidad de los muros de concreto reforzado en la estructura de edificios de varios niveles, cuando estos se colocan en posición ventajosa, pueden ser muy eficientes para resistir las cargas laterales producidas por un sismo o el viento. Estos muros se denominan muros de cortante debido a que toman gran parte o toda la carga lateral y la fuerza cortante horizontal. El nombre no es muy adecuado, ya que en pocas ocasiones el modo crítico de resistencia está relacionado con el cortante. Otra ventaja importante de los muros es poder controlar las deflexiones de entrepiso provocadas por las cargas laterales proporcionando una seguridad estructural adecuada y protección a los elementos no estructurales.

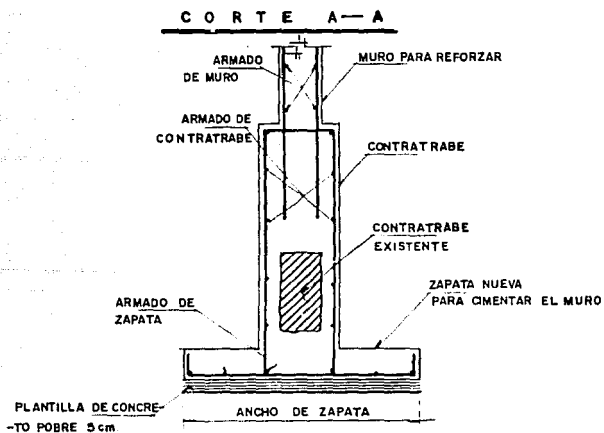
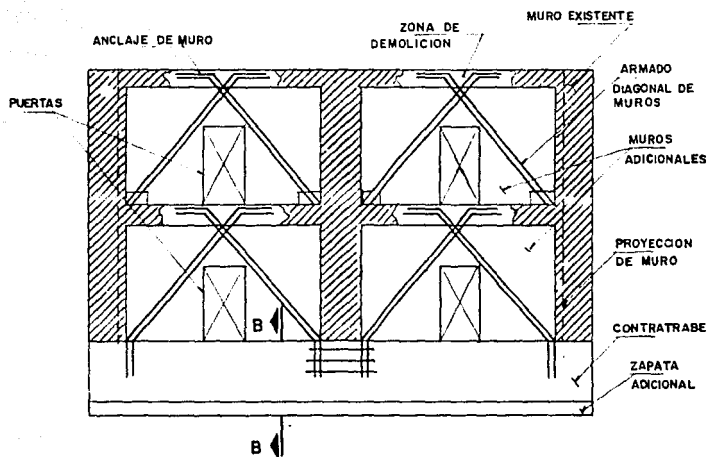
Por estas razones se puede utilizar satisfactoriamente los muros de cortante para reforzar o reparar estructuras dañadas por sismo, mencionaremos dos ejemplos de este tipo de reparación en la figura 4.3.3., se muestra un edificio que se estructuró inadecuadamente para resistir las acciones del sismo, debido al exceso de largo sufrió daños en las trabes del primer nivel por efecto de torsión, se adicionaron muros de concreto para tomar ese efecto uniendo el muro a las columnas por medio de anclas y soportándolo en la cimentación por medio de una zapata corrida.

En un edificio de 4 niveles que presentaba daños por sismo, debido a que la estructura en conjunto no era capaz de resistir dichas acciones, se adicionaron muros de concreto en las dos direcciones unidos a las columnas por medio de estribos y pasadores como se muestra en la figura 4.3.4., los muros se unieron entre sí por medio de vigas de cortante a la altura de las columnas. La cimentación está estructurada con contratraves y losa de cimentación, se conectaron los muros adicionales a las contratraves por



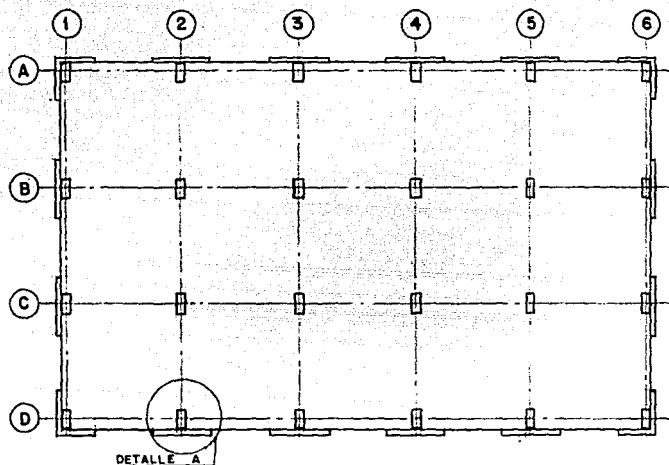
P L A N T A

FIGURA 4-3-3

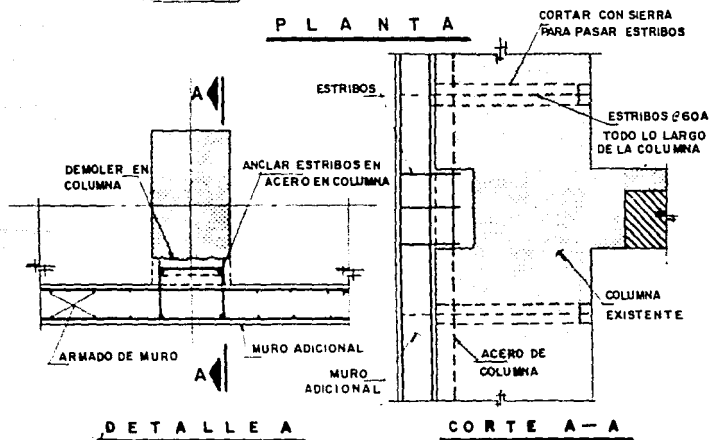


CORTE B-B

FIGURA 4-3-3



PLANTA



DETALLE A

CORTE A-A

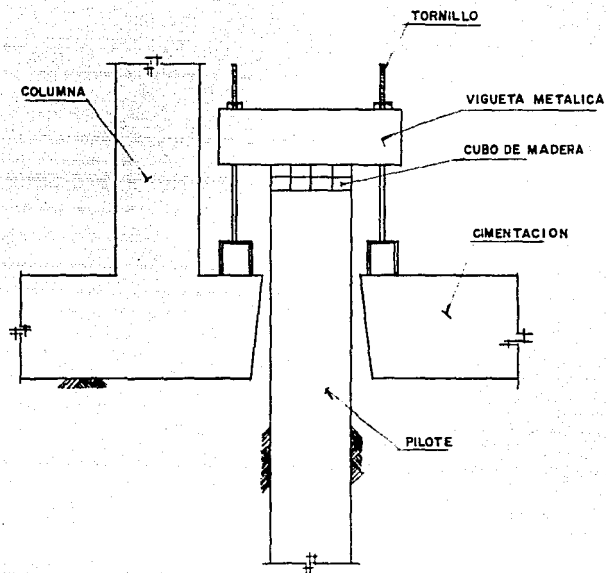
FIGURA 4-3-4

medio de pasadores y se transmitió la carga de los muros a la losa.

Los muros de cortante son una reparación eficiente, pero generalmente presentan problemas para solucionar su cimentación, independientemente de los problemas constructivos que involucra el muro, en el edificio de 4 niveles se unieron los muros a la columna, esto no es necesario si la estructura no tiene problemas por cargas verticales y con unir los muros a las losas de entrepiso es suficiente para que trabajen eficientemente. Otro aspecto importante que habrá que tomar en cuenta, es la interacción entre el muro y el resto de la estructura causado por la forma diferente de tomar las cargas laterales, el muro actúa como una viga flexible, mientras que el marco como una viga rígida, es decir se deforma por cortante, siendo necesario considerar el efecto de una sobre la otra, existen varias formas de tomar este efecto uno de ellos es reforzar la unión del muro con la estructura, por el efecto de la diferencia de deformaciones.

4.3.5. Reparación con pilotes de control.

Una opción de reparación son los pilotes de control que se pueden usar como sistema de cimentación o bien como reparación, este sistema permite que se pueda cambiar parcial o totalmente la carga de los pilotes a la cimentación o al revés, se usa principalmente en terrenos compresibles donde se esperan hundimientos considerables, si existen hundimientos diferenciales en un edificio se libera la parte que tiene menos hundimientos, pasando la carga a la cimentación y con el peso baja esa parte del edificio y se nivela, posteriormente se sujeta para que el pilote vuelva a tomar la carga que le corresponde (ver figura 4.3.5).



REPARACION CON PILOTE DE CONTROL

Es muy eficiente esta reparación, pero si no se diseñó con pilotes de control o no se tienen las preparaciones, realizar esta reparación resulta muy costoso, además de que el sistema requiere un mantenimiento continuo, si éste no se dá, se pierde la funcionalidad.

CONCLUSIONES

Con fundamento en las exposiciones anteriores se puede concluir que el riesgo de que una estructura lleve a fallar es muy grande y su consecuencia en pérdidas materiales o de vidas humanas es de alto costo para la sociedad, conviene señalar que para edificios destinados a oficinas o habitaciones el costo de la estructura constituye de un 30 a un 40% del costo total del edificio y el 70 al 60% restante es el costo de instalaciones y acabados, por lo tanto, no es razonable hacer economía en la estructura, porque una falla de ésta hace fallar a todo el edificio, (con sus instalaciones y acabados) y un incremento en el costo de la estructura, utilizado para mejorar; el proyecto de diseño estructural, la supervisión y el control de calidad de los materiales, es mínimo en comparación con los daños invaluable que involucra una falla estructural.

Por otro lado 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 los efectos de las acciones en los materiales de las obras, que proyectan y --

y construyen.

El uso de sistemas simplificados o estereotipados y de manuales que ofrecen resultados ya listos para aplicarse, aunque reducen el tiempo de proyecto, pueden resultar peligrosos, si no se analiza cuidadosamente su aplicabilidad y se tiene la seguridad de que corresponden en forma adecuada al caso que se ésta considerando.

Finalmente expondremos algunas recomendaciones, que mejorarán substancialmente la eficiencia de un sistema estructural, reduciendo el riesgo de una falla súbita y de sus inherentes consecuencias.

1.- Conviene crear conciencia; en las autoridades, en los dueños de los inmuebles y en los profesionistas en particular, de que los buenos proyectos como las supervisiones adecuadas son costosos, pero que, los resultados posteriores son mucho más costosos en los malos proyectos y supervisiones escasos y los de máximo costo son los que carecen completamente de estas actividades.

2.- Es indudable que la forma de la estructura, influye enormemente en el modo de resistir las acciones; los edificios de formas irregulares como en esquinas oblicuas o en cuchillas y el error de combinar ejes de columnas largas

con ejes paralelos de columnas cortas o mochetas y pretilas, modifican substancialmente el funcionamiento de un sistema, por lo cual, es adecuado la simetría en la concepción arquitectónica, para reducir al mínimo la torsión sísmica, para ello se requiere simetría en la planta estructural cuando me nos en dos direcciones ortogonales y en lo posible una distribución simétrica en la carga viva, cuando esto no sea posible, es preciso reforzar en forma adecuada los elementos que estaran sujetos a torsión sísmica.

3.- Es importante definir los elementos estructurales que resistirán las fuerzas verticales y las fuerzas horizontales proporcionando una resistencia superior a la fuerza que actúa.

El sistema estructural podrá estar formado por marcos de cortante, por macro marcos o por alguna combinación de estos sistemas, pero deberá estar bien definida su forma de contribución a la resistencia.

4.- Es muy importante colocar un número suficiente de estribos 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 o donde se espera un esfuerzo cortante elevado.

5.- Resulta inútil un diseño estructural muy sofisticado, aún por computadora, en el que se consideran cargas dinámicas, ciclos repetidos y comportamiento ductil de las vigas y las columnas, si las uniones no son diseñadas para resistir los enormes esfuerzos cortantes que se generan.

Las uniones deberá diseñarse para resistir una fuerza cortante, cuando menos igual a la que se genera por la suma de esfuerzos de fluencia en el acero de los elementos que concurren a dicha unión, ya que de lo contrario los elementos podrían comportarse ductilmente pero las juntas fallarían.

6.- Ha sido práctica común que en los planos estructurales no se de la debida atención al detalle cuidadoso de las uniones entre vigas y columnas y no se vigile rigurosamente la ejecución de estas juntas dejandolos usualmente al criterio del maestro de obra.

7.- Es necesario que se proyecte la ubicación de los edificios con una adecuada separación entre si para evitar choques durante los desplazamientos sísmicos, no de algunos centímetros sino de metros si esto es posible.

8.- Es necesario especificar el uso de los edificios, par el que fueron diseñados y así evitar - que las cargas admicibles sean incrementadas y modifi que el comportamiento del edificio.

9.- Se debe establecer un control más estricto de los materiales usados, ya que son insuficien tes los laboratorios de control de calidad y existen - serias dudas en cuanto a la calidad de los agregados- y su posible reacción desfavorable con los cementos, - muchas veces se alcanza la resistencia de un concreto- pero no se da la rígidez.

Realmente, todas estas precauciones son de sobra conocidas por los especialistas, pero en la prac tica no se llevan a cabo, entre otras razones, debido a que la supervisión de las obras y la elaboración de los proyectos se deja a manos de personal inexperto, a que los honorarios del ingeniero estructurista son sumamen te raquiticos y no dan lugar a un detallado completo - de los planos de diseño. En el futuro los planos es- tructurales deberán de ser ejecutados con mucha mayor responsabilidad y las autoridades habrán de mostrarse más exigentes, a la hora de expedir licencias de cons- trucción.

También se hace notar, la necesidad de, -- que los arquitectos cuenten con la asesoría del inge-

niero estructurista, desde las primeras fases del proyecto arquitectónico, para resolver y preveer los problemas estructurales que se puedan presentar.

En estas conclusiones se dio mayor énfasis a los problemas ocasionados por una falla estructural que a los ocasionados por daños, ya que los primeros ponen en peligro la estabilidad de la estructura y los segundos solo representan fallas parciales que se pueden reparar localmente.

Finalmente es recomendable la aplicación del reglamento de construcciones de cada entidad, pues nos proporciona criterios confiables y seguridad legal, aplicando, dichos reglamentos con sentido común y utilizando el criterio y la experiencia acumulada durante la práctica profesional.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- "Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal" Diario Oficial de la Federación México, D. F. (Dic. 1976).
- 2.- "Normas de Emergencia para Construcciones en el Distrito Federal" Diario Oficial de la Federación, México, D. F. (Oct. 1985)
- 3.- Rosenblueth, E. y Esteve, L. "Diseño sísmico de Edificios". Folleto complementario al Reglamento de Construcciones del Distrito -- Federal, México, D. F. (1962).
- 4.- Gonzalez, C. Robles, D. "Aspectos fundamentales del Concreto Reforzado México, D. F. (1984).
- 5.- R, Park. T, Paulay "Estructuras de Concreto Reforzado" tercera reim- presión ed. Limusa México, D. F. (1986).
- 6.- "Manual de diseño por sismo" titulo IV del Reglamento de Construccio- nes para el Distrito Federal.
- 7.- "Técnicas y Materiales de reparación para concreto" Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. México, (1970).
- 8.- Revistas del Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto N° 45, 48, - 63, 94, 106 y 109, México, D. F.
- 9.- Bazán, E. "Reparación de Estructuras dañadas" Instituto de Ingeniería, UNAM México, 1980.